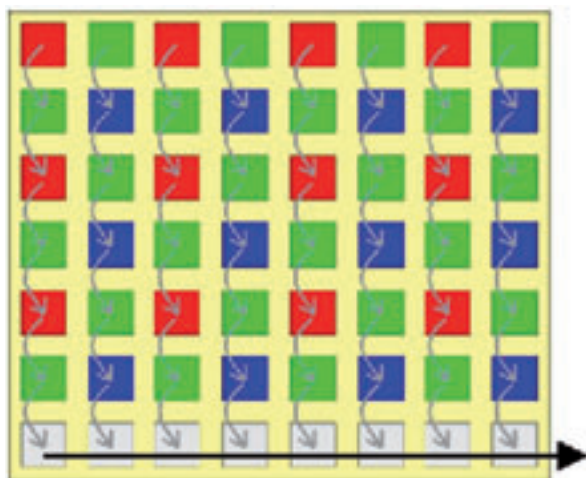


## Sensori a confronto

I criteri di scelta tra sensori CCD e sensori Cmos non dovrebbero essere soggettivi, ma dovrebbero piuttosto fare leva sulle peculiarità dei sensori stessi

RENATE PETRY

**I**l sensore 'ideale' non esiste. Data questa premessa è comunque possibile scegliere tra i sensori CCD (charge couplet device) e quelli Cmos (complementary metal oxide semiconductor). Entrambe le tipologie sono costituite da semiconduttori basati sul silicio, che utilizzano l'effetto fotoelettrico interno: ogni elemento, o pixel, dell'immagine genera un segnale elettrico proporzionale alla quantità di luce incidente ricevuta durante il tempo di esposizione.



In un sensore CCD per ogni colonna le cariche vengono trasferite tra fotodiodi adiacenti di riga in riga fino all'amplificatore in uscita

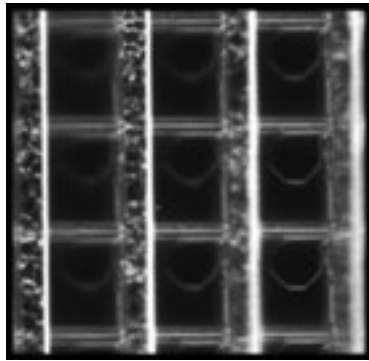
### Modalità di lettura

Nei sensori CCD la lettura dell'immagine avviene attraverso lo spostamento delle cariche tra fotodiodi adiacenti fino alla loro trasformazione come tensione in uscita dal sensore, cosicché il segnale sia pronto per elaborazioni successive. I sensori Cmos, invece, sono realizzati principalmente come pixel attivi (APS): vicino a ogni diodo fotosensibile sono presenti altri componenti come transistori e condensatori, che si fanno carico delle funzioni di controllo. A differenza dei sensori CCD, gli elettroni accumulati durante l'esposizione non vengono trasferiti, bensì vengono trasformati direttamente in tensione all'interno del pixel. L'elettronica presente sul sensore Cmos permette, inoltre, di accedere direttamente al segnale di tensione di ogni pixel e di gestire ulteriori funzioni di controllo, come ad esempio l'otturatore elettronico.

### Fattore di riempimento

Il fattore di riempimento, che equivale alla percentuale di superficie sensibile alla luce all'interno di un pixel, è maggiore nei sensori CCD con lettura 'full frame' o 'frame transfer'. Tuttavia, questi dispositivi, a causa del differente processo di lettura, non sono confrontabili con i sensori Cmos con otturatore centrale. Molto più immediato il confronto tra i sensori Cmos e quelli CCD con sistema di lettura a 'interline transfer', dove l'immagine viene temporaneamente salvata in una regione contigua coperta. Tali sensori CCD raggiungono un fattore di riempimento compreso tra il 55 e il 65 per cento, mentre i sen-

sori Cmos 'active pixel', utilizzando da tre a quattro transistor per pixel, raggiungono un fattore di riempimento circa del 35 per cento. D'altra parte, un sensore Cmos ha una velocità di lettura dei dati nettamente più elevata.



