

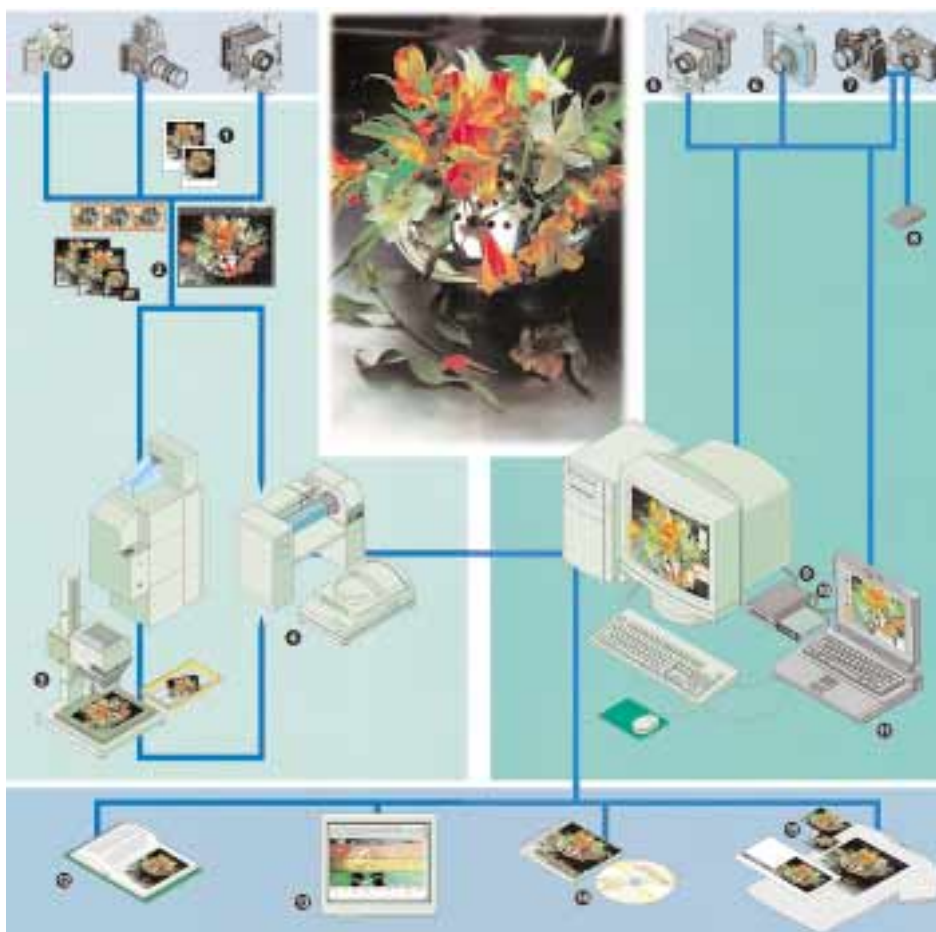
COME FUNZIONA UNA FOTOCAMERA DIGITALE

Iniziamo questo mese un corso di fotografia digitale. Vediamo insieme i vantaggi e gli svantaggi e poi passiamo ad approfondire come e dove nasce l'immagine digitale, la questione della risoluzione e la formazione del colore.

Il processo fotografico tradizionale, ovvero quello chimico, si basa sul materiale sensibile che permette di fissare le informazioni luminose che passano attraverso le lenti dell'obiettivo; il materiale sensibile è il mezzo che più condiziona la qualità dell'immagine fotografica.

Oggi tuttavia si rende disponibile un'alternativa alla fotografia tradizionale: è la fotografia digitale, ovvero la registrazione delle immagini per mezzo di sensori elettronici, sostitutivi della pellicola chimica. La sua storia si è sviluppata rapidamente, ricordiamone le tappe più importanti.

