

Mitutoyo

GLOSSARIO OTTICO

Una breve spiegazione dei termini ottici più importanti

EDIZIONE ITALIANA



Mitutoyo

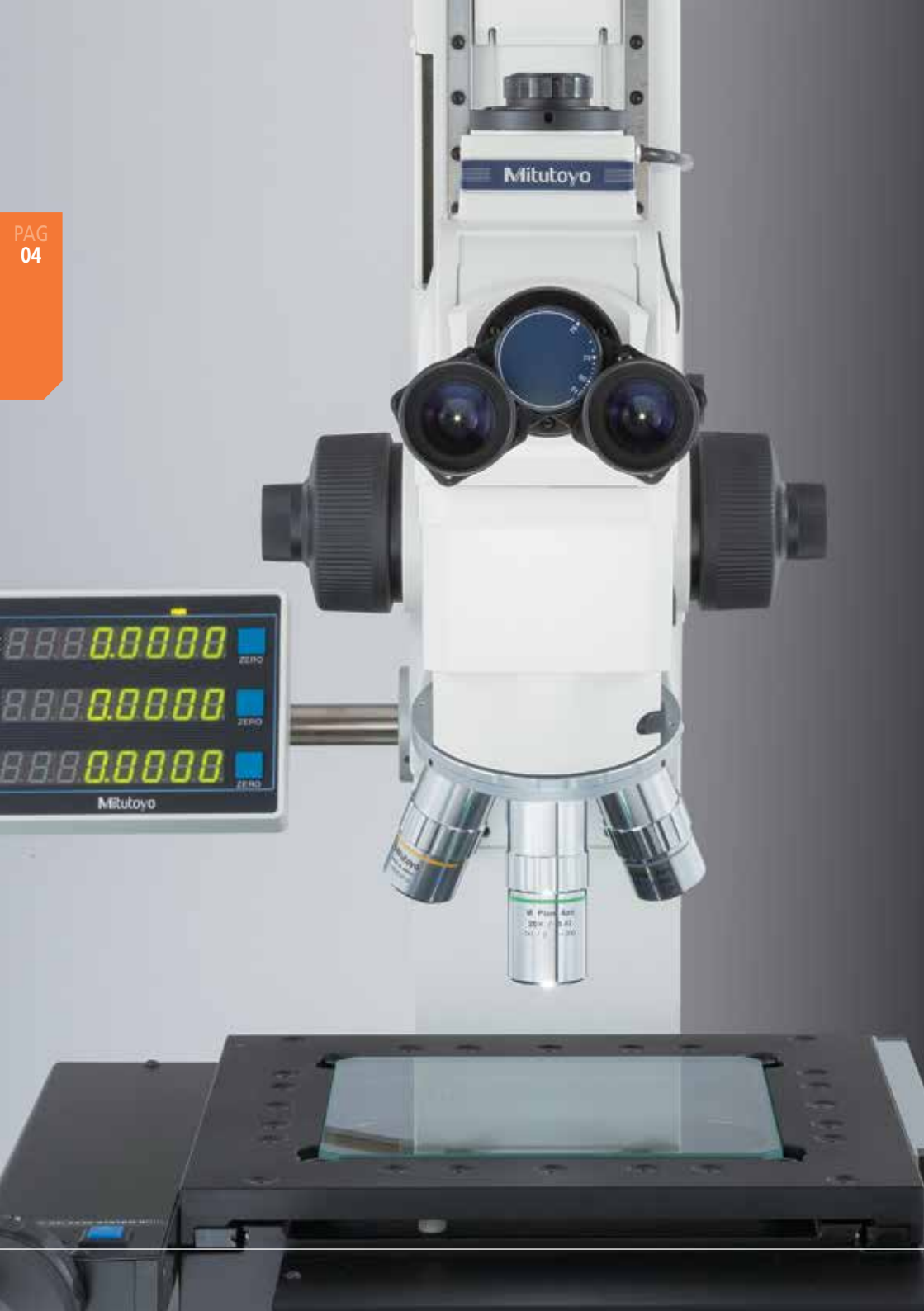
GLOSSARIO OTTICO

Una breve spiegazione dei termini ottici più importanti.

EDIZIONE ITALIANA

<u>Aberrazione</u>	06	<u>Curvatura di campo</u>	15
<u>Aberrazione</u>	06	<u>Densità ottica</u>	55
<u>Aberrazione cromatica</u>	22	<u>Diaframma di apertura</u>	08
<u>Aberrazione cromatica</u>	22	<u>Diaframma di campo</u>	32
<u>Aberrazione cromatica assiale</u>	14	<u>Diametro del punto/dimensione del punto</u>	58
<u>Aberrazione cromatica assiale</u>	14	<u>Distanza del soggetto-immagine</u>	53
<u>Aberrazione sferica</u>	65	<u>Distanza di lavoro</u>	09
<u>Aberrazione sferica</u>	65	<u>Distorsione</u>	73
<u>Aberrazioni di Seidel</u>	63	<u>Doppia rifrazione</u>	26
<u>Aberrazioni di Seidel</u>	63	<u>Eclissi/ombreggiatura/vignettatura</u>	30
<u>Acromatico/acromatismo</u>	08	<u>Errore di ingrandimento colore</u>	32
<u>Analisi di fluorescenza</u>	34	<u>Fattore di trasmissione/fattore di apertura</u>	69
<u>Analisi in campo chiaro</u>	40	<u>Filtro di interferenza verde (GIF)</u>	37
<u>Analisi in campo scuro</u>	27	<u>Filtro LB</u>	46
<u>Analisi polarizzata/ visualizzazione con luce polarizzata</u>	57	<u>Filtro ND</u>	51
<u>Anello luminoso a fluorescenza</u>	33	<u>Illuminazione a LED</u>	46
<u>Apertura numerica</u>	51	<u>Illuminazione di Koehler</u>	42
<u>Area visibile</u>	62	<u>Illuminazione telecentrica</u>	67
<u>Astigmatismo</u>	10	<u>Immagine corrispondente al vero</u>	63
<u>Bilanciamento del bianco</u>	74	<u>Immagine doppia</u>	26
<u>CCD (dispositivo ad accoppiamento di carica)</u>	21	<u>Immagine invertita</u>	63
<u>Centraggio</u>	75	<u>Immagine multipla (fantasma)</u>	36
<u>CMOS (Semiconduttore complementare a ossido metallico)</u>	22	<u>Immagine virtuale</u>	74
<u>Collimatore (lente)</u>	42	<u>Incertezza di ingrandimento</u>	72
<u>Coma</u>	43	<u>Indice di rifrazione</u>	20
<u>Condensatore (lente)</u>	43	<u>Ingrandimento totale</u>	36
<u>Contrasto interferenziale differenziale</u>	24	<u>Interferenza</u>	41
<u>Correzione del piano</u>	56	<u>Introduzione</u>	05
		<u>Larghezza focale/lunghezza focale</u>	35
		<u>Laser</u>	45

Legge di rifrazione	19	Obiettivo telecentrico	67
Lente tubolare	70	Oculare	54
Luce	47	Polarizzazione	56
Luce ad anello	60	Posizione degli occhi	12
Luce incidente coassiale	42	Posizione dell'immagine/ posizione dell'immagine intermedia	16
Luce trasmittente	28	Potere risolutivo	11
Luce visibile	64	Prisma	58
Lunghezza bilanciata/lunghezza parafoale	07	Prisma di Nomarski	52
Lunghezze d'onda della luce	48	Prisma di Wollaston	74
Materiali otticamente attivi	55	Profondità di campo	61
Messa a fuoco, punto di messa a fuoco/ punto focale	34	Proprietà spettrali	64
Mezzo specchio/specchio semipermeabile/ beam splitter (divisore di fascio)	38	Punto principale/piano principale	38
Microscopio a fluorescenza	34	Pupilla d'ingresso	29
Microscopio a infrarossi	40	Pupilla di uscita	13
Microscopio a raggi ultravioletti	71	Radiazione del vicino infrarosso	50
Microscopio di misura	49	Radiazione del vicino ultravioletto	50
Microscopio incorporato	29	Radiazione ultravioletta	50
Microscopio invertito	41	Raggio principale	39
Microscopio metallurgico	49	Riflessione	59
Microscopio ottico	47	Riflessione totale	68
Microscopio stereoscopico	66	Rifrazione	18
Microscopio stereoscopico di Greenough	36	Risoluzione	10
Microscopio stereoscopico galileiano/ microscopio stereoscopico parallelo	35	Sistema confocale/microscopio confocale	44
Misura dell' immagine	17	Sistema ottico a correzione finita	30
Numero di campo	62	Sistema ottico corretto all'infinito	72
Obiett. acromatico/acromatismo	08	Specchio di deviazione, prisma di deviazione	23
Obiettivo	54	Specchio dicroico	24
Obiettivo apocromatico	09	Temperatura di colore	31
		Tremolio	33



Con sette decenni di esperienza e più di 5.000 prodotti specializzati, Mitutoyo è pioniere e precursore nel campo della tecnologia delle misure di precisione di lunghezza mondo.

Oltre a macchine di misura a coordinate e della forma, micrometri a scansione laser, durometri, Linear Scale e dispositivi di misura portatili, i prodotti più noti includono anche strumenti di misura ottici, come proiettori di profili, microscopi di misura e macchine di misura ottiche. Tuttavia, poche persone sanno che Mitutoyo sviluppa e produce una gamma completa di ottiche per queste attrezzature; dimostrando quindi di essere competente non solo nel campo della tecnologia di misura dimensionale, ma, altrettanto, nei sistemi ottici.

Purtroppo, agli utenti è richiesto di dimostrare lo stesso livello di competenza in entrambi i campi, metrologia e ottica, se intendono usare appropriatamente le apparecchiature di misura con sensori ottici e, soprattutto, di interpretare correttamente i risultati derivanti.

Questo glossario è stato ideato per gli utenti con una conoscenza approfondita della metrologia, ma che hanno solo una conoscenza di base, forse risalente ai tempi della scuola, di questioni relative all'ottica.

Gli utenti troveranno, in questo glossario, brevi spiegazioni dei singoli termini ottici, che li aiuteranno a portare il loro livello di conoscenza allo standard richiesto. Come tale, il glossario mira a consentire loro di identificare e valutare l'impatto dei fenomeni ottici sui risultati di misura generati da un'apparecchiatura di misura ottica della lunghezza.

Aberrazione

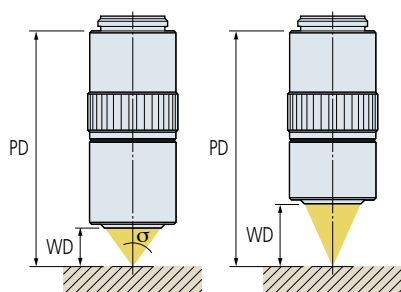
Termine generico usato per descrivere gli errori di imaging. Questi errori sono causati da una ampia gamma di effetti ottici e determinano il deterioramento della qualità dell'immagine del pezzo, facendolo apparire, ad esempio, non a fuoco, deformato o distorto. In microscopia tali aberrazioni devono essere ridotte al minimo poiché l'immagine deve corrispondere quanto più possibile al pezzo per effettuare valutazioni corrette. Viene fatta una distinzione tra il termine generico usato per descrivere gli errori di imaging. Gli errori di imaging sono causati dal campo più ampio dei diversi effetti ottici e determinano il deterioramento della qualità dell'immagine del pezzo, facendolo apparire, ad esempio, non a fuoco, deformato o distorto. In microscopia tali aberrazioni devono essere eliminate quanto più possibile poiché l'immagine deve corrispondere al pezzo per poter essere utilizzata per valutarlo. Viene fatta una distinzione tra *aberrazioni geometriche*, provocate dalla forma geometrica, ossia sferica, della lente, e *aberrazioni cromatiche* (cromatiche = relative al colore), provocate dalla diversa resistenza alla rifrazione delle singole lunghezze d'onda di luce, o di colori.

Le cinque principali aberrazioni geometriche sono note anche come "*aberrazioni di Seidel*", dal nome del fisico Philip Ludwig von Seidel, che le esaminò per la prima volta nella seconda metà del 19° secolo.

Lunghezza bilanciata/lunghezza parafoale

Spesso, un pezzo deve essere esaminato a diversi livelli di ingrandimento per poter eseguire varie operazioni di microscopia. Per questo scopo viene solitamente usato una torretta rotante porta obiettivi, che consente di spostare con facilità. Spesso, un pezzo deve essere esaminato a diversi livelli di ingrandimento per poter eseguire varie operazioni di microscopia. A questo scopo viene solitamente usato un revolver per obiettivi, che consente di spostare con facilità *obiettivi* con diversi livelli di ingrandimento nel percorso ottico del microscopio. Una ulteriore caratteristica che semplifica l'osservazione del pezzo, è quella di mantenere sempre a fuoco una determinata area del pezzo anche cambiando i livelli di ingrandimento.

Ciò si ottiene equilibrando la lunghezza degli obiettivi posizionati nella torretta. Gli obiettivi bilanciati, o parafoali, sono sempre posizionati alla stessa distanza dalla flangia di attacco alla torretta. Se la *distanza di lavoro* tra l'obiettivo e il pezzo aumenta, la lunghezza dell'obiettivo si riduce di conseguenza. La somma delle due lunghezze rimane sempre la stessa ed è indicata come lunghezza bilanciata o parafoale nella documentazione tecnica.



WD: Distanza di lavoro
PD: Distanza parafoale
 α : Larghezza fascio
medio obiettivo

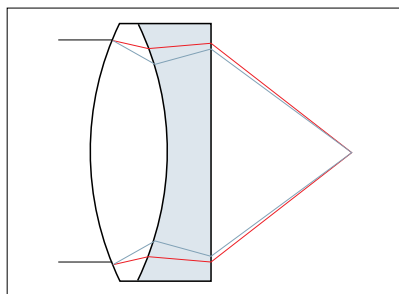


Oiettivo acromatico/acromatismo

Se più lenti vengono combinate in un piccolo sistema di lenti, l'aberrazione cromatica assiale causata da una lente può essere compensata dall'aberrazione di un'altra lente. Questo assicura che i raggi di tutte le lunghezze d'onda o colori si riuniscano in un unico punto *focale*. Tuttavia, nel caso di sistemi di lenti o obiettivi più complessi non è possibile compensare completamente gli errori causati da tutte le lenti. In questo caso vengono analizzati solo i raggi di luce rossi e blu, poiché formano, rispettivamente, l'inizio e la fine dello spettro delle lunghezze d'onda visibili. Quindi, se i loro punti focali vengono corretti per garantire che si trovino nella stessa posizione finale, i punti focali degli altri colori possono essere considerati estremamente vicini a questa posizione. In tale modo l'*aberrazione cromatica assiale* è ridotta al minimo.

Questa procedura di minimizzazione dell'aberrazione cromatica assiale è nota come acromatismo, pertanto un sistema di lenti (ad esempio un obiettivo) che è stato corretto di conseguenza, viene definito acromatico.

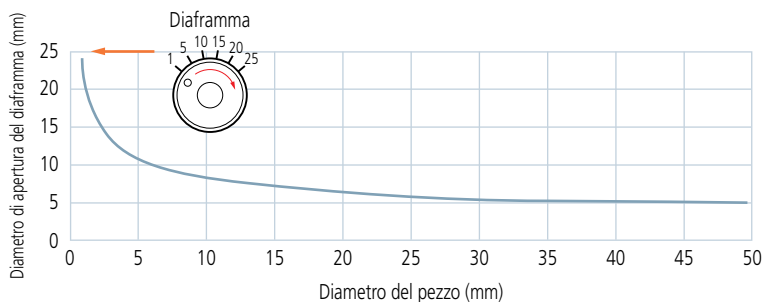
> Schema di un obiettivo acromatico.



Apertura del diaframma

L'apertura regolabile di un diaframma influenza l'intensità della luce e il potere risolutivo dell'obiettivo, grazie alla sua posizione ben precisa nel percorso ottico del microscopio.

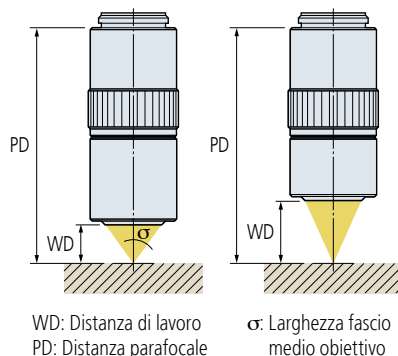
Nel caso dei *microscopi di misura*, l'apertura può essere utilizzata per garantire la massima precisione nella misurazione di perni o ondulazioni. Se il diametro di apertura del diaframma è regolato in modo ottimale, gli effetti di diffrazione marcati, che altrimenti si verificherebbero sulle superfici, vengono ampiamente eliminati.



La correzione *acromatica* delle *aberrazioni cromatiche assiali* è sufficiente per la maggior parte delle analisi. Inoltre, poiché gli obiettivi acromatici sono relativamente semplici e, quindi, economici da produrre, sono spesso utilizzati nei microscopi. Tuttavia, la correzione acromatica, cioè, la correzione della luce rossa e blu in un punto focale comune, a volte non è sufficiente per applicazioni specifiche. In tali casi, un'altra luce, quella gialla, viene corretta nel punto focale comune insieme ai percorsi di luce delle luci rosse e blu dal momento che la lunghezza d'onda della luce gialla è relativamente equidistante alle lunghezze d'onda delle luci rossa e blu. Tale correzione apocromatica produce una qualità ancora migliore rispetto alla correzione acromatica ed elimina quasi completamente l'aberrazione cromatica assiale. Gli obiettivi apocromatici sono, tuttavia, molto più difficili da produrre, e pertanto, ovviamente, più costosi.

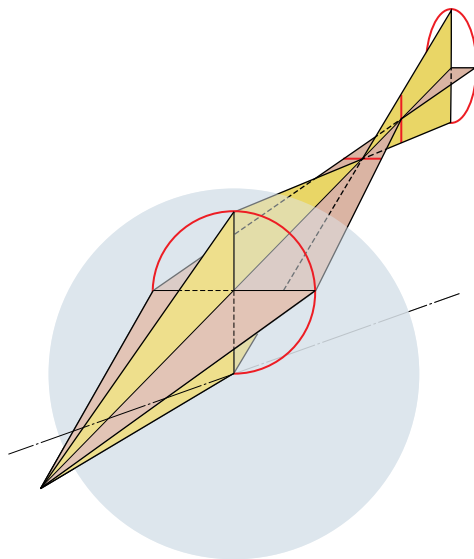
Distanza di lavoro

Il termine "distanza di lavoro" è usato per descrivere la distanza tra il punto più basso dell'obiettivo e l'area acquisita del pezzo. Il termine distanza di lavoro è usato per descrivere la distanza tra il punto più basso dell'obiettivo e l'area acquisita del pezzo. Una distanza di lavoro maggiore dimostra la sua utilità nelle misure esterne ad un ambiente di laboratorio. Infatti, consente di posizionare e rimuovere il pezzo o il campione in modo rapido e semplice senza rischiare di danneggiare il pezzo stesso o l'obiettivo. In tal modo anche il rischio di danni durante la regolazione della nitidezza o della messa a fuoco sull'immagine è ridotto al minimo, dato che con una distanza di lavoro ridotta l'obiettivo potrebbe facilmente toccare il pezzo. Inoltre, se la distanza di lavoro è ampia, in genere, i campioni non hanno bisogno di essere preparati in anticipo e le superfici non devono essere estremamente piane, dal momento che altezze diverse o scalini sul pezzo sono irrilevanti fintanto che rimangono all'interno della distanza di lavoro. D'altro canto, una grande distanza di lavoro accresce anche la *profondità di campo*. A scopi puramente analitici, ciò può essere vantaggioso, ma rappresenta un grave inconveniente quando si usa un microscopio per misurare delle lunghezze. Da un lato, aumenta l'incertezza delle misure dell'altezza, mentre dall'altro lato le distorsioni nella prospettiva potrebbero dare luogo a risultati errati, cosa che non avviene con una profondità di campo ridotta poiché l'immagine va subito fuori fuoco. Inoltre, il *potere risolutivo ottico*, con una grande distanza di lavoro, risulta ridotto pertanto fornisce immagini più sfocate e opache, soprattutto a grandi ingrandimenti, e impedisce la chiara individuazione di piccoli dettagli. Come tale, l'obiettivo non può essere quello di raggiungere la maggior distanza di lavoro possibile, ma piuttosto di individuare il miglior compromesso possibile fra la distanza di lavoro e il potere risolutivo.



Astigmatismo

PAG
10



L'astigmatismo è un errore di imaging e una delle 5 *aberrazioni di Seidel* provocate dalla forma geometrica della lente. Nel caso dell'astigmatismo, la curvatura della lente non è identica sui bordi. Ad esempio, la sezione superiore della lente potrebbe essere già fortemente curva sul piano perpendicolare, mentre la curvatura sul piano orizzontale è ancora solo minore. Di conseguenza, la *rifrazione* dei raggi luminosi è più pronunciata in quest'area in perpendicolare piuttosto che in orizzontale. Come tale, la luce proveniente da un punto che tocca il bordo della lente non è rifratta uniformemente e pertanto non si fonde in un *punto focale comune*.

Risoluzione

La risoluzione è il termine usato per definire il potere risolutivo ottico minimo necessario per distinguere due oggetti, ad esempio punti o linee sull'immagine.

