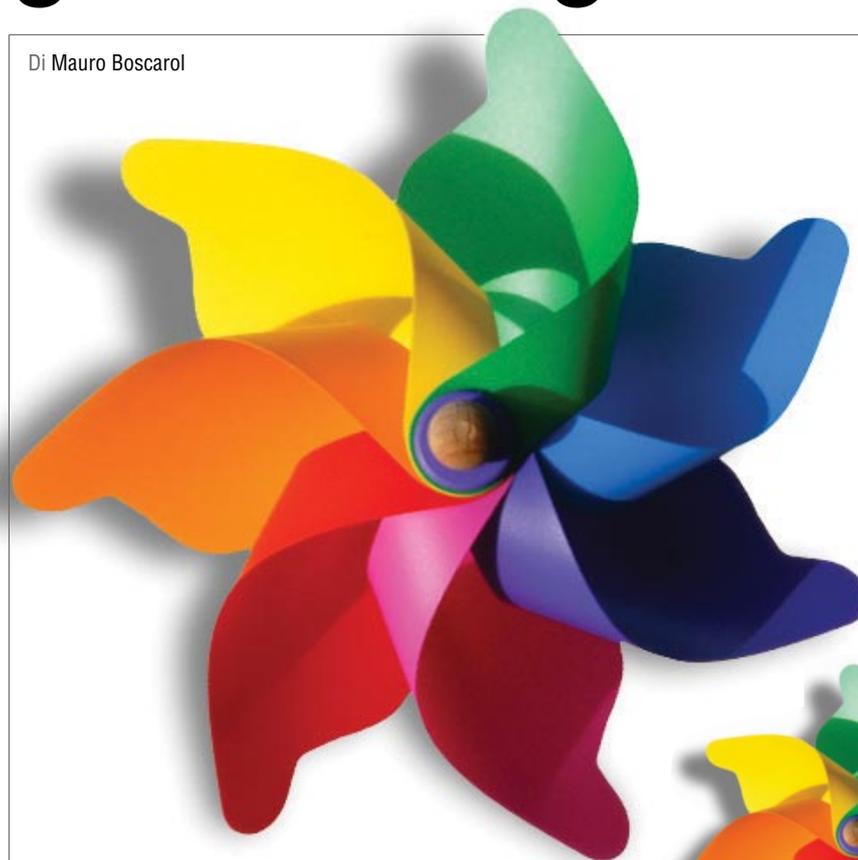


# Colore

## I fondamenti della gestione digitale

Di Mauro Boscarol



**L**a tecnologia di *gestione digitale del colore* si pone un obiettivo non semplice da raggiungere, ma facile da enunciare: mantenere il più possibile la fedeltà cromatica di un'immagine quando si visualizza o stampa su periferiche diverse. Consideriamo come esempio una fotografia scattata con una fotocamera digitale. Una volta visualizzata sul monitor e stampata, do-

vrebbe apparire uguale o molto simile alla scena catturata dal fotografo.

Lo stesso risultato si dovrebbe ottenere su altri monitor e con altre stampanti. Quando si parla di *gestione digitale del colore* si intende l'insieme delle tecnologie sviluppate per giungere a questo risultato. Per sgombrare subito il campo da un potenziale equivo-

**Fotocamere, monitor e stampanti non interpretano in modo univoco le informazioni cromatiche di un'immagine.**

**Per ottenere una corrispondenza precisa su tutta la catena di riproduzione il colore va gestito.**

co, i termini *gestione* e *correzione del colore* non sono sinonimi: con quest'ultima si modifica l'immagine dal punto di vista estetico, in base a criteri oggettivi e soggettivi (rimozione delle dominanti, ottimizzazione di luminosità, contrasto e così via) usando strumenti come l'istogramma, le curve e i livelli.

**La gestione del colore, invece, mantiene la coerenza** cromatica dell'immagine nelle varie tappe del flusso di lavoro e nel passaggio da una periferica all'altra in input e output, utilizzando

algoritmi di conversione di colore, profili di periferiche, intenti di rendering.