**Ingrandimento della sezione di un sensore Cmos monocromatico: si notano le zone sensibili, di forma ottagonale**



**La Drosophila melanogaster è per i ricercatori un organismo modello per l'analisi in tempo reale del movimento delle ali**

## Dinamica

Al crescere del numero di cariche che possono essere incamerate in un pixel, cresce la dinamica correlata al rapporto segnale/rumore (SNR); il SNR è definito come il rapporto tra il segnale massimo di uscita e il rumore totale del sistema (segnale ed elettronica). La grandezza fondamentale per la dinamica è la capacità 'Full-Well', o carica di saturazione, che comprende tutte le cariche che è possibile immagazzinare all'interno del pixel. Basandosi sulla natura quantistica della luce e sulla distribuzione di Poisson dei fotoni, si calcola con buona approssimazione la dinamica del sensore come la radice quadrata della capacità Full-Well. I sensori CCD con lettura interline transfer raggiungono capacità Full-Well comprese tra 20 e 65 ke-. Per contro, i sensori a tecnologia Cmos ad alta dinamica raggiungono i 250 ke-.

## Qualità e velocità dell'immagine

La qualità dell'immagine dipende direttamente dall'uniformità della fotosensibilità dei fotodiodi: a causa del processo di produzione di elementi elettronici quali transistor, condensatori ecc., vi è una variazione nella sensibilità dei singoli pixel che porta a uno schema fisso di perturbazione dell'immagine chiamato 'fixed pattern noise' (FPN). È possibile ovviare alle differenze dell'uniformità dei pixel nei sensori Cmos con soluzioni circuitali aggiuntive come la correzione dell'offset del guadagno e dei pixel difettosi. I sensori Cmos hanno sicuramente dei vantaggi rispetto ai CCD, principalmente per la maggiore velocità di lettura e per la dinamica più elevata che permette di fissare immagini ad alto contrasto o molto illuminate.

Al contrario, nei sensori CCD, solo con grandi sforzi di progettazione è possibile contrastare la tendenza al 'blooming', ovvero il disturbo dell'immagine nelle zone contigue a quelle sovraesposte. Uno svantaggio a carico dei sensori Cmos è il rumore dell'elettronica digitale, mentre è un vantaggio proprio di questa tecnologia il fatto che essa consumi circa il 10 per cento di quella CCD. Per quanto riguarda la velocità, la tecnologia Cmos ha generalmente un vantaggio rispetto a quella CCD, in quanto con essa è possibile indirizzare e leggere pixel singoli o ROI, ovvero le aree dell'immagine cosiddette 'region of interest'; in questo modo, la velocità viene ulteriormente incrementata. I progetti più moderni permettono di esporre e leggere nello stesso tempo un sensore Cmos, ottenendo un vantaggio in tutte le applicazioni di elaborazione di immagini industriali dove sono necessarie elevate velocità di acquisizione di immagine.

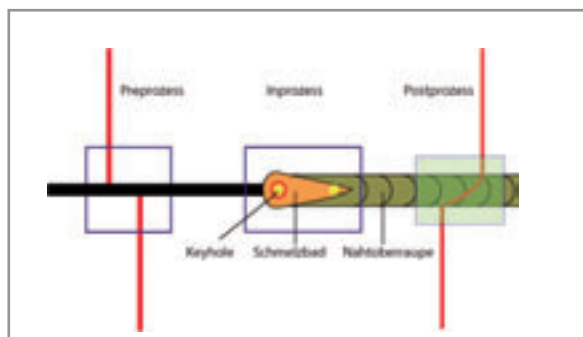
## Curva caratteristica del sensore

La curva caratteristica di un sensore CCD o di un sensore Cmos correla l'intensità della luce incidente al segnale di uscita del sensore; di norma, entrambi i sensori hanno una curva lineare. Agli esordi della tecnologia Cmos, tuttavia,



**TrackCam di Photonfocus legge ROI di dimensioni differenti dall'immagine completa**

era già possibile ottenere curve logaritmiche, ma mancava la funzionalità di otturatore; con l'introduzione della funzione LinLog si poté ottenere una curva caratteristica non lineare in sensori Cmos con funzione di otturatore globale ('global shutter'). Tali sensori a elevata dinamica, con una larga scelta di modi di lettura (regione di interes-