Potere risolutivo ottico

Il potere risolutivo ottico descrive la più piccola distanza possibile fra due punti o linee a cui un sistema ottico (ad es. un microscopio) riesce ancora a identificarli come oggetti separati sull'immagine. Il termine è, purtroppo, un po' fuorviante, dal momento che la nostra comprensione della lingua indicherebbe istintivamente che un microscopio debba avere un potere risolutivo il più alto possibile. Ma in termini di distanza, un sistema offre logicamente una migliore risoluzione alla minima distanza possibile tra gli oggetti. In altre parole, la risoluzione di un sistema ottico migliora non appena il potere risolutivo si riduce.

Il potere risolutivo ottico è limitato dalle interferenze che si verificano a distanze ridotte a causa della diffrazione. Tali *interferenze* impediscono che un punto sia chiaramente mostrato come un punto. Invece, intorno al punto mappato si formano ulteriori anelli di luce. Non appena gli anelli di diffrazione che circondano due punti adiacenti si sovrappongono, i punti non possono più essere distinti come singoli punti.

La forza di diffrazione, a sua volta, dipende dalla *densità ottica* del mezzo presente tra il soggetto e il sistema ottico e dalla lunghezza d'onda della sorgente luminosa utilizzata. L' *obiettivo*, che è logicamente limitato dall'angolo massimo di incidenza, deve essere in grado di catturare gli anelli di interferenza. Il calcolo del potere risolutivo ottico è quindi logicamente dipendente da questi tre fattori:

$$\gamma = \frac{\lambda}{2} * \frac{1}{n * N.A.}$$

λ : Lunghezza d'onda della sorgente luminosa utilizzata
 n : *Indice di rifrazione* del mezzo tra il soggetto e il sistema ottico
N.A. : *Apertura numerica* del sistema ottico

Il mezzo tra il soggetto e l'obiettivo del microscopio è generalmente aria, e poiché l'aria ha un indice di rifrazione di $n = 1$, può essere eliminata dalla formula. Ciò produce la formula più comunemente usata mostrata di seguito per descrivere il potere risolutivo ottico teorico di un microscopio.

$$\gamma = \frac{\lambda}{2 N.A.}$$

Questa formula non tiene però conto del potere risolutivo ottico di un ulteriore sistema ottico: l'occhio umano. Quando entrano in gioco entrambi i sistemi ottici, microscopio e occhio, ossia, ogni volta che l'utente guarda nel microscopio, il potere risolutivo ottico effettivo si deteriora leggermente. Questo viene considerato nella formula utilizzando apposito fattore:

$$\gamma = \frac{1,22 \lambda}{2 \text{ N.A.}} = 0,61 \cdot \frac{\lambda}{\text{N.A.}}$$

Nel caso della luce alogena bianca solitamente utilizzata, viene generalmente applicata una lunghezza d'onda media pari a $0,55 \mu\text{m}$, che consente il semplice calcolo del potere risolutivo ottico basato sull'apertura numerica indicata nelle specifiche.

Potere risolutivo digitale

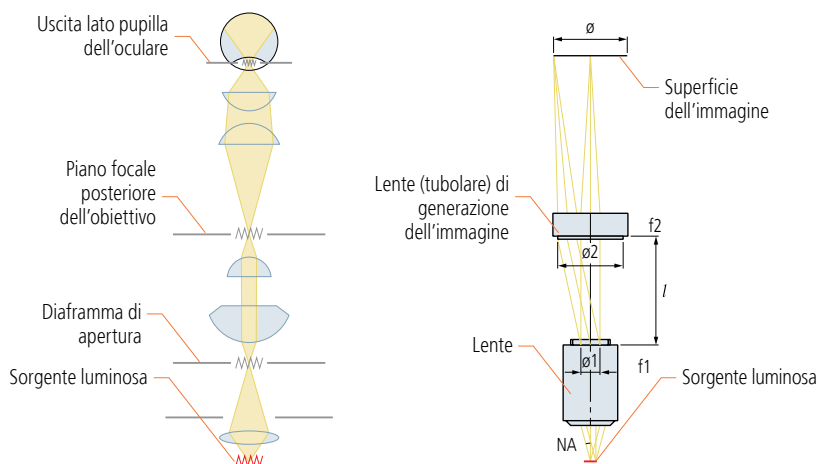
A scopi documentativi o per l'esecuzione di complesse valutazioni microscopiche viene usata di frequente una fotocamera digitale. In questo caso, deve essere preso in considerazione il potere risolutivo della fotocamera e, rispettivamente, del chip della fotocamera. Questo potere risolutivo digitale dipende, ovviamente, dalla dimensione e dal numero di pixel del chip utilizzato. Non è vero, tra l'altro, che un maggior numero di pixel produce sempre un'immagine migliore, dal momento che troppi pixel, troppo piccoli, possono causare rapidamente sfarfallii interferenti sull'immagine.

A differenza del potere risolutivo ottico, nel caso del potere risolutivo digitale non è possibile indicare una lunghezza minima o una distanza registrabile minima nei micrometri o nei nanometri poiché un pixel può rappresentare un'area dell'immagine che misura diversi decimi di millimetro o, solo, frazioni di un micrometro, a seconda dell'ingrandimento a monte. Come tale, l'unica regola applicabile è che il numero di pixel di un chip deve assicurare che il più piccolo dettaglio del pezzo da acquisire debba essere rappresentato da almeno due, preferibilmente tre, pixel.

Posizione degli occhi

La posizione degli occhi davanti all'oculare, durante l'analisi è chiamata posizione dell'occhio. Gli oculari sono in grado di visualizzare una buona immagine, solo se l'occhio si trova in questa posizione. Molti oculari hanno una posizione dell'occhio elevata, il che significa che l'occhio non deve essere premuto contro l'oculare, ma deve essere posizionato leggermente al di sopra di esso. Ciò consente agli operatori che indossano gli occhiali di guardare attraverso l'oculare senza dover prima rimuovere gli occhiali. Lo svantaggio è la mancanza di chiarezza relativamente alla posizione ottimale dell'occhio, data la mancanza di contatto. Pertanto, questi oculari sono di norma dotati di buone conchiglie oculari. Si tratta di conchiglie di plastica che si adattano al viso e riducono al minimo la luce laterale, fissando al contempo l'occhio nella posizione dell'occhio più elevata.

Pupilla di uscita



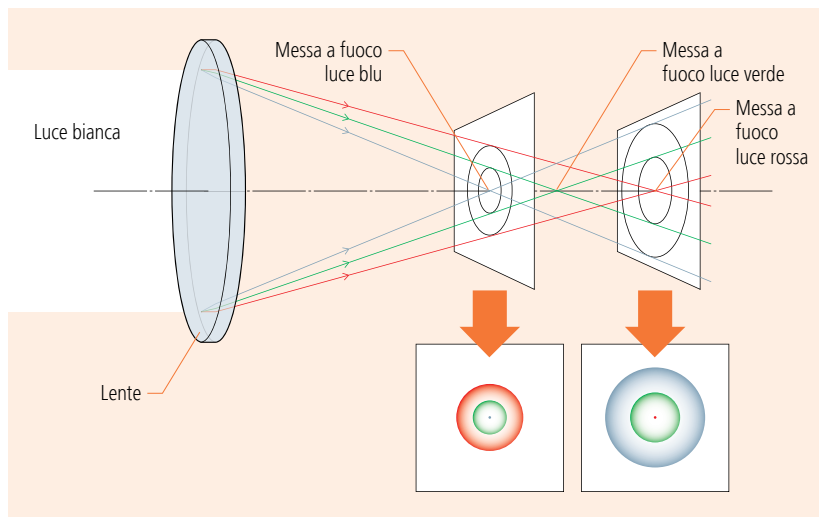
Nel caso dell'illuminazione di Koehler, ogni immagine del Diaframma di apertura nel percorso della luce del microscopio viene definita come pupilla. La pupilla più vicina al sistema ottico in esame si chiama pupilla di uscita. Potrebbe essere utile ricordare che la Posizione degli occhi di un oculare è la pupilla di uscita di un microscopio; la pupilla dell'occhio umano deve, pertanto, corrispondere esattamente alla posizione della pupilla di uscita per poter visualizzare la migliore immagine possibile. Poiché la pupilla dell'occhio umano raccoglie la luce incidente sulla retina, un'immagine a fuoco non può essere vista dalla posizione della pupilla. Al contrario, la mancanza di messa a fuoco è massima in questo punto. In questa posizione, la luce di ciascun pixel viene diffusa attraverso il diametro della pupilla di uscita e successivamente raccolta e riportata indietro in un pixel dalla pupilla dell'occhio. Ciò significa che all'altezza della pupilla di uscita viene mostrata un'area di luce corrispondente alla dimensione del diametro della pupilla di uscita invece di un unico pixel trasparente, il che spiega perché la mancanza di messa a fuoco è massima.

La pupilla di uscita può, naturalmente, essere esaminata per una sola parte del microscopio, per esempio, anche un obiettivo ha una pupilla di uscita. Questa pupilla di uscita dell'obiettivo è necessaria, per esempio quando si progetta un microscopio, per poter determinare la distanza massima tra l'obiettivo e la lente tubolare, alla quale la qualità dell'immagine non viene deteriorata a causa dell'ombreggiatura. L'indicazione del diametro della pupilla di uscita è importante anche se un obiettivo deve essere utilizzato per proiettare un raggio laser sul pezzo. La densità energetica relativamente alta del raggio laser può essere ridotta per passare attraverso l'obiettivo ampliando la luce del raggio laser alla dimensione della pupilla di uscita. La luce laser passa attraverso l'obiettivo a una densità energetica inferiore e ri-fascia il raggio precisamente su un punto della superficie del pezzo, garantendo quindi nuovamente l'alta densità energetica richiesta. Il calcolo del diametro della pupilla di uscita di un obiettivo dipende dall'apertura numerica e dalla lunghezza focale dell'obiettivo:

$$\phi = 2 \cdot (N.A.) \cdot f$$

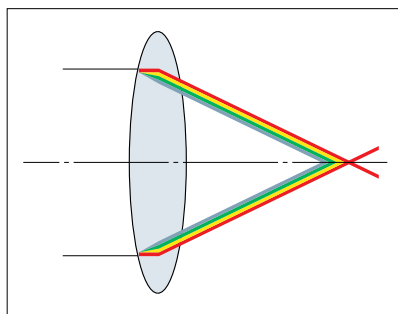
Aberrazione cromatica assiale

PAG
14

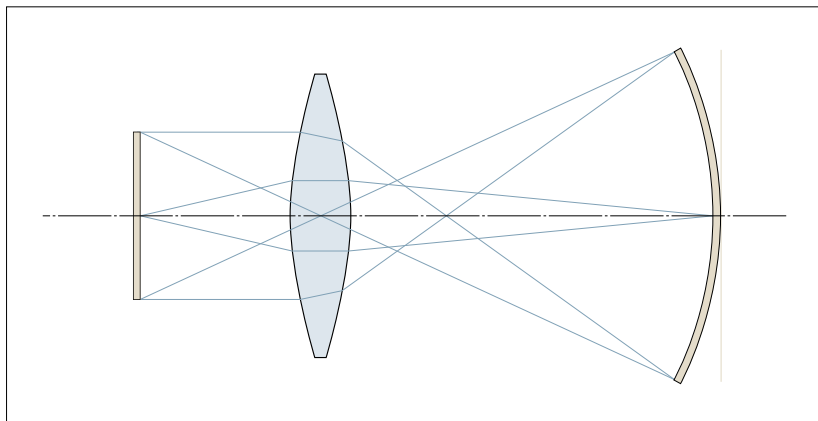


Le lenti rifrangono le diverse *lunghezze d'onda della luce* in modo diverso. Poiché le diverse lunghezze d'onda si manifestano come colori diversi all'occhio umano, la luce bianca viene pertanto suddivisa nei singoli colori da una lente. La luce blu ha una lunghezza d'onda corta ed è quindi rifratta in modo molto più forte rispetto a quella rossa, che ha una lunghezza d'onda lunga. In teoria, la luce viene raccolta in un fascio attraverso una lente convergente in modo tale che tutti i raggi luminosi si raccolgono in un punto, il *punto focale comune*. In realtà il raggio luminoso è, tuttavia, suddiviso nei suoi colori individuali, ognuno dei quali ha il proprio punto focale. Il punto focale della luce blu è più vicino alla lente, a causa della rifrazione più forte, rispetto a quello della luce rossa. I singoli punti focali lungo l'asse ottico formano un gradiente di colore. Questo effetto è chiamato *aberrazione cromatica assiale*.

Questa *Aberrazione* produce un gradiente di colore sui bordi di un pezzo, dato che se una luce è concentrata e presenta un'immagine nitida del bordo, tutti gli altri colori mostrano il bordo leggermente fuori fuoco. L'aberrazione cromatica assiale provocata dagli obiettivi può essere in gran parte minimizzata mediante la *correzione acromatica o apocromatica*.

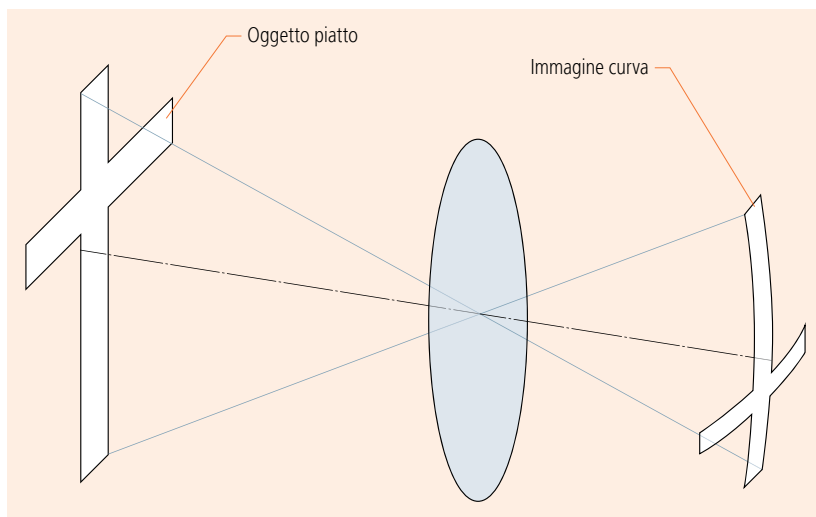


Curvatura di campo



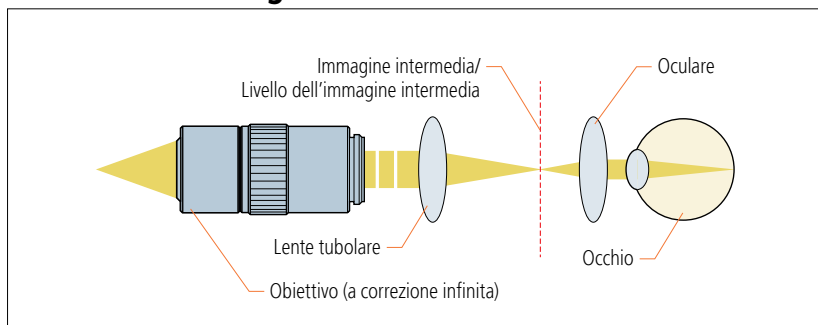
PAG
15

La curvatura di campo è un'aberrazione geometrica e una delle cinque aberrazioni di Seidel. La curvatura di campo è il termine utilizzato per descrivere il fatto per cui una lente non riproduce un oggetto piatto come piatto. Se il centro del soggetto è perfettamente a fuoco sull'immagine, le aree periferiche sono fuori fuoco, e viceversa. Questo fenomeno è provocato dalla forma sferica della lente. I raggi luminosi emanati da un punto sul lato dell'asse ottico si raccolgono in un punto focale leggermente diverso rispetto ai raggi emessi da un punto sull'asse ottico. Per ottenere un'immagine completamente messa a fuoco, il piano dell'immagine, come uno schermo, dovrebbe essere curvo. La retina curva nell'occhio umano, ad esempio, consente di correggere la curvatura di campo.

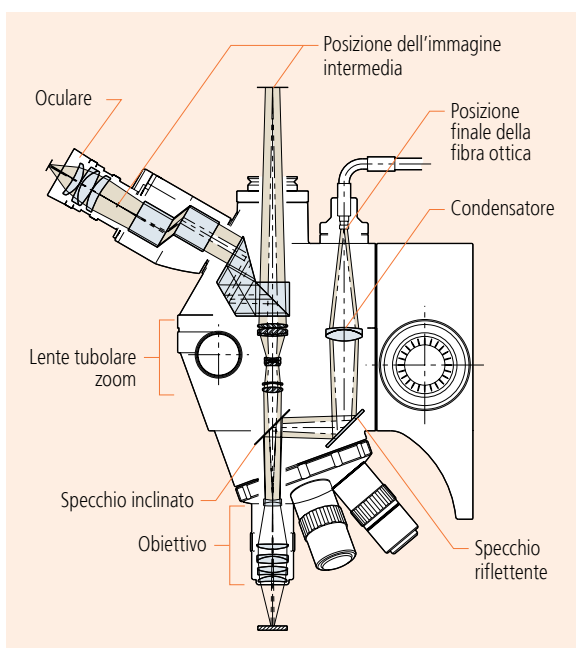


Posizione dell'immagine/ Posizione dell'immagine intermedia

PAG
16



La posizione dell'immagine indica in quale punto lungo l'asse ottico del sistema l'immagine del soggetto apparirà completamente a fuoco. I sistemi ottici complessi, come i microscopi, non hanno una sola posizione dell'immagine, ma diverse posizioni. L'immagine generata è ricatturata da un ulteriore componente del sistema e riprodotta nuovamente in un'altra posizione. Poiché non è presente alcuno schermo o sistema di visualizzazione comparabile nella posizione della prima immagine, quest'ultima potrebbe essere generata in questa posizione, ma non sarà possibile vederla. È per questo motivo che viene chiamata immagine intermedia, e che la sua posizione è definita posizione dell'immagine intermedia. La correzione oculare di un microscopio, per esempio, agisce come una lente di ingrandimento, ingrandendo ulteriormente l'immagine intermedia generata dall'obiettivo. Se su un microscopio viene posizionata una fotocamera, occorre assicurarsi che l'elemento che acquisisce l'immagine, un chip digitale o una pellicola sensibile alla luce, sia posizionato esattamente su delle posizioni dell'immagine. Questo è il motivo per cui i microscopi con uscita della fotocamera hanno un'interfaccia standardizzata che definisce con precisione la distanza dall'interfaccia al piano immagine successivo (interfaccia c-mount).



Misura dell' immagine



PAG
17

Secondo la sua definizione, l'elaborazione delle immagini è la "generazione di immagini digitali per la successiva elaborazione e valutazione". Non sono definiti né i mezzi utilizzati per generare l'immagine digitale né il criterio adottato per le successive elaborazione e valutazione della stessa.

Le applicazioni di elaborazione delle immagini più frequenti si trovano nel miglioramento dell'immagine grafica, ad esempio, in fotografia. Un'applicazione tipica in questo senso è l'eliminazione degli "occhi rossi" provocati dal flash.

Esistono, tuttavia, numerosi altri campi di applicazione. Uno di questi è l'uso dell'elaborazione dell'immagine nella misura della lunghezza. In questo caso si utilizzano le informazioni relative alla luminosità dell'immagine, ad esempio, per consentire il rilevamento automatico dei bordi dell'immagine. Le posizioni dei pixel dei bordi sono successivamente tradotte in coordinate e lunghezze e compensate rispetto alle coordinate della macchina.



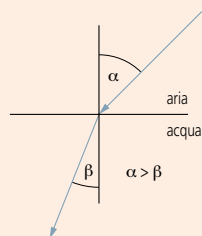
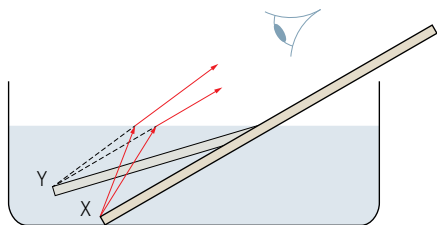
Rifrazione

PAG
18



L'angolo di un raggio luminoso varia leggermente nel punto in cui la luce passa da un mezzo permeabile alla luce ad un altro, come nel caso della superficie dell'acqua o della superficie di una lente di vetro. Questo processo è uno dei più antichi fenomeni ottici noti all'uomo, ed è definito rifrazione (della luce).

Esso è provocato dalle diverse velocità alle quali un raggio luminoso può muoversi in materiali diversi. Se si prendono due punti in mezzi diversi e si esamina il percorso effettuato dalla luce da un punto all'altro, questo percorso può non essere quello geometricamente più breve, data la curva, ma è il più breve, cioè, il percorso più veloce in termini di tempo, date le diverse velocità di mitigazione.