Le due attività sono indipendenti e complementari e vanno svolte

una dopo l'altra: prima la

*gestione del colore*, per assicurare la corrispondenza cromatica, poi la *correzione del colore*, per ottimizzarlo.

### Immagini digitali

In questo articolo ci occupiamo unicamente di immagini digitali raster, formate cioè da una matrice di pixel adiacenti, come un mo-

saico. Ogni pixel è rappresentato da numeri: in modalità Rgb, è definito da una terna di interi che, singolarmente, possono assumere un valore compreso tra 0 e 255; in modalità Cmyk, ogni pixel è descritto da quattro numeri interi, ognuno con valore tra 0 e 100. Non ci sono colori in un'immagine digitale, ma numeri. Solo quando l'immagine è letta da un'applicazione (come Adobe Photoshop), è caricata in memoria, visualizzata su un monitor o stampata, i numeri generano colori. Ed è proprio in questo passaggio che hanno origine i diversi problemi affrontati dalla tecnologia di gestione del colore.

## Il significato dei numeri

È opinione diffusa che i valori Rgb o Cmyk definiscano con precisione il colore di un pixel: per esempio, che 255R 0G 0B equivalga al rosso e 0C 0M 100Y 0K al giallo. In realtà ciò è vero solo in parte. Chiunque abbia visitato un ambiente in cui erano presenti più Tv a colori o monitor avrà forse avuto modo di osservare come una stessa immagine – ovvero le medesime informazioni Rgb – apparisse diversa da un display all'altro. Se non è meglio precisato, infatti, i numeri 255R 0G 0B rappresentano certamente un rosso, ma su due monitor diversi potrebbe apparire più o meno saturo e luminoso oppure più tendente all'arancio o al viola. Questo livello di approssimazione potrebbe forse soddisfare chi lavora con Word ed Excel, ma non un fotografo o un grafico professionista né un utente evoluto.

**Il motivo per cui i colori di un'immagine Rgb dipendono dal monitor** utilizzato sono legati alle diverse tecnologie e materiali impiegati nel processo di fabbricazione. Queste osservazioni valgono anche per le stampanti. Identiche percentuali Cmyk producono colori differenti su periferiche diverse: i numeri 0C 0M 100Y 0K indicano sicuramente un giallo, ma in certi casi si tratterà di una tonalità un po' più rossastra,



**Un'immagine raster Rgb è composta da una matrice di pixel adiacenti, descritti ognuno da una terna di numeri interi compresi tra 0 e 255. Su monitor diversi, le stesse informazioni Rgb generano colori differenti: il significato dei numeri dipende infatti dalla periferica specifica.**

Navigatore		Info		Istogramma	
R:	201	C:	1%		
G:	86	M:	79%		
B:	125	Y:	23%		
		K:	0%		
8 bit		8 bit			
X:	18,70	L:			
Y:	2,89	A:			
#1 R:	202				
G:	83				
B:	125				
Doc: 23,4 MB/23,4 MB					
Fate clic e trascinate per spostare il campionatore di colore. Usate Opz per eliminare il campionatore di colore.					

in altri più verde e con livelli variabili di luminosità e saturazione. Anche qui la causa risiede nelle varie tecnologie in gioco, nelle caratteristiche dei pigmenti e del supporto cartaceo. Ogni periferica, in sintesi, ha una propria personalità e produce (se è un monitor o una stampante) o legge (se è una fotocamera o uno scanner) i colori a modo proprio.

**Ogni monitor e ogni stampante generano colori più o meno diversi dalle stesse informazioni Rgb / Cmyk** e ogni scanner e ogni fotocamera rappresentano un determinato colore con valori Rgb diversi. Il significato dei numeri, pertanto, è *device dependent*, ossia dipende dall'esemplare specifico di periferica.

È per questo motivo che chiamiamo "numeri" e non "colori" i valori di periferica (Rgb e Cmyk) e definiamo invece "colore" la nostra percezione e le coordinate colorimetriche (XYZ, Yxy, Lab) che la rappresentano.

