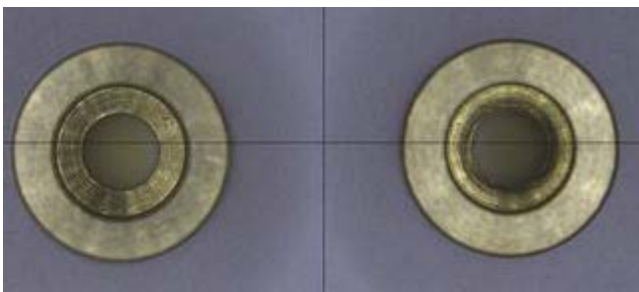


L'UTILIZZO DELLE OTTICHE TELECENTRICHE PER OTTIMIZZARE L'ACCURATEZZA E LA RIPRODUCIBILITÀ DELL'IMMAGINE

Come eliminare gli errori nascosti della produzione

Introduzione

Quando vennero inventati i primi microscopi composti nel lontano 1590, gli scienziati si stupirono della nuova possibilità di osservare piccoli oggetti e caratteristiche del mondo naturale, che erano rimaste fino allora invisibili all'occhio umano e quindi ritenute inesistenti. Con la continua miniaturizzazione di componenti e prodotti, verificatasi negli ultimi 50 anni nella produzione industriale, l'utilizzo di microscopi è aumentato notevolmente, passando dal solo campo scientifico a quello industriale. Oggi i microscopi si ritrovano in tutta una serie di applicazioni che vanno dal montaggio all'indagine, insomma ovunque sia necessario visualizzare e misurare caratteristiche minuscole.



Le immagini disponibili oggi sono grandi, nitide e illuminate perfettamente. Di fronte a una tale visualizzazione siamo portati a pensare che gli oggetti

visualizzati sui display siano accurati, dal punto di vista delle dimensioni, ma non sempre è così. Quando studiamo un punto di cui non conosciamo esattamente la distanza dalla lente oppure che non è posizionato direttamente sull'asse ottico del sistema di lenti del microscopio, subentrano alcuni principi fondamentali di ottica che possono comportare distorsioni, ovvero errori di osservazione e di misura. L'ottica standard può essere sufficiente per indagare oggetti bidimensionali, quali le tracce su un circuito stampato, o per analizzare la qualità di oggetti non piatti. Tuttavia errori di questo tipo risultano problematici quando si tratta di misurare o confrontare con precisione le caratteristiche di un oggetto tridimensionale, quali la superficie ricurva di un componente stampato a iniezione.

La scelta del microscopio e della giusta ottica può ridurre notevolmente questi errori nascosti, offrendo risultati più accurati e riproducibili, due qualità fondamentali nell'ispezione moderna e nella misurazione ottica.

Autor

Clinton Smith
Senior Product Manager Stereo & Digital Heerbrugg,
Leica Microsystems

Tipi di errore

Errore d'ingrandimento

L'errore d'ingrandimento è un fenomeno nel quale un oggetto situato davanti all'obiettivo sembra più piccolo o più grande rispetto allo stesso oggetto posizionato più vicino o più lontano (Figura 2). Questo tipo di errore è comune nei microscopi che utilizzano un'ottica standard e si verifica quando si cerca di misurare ripetutamente una serie di oggetti che non si trovano a una distanza coerente dalla lente dell'obiettivo oppure quando si misurano più caratteristiche che si trovano a diverse altezze, su un prodotto tridimensionale.

L'errore d'ingrandimento riduce l'accuratezza nella misurazione delle caratteristiche e può portare a scartare componenti buoni, accettando quelli cattivi, e ad aumentare i costi di riparazione e di scarto a livello di montaggio. Inoltre esso riduce la riproducibilità dei risultati quando si devono misurare caratteristiche ad altezze differenti sulla superficie di un campione, come avviene con i sistemi di indagine portatili, con la ripetizione dell'ispezione dopo le correzioni o dopo un passaggio nel montaggio che modifica l'altezza del campione.