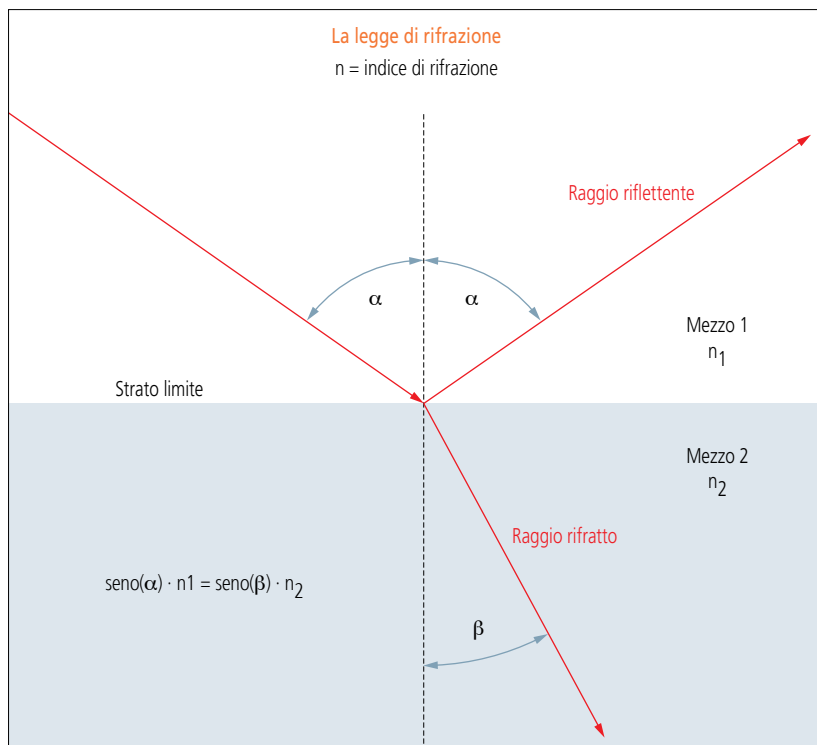


Legge di rifrazione

Un raggio luminoso si rifrange appena passa da un materiale permeabile alla luce ad un altro, ossia l'angolo del raggio varia leggermente rispetto alla superficie di transizione del materiale. La direzione e la grandezza di questa variazione dell'angolo dipendono dagli indici di rifrazione dei due materiali coinvolti. Si applica la formula seguente:

$$\text{seno}(\alpha) \cdot n_1 = \text{seno}(\beta) \cdot n_2$$

dove α = Angolo del raggio incidente
 β = Angolo del raggio rifratto
 n_1, n_2 = Indici di rifrazione dei due materiali



Indice di rifrazione

L'indice di rifrazione è una costante relativa ai materiali L'indice di rifrazione è una costante dei materiali relativa ai materiali *otticamente attivi*, cioè permeabili alla luce. Essa viene calcolata sulla base del rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e la velocità della luce all'interno del materiale rilevante. Maggiore è l'indice di rifrazione, più lentamente la luce si muove nel mezzo.

Tenuto conto del principio di mitigazione della luce più veloce, la *rifrazione* si accentua all'aumentare della differenza tra gli indici di rifrazione dei due materiali attraverso cui passa la luce. Poiché il vuoto serve come mezzo di riferimento, assume un valore esatto pari a 1. Altri indici classici di rifrazione includono:

Materiale	Indice
Vuoto	1,000000 (Riferimento)
Alcol	1,329
Selenio amorfo	2,92
Acetone	1,36
Ossido di cromo	2,705
Diamante*	2,417
Ghiaccio	1,309
Etanolo (alcol denaturato)	1,36
Fluorite	1,434
Anidride carbonica liquida	1,2
Vetro	1,5
Metil ioduro	3,34
Calcite 1	1,66
Calcite 2	1,486
Cristallo	2
Vetro crown	1,52
Ossido di rame	2,705
Lapislazzuli	1,61
Aria (in prossimità del suolo)	1,00029

Materiale	Indice
Cloruro di sodio (sale comune) 1	1,544
Cloruro di sodio (sale comune) 2	1,644
Polistirene (polistirolo)	1,55
Quarzo 1	1,644
Quarzo 2	1,553
Vetro al quarzo	1,46
Rubino	1,77
Zaffiro	1,77
Disolfuro di carbonio	1,63
Vetro Flint pesante	1,65
Vetro Flint più pesante	1,89
Vetro Flint leggero	1,575
Smeraldo	1,57
Topazio	1,61
Acqua (20°C)	1,333
Vetro crown zincato	1,517
Soluzione di zucchero (30%)	1,38
Soluzione di zucchero (80%)	1,49

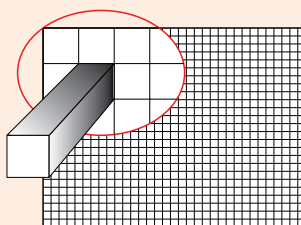
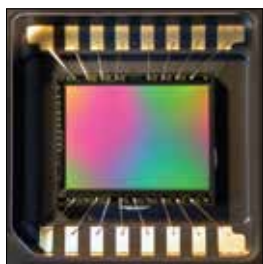
* I diamanti hanno il più alto indice di rifrazione di tutti i materiali naturali.

CCD (dispositivo ad accoppiamento di carica)

Dispositivo di accoppiamento di carica è il termine usato per descrivere un chip di silicio con un modello di griglia con piccoli diodi fotosensibili (fotodiodi).

Ogni fotodiodo raccoglie informazioni relative alla quantità di luce che tocca una parte specifica del chip del CCD durante il periodo di esposizione. Queste informazioni sulla luminosità vengono poi selezionate in modo sequenziale e convertite in informazioni digitali. La forma più semplice di conversione è la classificazione della luminanza in 256 classi di uguali dimensioni. Ogni luminanza raccolta da ogni singolo pixel può quindi essere assegnata a una classe compresa tra 0 e 255. Maggiore è la quantità di luce raccolta, maggiore è il numero di classificazione. Se 0 è considerato come il nero assoluto e 255 come il bianco assoluto, a una specifica tonalità di grigio può essere assegnata una classe compresa tra 0 e 255.

Se i pixel vengono visualizzati sullo schermo utilizzando lo stesso modello di griglia del chip con le sue corrispondenti sfumature di grigio, emerge un'immagine digitale in bianco/nero.



Ogni pixel viene visualizzato come uno dei 256 livelli tra il bianco e il nero. Ciò permette di mostrare immagini ad alta fedeltà.

Aberrazione cromatica

PAG
22

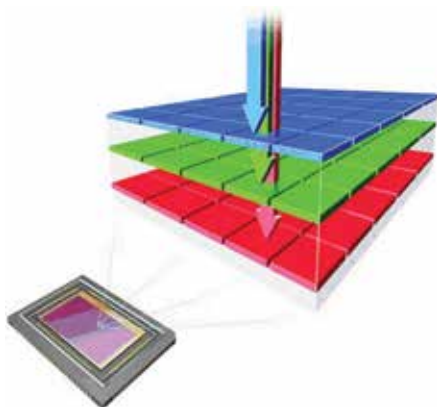


Le aberrazioni cromatiche sono errori di imaging causati dalle diverse modalità di Le aberrazioni cromatiche sono errori di imaging causati dalle diverse forze di *rifrazione* delle *lunghezze d'onda della luce*. La rifrazione dei raggi luminosi a onde corte è più pronunciata rispetto a quella dei raggi a onde lunghe. Poiché le singole lunghezze d'onda si manifestano come colori diversi, si potrebbe anche affermare che i colori mostrano livelli diversi di rifrazione. Ecco perché le aberrazioni causate da questo fenomeno sono chiamate cromatiche (cromatico = relativo al colore [greco]). Viene fatta una distinzione tra due aberrazioni cromatiche: l'*aberrazione cromatica assiale* e l'*errore di ingrandimento colore*.

CMOS (Semiconduttore complementare a ossidi metallici)

I chip del CMOS sono chip fotografici digitali con un modello di griglia con piccoli fotodiodi sensibili alla luce. Durante l'esposizione, questi pixel raccolgono informazioni relative alla quantità di luce che tocca un punto specifico sul chip e convertono queste informazioni direttamente in un segnale di tensione elettronico. Oltre ai sensori sensibili alla luce, il chip ospita anche conduttori e controllori che possono essere usati per leggere la luminosità di ogni pixel in qualsiasi momento.

I chip speciali del CMOS offrono anche informazioni sul colore sovrapponendo tre fotodiodi uno sotto l'altro per ciascun pixel. Poiché la luce rossa a onde lunghe penetra considerevolmente più in profondità in un cristallo di silicio rispetto alla luce blu a onde corte, le informazioni sul colore (blu, verde, rosso) possono essere assegnate anche a ciascun livello, oltre alle informazioni relative alla luminosità.





Nell'esaminare un soggetto attraverso un microscopio, esiste solo un punto specifico lungo l'asse ottico del sistema in cui viene generata un'immagine completamente messa a fuoco. Quando si utilizzano fotocamere, indipendentemente dal tipo, è quindi fondamentale posizionare l'elemento che genera l'immagine, sia esso un chip digitale o una pellicola fotosensibile, in questo punto esatto. Tuttavia, microscopi e fotocamere sono in genere prodotti da diverse aziende, e a oggi le fotocamere non sono di norma incorporate nei microscopi. Per questo motivo, l'interfaccia tra i due sistemi è stata standardizzata in modo da assicurare il maggior numero possibile di combinazioni di microscopi e fotocamere.

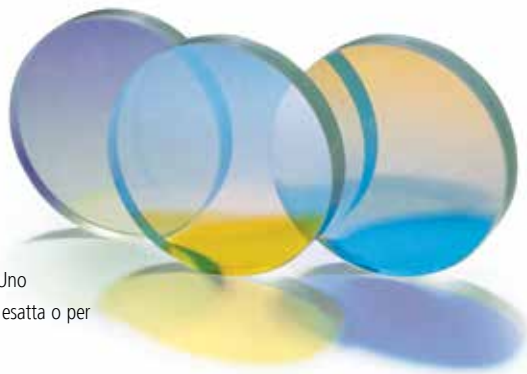
Questa interfaccia c-mount è sostanzialmente costituita da un semplice filetto da 1" per il montaggio della fotocamera sul microscopio. Il posizionamento esatto del filetto rispetto alla posizione dell'immagine è, tuttavia, definito con precisione. Quindi, se un microscopio è dotato di un'interfaccia c-mount per l'uscita della fotocamera, l'immagine viene garantita essere a fuoco precisamente 17,52 mm sopra la flangia di montaggio del filo.

Specchio di deviazione, prisma di deviazione

Questo particolare tipo di specchio o prisma ha due superfici a specchio o di confine che sono generalmente disposte ad angolo retto fra loro. Se le superfici sono disposte in modo specifico, l'immagine viene invertita senza modificare il percorso ottico. I prismi deviatori, per esempio, sono utilizzati nei proiettori di profili di alta qualità per ruotare l'immagine proiettata, presentando così un'immagine corrispondente al vero invece della solita immagine capovolta mostrata dai proiettori standard.

Specchio dicroico

Uno specchio dicroico è uno speciale Uno specchio dicroico è un tipo speciale di *specchio semitrasparente*. Esso riflette solo una lunghezza d'onda o un colore specifico pur essendo assolutamente permeabile a tutte le altre lunghezze d'onda o colori. Uno specchio dicroico può essere utilizzato per l'estrazione esatta o per combinazioni di colori specifici.



Contrasto interferenziale differenziale

Comunemente abbreviato in DIC. Questo metodo di analisi mira a rendere ben visibili anche le più piccole differenze di altezza della superficie, anche se esse sono molto più piccole rispetto alla profondità di campo dell'Comunemente abbreviato in DIC. Questo metodo di analisi mira a rendere anche le più piccole differenze di altezza della superficie ben visibili nell'immagine; anche se queste differenze di altezza sono molto più piccole rispetto alla profondità del campo dell'*obiettivo*. Ciò si ottiene mediante uno speciale tipo di illuminazione.

La luce alogena fredda viene prima *polarizzata* per creare onde sincrone. Queste sono le uniche onde che possono successivamente generare *interferenze* mediante sovrapposizione. La luce polarizzata viene poi convogliata attraverso un prisma speciale. Questo prisma DIC (noto anche come *prisma di Nomarski* o *prisma di Wollaston*) è in realtà costituito da due prismi sovrapposti. Il materiale del primo prisma separa la luce in due raggi. Questo significa che due raggi di luce rifratti leggermente sfalsati passano attraverso il prisma, invece che un solo raggio. Questi due percorsi ottici sono chiamati raggi ordinari e straordinari, dal momento che un percorso corrisponde alla legge di rifrazione, quindi è ordinario, mentre il secondo percorre un angolo leggermente diverso ed è quindi straordinario.

Il secondo prisma rompe entrambi i raggi in modo che tocchino il pezzo in punti paralleli a piccola distanza uno dall'altro. La mancata corrispondenza tra i raggi ordinari e straordinari dipende dalla quantità di tempo che i raggi impiegano per attraversare il prisma prima di essere allineati in parallelo dal secondo prisma. Più lungo è il percorso, più forte è la differenza di angolo tra i raggi e, di conseguenza, più lontano è il loro percorso parallelo successivo. Una regolazione laterale del prisma DIC può pertanto modificare la mancata corrispondenza dei raggi e quindi garantire la migliore impostazione possibile per la relativa applicazione.

Successivamente, i raggi di luce paralleli toccano il pezzo, vengono *riflessi* dalla superficie e toccano nuovamente il prisma DIC, che poi riunisce i raggi in un unico fascio. In tal modo, le onde luminose provenienti dai raggi ordinari e straordinari riflessi vengono riunite. Se l'altezza del pezzo differisce nel campo tra i due raggi di luce, uno dei raggi sarà leggermente più lungo rispetto all'altro.

Pertanto, quando le onde sono sovrapposte non sono più perfettamente sincronizzate ma, invece, leggermente sfalsate. Se queste onde sfalsate vengono aggregate, creano una nuova onda con una lunghezza d'onda diversa. E poiché una lunghezza d'onda diversa equivale automaticamente a un colore diverso nel caso della luce, un colore diverso emerge come risultato della sovrapposizione.

Così, anche le più piccole differenze di altezza sulla superficie del pezzo possono essere rese immediatamente visibili, dal momento che appaiono di un colore diverso nell'immagine. A ogni colore possono essere poi assegnate diverse altezze predefinite.

I settori medici e biologici spesso utilizzano il DIC nella *luce trasmittente*, per la quale sono richieste due prismi DIC: uno per separare e uno per ricombinare i raggi di luce. Tuttavia, per poter generare gli effetti di interferenza descritti sopra, i campioni osservati sotto la luce trasmittente devono essere molto sottili. Pertanto questo tipo di applicazione è molto raro nell'uso industriale.

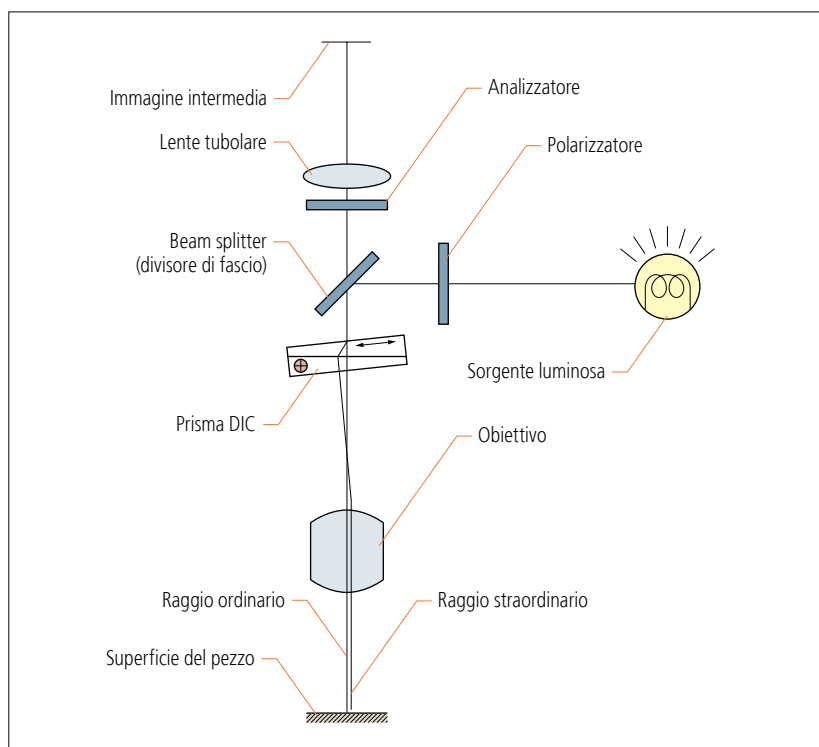


Immagine doppia



Riflessi interni *non desiderati* sui componenti ottici del microscopio possono provocare la generazione di una seconda immagine leggermente sfalsata oltre all'immagine reale. Poiché le immagini si sovrappongono tra loro, questo fenomeno è chiamato immagine doppia. Un'immagine doppia non è né fuori fuoco, né *ombreggiata*; si tratta semplicemente di un doppio.

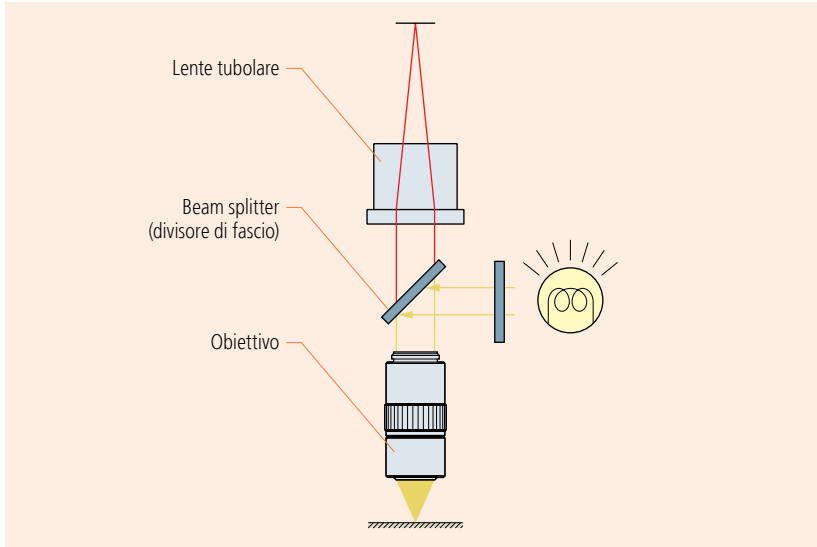
Doppia rifrazione

Quando un raggio luminoso tocca una giunzione tra un mezzo permeabile alla luce e un altro, il raggio luminoso viene rifratto, cioè, cambia direzione. Nel caso di molti cristalli, ad esempio la calcite, il raggio luminoso non viene rifratto una sola volta, ma due volte, con i singoli fasci rifratti che si muovono con leggere differenze di angolo tra loro.

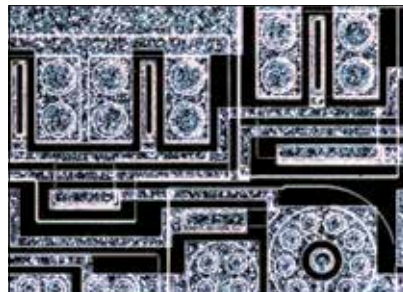
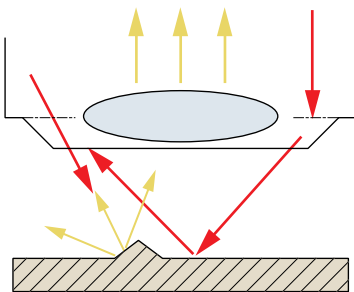


Analisi in campo scuro

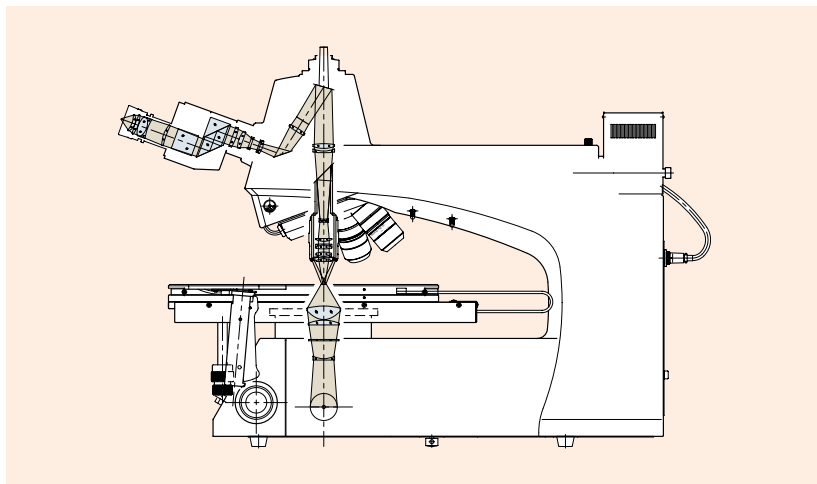
Questo metodo di analisi della luce incidente assicura che la luce non tocchi il pezzo attraverso l'*obiettivo*. Al contrario, la luce viene incanalata attraverso una lente anulare posta attorno all'obiettivo. La lente raccoglie la luce nel campo dell'obiettivo. La luce è, tuttavia, sostanzialmente *riflessa* oltre l'obiettivo dalla superficie grazie all'angolo inclinato di incidenza.



I difetti superficiali, come graffi o sporco, disperdono la luce, in modo che una parte della stessa tocchi anche l'obiettivo. Il risultato è un'immagine molto scura della superficie del pezzo, su cui i difetti vengono brillantemente illuminati e quindi sono molto facili da identificare.



Luce trasmessa



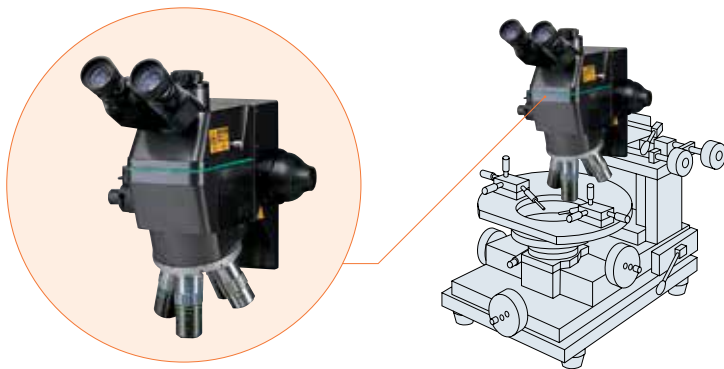
Nel caso della luce trasmessa, il pezzo o campione da esaminare viene posto tra la sorgente luminosa e l'obiettivo. Questo assicura che i bordi sui pezzi più spessi siano mostrati al contrasto ottimale, poiché la luce viene ombreggiata dal pezzo ma può entrare nell'obiettivo senza ostacoli lungo il pezzo. Questo forte contrasto può essere utilizzato per facilitare e accrescere la certezza delle misure della distanza o del diametro.