L'obiettivo della gestione del colore è garantire la corrispondenza cromatica su tutti i dispositivi della catena di riproduzione, perciò è

indispensabile superare l'ambiguità dei numeri attribuendo loro un significato univoco. Ciò si realizza stabilendo una correlazione tra valori Rgb o Cmyk e coordinate colorimetriche, che in un certo senso sono "assolute", indipendenti da qualunque periferica. Utilizzando questa corrispondenza si possono così riprodurre gli stessi colori, questa volta individuati in modo univoco, mediante i singoli apparecchi. In altri termini, i modelli Rgb e Cmyk indicano ai dispositivi la quantità di colorante da usare, ma l'effettivo colore generato dipende poi dalle specificità della singola macchina.

**Il modello Cie** (*Commission International de l'Eclairage*), invece, descrive l'esatto colore che un osservatore standard - un essere umano dotato di un normale sistema visivo - percepirebbe in condizioni di visione definite. Questo modello assoluto o *device independent* non dice cosa sia necessario fare perché un monitor, uno scanner o una stampante generino un colore specifico.

Per gestire il colore nel mondo reale i due modelli devono essere combinati.

### Caratterizzare una periferica

Consideriamo una fotografia scattata con una fotocamera digitale, in cui ogni pixel è rappresentato da numeri Rgb. Com'è possibile rendere non ambigui questi valori? Lo si può fare allegando all'immagine una tabella di corrispondenza tra i numeri Rgb e i valori colorimetrici dei colori catturati: ovvero, preparando una volta per tutte la caratterizzazione della fotocamera. Consideriamo in questo esempio un apparecchio che elabora l'immagine al suo interno salvandola come file Jpeg o Tiff.

Per caratterizzare la macchina si impiega un target come ColorChecker di GretagMacbeth, una test chart di formato A4 costituita da una griglia di 24 riquadri colorati con pigmenti a basso valore



**GretagMacbeth ColorChecker** un target per caratterizzare le fotocamere digitali composto da una griglia con 24 riquadri colorati, di cui i sei nella parte inferiore formano una scala di grigi.

metamerico per limitare il più possibile la variazione del colore al mutare dell'illuminazione. Per ogni riquadro sono note le coordinate colorimetriche XYZ (se non le fossero, si potrebbero sempre misurare). Il target deve essere fotografato sotto una data illuminazione, per cui la procedura ha senso solo per l'uso in studio. Per ognuna delle

24 tacche colorate la fotocamera fornisce tre valori Rgb che vanno riportati in una tabella a fianco delle rispettive coordinate colorimetriche. Al termine si ottengono 24 righe. Questa tabella non riporta tutte le possibili combinazioni Rgb producibili dalla fotocamera, ma possiamo ordinarla per valori Rgb crescenti e calcolare per interpolazione le combinazioni mancanti. La tabella che otteniamo caratterizza l'apparecchio: ogni combinazione da R = G = B = 0 fino a R = G = B = 255 indica le coordinate colorimetriche – dunque il colore esatto – che l'apparecchio intende quando fornisce quei numeri.

### Caratterizzare la fotocamera con ColorChecker

	VALORI RGB FOTOCAMERA			COORDINATE COLORIMETRICHE		
	R	G	B	X	Y	Z
	81	66	52	0,11	0,10	0,07
	160	138	116	0,39	0,35	0,35
	95	102	134	0,18	0,19	0,37
	78	74	140	0,14	0,12	0,41
	143	168	63	0,34	0,43	0,12
	202	191	69	0,57	0,60	0,10
...	...	...	...	...	...	...
	103	103	102	0,19	0,19	0,23
	65	66	66	0,09	0,09	0,10
	37	37	37	0,03	0,03	0,04

Corrispondenza tra i valori Rgb forniti da una fotocamera digitale e le coordinate colorimetriche dei 24 riquadri della test chart ColorChecker.

### Tabella di caratterizzazione della fotocamera

PIXEL DELL'IMMAGINE			VALORI RGB FOTOCAMERA			COORD. COLORIMETRICHE		
R	G	B	R	G	B	X	Y	Z
239	10	15	0	0	0	0	0	0
55	20	32	...	...	...	...	...	...
14	10	12	55	20	32	0,37	0,19	0,02
15	147	22	...	...	...	...	...	...
17	255	253	255	255	253	0,95	0,99	1,08
221	255	254	255	255	254	0,95	0,99	1,09
...	...	...	255	255	255	0,95	1,00	1,09

A sinistra, i valori dei pixel di un'immagine digitale Rgb; a destra, la tabella di caratterizzazione della fotocamera. I dati Rgb device dependent sono trasformati in coordinate colorimetriche device independent.