Molto prima che vedessero la luce le fotocamere, la fotografia digitale è nata in quella che può essere definita la "camera oscura digitale". Adobe Photoshop e Letraset ColorStudio furono presentati nel 1989, anche se prima di essi vide la luce Digital Darkroom della Silicon Beach Software, uno dei primi software che oggi definiremmo di fotoritocco digitale. Tramite quest'ultimo pacchetto software, era possibile effettuare una serie di operazioni che fino ad allora erano riservate a coloro i quali si adoperavano nelle camere oscure tra-



Confronto tra il "percorso" dell'immagine chimica e quello dell'immagine digitale.

dizionali: era infatti possibile variare la luminosità ed il contrasto di un'immagine acquisita da scanner, così come era possibile ruotarla, ritagliarla, modificarne i livelli di grigio ed effettuare quelle correzioni che oggi sono banali, ma che all'epoca rappresentavano l'incredibile.

Purtroppo il limite strutturale di questo programma era proprio il già accennato "livello di grigio": esso operava cioè con una profondità di colore di soli 8 bit in scala di grigio, il che vuole dire che poteva gestire immagini rappresentate tramite solo 256 tonalità di grigio (pur sempre una rivolu-

zione per quei tempi!). Niente colore e nessuna possibilità di estendere o personalizzare la tavolozza. Gli utenti, in modo particolare quelli di tipo professionale, si accorsero ben presto che tutto ciò era un po' troppo limitante, anche per quei tempi, visto soprattutto che il livello qualitativo richiesto da un qualsiasi committente professionale era ben altro.

In poche parole, era comunque preferibile la qualità ottenibile nella camera oscura tradizionale, che ripagava ampiamente la maggiore attesa necessaria rispetto alla generazione di un'immagine digitale. Il merca-

to professionale attendeva qualcosa di nuovo.

Questo si verificò con l'avvento del Mac di Apple a 24 bit di profondità colore e dei software Adobe Photoshop e ColorStudio di Letraset, che erano ormai in grado di sfruttare le potenzialità cromatiche del nuovo hardware; il mercato aveva così spianato la strada a quella che sarebbe poi divenuta la vera rivoluzione digitale, anche se questa sarebbe stata per un certo tempo ancora alla portata dei soli professionisti, dato l'alto costo dell'hardware e del software.

Alcune fotocamere digitali erano già state proposte a quel tempo ma, dato l'alto prezzo (è cosa normale nei primi tempi delle nuove tecnologie), si dovette attendere fino al 1994 perché una della prime macchine digitali a basso costo aprisse le porte della fotografia digitale ad una fascia di utenti di medio livello, permettendo al contempo di ottenere una qualità di immagine che avesse una qualche applicazione pratica. Questa fotocamera è stata la Apple QuickTake 100.

Nel frattempo, ed anzi qualche anno prima, anche il cinema si era accorto dell'incalzare della tecnologia digitale: molte telecamere iniziarono così a montare un duplice sistema di ripresa, convenzionale e digitale allo stesso tempo, sfruttando un meccanismo di sdoppiamento del fascio di luce in entrata per dirigere le immagini sull'uno o sull'altro dispositivo di registrazione.

I vantaggi

Vediamo ora i principali vantaggi che offrono le fotocamere digitali: l'immagine è disponibile subito senza bisogno di sviluppare la pellicola e chi vuole elaborare le proprie immagini può utilizzare il personal computer affiancato da una stampante ink-jet, senza bisogno di allestire una camera oscura convenzionale.

Anche coloro che amano mostrare le proprie diapositive agli amici troveranno più comodo collegare l'apparecchio digitale al televisore piuttosto che girare col proiettore, un po' quello che si fa con la videocamera.

Un'altra considerazione riguarda lo sviluppo delle tecnologie di telecomunicazione, di cui Internet e i telefoni cellulari sono un esempio. Disporre subito di un'immagine su file rende più istintivo e immediato l'invio di tale foto attraverso questi nuovi strumenti di comunicazione.

L'immagine su file apre poi la via a tante applicazioni originali: dall'inserimento in un documento di testo, alla creazione di cartoline o calendari, alla stampa di immagini su magliette.