L'uso della luce trasmessa crea un pericolo di irradiazione. Se la sorgente di luce è troppo luminosa, la luce brilla oltre il bordo in quella che dovrebbe essere effettivamente l'area ombreggiata del pezzo. Di conseguenza, le transizioni che sono effettivamente a fuoco vanno fuori fuoco o, cosa ancora peggiore quando si eseguono misurazioni, il bordo si fonde nel pezzo e viene quindi misurato in modo errato. La diffrazione ha un effetto simile, ad esempio su pezzi cilindrici coricati. L'uso di un

Diaframma di apertura può, tuttavia, prevenire questo effetto o almeno ridurlo a un livello che risulti irrilevante ai fini della misura. Nel caso di campioni molto sottili, molto comuni in medicina o biologia, la luce penetra anche attraverso il campione, con maggiore facilità nei punti sottili che nelle aree più spesse. Questo, ad esempio, rende le strutture cellulari molto visibili.



Microscopio incorporato



PAG
29

I microscopi incorporati sono microscopi che vengono ridotti al sistema ottico, senza treppiede o sistemi di appoggio. Sono dotati di una sorgente luminosa al massimo, poiché la luce incidente coassiale viene trasmessa attraverso l'obiettivo sul pezzo e quindi deve essere incanalata nel sistema ottico del microscopio.



I microscopi incorporati sono incorporati in macchinari e attrezzature nei casi in cui sia richiesto un esame microscopico tra le singole fasi della produzione o se la microscopia stessa è necessaria per il processo di produzione. Questo è soprattutto il caso del settore dei semiconduttori.

Alcuni microscopi incorporati non sono dotati nemmeno di un oculare. Al suo posto è montata una fotocamera per la visualizzazione che genera immagini che possono essere valutate e analizzate in automatico con l'ausilio di un computer.

Pupilla d'entrata

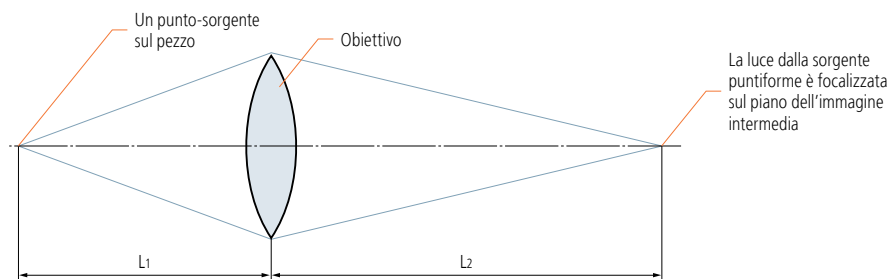
Le immagini corrette con la correzione *Diaframma di apertura* vengono acquisite più volte nel corso del percorso ottico del microscopio. Queste immagini sono chiamate pupille. Di conseguenza, l'ultima pupilla prima dell'obiettivo è definita pupilla d'entrata.

Eclissi/ombreggiatura/vignettatura

Eclissi è il termine usato in astronomia per descrivere l'occlusione di un corpo celeste da parte di un altro, ad esempio, un'eclissi di sole o di luna. Nel campo dell'ottica, il termine viene usato per descrivere un fenomeno leggermente diverso: l'oscuramento parziale ai bordi del campo. L'effetto di ombreggiatura avviene quando si verifica un'interferenza durante la trasmissione di informazioni ottiche dall'"obiettivo" e l'"oculare" o se vengono eseguiti degli esami senza utilizzare un *diaframma di campo*.



Sistema ottico a correzione finita



Nota: Ingrandimento dell'obiettivo = L_2/L_1

Sistema ottico a correzione finita è il termine usato sempre quando per generare immagini viene utilizzato un solo obiettivo o una sola lente. Nel caso dei microscopi a correzione finita, le distanze dall'obiettivo al pezzo e all'immagine intermedia sono definite con precisione. Nessuna di queste distanze può essere modificata senza regolare al contempo il fattore di ingrandimento. I sistemi a correzione finita sono particolarmente a buon mercato, poiché non contengono componenti ottici interni elaborati. D'altra parte, il loro utilizzo è molto limitato a causa delle distanze fisse. Inoltre, filtri o beam splitter aggiuntivi possono rapidamente causare *immagini doppie*.

Temperatura del colore

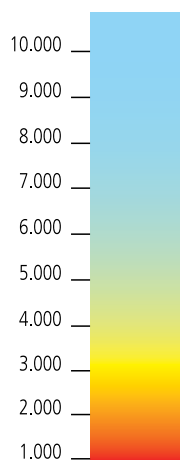


La temperatura del colore può essere usata per confrontare proporzionalmente la colorazione della luce di qualsiasi sorgente luminosa rispetto al colore della luce naturale (luce solare). L'illuminazione "colorata" agisce come un filtro di colore, provocando cambiamenti corrispondenti sull'immagine. Ad esempio, l'illuminazione giallastra non è in grado di distinguere tra blu e nero, cosa che può portare a, in particolare, spiacevoli sorprese al momento dell'acquisto di capi di abbigliamento nei negozi dotati di tale illuminazione.

La scala della temperatura di colore si basa su un soggetto assolutamente nero che viene lentamente riscaldato. Il colore cambia a seconda della temperatura. Dapprima, il soggetto appare in rosso scuro. All'aumentare della temperatura, la tonalità di rosso si schiarisce sempre di più e diventa gradualmente gialla. Questo è seguito da una luce bianca, che alla fine diventa blu a temperature ancora più elevate.

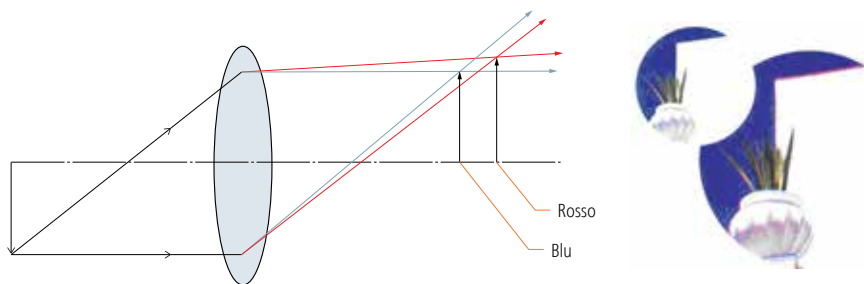
Il colore della luce naturale corrisponde a una temperatura di colore di 5500 K su questa scala, cioè, al bianco. Per contro, le lampade alogene utilizzate nei microscopi hanno di norma una temperatura di colore di circa 3200 K. Tuttavia, l'uso di filtri idonei può simulare un aumento della temperatura di colore e quindi creare un'illuminazione praticamente naturale, in particolare a scopo di documentazione.

> Scala della temperatura di colore

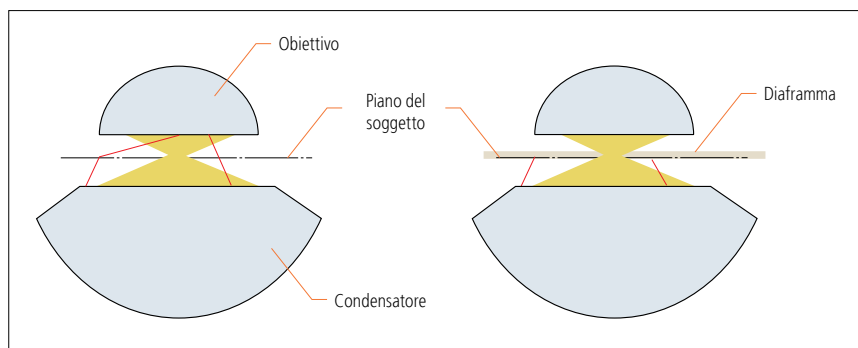


Errore di ingrandimento colore

Questo errore di imaging appartiene al gruppo delle *aberrazioni cromatiche*. I diversi gradi di rifrazione delle singole lunghezze d'onda o dei colori chiari e la conseguente differenza nei *punti di messa a fuoco* fanno sì che un soggetto sia ingrandito a livelli differenti a seconda del colore. Questo viene visualizzato mediante la frangiatura dei colori sui bordi dell'immagine.



Diaframma di campo



Nel sistema ottico del microscopio, il posizionamento del diaframma di campo, noto anche come diaframma di campo visivo, assicura che un'immagine del diaframma risieda proprio sul piano del soggetto e, come tale, sul piano dell'immagine. Ciò riduce il campo del microscopio, ritaglia i bordi ombreggiati dell'immagine e maschera la luce laterale interferente. Il risultato è un'immagine chiara del soggetto illuminata con una luminosità costante nell'intera area visibile.

A differenza del significato usuale del termine, il tremolio dell'obiettivo o della lente non descrive alcun effetto di tremolio nell'immagine, ma piuttosto la presenza di raggi luminosi indesiderati sovrapposti all'immagine. Una parte della luce è *riflessa* invece che *rifratta* su ogni lente in un sistema ottico.

Se la luce riflessa da una lente tocca una lente a monte diversa, parte di questa viene nuovamente riflessa, influenzando in tal modo la qualità dell'immagine. Tale riflessione non si verifica solo quando la luce penetra in una lente, ma anche quando ne esce, arrivando persino a provocare la *riflessione totale*. In definitiva, l'immagine risultante diventa più chiara e più opaca a causa dell'aggregato di tutti i raggi luminosi riflessi internamente.

L'effetto del tremolio può essere contrastato applicando un rivestimento antiriflesso su ogni singola lente del sistema, come avviene per le lenti degli occhiali. Il rivestimento antiriflesso è in grado di ridurre drasticamente il livello di sfarfallio, in alcuni casi fino all'80%.



Anello luminoso a fluorescenza

L'anello di luce fluorescente è un particolare tipo di luce ad anello in cui la sorgente luminosa *a forma di anello* genera una luce che corrisponde ampiamente alla luce naturale. Ciò consente la generazione e la documentazione di immagini con un'ottima fedeltà dei colori.



Analisi di fluorescenza

Una certa quantità di luce che tocca un soggetto, viene generalmente assorbita e trasformata in calore. Questo è il modo in cui gli oggetti ottengono la loro colorazione, dal momento che alcune lunghezze d'onda della luce solare bianca vengono assorbite, mentre altre vengono Generalmente, la luce viene assorbita, almeno in una proporzione minore, e tradotta in calore quando tocca un soggetto. Questo è il modo in cui gli oggetti ottengono la loro colorazione, dal momento che alcune lunghezze d'onda della luce solare bianca vengono assorbite, mentre altre vengono *riflesse*.

Tuttavia, alcuni materiali non convertono la luce assorbita in calore, ma riemettono una luce con una lunghezza d'onda più ampia. Questo processo ben noto è chiamato fluorescenza. L'analisi di fluorescenza si concentra sul comportamento fluorescente dei materiali, e viene utilizzata in medicina e biologia, per l' analisi delle cellule.

Microscopio a fluorescenza

I microscopi a fluorescenza sono progettati specificamente per le I microscopi a fluorescenza sono progettati specificamente per scopi di *Analisi di fluorescenza*. Da un lato, sono dotati di una sorgente luminosa particolarmente intensa, ad esempio una lampada allo xeno, e dall'altro sono provvisti di filtri e *specchi dicroici* per filtrare esattamente quelle lunghezze d'onda che sono emesse dalla sorgente luminosa fuori dall'immagine. Solo le onde con lunghezze superiori emesse dal materiale fluorescente sono in grado di penetrare i filtri e generare l'immagine di fluorescenza.

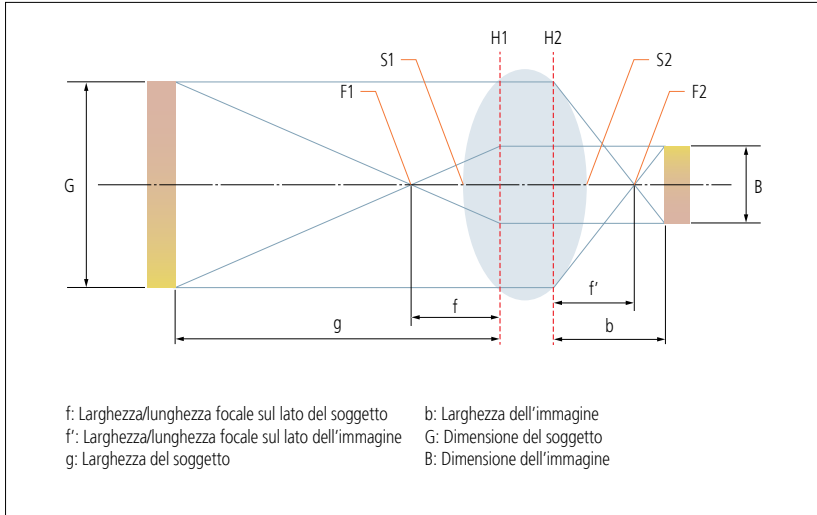
Messa a fuoco, punto di messa a fuoco/punto focale

In genere, un oggetto viene considerato a fuoco quando la nitidezza dell'immagine generata dal microscopio è ottimale, o a fuoco.

Esiste, tuttavia, un secondo significato del termine. Punto di messa a fuoco, punto focale o, persino, messa a fuoco, indicano il punto in cui i raggi luminosi paralleli sono raccolti in un fascio dalla lente. Se l'obiettivo della lente è quello di mostrare il soggetto, il punto di messa a fuoco deve essere situato tra il soggetto e la lente .

Larghezza focale/lunghezza focale

In parole povere, la larghezza o la lunghezza focale è la distanza tra la lente e il *punto di messa a fuoco*. In termini assolutamente corretti, tuttavia, è la distanza tra il *piano principale* rilevante della lente e il punto di messa a fuoco.



Microscopio stereoscopico galileiano/ stereomicroscopio parallelo

Nel caso del *microscopio stereoscopico* i percorsi luminosi per entrambi gli occhi sono separati, ma comunque sostanzialmente paralleli. Viene usato un solo *obiettivo*; i percorsi luminosi sono emessi dalle aree laterali dell'obiettivo. La luce emessa dal soggetto che passa attraverso queste aree periferiche ha un angolo di circa 5-7°. Quando i due percorsi luminosi sono emessi dai due lati dell'obiettivo, questi hanno un angolo visivo ideale di circa 10-14° per la visione tridimensionale. I due percorsi luminosi continuano, tuttavia, in parallelo tra l'obiettivo e l'*oculare*, e non agli angoli, ciò permette di usare uno *specchio semitrasparente*, ad esempio, per ottenere un'uscita aggiuntiva per la fotocamera. Per soddisfare le circostanze rilevanti è possibile modificare senza complicazioni la lunghezza tra l'obiettivo e l'*oculare*.

Lo svantaggio di questo processo è l'obiettivo relativamente costoso. Al fine di garantire la migliore qualità possibile dell'immagine, la qualità dell'obiettivo, e in particolare delle sue aree periferiche, deve essere la migliore possibile, poiché i percorsi luminosi sono emessi partendo da lì per arrivare all'*oculare*.

Immagine multipla (fantasma)

Un'immagine fantasma emerge quando una seconda immagine non corretta del pezzo viene generata in una posizione diversa dalla posizione dell'immagine (cioè a monte o a valle) che poi si sovrappone all'immagine reale come un'ombra.

Ingrandimento totale

Un microscopio è composto da diversi sottosistemi ottici, ognuno dei quali ha il proprio ingrandimento o la propria scala di riproduzione.

Se un sistema ottico genera un'*immagine virtuale*, come è il caso, ad esempio, degli oculari, l'immagine viene detta essere ingrandita. Per contro, sistemi come gli *obiettivi* o *lenti tubolari* generano un'immagine reale (come immagine intermedia). In questo caso, questa è nota come una scala di riproduzione misurabile.

La combinazione di tutti i sistemi ottici produce una moltiplicazione dei singoli ingrandimenti e delle singole scale di riproduzione per formare il cosiddetto ingrandimento totale del microscopio. L'ingrandimento totale di un microscopio corrisponde a 100x, ad esempio, se la scala di riproduzione dell'obiettivo è 10x e l'ingrandimento dell'oculare è anch'esso 10x.

Lo stesso ingrandimento totale può essere ottenuto utilizzando un obiettivo 5x e un oculare 20x. Questa soluzione è molto più economica ma la qualità dell'immagine è sostanzialmente più scarsa, poiché l'obiettivo da solo determina il *potere risolutivo* e gli obiettivi con una scala di riproduzione superiore generalmente hanno anche una maggiore *apertura numerica*.

Microscopio stereoscopico di Greenough

Nel caso dei *microscopi stereoscopici* di Greenough, i percorsi luminosi per ciascun occhio sono completamente separati fra loro lungo l'intero percorso a un angolo di 10-14°. Si tratta di un modello molto economico anche se con forti limitazioni causate dalla crescente divergenza dei percorsi luminosi e dall'uso di un *Sistema ottico a correzione finita*. È molto difficile, se non impossibile, integrare apparecchiature aggiuntive, quali un'ulteriore uscita della fotocamera in un sistema di questo tipo.

Filtro di interferenza verde (GIF)

I filtri interferenziali sono permeabili ai raggi luminosi solo in un intervallo ristretto e relativamente ben definito delle *lunghezze d'onda*; pertanto, le lunghezze d'onda maggiori o minori vengono eliminate dagli *effetti di interferenza*.

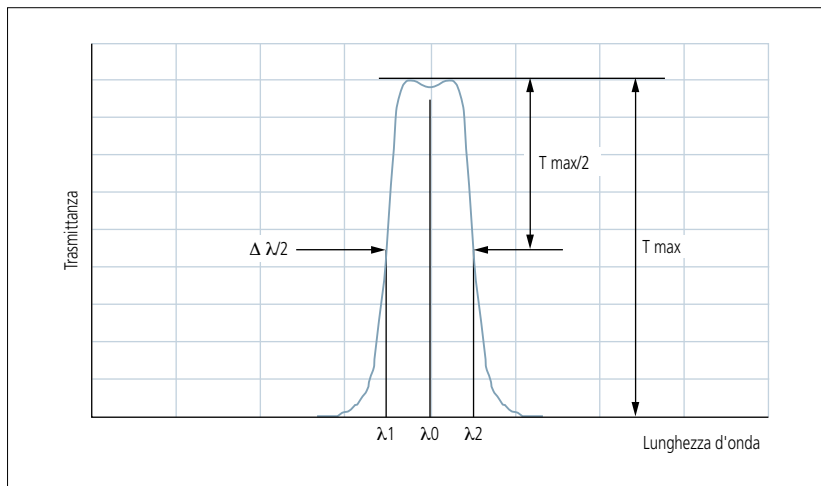
Tale filtro è costituito da più strati di pellicola sottile montati su un substrato. I raggi luminosi parziali riflessi e trasmessi sugli strati di confine tra i singoli strati si sovrappongono e interferiscono con, ad esempio, l'aggregato delle onde. La scelta dello spessore dei singoli strati è progettata per garantire che le onde di una determinata lunghezza si riuniscano sullo zero, ossia, vengano eliminate.

I vantaggi dei filtri interferenziali rispetto ai filtri di assorbimento, che assorbono tutte le lunghezze d'onda indesiderate, sono i confini ben definiti tra le lunghezze d'onda trasmesse e filtrate, insieme al basso livello di generazione di calore.

Poiché i filtri di assorbimento convertono l'energia luminosa assorbita in calore, si riscaldano rapidamente e possono essere utilizzati solo a intensità luminose relativamente basse.

I filtri interferenziali possono essere utilizzati per l'illuminazione potente e, a seconda dell'applicazione, possono anche rafforzare il contrasto e il *potere risolutivo* del sistema ottico.

I filtri interferenziali verdi sono permeabili esclusivamente alla luce verde. La lunghezza d'onda centrale è di 570 nm, con una semilarghezza di 70 nm, il che significa che la maggior parte dei raggi luminosi con una lunghezza d'onda di 570 nm viene trasmessa, mentre le lunghezze d'onda di soli 35 nm sopra o sotto il valore centrale sono trasmesse solo a metà forza.



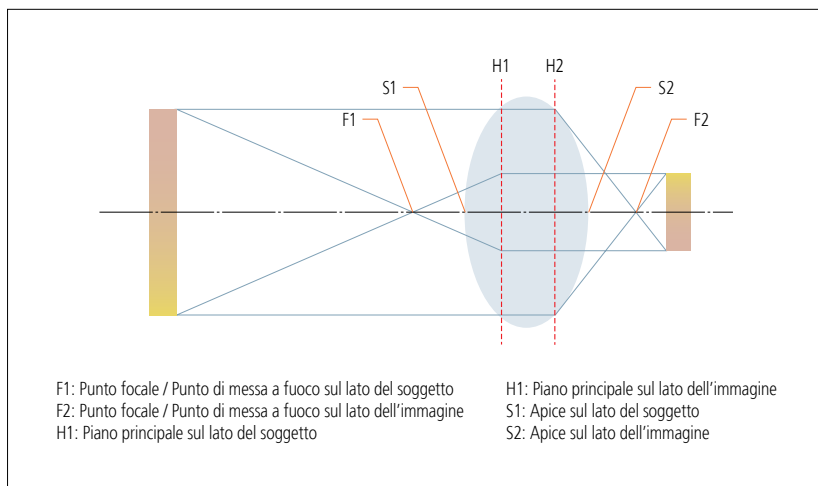
Mezzo specchio/specchio semi-permeabile/beam splitter

Uno specchio semi-permeabile è costituito da una lastra di vetro su un lato della quale viene applicato un rivestimento sottile, solitamente metallico. Ciò assicura che quando la luce tocca lo specchio sia parzialmente *riflessa*, ma anche parzialmente trasmessa.