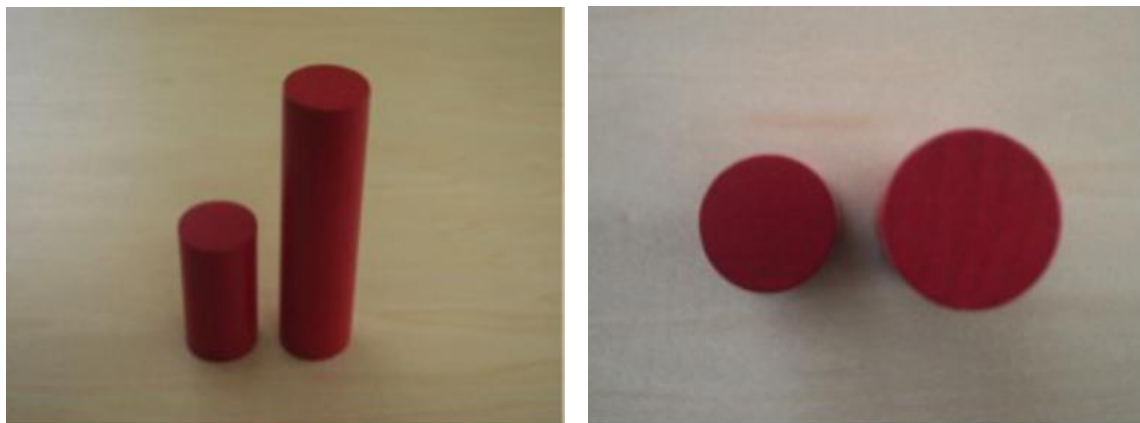


Fig. 2: Esempio di errore d'ingrandimento utilizzando due perni dello stesso diametro, ma con altezza diversa. La veduta prospettica mostra le dimensioni relative (sinistra). Nella veduta dall'alto degli stessi elementi (destra), il perno più alto sembra più grande perché è più vicino alla lente.

Errore relativo allo zoom

L'errore d'ingrandimento provoca anche un errore secondario, nel caso venga utilizzata la funzione zoom. La messa a fuoco e la zoomata con lenti non telecentriche può causare delle variazioni indesiderate e incontrollate dell'ingrandimento, riducendo così l'accuratezza della misurazione durante l'ispezione.

La zoomata manuale ha un ulteriore impatto negativo sulla riproducibilità, essa è come la capacità di tornare alle stesse impostazioni in caso di test ripetuti, nonché di ripetere un esame successivamente, in maniera affidabile e ottenendo gli

stessi risultati. Poiché nelle stazioni d'ispezione è prassi commutare tra un'impostazione e l'altra, per diversi componenti e gruppi di componenti, è fondamentale garantire un'elevata riproducibilità. È molto difficile riuscire a tornare in maniera affidabile alle stesse impostazioni di prova, utilizzando la zoomata manuale a causa della variazione risultante, procurata dall'uomo che può causare misurazioni non coerenti tra un test e l'altro.

Errore di parallasse

L'errore di parallasse (noto anche come errore di prospettiva) è causato da un errore d'ingrandimento durante la visualizzazione di oggetti estremamente tridimensionali oppure nel confronto tra oggetti che si trovano ad altezze differenti nel percorso ottico. I punti nel campo visivo allineati verticalmente, in realtà non sembrano più allineati.

Questo errore si verifica osservando l'oggetto da un angolo d'inclinazione (non- perpendicolare) (Figura 3). Un esempio comune nella microscopia è dato dal movimento apparente di un reticolo in un mirino ottico rispetto al campione esaminato, quando l'utente sposta la testa da un lato all'altro. Lo stesso effetto può essere osservato misurando una caratteristica di una campionessa tenendolo davanti o dietro il bordo di un righello o i beccucci di un calibro, creando uno sfasamento tra l'oggetto e il dispositivo di misura.