In questo modo possiamo determinare con precisione il significato dei numeri di una qualsiasi immagine catturata con quella specifica fotocamera e con quella fonte d'illuminazione: basta allegare all'immagine la tabella di caratterizzazione. In questo modo, i dati Rgb prodotti dalla macchina (che sono *device dependent*) sono convertibili in coordinate colorimetriche *device independent*. Un procedimento del tutto analogo è applicabile a scanner, monitor, stampanti. Una volta creata, la tabella fornisce un significato non ambiguo (cioè un colore preciso) a ogni pixel di un'immagine catturata, visualizzata o stampata. Vediamo ora come si caratterizzano un monitor e una periferica di stampa. Per uno scanner il principio è identico a quello usato per la fotocamera.

## Caratterizzare un monitor

COORDINATE RGB DEL MONITOR			COORDINATE COLORIMETRICHE		
R	G	B	X	Y	Z
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	2	0	0	0
...	...	...	...	...	...
139	10	15	0,37	0,18	0,01
139	10	16	0,37	0,19	0,02
139	10	17	0,38	0,19	0,03
...	...	...	...	...	...
255	255	253	0,95	1,00	1,07
255	255	254	0,95	1,00	1,08
255	255	255	0,95	1,00	1,09

Sono riportate tutte le possibili combinazioni di valori Rgb e le rispettive coordinate colorimetriche XYZ.

## Caratterizzare una periferica di stampa

COORDINATE DI PERIFERICA				COORDINATE COLORIMETRICHE		
C	M	Y	K	X	Y	Z
0	0	0	0	0,83	0,85	0,77
0	0	0	1	0,81	0,83	0,76
0	0	0	2	0,80	0,82	0,75
...	...	...	...	...	...	...
50	48	23	6	0,23	0,26	0,28
50	48	23	7	0,26	0,25	0,28
50	48	23	8	0,26	0,26	0,28
...	...	...	...	...	...	...
100	100	100	98	0,06	0,07	0,06
100	100	100	99	0,06	0,07	0,06
100	100	100	100	0,06	0,07	0,06

Contiene tutte le possibili combinazioni di valori Cmyk e le rispettive coordinate colorimetriche XYZ.

## Caratterizzare un monitor

Caratterizzare un monitor è un'operazione molto semplice. Regolati su determinate posizioni tutti i controlli che influiscono sul colore (come i comandi di luminosità e contrasto), si costruisce una tabella che riporta tutte le possibili combinazioni di valori R, G e B a partire da R = G = B = 0 fino a R = G = B = 255. Per ognuna di queste terne Rgb, il monitor visualizza un colore di cui si possono misurare e registrare le coordinate colorimetriche XYZ. Una volta completata, la

tabella di caratterizzazione può essere allegata a ogni immagine creata o messa a punto su quel monitor per dare un significato cromatico preciso ai valori Rgb dell'immagine.

## Caratterizzare un monitor con pochi dati

Le righe della tabella di caratterizzazione di un monitor sono 256 x 256 x 256, vale a dire oltre 16,7 milioni di combinazioni diverse. Per compilare la tabella completa, perciò, si dovrebbero prendere oltre 16 milioni di misure. L'impresa è quasi impossibile: se per effettuare e annotare una singola rilevazione ci si mettesse 1 secondo, sarebbero necessari più di 6 mesi per portare a termine l'intero lavoro e il file risultante occuperebbe quasi 100 MByte.

Nella pratica si seguono due metodi alternativi. Il primo prevede la misurazione di un numero ristretto di colori, per esempio qualche centinaio. I restanti sono ricavati matematicamente con tecniche d'interpolazione. Il secondo criterio consiste nell'implementare un algoritmo basato su un numero limitato d'informazioni. L'algoritmo riceve in ingresso una terna di valori Rgb e fornisce in uscita le coordinate XYZ del colore corrispondente. Questo processo si svolge *on demand*, elaborando una singola riga della tabella alla volta senza costruirla esplicitamente. L'esistenza di questo algoritmo, il cui principio è stato individuato da Isaac Newton nel 1666, consente di costruire implicitamente l'intera tabella di caratterizzazione partendo da un numero esiguo di dati, memorizzabili in un file di pochi byte.