Sebbene il mezzo specchio o lo specchio semi-permeabile siano diventati termini comunemente accettati, non sono necessariamente del tutto corretti. Il tipo di rivestimento determina se viene riflessa o trasmessa più o meno luce; il rapporto non è sempre 50:50. Come tale, beam splitter (divisore di fascio) è un termine migliore per descrivere questi componenti ottici.



Punto principale/piano principale

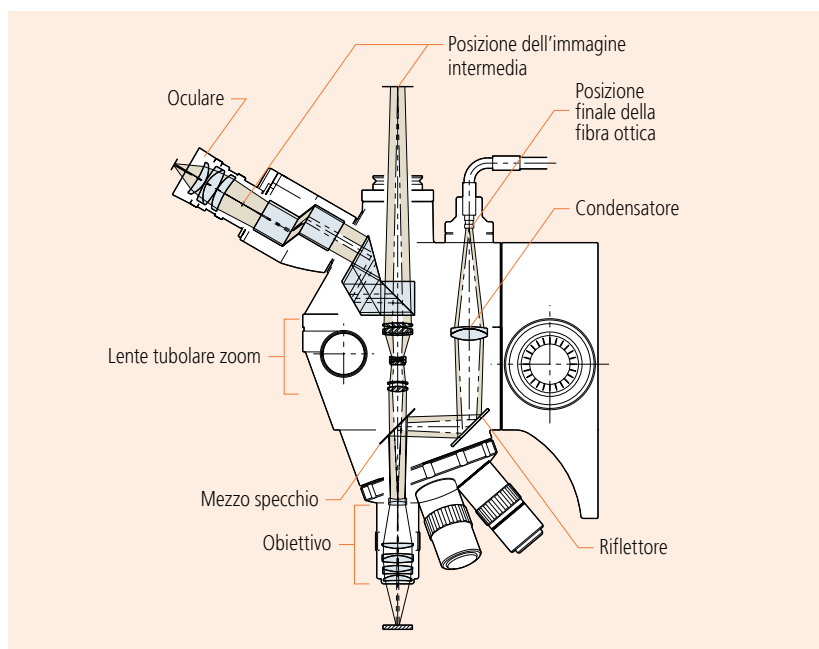


Un raggio luminoso che passa attraverso il *punto focale comune* di una lente sferica viene rifratto due volte dalla lente, nel momento in cui entra e nel momento in cui esce. Successivamente, corre parallelo all'asse ottico. Se i raggi che entrano ed escono sono estesi fino a un punto in cui si intersecano (nella lente), e se la stessa procedura viene applicata a tutti i raggi che passano attraverso il punto focale della lente, le intersezioni producono un

piano, il cosiddetto piano principale. Il punto di intersezione tra il piano principale e l'asse ottico è definito punto principale e determina la posizione del piano principale.

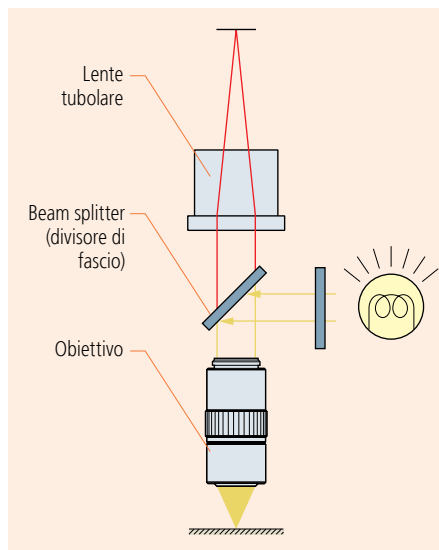
Anche i raggi luminosi che corrono parallelamente all'asse ottico vengono rifratti due volte dalla stessa lente, e si fondono in un punto focale posto dietro l'obiettivo. Se, in questo caso, i raggi che entrano ed escono vengono estesi, i loro punti di intersezione formano anch'essi un piano. Tuttavia, nel caso di lenti più spesse, ciò non avviene in modo identico al piano principale descritto sopra. In questi casi, viene fatta una distinzione tra il piano principale sul lato del soggetto e il piano principale sul lato dell'immagine, a seconda di quale piano è più vicino al soggetto o più vicino all'immagine dello stesso.

Raggio principale

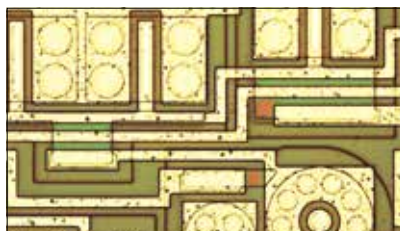


Raggio principale è il termine utilizzato per descrivere il fascio di luce che passa esattamente attraverso il centro della *Pupilla d'entrata* di un sistema ottico. Definisce, quindi, in maniera generale il raggio luminoso che si trova direttamente sull'asse ottico e, pertanto, riflette il percorso luminoso principale all'interno del sistema ottico.

Analisi in campo chiaro



Questo tipo di analisi interessa la luce che illumina l'area visibile del pezzo per assicurarsi che sia ben illuminato e che *rifletta* la luce all'*obiettivo* al fine di generare l'immagine. In quanto tale, l'analisi in campo chiaro è l'approccio classico che utilizza la luce incidente, per cui è irrilevante se la luce viene prima incanalata *in modo coassiale* attraverso l'obiettivo o emessa da una *luce ad anello* posizionata intorno all'obiettivo.



Microscopio a infrarossi

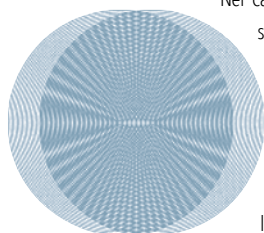
I microscopi a raggi infrarossi consentono di esaminare i pezzi utilizzando la luce nell'*intervallo delle lunghezze d'onda a infrarossi*. A tal fine, sono dotati di una sorgente di luce infrarossa e di una fotocamera speciale che contribuisce a rendere visibile la luce infrarossa.

Gli esami che utilizzano la luce a infrarossi sono particolarmente comuni nel settore dei semiconduttori. Tuttavia, occorre notare che il semplice montaggio di una sorgente luminosa a infrarossi e di una fotocamera a infrarossi su un microscopio classico non è solitamente sufficiente a consentire questo tipo di esame. I microscopi, e soprattutto, gli *obiettivi*, che non sono stati progettati per questa applicazione, sono permeabili alle lunghezze d'onda infrarosse solo in misura molto limitata e perderebbero pertanto una porzione enorme delle loro capacità prestazionali. Inoltre, la luce infrarossa può causare gravi danni se tocca l'occhio attraverso l'oculare senza protezione. Al contrario, i microscopi a raggi infrarossi consentono il passaggio della luce infrarossa solo quando il percorso luminoso verso l'*oculare* è completamente chiuso da un otturatore, ossia da un meccanismo di chiusura.

Gli obiettivi a infrarossi speciali compensano l'*Aberrazione cromatica* anche nello spettro di lunghezze d'onda a infrarossi, cioè, il pezzo può essere messo a fuoco in modo ottimale utilizzando la *luce visibile* prima di essere esaminato con la luce infrarossa, senza bisogno di rieffettuare la messa a fuoco.



Quando le onde si sovrappongono, si influenzano a vicenda nella misura in cui le loro ampiezze sono aggregate.



Nel caso di due onde sincrone, ciò significa che l'ampiezza raddoppia, mentre se un'onda è compensata da una mezza lunghezza d'onda, le ampiezze si aggregano a zero in ogni punto, cioè le onde vengono eliminate. Questa influenza reciproca è nota come interferenza. Poiché i raggi luminosi sono onde elettromagnetiche, tali interferenze si verificano anche in ottica. Tuttavia, le onde luminose interferiscono solo quando oscillano nella stessa direzione. Ciò può essere ottenuto, per esempio, mediante la *polarizzazione*.

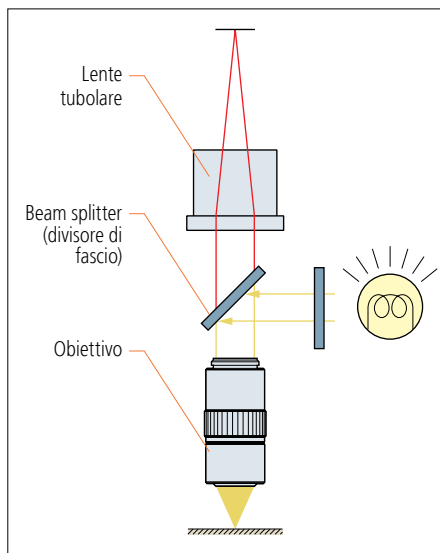
Microscopio invertito

Dal momento che invertire significa grosso modo capovolgere, un microscopio invertito non è altro che un microscopio capovolto. Sostanzialmente, ciò significa che il tavolo che sostiene il soggetto si trova sopra l'ottica del microscopio, ossia che il soggetto viene esaminato dal basso con il microscopio.

Uno dei principali vantaggi di questo modello rispetto ai microscopi convenzionali è evidente: il microscopio può essere utilizzato anche per esaminare pezzi che, a causa della loro altezza, non possono essere inseriti tra il tavolo e il microscopio stesso.

Un vantaggio di gran lunga superiore, tuttavia, è il fatto che questo modello assicura che i pezzi siano sempre esattamente a fuoco quando sono posti sul tavolo. Il piano del soggetto è sempre identico al piano del tavolo, eliminando così la necessità di perdere tempo con ulteriori messe a fuoco.

Luce incidente coassiale



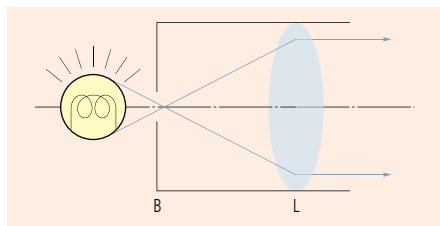
Nel caso della luce incidente coassiale, la luce diffusa viene prima raccolta in un fascio e convogliata tramite un *Beam splitter (divisore di fascio)* nel percorso luminoso del microscopio in modo tale che il centro del fascio di luce corra lungo l'asse ottico del microscopio, cioè, entrambi i percorsi luminosi si muovono coassialmente.

Il condensatore ottico utilizzato per raccogliere in un fascio il raggio luminoso genera un'immagine ingrandita della sorgente luminosa, rispettivamente, il *Diaframma di apertura* esattamente sulla *Pupilla di uscita* dell'obiettivo. Questo assicura che la luce emessa dall'obiettivo illumini in modo uniforme l'intera area visibile.

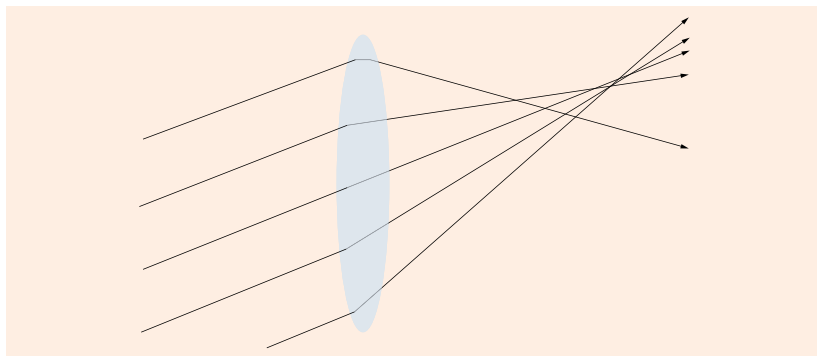
Illuminazione di Koehler

Lo speciale design dell'illuminazione ottimizzata per microscopio sviluppata da August Köhler (1866-1948) garantisce un'illuminazione uniforme dell'immagine attraverso l'intera *area visibile* con forti contrasti e un elevato *potere risolutivo*. Ciò si ottiene per mezzo di uno percorso luminoso che dalla, dalla sorgente luminosa passa attraverso una lente collettore, poi attraverso due diaframmi, il *campo* e l'*diaframmi di apertura*, e infine, attraverso una lente condensatrice, prima di illuminare il pezzo.

Collimatore (lente)

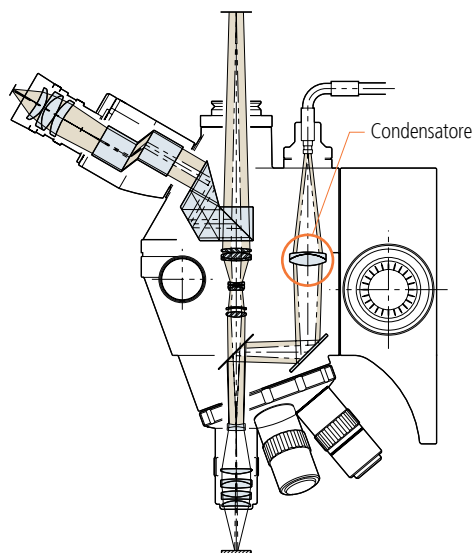


Un collimatore è un componente ottico per la generazione di luce parallela. Il tipo più semplice di collimatore consiste di un diaframma forato nel *punto focale comune* di una lente o di un sistema di lenti.



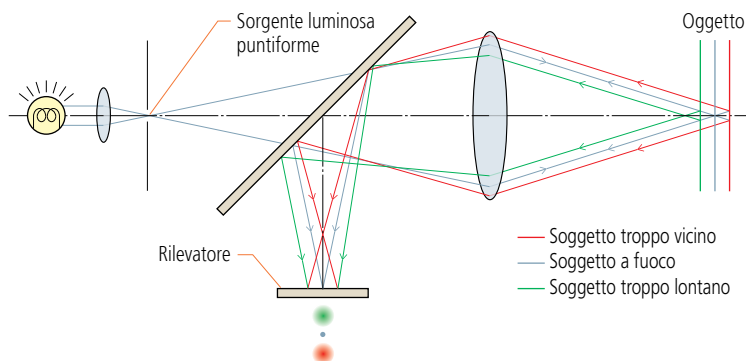
Coma è il termine usato per descrivere un'aberrazione geometrica ed è una delle 5 aberrazioni di Seidel. Esso si verifica quando viene acquisito un punto relativamente ampio dell'asse ottico. A causa del ripido angolo di incidenza, la luce emessa da questo punto non viene raccolta nuovamente in un fascio in un punto sulla lente. Invece, le varie aree ad anello della lente producono immagini diverse del punto. Più la luce tocca la parte esterna della lente, dove è più fortemente curvata, più grande diventa l'immagine del punto e più l'immagine si trova vicina all'asse ottico. Nel complesso, questa aberrazione fa sì che il punto sia visualizzato con una coda di luce che diventa sempre più debole e ampia. Questo è il motivo per cui il termine "coma" è usato per questo aberrazione poiché la parola latina coma significa cometa.

Condensatore (lente)



Un condensatore è un sistema ottico usato per ottimizzare l'illuminazione di un microscopio. Esso garantisce che, idealmente, tutta la luce dal pezzo tocchi l'obiettivo, producendo così un'immagine luminosa. Un condensatore aumenta anche il potere risolutivo ottico di un microscopio garantendo che l'apertura del Diaframma di apertura, responsabile del potere risolutivo, sia illuminata completamente e uniformemente.

Sistema confocale/microscopio confocale



I sistemi ottici confocali sono utilizzati quando l'immagine deve avere una risoluzione estremamente buona in direzione focale, ossia, quando sono richieste chiare informazioni relative all'altezza del pezzo, invece della normale immagine microscopica.

Il principio confocale comporta l'emissione della luce da una sorgente luminosa puntiforme proveniente, da dietro, sull'*obiettivo*, che a sua volta riflette la stessa, di nuovo, come un punto, sulla superficie sottoposta ad analisi. Poiché questo percorso luminoso può essere invertito, ciò significa a sua volta che tutta la luce emessa o riflessa da questo punto sulla superficie viene acquisita nuovamente in modo preciso dall'*obiettivo* sulla sorgente luminosa. Un *Beam splitter* (*divisore di fascio*) può essere utilizzato per deviare il percorso luminoso riflesso e dirigerlo su un piccolissimo diaframma forato il cui posizionamento corrisponde esattamente a quello della sorgente luminosa.

Il punto luminoso viene riflesso esattamente al centro del diaframma perforato, cioè, la luce passa attraverso il diaframma solo quando il pezzo è esattamente a fuoco, ovvero quando la sorgente luminosa viene riflessa in modo preciso su e dalla superficie. Se il pezzo è fuori fuoco o se altri punti oltre il punto specifico della superficie emettono luce di dispersione, questa luce viene mascherata quasi completamente dal diaframma perforato. Quindi, se un sensore sensibile alla luce, ad esempio un fotodiodo, è montato dietro il diaframma perforato, la deflessione netta della luce è possibile solo se la superficie è messa a fuoco in modo ottimale. Ciò genera informazioni molto precise relative all'altezza di un punto della superficie nel punto in cui l'asse ottico del sistema confocale penetra la superficie.

I microscopi confocali devono essere dotati di scale ad alta risoluzione su tutti e tre gli assi per generare un'immagine della superficie, poiché, inizialmente, il sistema confocale fornisce unicamente informazioni relative alla posizione di messa a fuoco in un punto. Per mezzo di una griglia, cioè catturando numerose letture dell'altezza in una griglia fitta di numerosi punti adiacenti, con l'aiuto di un computer è possibile generare l'immagine tridimensionale della superficie del pezzo.



Il termine laser è in realtà un acronimo, e sta per amplificazione di luce mediante emissione stimolata di radiazione. Oggi, tuttavia, il termine è usato anche per descrivere le sorgenti o le apparecchiature luminose reali utilizzate per generare un fascio di luce laser. Un laser genera un fascio di raggi parallelo, monocromatico (di un solo colore) e coerente (unidirezionale) con un diametro generalmente molto piccolo.

I laser sono classificati dai materiali utilizzati per generare la luce. A seconda delle proprietà di questi materiali, viene fatta una distinzione tra laser a stato solido, laser liquidi, laser a gas o laser a semiconduttore (diodi laser). Inoltre, viene fatta una distinzione tra laser a impulso, che emettono luce in impulsi brevi o lampi, e laser ad onda continua, che, al contrario, generano un fascio laser costante nel tempo.

I tipi più noti di laser sono il laser a rubino, il laser YAG (granato di alluminio di ittrio) e il laser HeNe (elio neon).

Filtro LB

PAG
46

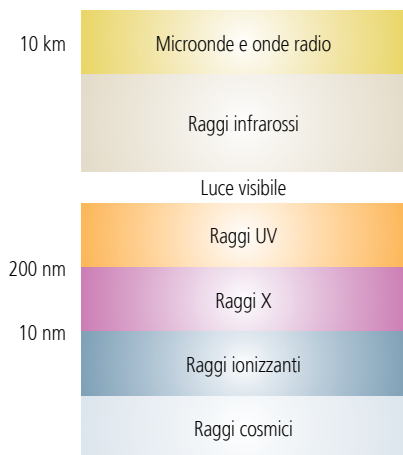


I filtri di bilanciamento della luce sono utilizzati per simulare l'illuminazione della luce naturale su un microscopio e per eliminare in gran parte gli errori di colore sull'immagine. Le sorgenti luminose alogene utilizzate sui microscopi hanno una *Temperatura di colore* più bassa rispetto alla luce naturale, cioè, la luce è più gialla o rossastra, a seconda della misura in cui la sorgente luminosa è oscurata per ottenere l'intensità luminosa desiderata per una buona analisi. L'uso di un filtro LB per questa luce giallo-rossastra, tuttavia, filtra le onde di luce rossa a onde lunghe, generando così una luce il cui colore assomiglia in modo maggiore alla luce naturale. Ovviamente, questo comporta però una perdita maggiore di intensità luminosa.

Illuminazione a LED

I diodi ad emissione di luce possono essere utilizzati al posto della lampada alogena normalmente utilizzata per illuminare i microscopi. Questi hanno una durata di vita molto più lunga, consumano molta meno energia, quasi non sviluppano calore, sono molto compatti, ed emettono una luce chiara e brillante. La loro intensità luminosa è, tuttavia, notevolmente più debole rispetto a quella delle lampade alogene. L'illuminazione a LED è spesso insufficiente, in particolare, per le analisi a grandi ingrandimenti. I LED sono disponibili in diversi colori (bianco, rosso, verde, blu...). Come tale, il colore dell'illuminazione può essere selezionato facilmente, senza dover utilizzare speciali filtri colore.





La natura della luce è probabilmente una delle questioni più complesse affrontate dalla scienza moderna. Da un lato, la luce mostra le proprietà di un corpo o di una particella, mentre dall'altro mostra anche le proprietà di un'onda.

È molto difficile fornire spiegazioni su questo dualismo onda-particella; modelli corrispondenti sono stati disponibili solo a partire dall'inizio del secolo scorso. La luce si dissipa come un'onda elettromagnetica a enormi velocità (a 300.000 km/s nel vuoto). L'occhio umano è in grado di vedere solo le onde comprese in una *gamma di lunghezze d'onda* relativamente ridotta, compresa tra 380 e 780 nm circa.