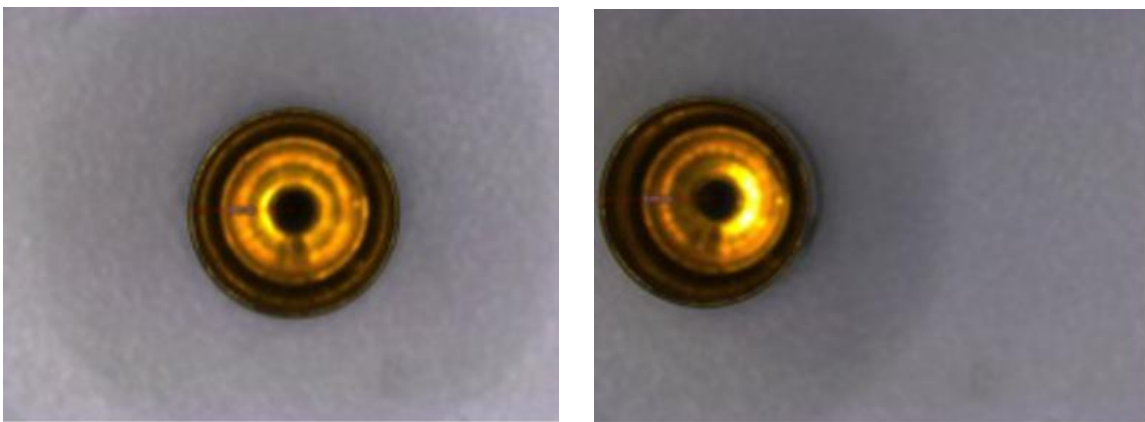


Fig. 3: Errore di parallasse che causa una misurazione non accurata. Nell'immagine in alto, la custodia della cartuccia è al centro del campo visivo e la misura su schermo segna 4.62 mm dal centro del foro (lontano dall'obiettivo) al bordo della custodia (vicino all'obiettivo). Nell'immagine in basso la stessa misurazione è presa fuori centro e la lettura passa a 5.12 mm.

L'errore di parallasse genera inoltre nelle strutture che emergono nettamente dalla superficie del prodotto visualizzandole come se si allontanassero dall'asse ottico, inclinandosi (dal centro del campo visivo). La direzione e la magnitudine dell'inclinazione apparente varia con la posizione della caratteristica dentro il campo visivo (Figura 4). Tale distorsione rende difficile riprodurre i test a meno che il campione sia fissato esattamente nella stessa posizione ogni volta.

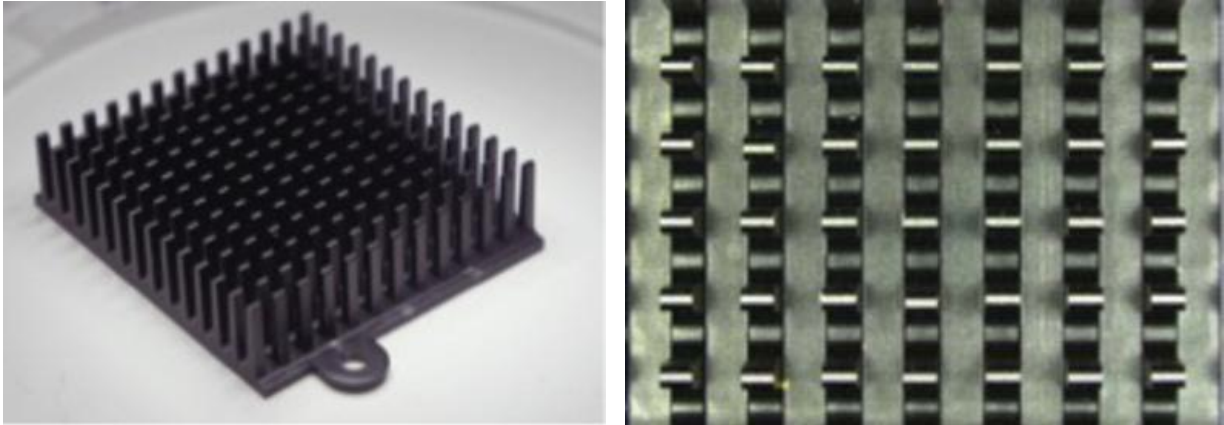


Fig. 4: L'errore di parallasse fa sembrare gli elementi alti (in alto) allontanarsi dal centro del campo nella veduta dall'alto (sotto).