Non dobbiamo inoltre dimenticare che le

fotocamere digitali consentono di eliminare già in ripresa gli scatti più *infelici*, risparmiandoci brutte sorprese all'atto dello sviluppo del negativo. Eliminare subito le foto sbagliate ci consente anche di risparmiare preziosa memoria; al posto del consueto rullino fotografico infatti si utilizzano schede di memoria che, sebbene più care, si ripagano con il fatto che sono riutilizzabili per altri scatti una volta che si è riversato il loro contenuto sul disco del computer.

È importante sottolineare un concetto che accomuna tutte le categorie di dati digitali: il digitale non si deteriora con il tempo, il digitale resta uguale a se stesso ed alle sue copie, per sempre.

Questo aspetto è tanto più importante quanto più alto è il valore che diamo alle nostre immagini: per rendersene conto basta pensare alla variazioni cromatiche che subiscono le nostre stampe a colori nell'arco di un paio di decenni, senza contare i rischi di graffi, lacerazioni e smarrimenti.

Per quanto riguarda i costi, una volta ammortizzata la spesa iniziale per l'acquisto dell'attrezzatura digitale, le successive spese non sono altro che una ordinaria manutenzione periodica delle nostre nuove risorse elettroniche.

Gli svantaggi

Come è logico aspettarsi, vi sono anche svantaggi nel passaggio al mezzo digitale. Fra questi non è trascurabile il fatto che, a parità di prestazioni, le attrezzature per il digitale hanno ancora un costo superiore ai materiali tradizionali. Basti pensare che un dorso digitale per il medio formato può costare svariate decine di milioni, per arrivare al piccolo formato equiparabile al 35mm per cui dobbiamo calcolare dei costi nell'ordine di due milioni.

A questi si possono aggiungere altri costi che, sebbene marginali rispetto a quelli per un'attrezzatura digitale completa, vanno tuttavia considerati; la fotocamera digitale ha un maggior consumo di energia e quindi ci sarà una maggiore spesa in termini di batterie.

Quando si inizia a fotografare con una fotocamera digitale ci si rende presto conto delle dimensioni dei file immagine e si sente presto la necessità di acquistare un'ulteriore unità di memoria o, in alternativa, un computer portatile su cui scaricare le immagini appena scattate. In un caso o nell'altro, andrà allora aggiunta la spesa per l'acquisto della memoria aggiuntiva o per l'acquisto del computer portatile se ne fossimo sprovvisti.

In termini di prestazioni una considerazione importante riguarda la qualità ottenibile utilizzando una fotocamera digitale; non è corretto affermare che con un sensore di-

digitale non si può raggiungere la qualità delle pellicole chimiche, il problema è che tale qualità in versione elettronica ha un costo superiore rispetto all'emulsione chimica.

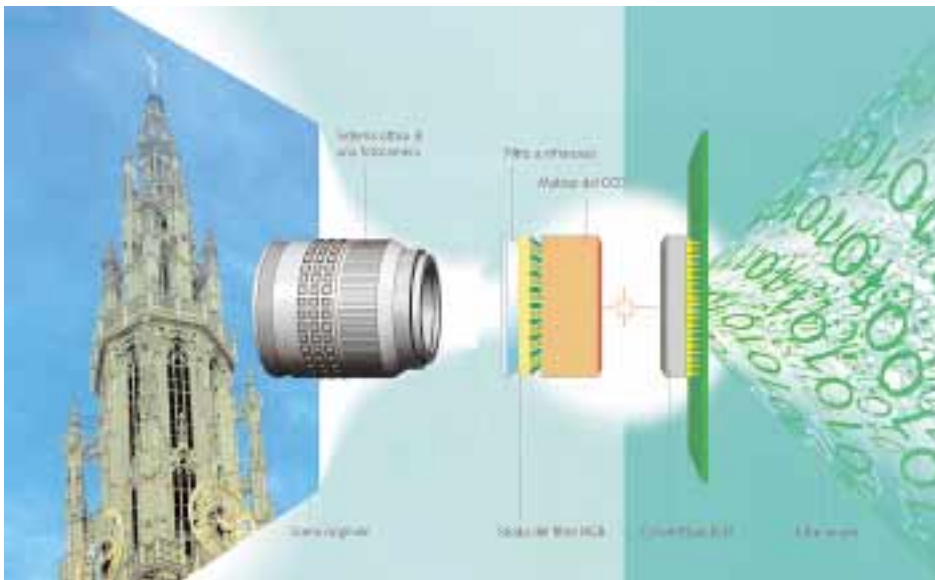
Vi è poi il problema della minore prontezza di risposta della fotocamera digitale e che la velocità di scatto in sequenza rapida, soprattutto nel caso degli apparecchi più economici, è certamente inferiore; questo dipende dal fatto che le fotografie da salvare vanno compresse prima di essere archiviate e la compressione richiede tempo.