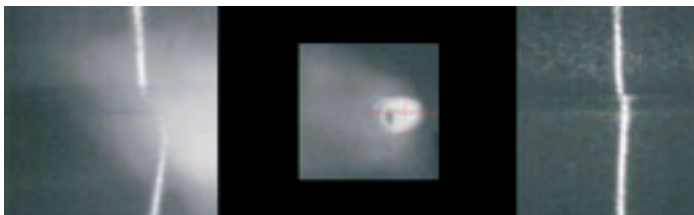


**Principio del controllo di processo prima, durante e dopo la saldatura laser**

se multipla, decimazione ecc.) sono implementati in telecamere ad alta velocità e vengono utilizzati in una vasta gamma di applicazioni.

## Applicazioni nella ricerca

I ricercatori dell'Istituto federale svizzero per la tecnologia (ETH) di Zurigo hanno utilizzato le elevate velocità di lettura abbinate a una piccola finestra di interesse per studiare il movimento delle ali di una *Drosophila melanogaster*, il moscerino della frutta. È stata utilizzata una tele-



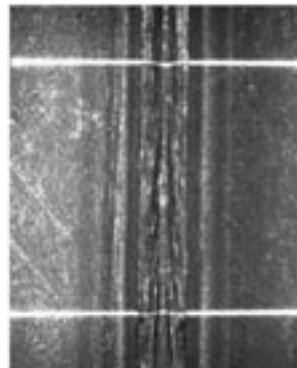
Acquisizione dell'immagine (prima, durante e dopo) della saldatura di due lamiere d'acciaio

reale del moto dell'ala, in particolare, è stata utilizzata TrackCam, una speciale telecamera Cmos di Photonfocus con un'interfaccia di configurazione ad alta velocità.

Nel caso di controllo del processo della saldatura laser, oltre all'alta velocità di lettura è di estrema importanza che la telecamera Cmos possieda tecnologia LinLog. Lo sviluppo di tali sistemi di controllo in tempo reale è essenzialmente indotto dall'industria automobilistica e dai suoi fornitori, che richiedono di inserire in un solo sistema il controllo e la regolazione prima, durante e dopo il processo di saldatura. In un modulo compatto è stata, quindi, integrata una telecamera Cmos con una curva caratteristica non lineare, che controlla contemporaneamente le tre fasi di processo, ovvero prima, durante e dopo la saldatura. L'elevata dinamica della telecamera permette l'utilizzo di una lama laser per determinare ed eventualmente correggere il posizionamento dei pezzi subito prima del processo di saldatura, durante il quale, attraverso l'immagine, vengo-



Testa del sistema di controllo qualità di Soutec con telecamera Cmos di Photonfocus



Analisi di un cordone di saldatura: la tecnologia LinLog permette l'analisi contemporanea di entrambe le linee laser

no analizzati il 'keyhole' e la geometria del bagno di fusione, utilizzata per il controllo dei parametri di processo. Inoltre, la

telecamera Cmos rileva altre grandezze caratteristiche del processo, come la penetrazione e la posizione del laser, la distribuzione dell'intensità o degli spruzzi del bagno di fusione. Con una scelta opportuna della dimensione della finestra di lettura sono possibili frequenze di immagine di più Hertz. Come ultimo passo, viene effettuata, con l'ausilio di una lama laser, l'ispezione del cordone di saldatura finito.

Proprio per questo tipo di ispezione, la svizzera Soutec ha messo a punto un sistema di misura per il controllo dei cordoni di saldatura basato sulla moderna tecnologia di elaborazione d'immagine. Tale sistema, in cui sono utilizzate telecamere Cmos combinate con un apposito sistema di illuminazione, una telecamera, un laser a diodi e un lampeggiatore circolare sono stati compattati in un'unica testa. Per il controllo al cento per cento dei cordoni di saldatura, sono utilizzati contemporaneamente, da una parte, la triangolazione laser (3D) e l'analisi di grigio (2D), dall'altra, in tre processi paralleli, l'analisi del profilo (3D), l'analisi del cordone (2D) e l'analisi dei pori (2D). Non sarebbe possibile avere un tale risultato con una telecamera CCD. ■

**Photonfocus readerservice.it n. 24**