La telecentricità nei microscopi moderni

Di fronte a così tanti errori nascosti nell'ottica dei microscopi standard, può sembrare impossibile analizzare qualsiasi cosa in maniera affidabile, quando sia necessario produrre delle misurazioni quantitative. Tuttavia, un'attenta analisi della struttura ottica del microscopio può evitare la comparsa di questi problemi. Ad esempio, alcuni microscopi sono disponibili con un'ottica telecentrica che elimina o riduce enormemente le imprecisioni e la perdita di riproducibilità causate da un errore d'ingrandimento, dello zoom o parallasse.

Le lenti telecentriche esistono da decenni, ma per tutto il 20o secolo sono state etichettate come "strane" e relegate ad applicazioni marginali. Negli ultimi dieci anni questa tecnologia ha conosciuto un forte boom con l'espansione dell'imaging meccanico e le misurazioni nel controllo qualità basate sulla visione, nell'ambito della produzione industriale.

La telecentricità è la caratteristica di un sistema ottico i cui raggi principali (il raggio centrale di ciascuna gamma di radiazioni) che attraversano il sistema sono pressoché collimati e paralleli all'asse ottico. Un sistema ottico può essere telecentrico nello spazio dell'immagine (oculare/lato fotocamera) in quello dell'oggetto (lato obiettivo) o in entrambi. La telecentricità si ottiene posizionando un blocco ottico (uno schermo opaco con un piccolo foro al centro) sul punto focale posteriore all'interno della lente composta (Figura 5).

In altri termini, quando si osserva un oggetto attraverso una lente telecentrica, l'osservatore sta guardando "verso il basso" su tutti i punti del campo visivo. Di contro, l'ottica non telecentrica consente all'osservatore di guardare verso il basso solo al centro del campo visivo e con un angolo di tutti i punti non centrati.

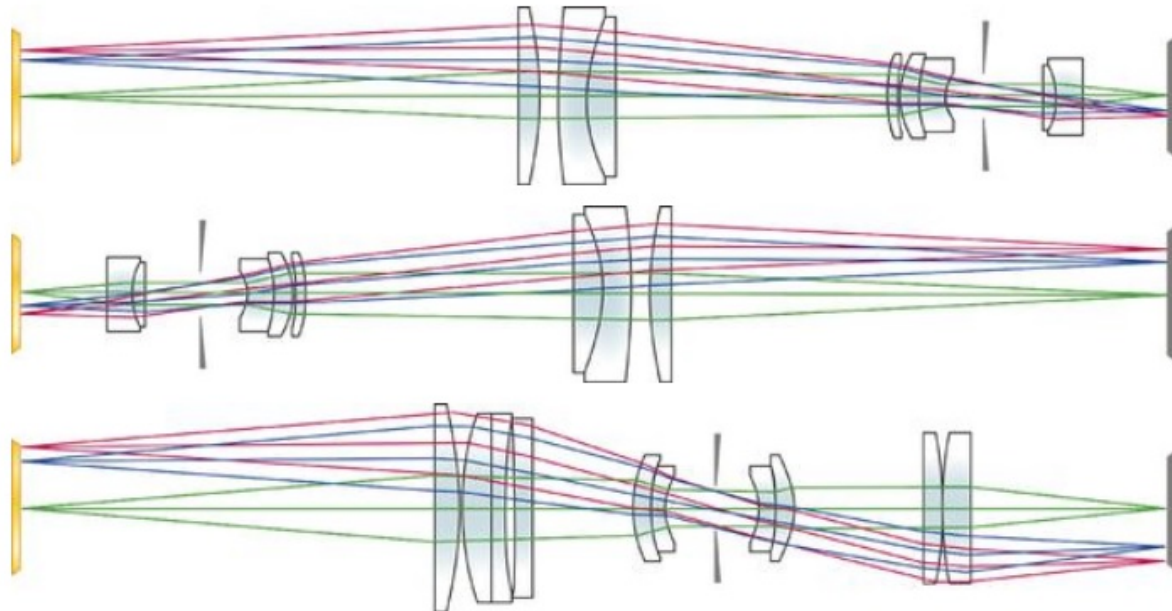


Fig. 5: Diagrammi di Ray Tracing nelle ottiche telecentriche. I raggi principali sono paralleli all'asse ottico nello spazio dell'oggetto (alto), in quello dell'immagine (centro) o entrambi (basso).