Inutile sottolineare però che tanto il fattore economico, che quello tecnico, sono destinati a scomparire tanto prima quanto più rapida sarà la diffusione della tecnologia fotografica digitale: così insegna la cultura informatica.

Il computer come strumento fotografico

Il computer, corredato da appositi programmi di fotoritocco e di gestione delle immagini, ci permette di incorporare le nostre fotografie in ogni tipo di documento, cartaceo o virtuale che sia, quasi istantaneamente. Infatti il maggiore vantaggio che una fotocamera digitale ha nei confronti di una convenzionale è proprio il fatto che il tempo che può intercorrere tra lo scatto e l'inserimento dell'immagine appena ripresa nel nostro computer si può ridurre ad una manciata di minuti se non meno, al termine dei quali saremo già pronti a modificare, personalizzare o spedire la nostra foto nelle modalità che più ci aggradano.

La finezza delle correzioni e delle modifiche che ci si presentano sono dovute in particolare modo al fatto che software come Photoshop lavorano in modalità bitmap, ovvero ci danno la possibilità di intervenire in modo indipendente su ogni singolo punto (o pixel) dell'immagine, così come di sovvertirne interamente i parametri generali di visualizzazione. Il fotoritocco è in tal modo molto semplice e rapido, anche per la possibilità di salvare le modifiche parziali apportate, magari in momenti diversi, ad una stessa foto, nonché per la facilità che abbiamo di ritornare indietro di alcuni passi di lavorazione (o sperimentazione) tramite la funzionalità di Undo (letteralmente "disfa", ovvero "torna indietro"), onnipresente in qualunque software moderno, senza essere costretti a buttare chili di carta e chimici. Ogni prova o test che possiamo fare su un'immagine all'interno di un computer ha il solo costo del tempo che abbiamo impiegato nel realizzarla. In un certo senso, la possibilità di manipolare così profondamente una fotografia tramite gli interventi digitali, fa sì che il momento della creazione fotografi-



La luce, incidendo su ogni elemento del CCD, crea una carica elettrica proporzionale alla sua intensità. Questa carica elettrica, analogica, viene fatta pervenire a un convertitore analogico-digitale per la conversione in dati digitali.

CCD Lineare

È illustrata solo una riga di un CCD Trilineare. All'inizio di un'esposizione, tutti gli elementi sensibili alla luce vengono ripristinati per scaricarli. La carica indotta dalla luce si ricostruisce quindi durante il tempo di integrazione, dopo il quale viene spostata nei vicini registri di trasferimento.

Queste operazioni vengono compiute dagli elementi del CCD insensibili alla luce. Le cariche vengono spostate nei registri e vengono lette o misurate non appena lasciano la fine. L'uso di due registri di spostamento velocizza questo processo. L'esposizione complessiva e il tempo di lettura per le tre linee RGB di elementi fotosensibili in un CCD lineare è conosciuto come tempo per linea.



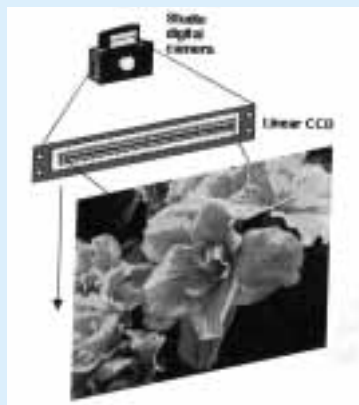
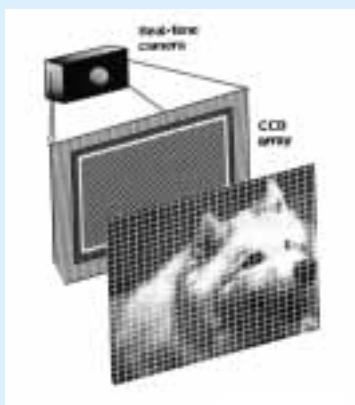
CCD a matrice