Microscopio ottico

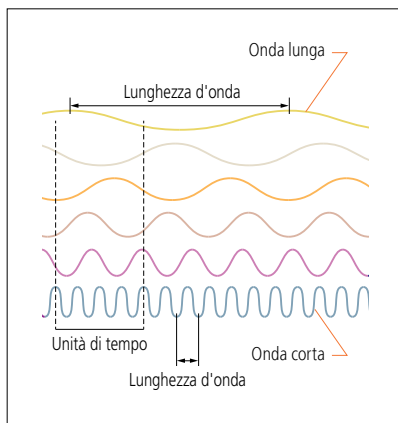
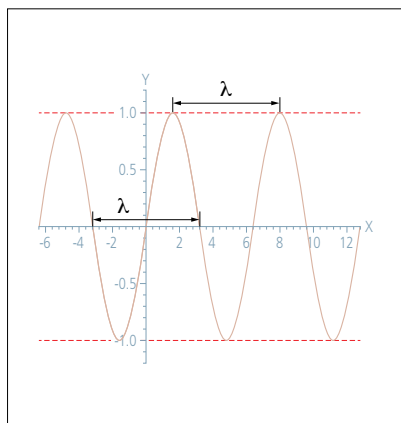
Microscopio ottico è il termine corretto per quello che viene normalmente chiamato microscopio. Un microscopio ottico utilizza la *luce visibile* per visualizzare un pezzo o un campione a un grande ingrandimento. I microscopi ottici sono sempre dotati di un *obiettivo* e di un *oculare* che vengono utilizzati per visualizzare il pezzo.

Il termine microscopio non è sufficiente come descrizione poiché esistono numerose tecnologie che possono essere utilizzate per visualizzare un soggetto con un ingrandimento, ma che non funzionano con la luce, come ad esempio, microscopi a scansione elettronica, microscopi a forza atomica, ecc.

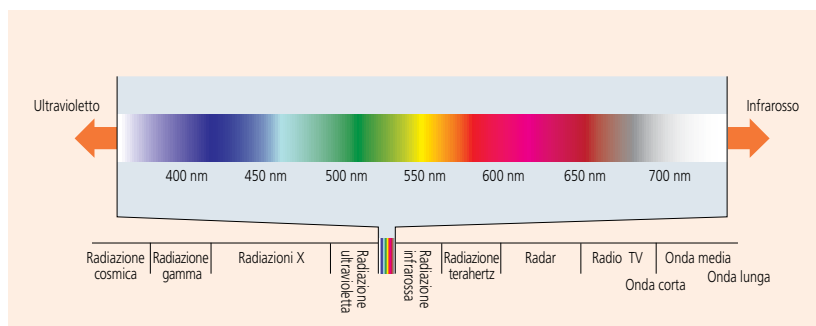


Lunghezze d'onda della luce

PAG
48



La luce si dissipa come un'onda elettromagnetica le cui oscillazioni si muovono perpendicolarmente alla direzione di dissipazione. La forma di queste oscillazioni è un seno esatto, il che rende possibile distinguere le diverse onde in base alla loro lunghezza. La lunghezza d'onda è la distanza alla quale la luce si dissipa durante un'oscillazione completa.



Microscopio di misura

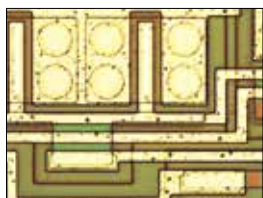
I microscopi di misura sono microscopi dotati di un tavolo di misura, vale a dire un tavolo mobile la cui posizione è catturata e nota in ogni momento con l'aiuto di due scale.

La posizione del tavolo è rappresentata sotto forma di coordinate utilizzando un display digitale. Le distanze o i diametri possono essere esaminati impostando il tavolo sullo zero o regolando la sua posizione. Anche le attività di misura più complesse possono essere eseguite con l'aiuto di unità di valutazione supplementari o di programmi informatici. Inoltre, il terzo asse può anche essere dotato di una scala di misura, consentendo così la misura delle altezze attraverso la messa a fuoco. In linea con i compiti che sono chiamati a svolgere, i microscopi di misura offrono in genere un ingrandimento relativamente piccolo rispetto ad altri microscopi.

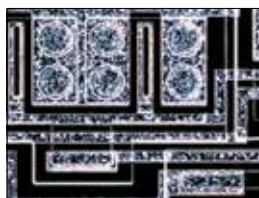


Microscopio metallurgico

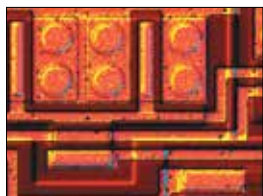
I microscopi metallurgici sono ottimizzati per analizzare le superfici di pezzi metallici, come semiconduttori in silicio. Le analisi vengono generalmente condotte facendo ricorso alla luce *incidentale*. Oltre alla tipica *Analisi in campo chiaro* i microscopi metallurgici offrono anche altre opzioni di visualizzazione, come ad esempio l'analisi *in campo scuro*, la visualizzazione con *luce polarizzata* o *analisi di interferenza differenziale*. Inoltre, i microscopi metallurgici sono generalmente in grado di lavorare con ingrandimenti molto grandi (fino a 4000x) e, di conseguenza, con un eccellente *potere risolutivo*.



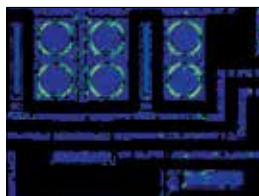
> Analisi in campo chiaro.



> Analisi in campo scuro.



> Analisi di interferenza campo chiaro.



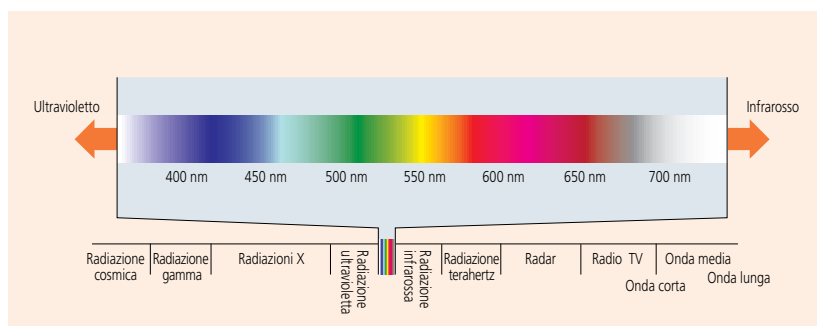
> Polarizzazione.

Radiazione del vicino infrarosso

L'occhio umano è in grado di rilevare le onde elettromagnetiche a lunghezze d'onda comprese tra 380 nm e circa 780 nm come luce in diversi colori. Le onde visibili più lunghe generano una luce rossa. Se le onde diventano ancora più lunghe, la radiazione non può più essere riconosciuta come colore, ma viene percepita come radiazione di calore dal corpo umano.

Le onde di questa radiazione infrarossa possono raggiungere lunghezze fino a circa 1 mm. La gamma compresa tra 780 nm e circa 2500 nm, ancora molto vicina alla gamma della *luce visibile*, è nota come la gamma del vicino infrarosso.

Gli obiettivi del vicino infrarosso speciali possono essere usati per trasferire le lunghezze d'onda fino a circa 1800 nm a una messa a *fuoco* corretta, ossia senza dover effettuare una nuova messa a fuoco tra la visione con luce visibile e la visione con luce del vicino infrarosso.



Radiazione del vicino ultravioletto

Le lunghezze d'onda elettromagnetiche leggermente più corte di quelle della *luce visibile* sono note come radiazione ultravioletta. La gamma della radiazione ultravioletta inizia alla lunghezza d'onda inferiore a circa 400 nm. La gamma compresa tra 290 nm e 400 nm è definita gamma del vicino ultravioletto. Gli *obiettivi* speciali con *fuoco* per la luce visibile e per la radiazione nella gamma del vicino ultravioletto sono definiti obiettivi per il vicino ultravioletto.

ND sta per densità neutra. I filtri ND riducono solo la quantità di luce che passa attraverso il filtro. La luce viene ridotta in modo uniforme, indipendentemente dalla *lunghezza d'onda* e non si verificano cambiamenti di colore. La quantità di luce può essere ridotta in modo semplice riducendo la tensione della sorgente luminosa. Ciò, tuttavia, produce anche una variazione nella *Temperatura di colore*, la luce diventa cioè considerevolmente più rossa. I filtri ND sono quindi utilizzati per sfruttare l'alta temperatura di colore, vicina alla luce naturale, senza sovraesporre con il rischio di perdere i particolari. I filtri ND offrono diversi livelli di riduzione della luce. Il livello di riduzione è indicato da un numero di indice. Un filtro ND2, per esempio, riduce la quantità di luce alla metà, mentre un filtro ND8 anche fino ad un ottavo del quantitativo iniziale.

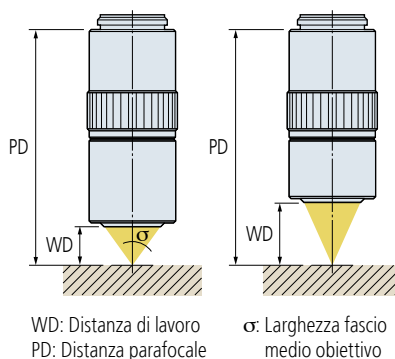
Apertura numerica

L'apertura numerica è un indicatore importante di un *obiettivo*. La figura adimensionale determina il *potere risolutivo* e l'*profondità di campo* e influenza la luminosità dell'immagine. L'apertura numerica sui normali *microscopi ottici* ha un valore compreso tra zero e uno. Questo valore può tuttavia essere più elevato, se si utilizzano obiettivi ad immersione. Un'apertura numerica maggiore genera un potere risolutivo ottico inferiore e, quindi, migliore. Anche la profondità di campo viene ridotta, producendo risultati di misura dell'altezza più accurati, in particolare, quando vengono usati microscopi di misura o strumenti di misura ottici.

Il calcolo dell'apertura numerica dipende dal mezzo tra il soggetto e l'obiettivo e dall'apertura angolare dell'obiettivo, vale a dire, il gradiente della sfera di luce che può ancora essere catturata dall'obiettivo quando viene emessa da un punto. Di seguito è fornita la formula per l'apertura numerica:

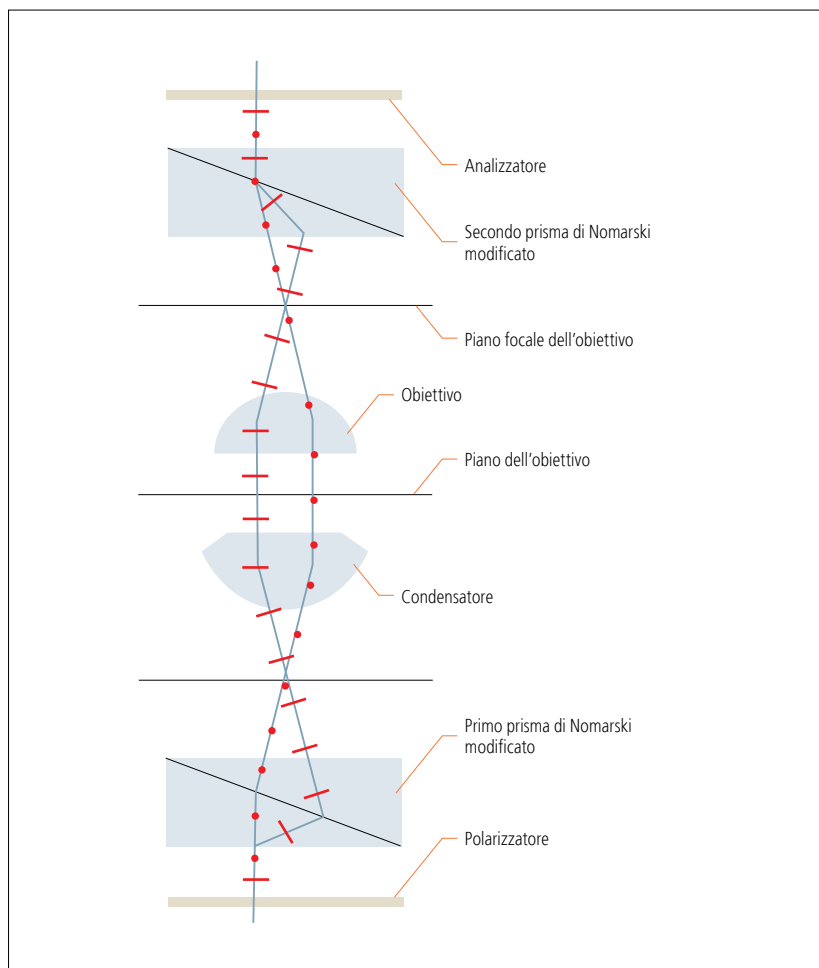
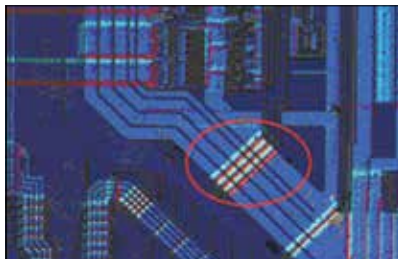
$$N.A. = n \cdot \sin \sigma$$

La lettera n sta per l'*Indice di rifrazione* del mezzo tra il soggetto e l'obiettivo. Questo valore è generalmente 1, poiché il mezzo è l'aria. Il valore è maggiore nel caso delle lenti degli obiettivi a immersione ssumenzionati poiché il soggetto e l'obiettivo sono separati da olio per immersione con una maggiore *densità ottica*.



Prisma di Nomarski

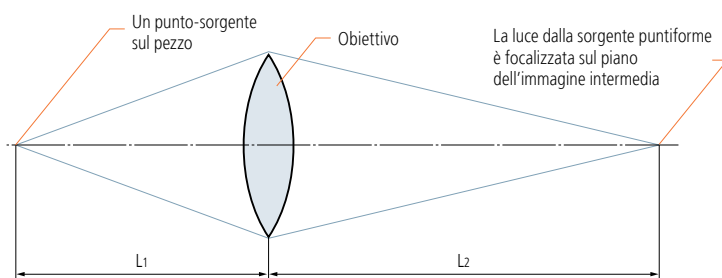
Un prisma di Nomarski è un prisma speciale necessario per l'*analisi del contrasto interferenziale differenziale*. Questo prisma è anche comunemente noto come prisma di Wollaston o prisma DIC (DIC = contrasto interferenziale differenziale).



Distanza soggetto-immagine

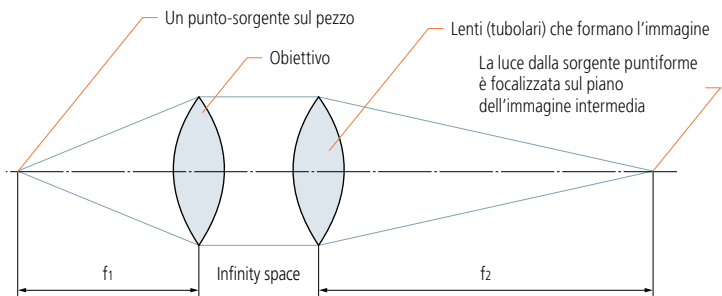
La distanza totale basata sulla superficie del pezzo *nesso a fuoco* da un lato del sistema ottico fino alla posizione dell'immagine sul lato opposto è chiamata distanza soggetto-immagine. Questa distanza non tiene conto di eventuali deviazioni del percorso luminoso, ovvero la distanza viene sempre misurata lungo l'asse ottico e non attraverso lo spazio, cosa che potrebbe essere richiesta per la progettazione definitiva. La distanza soggetto-immagine è chiaramente e inalterabilmente fissa nel caso degli *obiettivi a correzione finita*. Nel caso in cui un *Beam splitter (divisore di fascio)* venga integrato nel modello, è pertanto fondamentale prendere in considerazione una breve curva nell'asse ottico. Al contrario, gli *obiettivi a correzione infinita* non hanno una distanza soggetto-immagine ben definita, poiché i raggi luminosi corrono paralleli tra l'*obiettivo* e la *lente tubolare* e questo modello può quindi essere modificato di conseguenza. Vi sono, tuttavia, dei limiti alla distanza massima che dipendono dalle dimensioni dell'*area visibile* richiesta e che non possono essere superati. Almeno teoricamente, non esistono limiti minimi da rispettare. Anche se la lente tubolare non sarà probabilmente mai posizionata direttamente accanto all'obiettivo, se non per ragioni di progettazione. Come tale, il limite di distanza superiore svolge un ruolo molto più importante per i progettisti di sistemi ottici.

> Sistema a correzione finita.



Nota: Ingrandimento dell'obiettivo = L_2/L_1

> Sistema ottico a correzione infinita.



Nota: Ingrandimento dell'obiettivo = f_2/f_1

Obiettivo



Obiettivo è il termine utilizzato per descrivere il primo componente ottico di un sistema ad assorbire la luce emessa dal soggetto e a incanalarla nel sistema.

Oculare



L'elemento ottico finale di un microscopio più vicino all'occhio umano è definito oculare. L'oculare si comporta come una lente d'ingrandimento e allarga l'*Immagine intermedia* generata dal microscopio appena prima dell'oculare, sia pure come *immagine virtuale*. Viene fatta una distinzione a seconda del modello, tra monoculari, binoculari e, anche se non del tutto correttamente, trinoculari.

Poiché i monoculari offrono una sola apertura dell'occhio, l'utente deve chiudere o coprire il secondo occhio per ottenere un buon risultato. La loro semplice costruzione, tuttavia, consente di estendere con facilità i monoculari, ad esempio, con l'aggiunta di due reticoli rotanti per la misura degli angoli. I binoculari hanno due aperture degli occhi. Questi non producono però un'immagine stereoscopica, ma dividono semplicemente il percorso luminoso verso l'oculare per poi trasmetterlo alle due aperture degli occhi. I reticoli, tra l'altro, sono incorporati solamente in un'apertura dell'occhio sui binoculari poiché entrambi gli occhi mostrano sempre la stessa immagine e, come tale, l'immagine composta è sovrapposta da un reticolo verso l'occhio umano. I trinoculari sono monoculari con una terza apertura, destinata a un fotocamera aggiuntiva e non a un terzo occhio, quindi non sono dotati di un terzo oculare.

I materiali sono otticamente attivi quando modificano il percorso di un raggio luminoso. Questi materiali otticamente attivi includono materiali trasparenti e opachi, cioè, materiali permeabili e semi-permeabili alla luce.

Densità ottica

Quando la luce colpisce una linea di confine tra due materiali permeabili alla luce, come ad esempio luce e acqua, viene *rifratta*, il raggio luminoso cioè cambia direzione. Questo fenomeno è provocato dalle diverse velocità alle quali l'onda luminosa passa attraverso materiali o mezzi diversi. Alcuni mezzi hanno una densità ottica superiore, quindi rallentano l'onda in modo maggiore rispetto ad altri. La densità ottica di un materiale è una costante materiale ed è indicata usando l'*Indice di rifrazione* n relativo alla densità del vuoto ($n=1$).

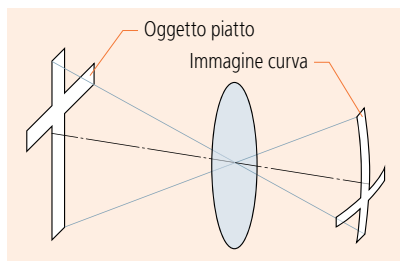
Materiale	Indice
Vuoto	1,000000 (Riferimento)
Alcol	1,329
Selenio amorfo	2,92
Acetone	1,36
Ossido di cromo	2,705
Diamante*	2,417
Ghiaccio	1,309
Etanolo (alcol denaturato)	1,36
Fluorite	1,434
Anidride carbonica liquida	1,2
Vetro	1,5
Metil ioduro	3,34
Calcite 1	1,66
Calcite 2	1,486
Cristallo	2
Vetro crown	1,52
Ossido di rame	2,705
Lapislazzuli	1,61
Aria (in prossimità del suolo)	1,00029

Materiale	Indice
Cloruro di sodio (sale comune) 1	1,544
Cloruro di sodio (sale comune) 2	1,644
Polistirene (polistirolo)	1,55
Quarzo 1	1,644
Quarzo 2	1,553
Vetro al quarzo	1,46
Rubino	1,77
Zaffiro	1,77
Disolfuro di carbonio	1,63
Vetro Flint pesante	1,65
Vetro Flint più pesante	1,89
Vetro Flint leggero	1,575
Smeraldo	1,57
Topazio	1,61
Acqua (20°C)	1,333
Vetro crown zincato	1,517
Soluzione di zucchero (30%)	1,38
Soluzione di zucchero (80%)	1,49

* I diamanti hanno il più alto indice di rifrazione di tutti i materiali naturali.

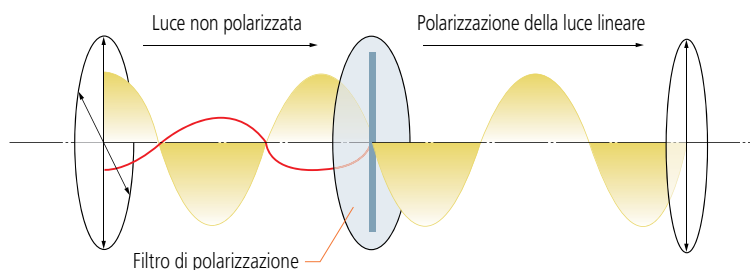


Correzione del piano



Aberrazioni geometriche vengono in genere corrette automaticamente durante la correzione acromatica o apocromatica delle aberrazioni cromatiche. Un'eccezione alla regola è la *Curvatura di campo*. Per garantire che un soggetto piatto sia mostrato con un'immagine altrettanto piatta è necessaria una correzione aggiuntiva, definita correzione del piano.