## Caratterizzare una stampante

La tabella di caratterizzazione di una stampante si costruisce in modo simile, sfruttando lo stesso principio per ogni classe di periferica: da scrivania (laser, a getto

d'inchiostro), macchina da stampa (offset, flexo, rotocalco), stampatrice fotografica. Per caratterizzare una stampante si caricano gli inchiostri e un determinato tipo di carta e si costruisce una tabella con tante righe quante sono le possibili combinazioni di valori Cmyk. Si stampano le diverse combinazioni d'inchiostri e si misurano e annotano le rispettive coordinate colorimetriche.

La tabella costruita è la tabella di caratterizzazione della stampante. In questo caso non è possibile evitare di costruire l'intera tabella implementando, come nel caso del monitor, un algoritmo. D'altra parte la tabella completa di caratterizzazione richiederebbe qualche centinaio di MByte di memoria e dunque è impossibile costruirla tutta in modo esplicito. Resta la possibilità di realizzare un numero ridotto di righe, qualche migliaio, e ottenere i dati mancanti per interpolazione al momento della consultazione.

## La caratterizzazione non riguarda solo la periferica

La tabella di caratterizzazione del monitor riflette il comportamento del dispositivo nelle condizioni in cui si trovava al tempo delle misure, con i controlli che influenzano il colore (come luminosità e contrasto) tarati su posizioni ben precise. Con i controlli impostati in modo differente, la tabella perderebbe valore e se ne dovrebbe realizzare un'altra. Analogamente, la tabella di caratterizzazione della stampante riguarda la periferica nelle condizioni in cui si trovava al momento delle misure, con un set d'inchiostri

### Periferica

Scanner	originale
Fotocamera	illuminazione
Monitor	luminosità contrasto gamma bianco
Stampante	carta inchiostri

La caratterizzazione di una periferica dipende, oltre che dalle proprietà specifiche, anche dagli altri elementi indicati in questa tabella.

e carta specifici. Con altri inchiostri e/o carta diversa, il procedimento andrebbe ripetuto.

## Cambiare i numeri per non cambiare il colore

Dopo aver realizzato le tabelle di caratterizzazione delle periferiche possiamo finalmente dare una prima risposta alla domanda iniziale: come riprodurre la stessa immagine con periferiche diverse mantenendone inalterati i colori?

Abbiamo un'immagine Rgb con allegata la tabella di caratterizzazione della fotocamera con cui è stata scattata: l'immagine è un mosaico di pixel, ognuno dei quali è rappresentato da una terna di dati Rgb cui sono associate le coordinate colorimetriche corrispondenti, in modo diretto o per interpolazione.

Ora desideriamo visualizzare l'immagine su un monitor di cui possediamo la tabella di caratterizzazione. Il problema si riduce nel trovare, pixel per pixel, i valori Rgb che occorre visualizzare sul monitor per riprodurre lo stesso colore dell'immagine originale.

**Quali valori Rgb devono essere scelti per visualizzare** sul monitor il pixel 239R 10G 15B? Rappresentare direttamente questi valori senza modificarli sarebbe errato, perché il monitor ha un'altra tabella di caratterizzazione rispetto a quella della fotocamera. Per otte-

nere lo stesso colore sul display è necessario fornirgli valori opportunamente modificati. In che modo? Facendo uso delle due tabelle di caratterizzazione, rispettivamente quella allegata all'immagine (relativa alla fotocamera) e quella del monitor.