Vengono mostrate tre colonne di elementi fotosensibili di una matrice monocromatica del CCD. (1)

Dopo l'esposizione, tutte le cariche vengono trasferite contemporaneamente nei registri adiacenti con spostamenti verticali. (2)

Queste colonne di cariche sono abbassate sui registri con spostamenti verticali per trasferire un'unica carica nel registro con spostamento orizzontale. (3)

Tutte le cariche del registro orizzontale vengono quindi spostate alla fine per essere lette prima che la singola carica successiva venga trasferita dai registri verticali. In questo modo, tutte le cariche vengono lette sistematicamente fuori dalla matrice.



ca si sposti dalla fase della ripresa al termine del processo.

Un forte impulso allo sviluppo dell'accoppiata fotocamera digitale-personal computer, è derivata anche dalla necessità di avere a disposizione materiale fotografico in breve tempo e nel formato più adatto ad essere gestito e "spostato"; basti pensare alle autostrade dell'informazione digitale: internet, posta elettronica e simili.

È palese che l'esigenza di una grande rapidità nella gestione dell'informazione senta come un collo di bottiglia i limiti del tradizionale processo della fotografia chimica. Questo è stato uno dei motori che più hanno spinto l'evoluzione della fotografia digitale: l'esigenza di un accesso più diretto all'immagine, di un accesso digitale all'informazione, ed oggi la tecnologia ce lo permette.

Come funziona la fotocamera digitale

La più grande differenza tra una fotocamera digitale ed una chimica, e forse la sola in fondo degna di nota, è l'assenza nella prima della pellicola che, al contrario nella seconda, costituisce l'elemento sensibile. Ma qualche cosa di sensibile ci deve pur essere per trattenere un'immagine; questo è un componente elettronico, specializzato nel raccogliere e condurre una parte dell'energia elettrica che lo raggiunge: il suo nome è **CCD**, acronimo di 'Charge Coupled Device'.

Esso è costituito da migliaia o milioni di elementi fotosensibili, che reagiscono in un qualche modo quando vengono colpiti dalla luce: in genere questi minuscoli elementi sono disposti ordinatamente a formare una griglia di forma più o meno rettangolare. La luce che passa attraverso le lenti dell'obiettivo della fotocamera digitale raggiunge il CCD che converte la luce in cariche elettriche, la cui potenza varia a seconda dell'intensità della luce che è giunta al sensore. Sotto questo aspetto esso assomiglia molto ad una pellicola tradizionale: gli elementi fotosensibili di silicio, propri del CCD, si sostituiscono agli alogenuri d'argento della pellicola.

la. La grossa differenza tra le due tecnologie sta però nel fatto che gli elementi sensibili del CCD hanno la possibilità di ritornare nello stato di “non eccitazione”, gli alogenuri possono invece essere “bruciacchiati” una volta soltanto.

Nel momento in cui viene premuto il pulsante di scatto, il CCD trasmette le cariche presenti su ognuno degli elementi sensibili che lo costituiscono ad un convertitore analogico-digitale, che trasforma tali segnali in dati digitali e li “spedisce” ad una memoria RAM (acronimo di Random Access Memory), da cui possono essere prelevati per la visione sul display dell’apparecchio digitale, oppure per essere salvati su scheda di memoria.

Le categorie di CCD adatti al nostro scopo, fotografico, sono due: quella dei CCD lineari e quella dei sensori a griglia di punti (detti a matrice).