I vantaggi della telecentricità nello spazio oggetto (lato obiettivo)

La progettazione di un microscopio telecentrico offre al sistema diverse proprietà ottiche molto utili per ottenere misurazioni accurate, ridurre distorsioni e riprodurre i risultati.

Ingrandimento costante

La proprietà più importante di un sistema ottico telecentrico è quella dell'ingrandimento costante con distanza variabile tra il campione e l'obiettivo del microscopio. Un concetto, questo, difficile da comprendere perché di fatto noi non vediamo in maniera telecentrica. All'occhio umano gli oggetti più vicini sembrano più grandi rispetto a quelli più lontani. Questo principio funziona bene in caso di una normale osservazione, ma quando si tratta di creare immagini di prodotti che vanno misurati con precisione e ripetuti in maniera affidabile, l'ingrandimento costante è fondamentale.

Esso offre una migliore ripetibilità durante l'indagine di campioni di diverse altezze poiché le dimensioni apparenti dell'oggetto non cambiano a seconda della distanza dalla lente dell'obiettivo (Figura 6). Esso consente inoltre di effettuare misurazioni più accurate di forme 3D complesse, come ad esempio, un componente la cui superficie presenta altezze variabili.

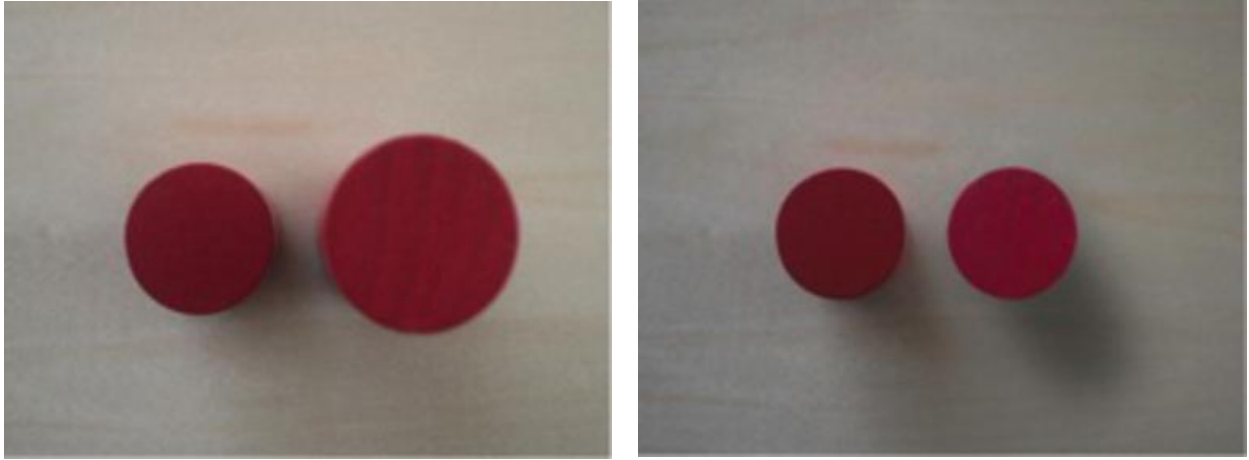


Fig. 6: Oggetti dello stesso diametro, ma a diverse distanze dalla lente (dalla Figura 2), osservati con un'ottica di fotocamera standard (in alto)

In fase di misurazione delle caratteristiche utilizzando un reticolo normale o su schermo, l'ingrandimento costante assicura che la distanza tra i punti di un elemento alto non è più basso artificialmente più grande rispetto alla stessa distanza di un elemento basso. Esso offre inoltre una migliore riproducibilità quando un campione, precedentemente osservato a una diversa altezza, viene osservato nuovamente.