Polarizzazione



Un'onda elettromagnetica è un'onda trasversale, che oscilla attraverso o, meglio, perpendicolarmente alla direzione di dissipazione. Basta immaginare che la direzione di dissipazione sia un asse. Un'onda che è perpendicolare a questo asse può curvare come vuole attorno all'asse rimanendo però sempre perpendicolare all'asse.

Lo stesso vale per le onde luminose che si muovono a tutte le angolazioni possibili lungo la direzione di dissipazione. Se queste onde vengono convogliate attraverso una griglia composta da linee parallele molto sottili e molto vicine le une alle altre, le onde luminose che oscillano ad angolo o anche orizzontalmente rispetto alla griglia non possono penetrare la griglia. Per contro, tutti i raggi luminosi che passano attraverso la griglia oscillano di conseguenza nella stessa direzione. Essi oscillano paralleli sia tra loro, sia rispetto alle linee della griglia. Questo allineamento dei raggi luminosi è noto come polarizzazione, e le onde luminose che oscillano nella stessa direzione sono note come luce polarizzata.

La griglia necessaria per polarizzare la luce è definita filtro di polarizzazione. La luce polarizzata è usata in fotografia o microscopia, ad esempio, per filtrare la luce dispersa indesiderata dall'immagine o per evitare riflessi di luce e migliorare così i contrasti.

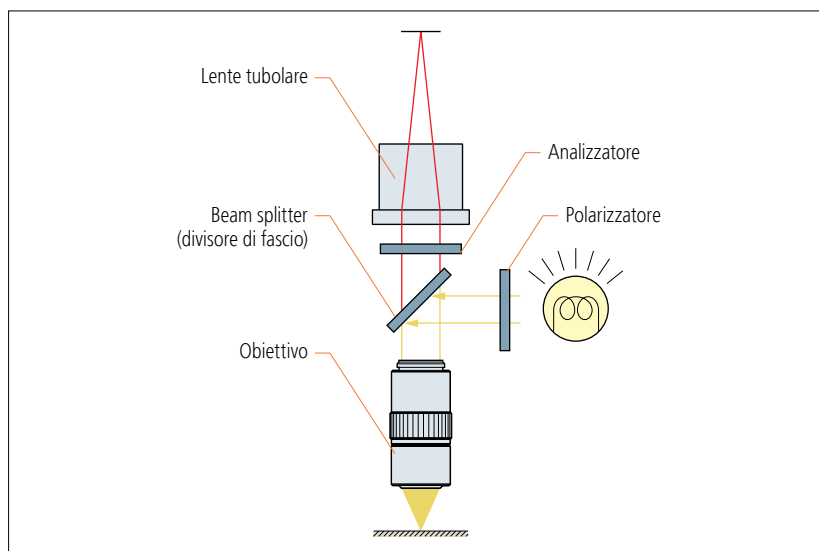
Analisi polarizzata/visione con luce polarizzata

I microscopi che offrono l'analisi con *con luce polarizzata* sono dotati di due vani per i filtri di polarizzazione. Il primo filtro è inserito nel percorso luminoso prima che la luce passi attraverso l'*obiettivo* sul pezzo. Questo assicura che il pezzo sia illuminato solo con luce polarizzata dal microscopio. Il secondo filtro di polarizzazione è inserito dietro il *Beam splitter* (*divisore di fascio*) per convogliare la luce nell'obiettivo in modo tale che solo la luce riflessa dal pezzo passi attraverso questo filtro.

Il primo filtro descritto sopra viene definito polarizzatore poiché genera la luce polarizzata per scopi di illuminazione. Il secondo filtro è chiamato analizzatore poiché è utilizzato per filtrare, cioè, analizzare, la luce riflessa affinché si adatti esattamente all'attività di misurazione. L'analizzatore ruota, consentendo così diverse valutazioni.

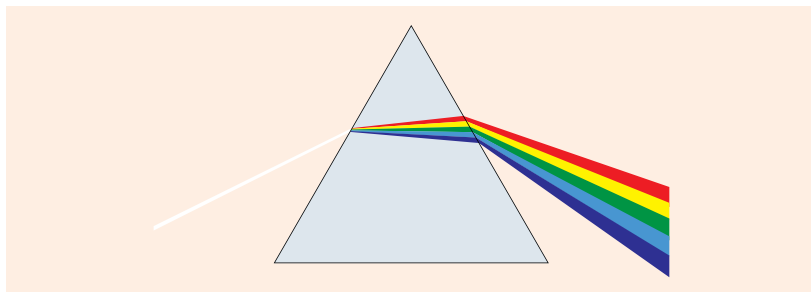
Se le griglie di polarizzazione del polarizzatore e dell'analizzatore sono parallele, l'eventuale luce dispersa che tocca il pezzo lateralmente viene filtrata. Questa procedura può essere utilizzata, ad esempio, per rendere praticamente invisibile uno strato fortemente riflettente posto sotto la superficie effettiva, che altrimenti apparirebbe solo come un punto luminoso, facendo sì quindi che le strutture sottostanti siano chiaramente visibili.

Al contrario, ruotare l'analizzatore in modo che le griglie del polarizzatore e dell'analizzatore siano ad angolo retto tra loro fa sì che la luce sia in grado di passare solo attraverso l'analizzatore se la sua direzione di polarizzazione dal pezzo viene anch'essa ruotata. Gli schermi a cristalli liquidi sono un esempio che soddisfa questa condizione. Gli schermi difettosi possono quindi essere facilmente identificati attraverso un'omissione di rotazione; la parte rilevante dell'immagine resta scura.



Prisma

PAG
58



Un prisma è un elemento di vetro con almeno due superfici piane levigate che non sono generalmente parallele tra loro. I prismi più noti sono a forma di triangolo equilatero. Tuttavia, i prismi presentano anche forme completamente differenti, a seconda del compito da eseguire. Viene fatta una distinzione tra i prismi utilizzati per eseguire tre compiti differenti:

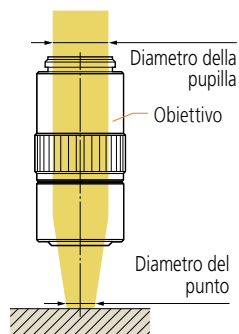
1. Prismi per la modifica della direzione del percorso luminoso
2. Prismi per la divisione della luce in *lunghezze d'onda* o colori individuali
3. Prismi per l'estrazione di alta qualità di raggi *polarizzata*.

Diametro del punto/dimensione del punto

Se un fascio parallelo e distribuito uniformemente di raggi luminosi è canalizzato da dietro in un *obiettivo a correzione finita*, l'*obiettivo* raccoglie i raggi in un fascio. Tuttavia, persino gli obiettivi privi di aberrazione non canalizzano i raggi in un punto preciso, ma formano una piccola superficie circolare. Il diametro e, come tale, la dimensione di questa superficie o punto luminoso dipende dalla *lunghezza d'onda* della luce e dall'*apertura numerica* dell'obiettivo. Poiché il normale percorso luminoso viene invertito, la dimensione del punto indica il *potere risolutivo*. Questo è ugualmente espresso dal fatto che la dimensione del punto dipende dall'apertura numerica. Di seguito è fornita la formula per calcolare la dimensione del punto di misura:

La dimensione del punto $\varnothing (\mu\text{m}) = 1,22 \cdot \lambda / \text{N.A.}$

Questa formula non si applica tuttavia alla *luce laser*, poiché questa non è distribuita uniformemente su tutta la superficie. L'intensità della luce di un laser progredisce attraverso la larghezza del fascio in linea con il principio della distribuzione di Gauss.





La riflessione o mirroring è probabilmente il più antico fenomeno ottico utilizzato dall'uomo. Specchi realizzati con fogli di metallo lucido sono stati utilizzati fin dall'età del bronzo per rafforzare la luce naturale nelle camere.

Praticamente ogni superficie riflette almeno alcuni dei raggi luminosi che la colpiscono. Le superfici ruvide, tuttavia, producono una riflessione diffusa, cioè, la luce viene riflessa senza un modello in tutte le direzioni possibili. Anche i materiali permeabili alla luce non assorbono tutta la luce e ne riflettono sempre una piccola parte. Il cosiddetto rivestimento antiriflesso può ridurre ulteriormente la percentuale di luce riflessa, ma non può eliminarla del tutto.

Si applica la legge ben nota della riflessione, per cui l'angolo al quale la luce viene riflessa dalla superficie è sempre uguale all'angolo di incidenza (l'angolo di incidenza equivale all'angolo di emergenza).



Luce ad anello

La luce ad anello è una forma molto comune di illuminazione incidente. La luce viene emessa sulla superficie da un anello situato intorno all'*obiettivo*. Poiché questo assicura che la luce sia emessa uniformemente sul pezzo da tutte le direzioni, l'illuminazione è eccellente, senza alcuna ombra interferente. Tutte le aree della superficie del pezzo sono altrettanto ben illuminate.

L'illuminazione della luce ad anello è disponibile in un'ampia gamma di modelli. Nella sua forma più semplice consiste di numerosi LED disposti in un anello che illumina il pezzo. Se la luce ad anello è composta da numerosi anelli di LED concentrici, questi anelli possono essere controllati indipendentemente l'uno dall'altro, consentendo così di variare l'angolo della luce proiettata dall'anello. La scelta del colore del LED può, inoltre, evidenziare il contrasto tra le diverse aree colorate del pezzo.

Nel caso della versione alogena, la luce proveniente dalla lampada alogena viene incanalata attraverso una fibra ottica in uno specchio ad anello che poi la riflette sul pezzo. Poiché la fibra ottica trasporta soltanto una piccola quantità del calore irradiato dalla lampada, questo tipo di illuminazione è noto anche come luce alogena fredda.

L'illuminazione fornita da luci ad anello più sofisticate può essere controllata in modo tale che il pezzo sia illuminato solo da un particolare segmento della luce ad anello. Questa specifica direzione di proiezione consente, per esempio, una chiara enfasi sui bordi paralleli all'illuminazione mediante l'ombra proiettata. La complessa tecnologia della luce ad anello è utilizzata principalmente nei *sistemi di misura ottici*.



Profondità di campo



La profondità di campo è il termine utilizzato per descrivere un intervallo lungo l'asse ottico nel quale l'immagine generata dalla superficie viene visualizzata come messa a fuoco in modo uniforme e ottimale. La profondità di campo dipende dall'*apertura numerica* dell'*obiettivo*. Un'*apertura numerica* grande comporta sempre una profondità di campo ridotta, mentre la profondità di campo aumenta con il ridursi dell'*apertura numerica*.

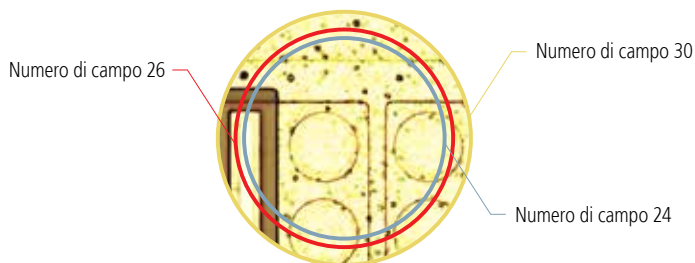
Una profondità di campo ridotta è particolarmente interessante, ad esempio, nei microscopi di misura, dal momento che questi eseguono misure delle altezze concentrandosi sulle diverse altezze. Poiché l'immagine resta messa a fuoco in modo uniforme nella zona della profondità di campo, si tratta di un elemento determinante nella incertezza delle misure. Per contro, una grande profondità di campo è l'opzione ideale quando si analizzano superfici leggermente graduate, poiché l'intera *area visibile* è riflessa con una messa a fuoco uniforme che non richiede una rimessa a fuoco costante, a seconda di quale parte dell'immagine si desidera visualizzare.

Il termine profondità di campo è diventato comune in microscopia mentre il termine profondità di messa a fuoco, che descrive in sostanza lo stesso fenomeno, è più comune nel campo della fotografia.

Numero di campo

Il numero di campo è un indicatore relativo a un oculare, e può essere usato per calcolare la dimensione dell'*area visibile* moltiplicandolo per l'ingrandimento dell'*obiettivo*. Ad esempio, a un ingrandimento di 1x, un oculare con un numero di campo di 24 mostra una sezione circolare che misura 24 mm di diametro del pezzo, mentre a un ingrandimento di 10x, il diametro di questa sezione misura solo 2,4 mm.

Il numero di campo solitamente viene indicato nella descrizione dell'oculare subito dopo l'ingrandimento dello stesso, ad esempio, oculare 10x24. Dal momento che un numero di campo più elevato non cambia l'ingrandimento, ma piuttosto l'area visibile, più lo stesso è elevato, più la visione è agevole per gli occhi. Infatti non c'è bisogno di concentrarsi sempre su un punto luminoso relativamente piccolo, ma piuttosto su un'immagine che copre praticamente l'intera area visibile degli occhi.



Area visibile

L'area visibile descrive la parte del pezzo visibile attraverso un microscopio. Quando si utilizza un *oculare*, l'area visibile è generalmente circolare, motivo per cui la sua dimensione è indicata come diametro. Per contro, se il pezzo viene riflesso dal microscopio sul chip in una fotocamera digitale, l'area visibile è rettangolare in linea con la forma del chip.

Ovviamente, le dimensioni dell'area visibile dipendono in primo luogo dall'ingrandimento dell'*obiettivo*. Maggiore è l'ingrandimento, minore è l'area visibile.

L'area visibile è, tuttavia, limitata anche dalle dimensioni dell'oculare o dal chip della fotocamera. La correzione *Immagine intermedia* generata dall'obiettivo è generalmente più grande del chip della fotocamera o dell'oculare, che mostrano di conseguenza solo una sezione dell'immagine intermedia.

Le lenti hanno, generalmente, superfici sferiche poiché possono essere rapidamente ed economicamente impilate. Questo è il motivo per cui sono chiamate anche lenti sferiche. Tuttavia, questa forma sferica non è in realtà ideale per la rifrazione della luce. Contrariamente alle affermazioni teoriche, i raggi luminosi paralleli non vengono raggruppati esattamente in un unico *punto focale comune* se le superfici della lente sono sferiche. La forma veramente ideale sarebbe parabolica, che è, tuttavia, molto più difficile da produrre. D'altro canto, le forme sferiche e paraboliche si assomigliano notevolmente per quanto riguarda la linea di simmetria. Quindi, se la dimensione della lente sferica è limitata, la deviazione dalla forma ideale resta relativamente ridotta, pur provocando ancora errori di imaging, le cosiddette *aberrazioni geometriche*.

Il fisico Philip Ludwig von Seidel (1821-1896) è stato il primo a esaminare sistematicamente queste aberrazioni geometriche e a designare 5 diversi tipi di aberrazioni che da allora sono logicamente diventate note come le 5 aberrazioni di Seidel: *aberrazione sferica*, *Coma* o *aberrazione cromatica*, *Astigmatismo*, *Curvatura di campo* e *l'distorsione*.

Immagine corrispondente al vero

Un'immagine che mostra il pezzo nella stessa posizione attuale, senza invertirla o effettuarne il mirroring, è definita immagine corrispondente al vero. Le immagini corrispondenti al vero sono utili sugli strumenti di misura ottici perchè dovendo spostare la tavola di misura ed il pezzo, esse avranno la stessa direzione di spostamento dell' immagine.

L'immagine corrispondente al vero è assolutamente tipica dei microscopi, mentre costituisce più un'eccezione nel caso dei proiettori di profili. A causa del disegno ottico, l'immagine corrispondente al vero su un proiettore richiede un'ottica sofisticata aggiuntiva dei prismi che è, ovviamente, costosa.

Immagine invertita

Un'immagine invertita mostra un'immagine del pezzo ruotata di 180°, ma senza effetto di mirroring. A causa della loro semplice progettazione ottica, i proiettori di profili generalmente proiettano un'immagine invertita, mentre questo è più insolito nel caso dei microscopi.

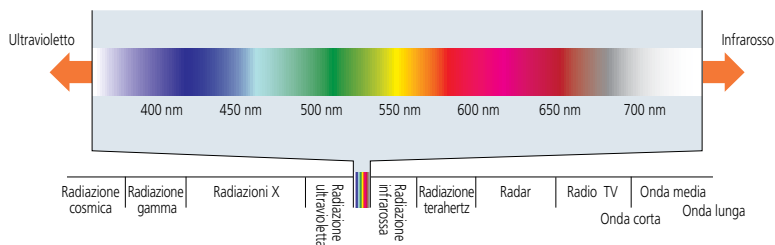
Proprietà spettrali



Ogni volta che un sistema ottico reagisce in modo diverso a *lunghezze d'onda* diverse, il comportamento di questo sistema è descritto utilizzando una curva di funzione relativa alle lunghezze d'onda. In questo caso, si parla di proprietà spettrali di un sistema ottico. Queste proprietà comprendono, per esempio, la permeabilità alla luce di lenti od obiettivi, o le capacità di riflessione di uno specchio.

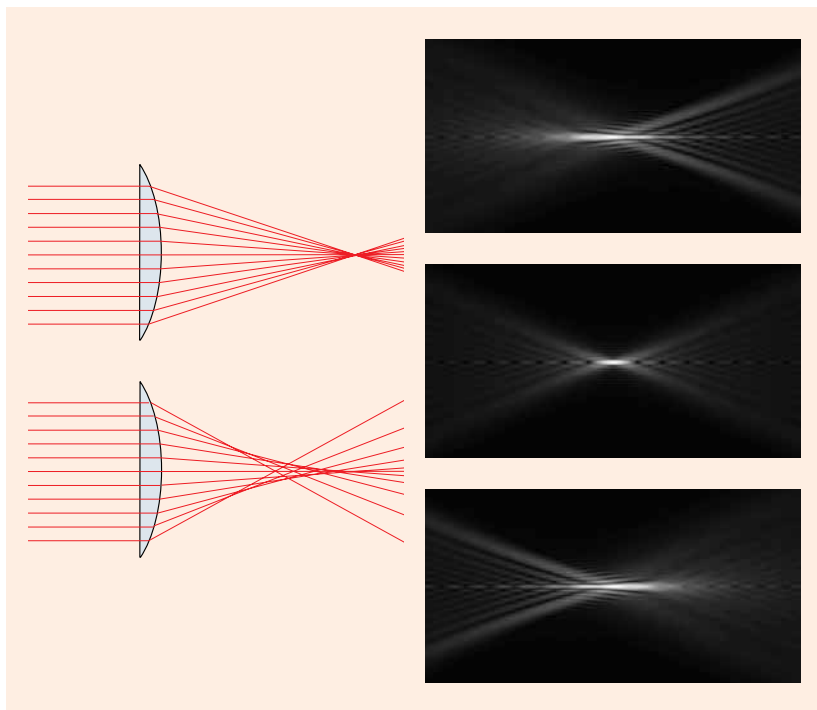
Luce visibile

L'occhio umano è in grado di rilevare la radiazione elettromagnetica a lunghezze d'onda comprese tra 380 nm e circa 780 nm come luce di diversi colori. Lo spettro dei colori visibili spazia dal viola scuro al rosso chiaro. Questa gamma di lunghezze d'onda è delimitata inferiormente dalla gamma della radiazione ultravioletta e superiormente dalla gamma della radiazione infrarossa. Poiché i termini luce ultravioletta o infrarossa sono comunemente utilizzati, anche se nessuna delle due è effettivamente visibile all'occhio umano, le lunghezze d'onda nella gamma compresa tra 380 nm e 780 nm, come detto sopra, vengono definite luce visibile a fini di una migliore comprensione.



Aberrazione sferica

L'aberrazione sferica è un'*aberrazione geometrica* e una delle 5 *aberrazioni di Seidel*. Essa descrive il fatto che i raggi luminosi emessi da un punto sull'asse ottico sulla lente vengono rifratti molto più fortemente a causa della forma sferica delle superfici periferiche della stessa rispetto alla zona centrale vicina all'asse ottico. Questo fenomeno impedisce ai raggi luminosi di riunirsi esattamente in un punto sull'asse ottico e quindi di creare una immagine chiara del punto originale.



Microscopio stereoscopico

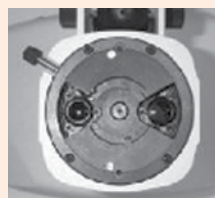
PAG
66



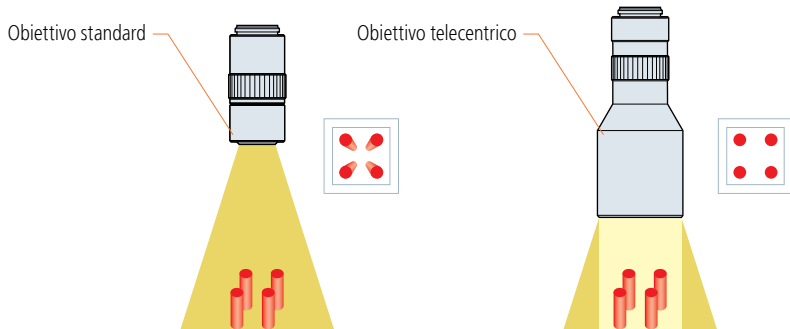
Ciò che rende i microscopi stereoscopici così speciali è la loro capacità di generare una vista tridimensionale di un pezzo. L'uomo è in grado di vedere ciò che lo circonda in tre dimensioni poiché gli occhi sono leggermente sfalsati, quindi catturano sempre gli oggetti in modo completamente separato ad angolazioni leggermente diverse tra loro.