I **CCD lineari** si trovano nelle fotocamere da studio di grande formato ad alta risoluzione e sono caratterizzati dal fatto che il sensore cattura l’immagine una riga per volta, scorrendola, esattamente come fa uno scanner da tavolo, in un determinato senso. Questo tipo di approccio è evidentemente lento, soprattutto se pensiamo di riprendere una qualsivoglia scena in cui compaiano soggetti in movimento: è come tentare di fare una fotografia ad un’auto da corsa con un tempo di otturazione di 10 secondi. È anche ovvio che il tipo di luce presente durante la ripresa con una fotocamera basata su un CCD lineare deve essere obbligatoriamente di tipo continuo, ed estremamente stabile, precludendo così l’uti-

lizzo di tali apparecchi con il lampo del nostro flash, troppo breve se paragonato alle lunghe esposizioni necessarie al CCD lineare per registrare l’intera immagine.

Le fotocamere dotate di griglia di elementi sensibili, altrimenti dette **a matrice di pixel**, possiedono viceversa la caratteristica di fare corrispondere ad ogni elemento del CCD un punto dell’immagine: in tal modo tutta l’immagine è contemporaneamente presente sul sensore e, nel momento in cui decidiamo di premere il pulsante di scatto, l’intera fotografia viene salvata in memoria nella medesima frazione di secondo. Va da sé che quanto più numerosi saranno i pixel della griglia, tanto maggiore sarà la risoluzione dell’immagine digitale ottenuta, con la conseguenza che sarà necessaria una maggiore quantità di memoria per il salvataggio e la gestione della foto.

Nelle fotocamere di fascia bassa la risoluzione è inferiore a un milione di pixel; se non si hanno particolari esigenze di qualità, una modesta risoluzione consente di risparmiare spazio di memorizzazione e facilita la gestione delle immagini.

Il colore sintetico

Finora abbiamo parlato della cattura dell’immagine e della risoluzione; tuttavia il CCD, di per sé, non è in grado di distinguere i colori.

Per capire come sia possibile generare elettronicamente il colore, occorre fare una piccola digressione nel campo della colorimetria. Come quando misceliamo due colori ad olio di tinta blu e gialla per ottene-

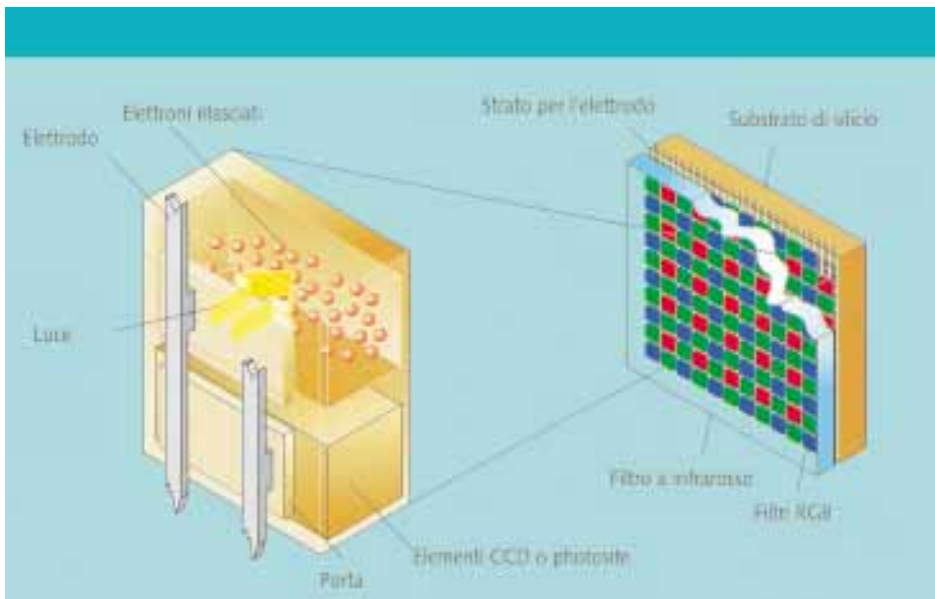
re un verde, allo stesso modo il nostro sistema visivo opera delle operazioni di somma o sottrazione per ricomporre i segnali cromatici che giungono sulla retina dell’occhio. È possibile sperimentare altre simili operazioni con due tipi fondamentali di sintesi cromatiche: quella additiva e quella sottrattiva.