Zoom migliorato

Un notevole vantaggio per ottenere un costante è rappresentato dalla possibilità di eseguire una funzione di zoom accurata e ripetibile. Eliminando virtualmente l'errore d'ingrandimento, le lenti telecentriche riducono al minimo le variazioni indesiderate e incontrollate dell'ingrandimento, causate dallo spostamento dell'obiettivo quando si zooma o si mette a fuoco. Ciò rende notevolmente più accurata la misurazione. Se abbinata al sistema meccanico click-stop o allo zoom codificato, le lenti telecentriche possono offrire una funzione dello zoom accurata e altamente ripetibile.

Sfocamento simmetrico

Grazie all'ottica telecentrica le caratteristiche di un campione possono essere misurate accuratamente anche quando sono sfocate, perché gli oggetti che non sono nel fuoco migliore sfumano in modo simmetrico. Ciò consente di mantenere costante la posizione del baricentro e quindi di localizzare accuratamente le caratteristiche e i bordi, senza distorsioni. In questo caso non è più necessario mantenere tutti i punti del campione simultaneamente a fuoco.

Nessun errore di parallasse (errore di prospettiva)

L'eliminazione dell'errore di parallasse è fondamentale per ottenere risultati accurati e riproducibili quando si esaminano oggetti altamente tridimensionali, ovvero quando si misurano piccole caratteristiche in vari punti di un componente (Figura 7). L'ottica telecentrica garantisce che la forma apparente e la posizione delle caratteristiche di un oggetto non variano se questo viene spostato in una diversa posizione nel campo visivo (oppure se il campione viene rimosso e analizzato successivamente in una diversa posizione).

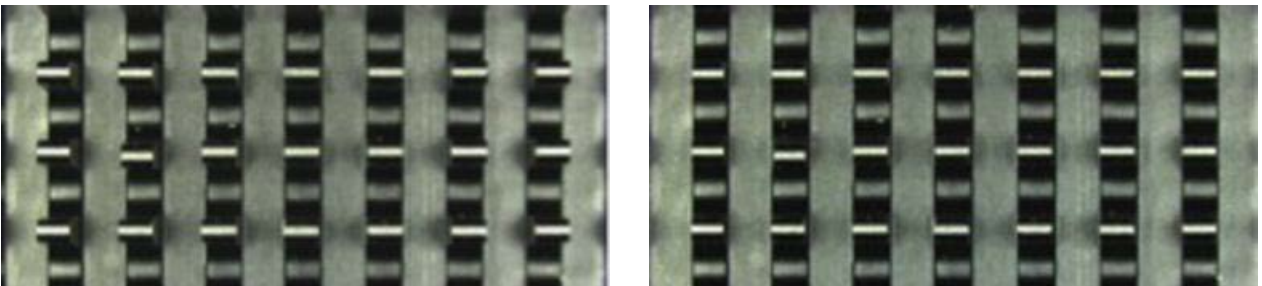


Fig. 7: Confronto di elementi alti (dalla Figura 4) visualizzati con un'ottica standard (in alto) e un'ottica telecentrica (in basso).

Uguali linee visive verso tutti i punti del campo visivo

Nell'ottica standard la linea di visione è perpendicolare al piano d'ispezione solo al centro del campo visivo, mentre tutti gli altri punti sono osservati da un angolo. Ciò significa che le caratteristiche situate in basso e che non sono centrate nel campo visivo, possono essere nascoste dagli elementi alti vicini. Poiché l'ottica telecentrica è progettata per guardare verso il basso tutti i punti del campo visivo, i suddetti problemi non sussistono più. Ciò consente di visualizzare punti difficili, quali i diametri interni di due tubi paralleli molto distanziati, oppure il fondo di buchi profondi lontani dalla linea ottica centrale (Figura 8).