I microscopi stereoscopici supportano questa percezione umana grazie a due percorsi luminosi completamente separati per ciascun occhio che sono leggermente sfalsati a formare un angolo di $10^\circ - 14^\circ$ l'uno dall'altro. Esistono due modelli di base di microscopio stereoscopico: *microscopi di Greenough* e *microscopi paralleli o galileiani*.

Tra l'altro, i microscopi con oculari binoculari non sono microscopi stereoscopici in quanto incanalano semplicemente lo stesso percorso luminoso verso entrambe le aperture degli occhi, pertanto le immagini non vengono compensate e quindi non creano una vista tridimensionale.



Obiettivo telecentrico



Un obiettivo telecentrico è una caratteristica speciale di un sistema ottico che permette di generare l'immagine solo ai raggi luminosi che si muovono prevalentemente in modo parallelo all'asse ottico. Se i raggi luminosi provenienti da soggetti situati a distanze diverse dall'obiettivo lo toccano, ogni soggetto verrà ingrandito a un grado diverso. Poiché l'occhio umano si comporta esattamente nello stesso modo, questo fenomeno è probabilmente più conosciuto e familiare come prospettiva. Tuttavia, se l'ottica è colpita solo dai raggi paralleli all'asse è impossibile identificare la distanza di origine di questi raggi. La prospettiva non è quindi distorta.

Poiché la posizione dell'immagine viene modificata non solo dall'ingrandimento ma anche dalla distanza, un sistema con un piano di immagine fisso mostra solo soggetti a fuoco a una distanza specifica, gli altri oggetti, più vicini o più distanti che siano, sono mostrati fuori fuoco. Un sistema telecentrico elimina anche questa perdita di messa a fuoco. In questo modo, il modello offre un enorme vantaggio durante la visualizzazione di soggetti con grandi differenze di altezza e durante la misurazione dei soggetti nell'immagine; la misurazione non può essere corrotta poiché la prospettiva non è distorta.

Per poter utilizzare soltanto i raggi luminosi paralleli all'asse per generare l'immagine, un sistema telecentrico è dotato di un diaframma forato montato dietro l'obiettivo esattamente nella posizione del punto focale sul lato dell'immagine. La luce che corre parallela dalla lente verso l'asse ottico viene raccolta in un fascio da un obiettivo nel punto focale. Solo questa luce può quindi passare attraverso il diaframma forato; tutti gli altri raggi sono mascherati.

Illuminazione telecentrica

In una certa misura, l'illuminazione telecentrica rappresenta l'opposto del principio dell'analisi *telecentrica* in campo chiaro. L'uso di un diaframma forato assicura che l'intera area visibile del pezzo sia veramente illuminata con una luminosità uniforme.

Riflessione totale



Quando un raggio luminoso passa da un mezzo trasparente ad un' altro è soggetto sia ad un fenomeno di rifrazione sia, in misura minore, da un fenomeno di riflessione. Quando la luce si sposta da una materiale con una densità ottica superiore a uno con una densità ottica inferiore, ad esempio, quando un raggio luminoso lascia una lente di vetro o l'acqua di un lago, se l'angolo di incidenza è piatto, la transizione può agire come uno specchio. In particolare la luce non è più rifratta, non può più penetrare nel secondo mezzo e viene, invece, totalmente riflessa. Un esempio per l'uso della riflessione totale è il trasporto della luce tramite fibre ottiche su lunghe distanze senza perdite importanti. La luce si muove con un'angolazione molto piatta attraverso una fibra di vetro ed è ripetutamente e totalmente riflessa dal bordo della fibra nella fibra e trasportata in questo modo lungo la fibra. L'angolo di incidenza alla fine della fibra è relativamente ripido per consentire a una percentuale molto ampia del raggio luminoso di uscire dalla fibra di vetro. La riflessione totale può anche essere dimostrata matematicamente, data l'applicabilità della *Legge di rifrazione*:

$$\text{seno}(a) \cdot n_1 = \text{seno}(b) \cdot n_2$$

a = angolo di incidenza, b = angolo di emergenza, n_1, n_2 = *indici di rifrazione*

Quando la luce si sposta dall'acqua ($n_1=1,33$) all'aria ($n_2=1$), per esempio, a un angolo di incidenza di $48,75^\circ$, l'angolo di emergenza è

$$\text{seno}(48,75^\circ) \cdot 1,33 = \text{seno}(b) \cdot 1 \Rightarrow \text{seno}(b) = 1 \Rightarrow b = 90^\circ$$

In altre parole, la luce si muove in modo esattamente parallelo alla superficie dell'acqua. Se l'angolo di incidenza aumenta ulteriormente, ad esempio, a 60°, allora

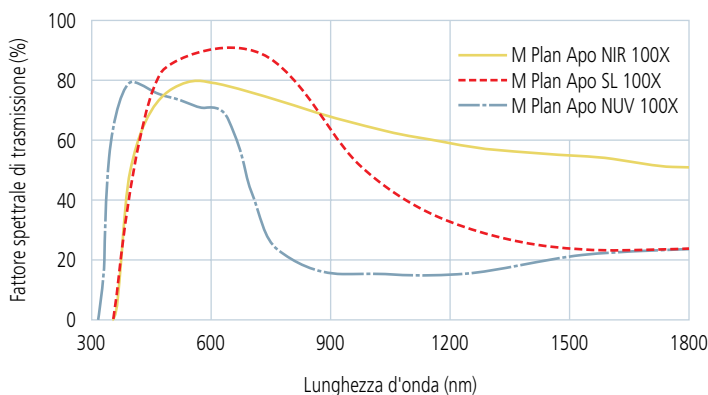
$$\text{seno}(b) = \text{seno}(60^\circ) \cdot 1,33 = 0,866 \cdot 1,33 = 1,152.$$

Dal momento che ciò è impossibile, la transizione non può verificarsi ma si verifica la riflessione totale.

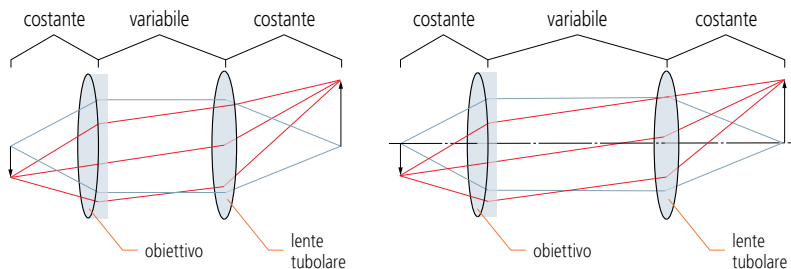
Fattore di trasmissione/fattore di apertura

I sistemi ottici sono generalmente molto complessi. Un *obiettivo*, ad esempio, è composto da numerose lenti con forme molto diverse e realizzato con un'ampissima gamma di materiali per creare la giusta combinazione o produrre un buon risultato di imaging. Tuttavia, ripetutamente, si verificano delle perdite di trasmissione. La quantità di luce che entra in un obiettivo non sarà mai uguale alla quantità di luce che emerge dall'obiettivo. La qualità di montaggio e la riflessione interna sono due delle ragioni di questa perdita. Il rapporto tra la luce emergente e la luce entrante è quindi un buon indicatore della qualità di un obiettivo ed è spesso indicato in termini percentuali come il fattore di trasmissione. Il fattore di trasmissione, tuttavia, ha delle proprietà *spettrali*, vale a dire, un obiettivo non trasmette tutte le *lunghezze d'onda della luce* ugualmente bene. Pertanto, un obiettivo ha sempre una curva di trasmissione; una funzione che rappresenta il fattore di trasmissione rispetto alla lunghezza d'onda.

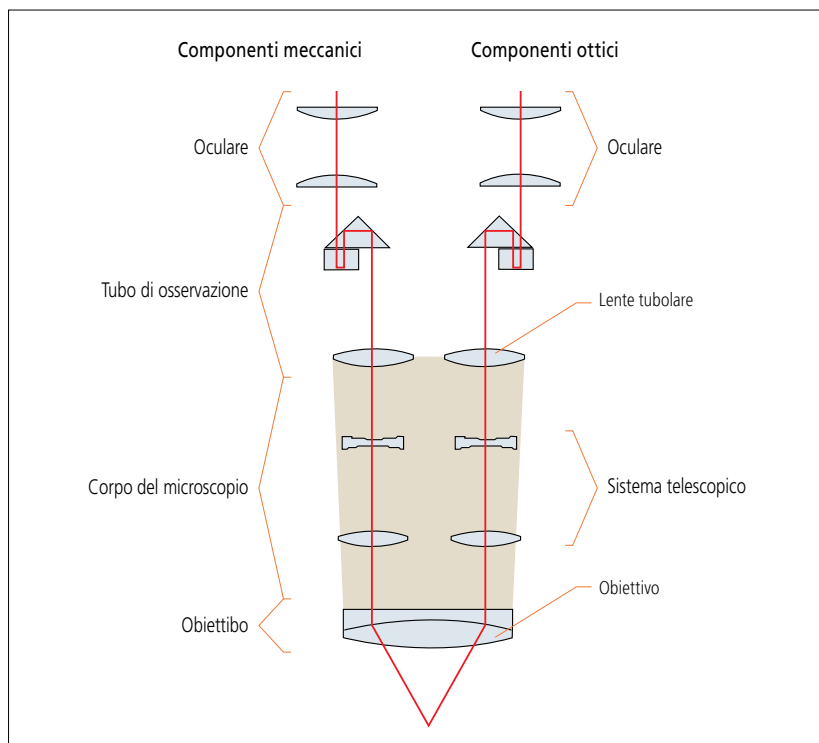
> Velocità di trasmissione spettrale di un obiettivo 100X.



Lente tubolare



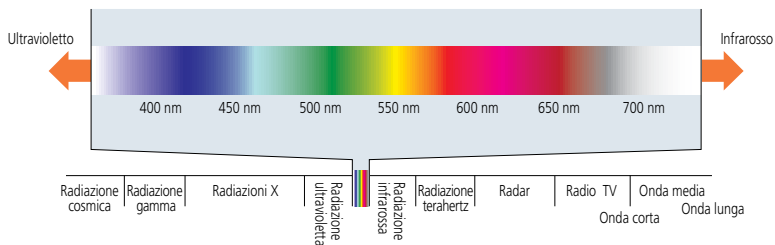
Nel caso di un *sistema ottico a correzione finita*, l'*obiettivo* stesso non genera un'immagine ma piuttosto un fascio parallelo di raggi per ogni punto dell'immagine. Serve una seconda lente per ricongiungere i percorsi luminosi paralleli in un punto e, successivamente, generare un'*Immagine intermedia*. Questa seconda lente viene definita *lente tubolare*. La distanza tra l'obiettivo e la lente tubolare è variabile, cioè, l'ingrandimento dell'intero sistema è indipendente da questa distanza.



Radiazione ultravioletta

Le *lunghezze d'onda* elettromagnetiche leggermente più corte rispetto a quelle della luce visibile sono chiamate radiazioni ultraviolette. La gamma della radiazione ultravioletta inizia alla lunghezza d'onda inferiore a circa 400 nm. Il limite inferiore della gamma della radiazione ultravioletta è, invece, meno chiaramente definito. La radiazione ultravioletta si sovrappone alla radiazione X. La gamma della radiazione ultravioletta è suddivisa in diverse classi. La gamma compresa tra 290 nm e 400 nm è definita gamma del vicino ultravioletto poiché è vicina alla gamma delle lunghezze d'onda visibili. Al contrario, le lunghezze d'onda ultraviolette comprese tra 190 nm e 200 nm sono note come radiazione del lontano ultravioletto.

Gli *obiettivi* speciali adatti sia per la luce visibile che per la radiazione nella gamma ultravioletta sono definiti obiettivi ultravioletti. Tuttavia, questi obiettivi non sono in genere altrettanto adatti per tutte le lunghezze d'onda della gamma ultravioletta, che dopo tutto è molto ampia. Invece, sono dotati di una speciale lunghezza d'onda ultravioletta supplementare e sono ottimizzati per trasmettere la stessa.



Microscopio a raggi ultravioletti

Un microscopio a raggi ultravioletti è appositamente progettato per visualizzare un pezzo o campione usando la *Radiazione ultravioletta*. Poiché la luce ultravioletta non è visibile all'occhio umano, i microscopi a raggi ultravioletti sono dotati di una fotocamera speciale in grado di catturare la radiazione ultravioletta e tradurla in un'immagine visibile. Inoltre, i microscopi ultravioletti sono forniti di un'ottica speciale poiché le lenti utilizzate per la luce visibile generalmente hanno una velocità relativamente bassa di trasmissione della radiazione ultravioletta. Per consentire una buona *velocità di trasmissione* nella gamma ultravioletta vengono impiegati materiali speciali, come il vetro di quarzo. Inoltre, ovviamente, i microscopi a raggi ultravioletti sono dotati di una sorgente luminosa speciale che emette grandi quantità di luce ultravioletta.

Poiché il *potere risolutivo ottico* è limitato, non da ultimo, dalla lunghezza d'onda della luce, i microscopi ultravioletti possiedono sempre un potere risolutivo notevolmente migliore, generalmente due volte migliore rispetto ai microscopi ottici convenzionali, date le piccole lunghezze d'onda nella gamma ultravioletta. I microscopi a raggi ultravioletti sono utilizzati principalmente in medicina e biologia.

Sistema ottico in correzione finita

Un sistema ottico in correzione finita genera l'immagine del pezzo mediante un sistema ottico infinitamente corretto genera l'immagine del pezzo mediante un *obiettivo* e un'ulteriore *lente tubolare*. L'obiettivo devia tutta la luce emessa da un punto sulla superficie del pezzo in un fascio parallelo di raggi. Tutta la luce si muove quindi in fasci paralleli tra l'obiettivo e la lente tubolare e, quindi, non genera la propria immagine. La lente tubolare poi ricombina ogni fascio dei raggi in un punto immagine, generando l'immagine.

Il principale vantaggio di un sistema ottico a correzione finita è l'elevato livello di flessibilità di progettazione. La lunghezza del percorso luminoso tra l'obiettivo e la lente tubolare non è fissa e può essere aumentata o ridotta in base alle esigenze. Di conseguenza, i *beam splitter* sono molto facili da usare; ad esempio per incanalare la luce incidente nel percorso luminoso senza dover prendere in considerazione durante la progettazione la mancata corrispondenza conseguente.

Incertezza di ingrandimento

Le tolleranze di fabbricazione possono provocare una leggera deviazione dell'immagine ingrandita generata da un sistema ottico rispetto all'ingrandimento nominale. Nel caso dei proiettori di profili, la deviazione massima ammissibile è indicata in termini percentuali come l'incertezza di ingrandimento.

Viene testata posizionando una scala di vetro sul tavolo di misura del proiettore per generare un'immagine della scala. Questa immagine viene poi confrontata con una seconda scala sovrapposta all'immagine sullo schermo. La percentuale dell'errore di ingrandimento può essere calcolata sulla base delle letture dei valori:

$$\Delta M(\%) = \frac{L \cdot I \cdot M}{I \cdot M} 100$$

Mit $\Delta M(\%)$: Errore di ingrandimento dell'immagine
L : Valore letto dalla scala proiettata
I : Valore letto dalla scala di riferimento
M : Ingrandimento nominale

La distorsione è una delle 5 aberrazioni di Seidel e quindi descrive un errore geometrico di imaging. A differenza delle altre aberrazioni geometriche, la distorsione può verificarsi solo in una combinazione di più elementi ottici, ad esempio, una combinazione di un diaframma forato e di una lente.

Se il diaframma forato è disposto a monte della lente, assicura che la luce emessa dai punti laterali dell'asse ottico possa toccare solo le aree periferiche della lente, cioè quelle aree dove la rifrazione è leggermente superiore a quella dell'area centrale. Di conseguenza, queste parti periferiche dell'immagine vengono spostate ulteriormente al centro dell'immagine, causando una distorsione a barilotto, cioè, il sistema ottico distorce un rettangolo e mostra una forma a botte.



Una distorsione dell'immagine si verifica anche quando il diaframma forato è disposto a valle della lente. In questo caso, tuttavia, i raggi luminosi emessi dalle aree periferiche dell'immagine vengono mascherati in misura tale che i raggi risultanti provochino una distorsione a cuscinetto dell'immagine. Si tratta quindi di un caso di distorsione a cuscinetto.

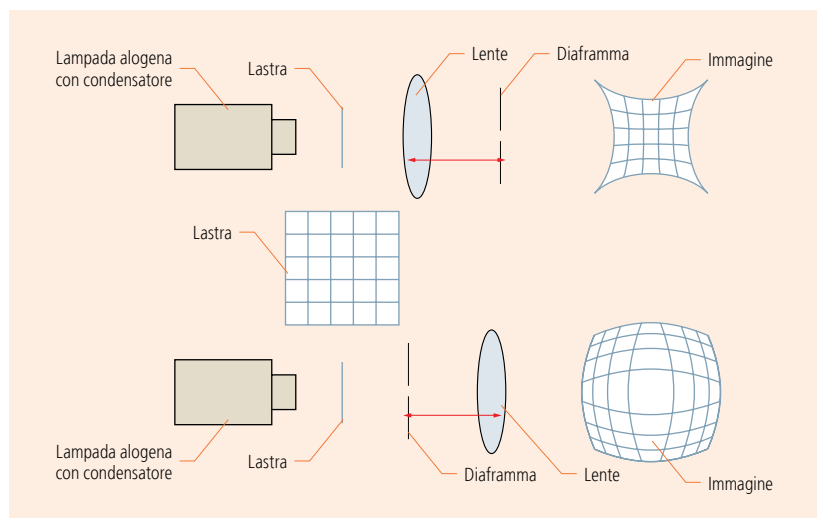
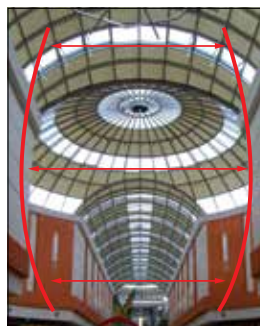
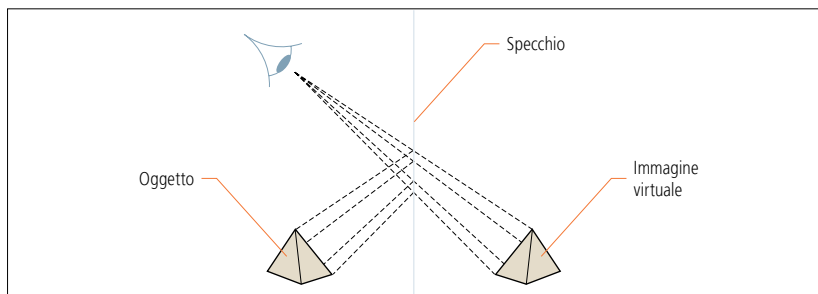


Immagine virtuale

PAG
74



Un'immagine che può essere visualizzata solo quando l'occhio è esattamente sull'asse ottico e guardando nel sistema ottico, è definita immagine virtuale. L'opposto è un'immagine che può essere visualizzata solo quando l'occhio è esattamente sull'asse ottico e guardando nel sistema ottico è definita immagine virtuale. L'opposto è un'immagine reale, che è visibile nella sua posizione in qualsiasi momento e da qualsiasi posizione.

Un'immagine reale si crea, ad esempio, quando la stessa viene proiettata da un proiettore per diapositive o da un proiettore. L'immagine è sempre ben visibile, a prescindere dal luogo in cui si trovi l'osservatore. Al contrario, un'immagine ingrandita attraverso una lente di ingrandimento è visibile solo quando si guarda dritto attraverso la lente di ingrandimento sul soggetto. Come tale, l'immagine ingrandita da una lente di ingrandimento è un'immagine virtuale.

Bilanciamento del bianco

Il bilanciamento del bianco deve essere effettuato prima che una fotocamera digitale possa riprodurre i colori in modo ottimale. Per raggiungere questo obiettivo, alla fotocamera viene "detto" quale luminosità e quale *Temperatura di colore* corrispondono al bianco puro con una determinata illuminazione. Questa procedura di bilanciamento consente poi di identificare gli altri colori e di visualizzarli in modo ottimale sullo schermo.

Prisma di Wollaston

Un prisma di Nomarski è un prisma speciale necessario per il *Contrasto interferenziale differenziale*. Questo prisma è anche comunemente noto come prisma di Wollaston o prisma DIC (DIC = contrasto interferenziale differenziale).

Centraggio

Quando i microscopi sono dotati di un dispositivo per il cambio degli obiettivi (ad esempio, una torretta portaobiettivi), è importante garantire che l'area visibile non si sposti al cambio di. Quando i microscopi sono dotati di un dispositivo per il cambio degli obiettivi, ad esempio, un revolver per obiettivi, è importante garantire che l'area visibile non si sposti quando si cambia l'*obiettivo*. La posizione centrale dell'immagine deve rimanere identica a tutti i livelli di ingrandimento. Ciò si ottiene centrando gli obiettivi. L'obiettivo con l'ingrandimento più grande diventa l'obiettivo di riferimento, e tutti gli altri obiettivi sono allineati in modo bidirezionale ad esso utilizzando le viti di regolazione corrispondenti.



Mitutoyo Italiana S.r.l.

C.so Europa, 7
20045 Lainate MILANO

Tel. +39 (0) 2.93578.1

Fax +39 (0) 2.93578.255

commerciale@mitutoyo.it

www.mitutoyo.it