La prima utilizza come colori primari rosso, blu e verde che, se sommati tra di loro in diverse percentuali, permettono di ottenere tutti i colori (il nero è dato dall’assenza dei 3 colori primari, il bianco dall’insieme al 100% degli stessi colori).

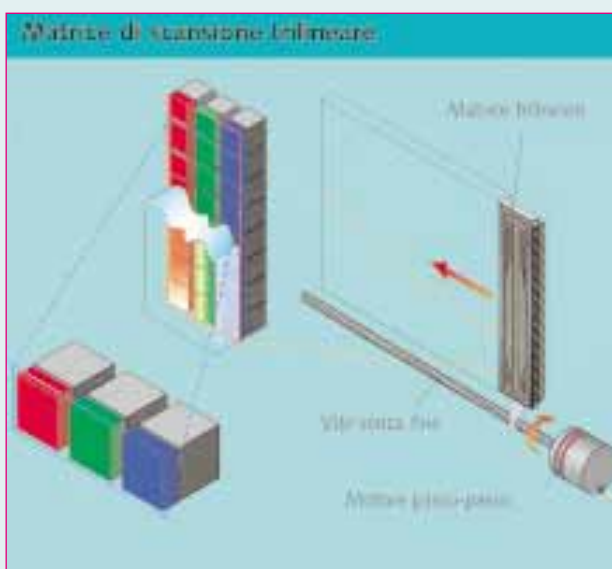
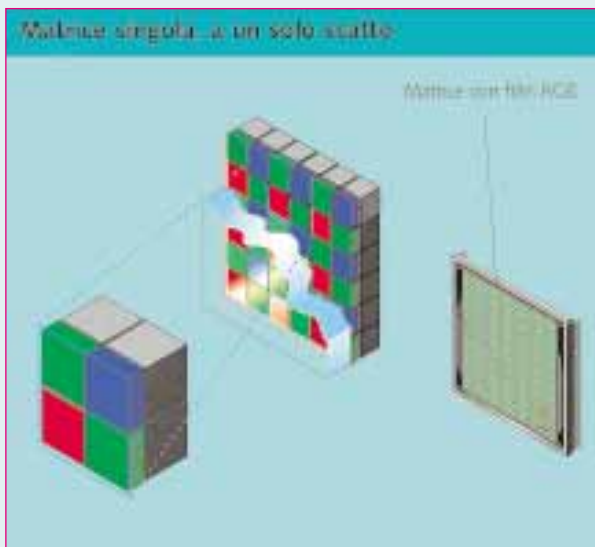
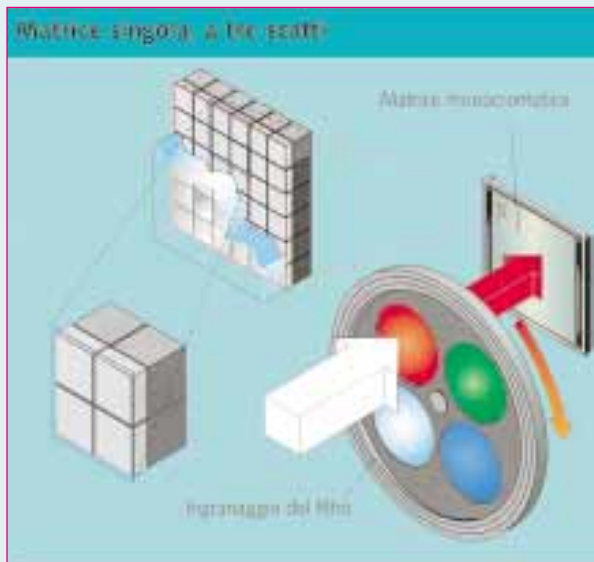
La seconda, invece, utilizza come primari i colori ciano, magenta e giallo i quali, se sottratti a poco a poco dalla luce bianca (per esempio tramite dei filtri), consentono di giungere al colore nero di massima sottrazione cromatica.

Per registrare i colori il CCD usa un sistema di filtri, con sintesi additiva. In fondo anche le pellicole tradizionali usano un sistema analogo, in quanto i diversi strati sono sensibili a diversi colori.