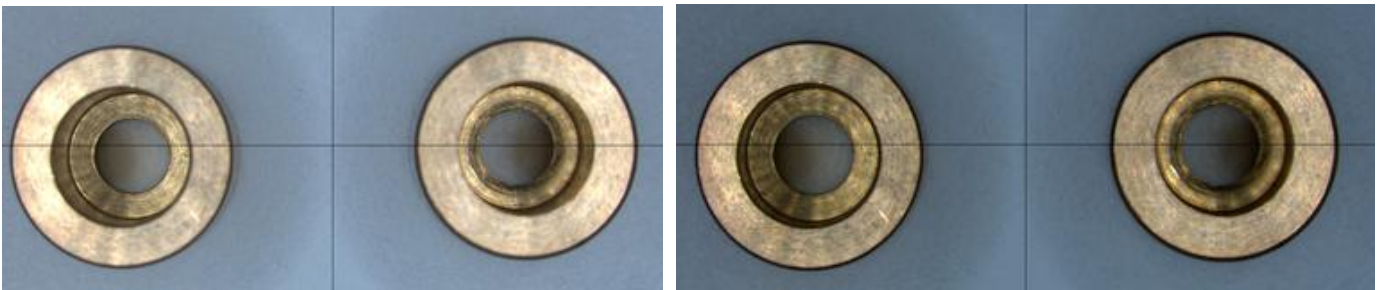


Fig. 8: Confronto tra vedute di forme difficili osservate con un'ottica standard e un'ottica telecentrica. Le linee visive sul fondo di buchi profondi sono parzialmente ostruite dai bordi superiori dei buchi stessi, se visualizzate non centrate e con un'ottica standard (sinistra). Se osservata con un'ottica telecentrica (destra), risulta visibile l'intera superficie del fondo del buco.

Le alternative alle lenti telecentriche

Software

Gli utenti di attrezzature dotate di ottiche non telecentriche credono erroneamente che esista un meccanismo software in grado di regolare l'immagine per ottenere un ingrandimento costante e ridurre altri errori. Sebbene sia possibile fare ciò in parte, non è comunque possibile riprodurre accuratamente con il software molti dei vantaggi offerti dalle lenti telecentriche.

Certificazione e calibrazione dell'ottica

Un altro equivoco diffuso tra gli utenti di microscopi è che la certificazione di terzi sull'ottica di ciascun microscopio possa garantire l'accuratezza e la riproducibilità dell'ispezione. In realtà gli organismi governativi che fissano gli standard certificano solitamente la dotazione preposta alla calibrazione, ma non i singoli strumenti.

I produttori di microscopi possono effettuare calibrazioni interne dei singoli strumenti, compromettendo però la capacità di zoomare liberamente. Dopo una calibrazione iniziale ad opera del produttore, la variazione causata dall'impostazione dello zoom rende difficile riprodurre le condizioni di calibrazione del campo.

Le calibrazioni effettuate in fabbrica possono aumentare la riproducibilità rendendo più compatibili le prestazioni di diversi microscopi prodotti dallo stesso fornitore. Tuttavia nessuna calibrazione riesce a eliminare gli errori causati dalle caratteristiche ottiche principali di lenti non telecentriche, ovvero l'errore di parallasse e l'ingrandimento non costante.

Conclusioni

I sistemi ottici presenti nelle attrezzature della microscopia moderna possono presentare tutta una serie di errori nascosti. È fondamentale quindi considerare attentamente l'ottica utilizzata nella dotazione. L'utilizzo di microscopi dotati di ottiche telecentriche riduce o elimina molti errori, ottimizzando la qualità dell'immagine e rendendo le misurazioni più accurate e riproducibili.

Riferimenti / Ulteriore lettura

Klein C., Buttermore W., Doppler M.: [Using Telecentric Optical Systems to Optimize Forensic Image Accuracy and Reproducibility - How to eliminate hidden errors in forensics](#), Leica Science Lab, July 2015

Gislao M. J., Smith C.: [Webinar: How More Accurate and Reproducible Measurements can be Made through "Telecentricity"](#), Leica Science Lab, June 2013

Leica Microsystems (Schweiz) Ltd. · Max-Schmidheiny-Straße 201 · 9435 Heerbrugg, Schweiz
T +41 71 726 34 34 · F +41 71 726 34 44

www.leica-microsystems.com