Nelle pellicole gli strati sono semitrasparenti, per cui ogni punto è esposto contemporaneamente a filtri diversi; nei CCD questo non è purtroppo possibile visto che ogni pixel è, in un medesimo istante, sensibile ad un solo colore. Il colore può essere allora generato da tre esposizioni successive della stessa scena, con un conseguente allungamento dei tempi di posa, al termine della quale i tre segnali possono essere elettronicamente ricomposti per generare l’immagine finale. La relativa semplicità di questo procedimento si paga



Il CCD appare rivestito di filtri RGB, alternati: si può vedere come i filtri verdi siano in numero doppio rispetto a quelli rossi e blu. Il disegno sulla sinistra mostra la generazione di una carica elettrica per effetto della luce.



Le illustrazioni dell' articolo sono tratte dalla collana dei libri Agfa, in vendita presso Fotolibreria

però con dei tempi di elaborazione troppo lunghi. Se poi si usa un **sensore CCD lineare**, otteniamo dei tempi di risposta inaccettabili.

Per abbreviare i tempi, se il CCD lineare è irrinunciabile si può prendere in considerazione il CCD tri-lineare, nel quale sono affiancate, nello stesso CCD, tre linee di elementi fotosensibili, ognuna filtrata con uno dei tre colori primari. Questo sistema permette di ottenere, con una singola "passata", tutte e tre le immagini che genereranno quella finale. Questo sistema è usato nei dorsi digitali per macchine professionali.

Le fotocamere con **sensore a matrice di pixel** si avvalgono di un sistema simile, ma diverso per realizzazione: le possibilità di gestire il colore, in questi apparecchi, sono due. Nel primo caso gli elementi filtranti sono incorporati nel CCD, con pixel vicini dotati di filtratura diversa, la cui disposizione può assumere un andamento variabile da sensore a sensore. Il processore presente nella fotocamera calcolerà una media pesata del corretto valore di tutti i pixel dell'immagine, anche di quelli che, essendo filtrati con un colore diverso, non sono presenti nell'immagine considerata. In tale modo è come se si perdessero, per ogni pixel filtrato con un colore primario, due punti che sono stati utilizzati per gli altri due primari: sta al processore non farci percepire questa assenza di informazioni. Viene persa un po' di nitidezza, soprattutto nei bordi più netti, proprio per la ricostruzione mediata dell'immagine. Per esempio un bordo nero su fondo bianco ci apparirà velato di grigio, anche se in modo appena percettibile, dato che molto probabilmente, in quella zona, il processore della fotocamera farà una media fra il bianco dello sfondo ed il nero del bordo. La perdita di informazioni è compensata dal vantaggio che l'esposizione è istantanea e non soffre dei tempi di attesa propri del CCD lineare; infatti il processore è molto veloce ad applicare le funzioni matematiche necessarie a ricostruire l'informazione perduta. L'altro modo di ottenere delle immagini a colori nelle fotocamere digitali con sensore a matrice è quello di utilizzare un prisma che dirige, scomponendolo nei tre colori primari, il raggio di luce che entra nell'obiettivo verso tre CCD a matrice separati, ognuno adibito a raccogliere i dati di uno dei tre colori primari. La singola immagine risultante, ricombinata anche in questo caso dal processore interno alla fotocamera, avrà in tale modo la stessa risoluzione di uno dei tre CCD, con una notevole fedeltà nella riproduzione dei colori ed una grande nitidezza, non essendo in questo caso necessario mediare i dati colore per recuperare quelli che, nell'ipotesi precedente, erano andati persi. Lo scotto da pagare in questo caso è quello di dovere gestire una mole di dati decisamente più pesante, affaticando così il processore, che dovrà essere in una certa misura più complesso, ed intasando la memoria temporanea della macchina, che necessiterà di un aumento della capacità: per questo motivo tali apparecchiature si trovano prevalentemente affiancate al personal computer negli studi fotografici, dato anche l'aumento dei costi dovuto alla complicazione dello schema progettuale e dell'architettura interna della fotocamera.

Eugenio G. Tursi
(I-Continua)