**La prima viene letta nella direzione che va** dalle coordinate di periferica Rgb alle coordinate colorimetriche XYZ; la tabella di destinazione del monitor deve essere letta nel senso opposto, ossia dalle coordinate colorimetriche XYZ a quelle di periferica Rgb. Le due tabelle si mettono una di fianco all'altra, a sinistra quella di origine, a destra quella di destinazione, procedendo in questo modo:

- nella tabella di origine si identifica la riga che contiene i valori Rgb del pixel (es. 239R, 10G, 15B);
- nella stessa tabella si leggono le corrispondenti coordinate colorimetriche (es. X=0,37, Y=0,19, Z=0,02);
- si individuano questi stessi valori nella tabella di destinazione;
- si leggono in corrispondenza i valori Rgb (es. 186R, 83G, 44B).

Così facendo, il colore originale del pixel 239R 10G 15B si ottiene sul monitor impostando i numeri 186R 83G 44B. Questo procedimento, che consiste nel modificare i numeri riferiti alla periferica sorgente in modo da avere lo stesso colore sulla periferica di

destinazione, è detto *conversione di colore* (anche se in realtà si tratta di una conversione di numeri) ed è riassumibile nel concetto "cambiare i numeri per non cambiare il colore".

## Conversione in quadricromia

Nell'esempio precedente entrambe le periferiche erano in modalità Rgb. Quando le modalità di colore di origine e destinazione sono diverse il principio non cambia, come vediamo in un altro esempio. Desideriamo stampare la precedente immagine Rgb visualizzata a monitor con una stampante Cmyk in modo che i colori corrispondano agli originali. **Questo è il problema che i fotografi digitali affrontano ogni volta che devono riprodurre le proprie fotografie.** Prima visualizzano l'immagine sul monitor (e qui agisce la conversione di colore descritta nel paragrafo precedente) ed effettuano le necessarie correzioni, quindi stampano la fotografia e richiedono che i colori stampati coincidano con quelli visualizzati a monitor.

È possibile farlo? Come? Quali percentuali di inchiostri Cmyk devono essere usate con una data stampante per ottenere il pixel che sul monitor ha coordinate Rgb 186R 83G 44B? Anche in questo caso dobbiamo convertire il colore facendo uso come origine della tabella di caratterizzazione del monitor e come destinazione della tabella di caratterizzazione della stampante. Si procede nel modo seguente:

- nella tabella di origine si identifica la riga che contiene i valori del pixel 186R, 83G, 44B;
- nella stessa tabella si leggono in corrispondenza le coordinate colorimetriche, nell'esempio X = 0,37, Y = 0,19, Z = 0,02;
- si individuano queste coordinate nella tabella di destinazione;
- si leggono in corrispondenza i valori Cmyk, nell'esempio le percentuali d'inchiostro 20C 90M 20Y 0K.

## Conversione del colore: da fotocamera a monitor

### ORIGINE: FOTOCAMERA

COORDINATE DI PERIFERICA			COORDINATE COLORIMETRICHE		
R	G	B	X	Y	Z
0	0	0	0	0	0
...	...	...	...	...	...
239	10	15	0,37	0,19	0,02
...	...	...	...	...	...
255	255	253	0,95	0,99	1,08
255	255	254	0,95	0,99	1,09
255	255	255	0,95	1,00	1,09

### DESTINAZIONE: MONITOR

COORDINATE DI PERIFERICA			COORDINATE COLORIMETRICHE		
R	G	B	X	Y	Z
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0,10
0	0	2	0,01	0	0,02
...	...	...	...	...	...
186	83	44	0,37	0,19	0,02
...	...	...	...	...	...
255	255	255	0,96	1,00	0,82

Le informazioni Rgb del pixel di un'immagine di una fotocamera digitale corrispondono a valori XYZ riproducibili a monitor con una diversa terna Rgb.

## Conversione del colore: da monitor a stampante

ORIGINE: MONITOR						DESTINAZIONE: STAMPANTE						
COORDINATE DI PERIFERICA			COORDINATE COLORIMETRICHE			COORDINATE DI PERIFERICA				COORDINATE COLORIMETRICHE		
R	G	B	X	Y	Z	C	M	Y	K	X	Y	Z
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,83	0,85	0,77
...	...	...	...	...	...	0	0	0	1	0,83	0,85	0,78
<b>186</b>	<b>83</b>	<b>44</b>	<b>0,37</b>	<b>0,19</b>	<b>0,02</b>	0	0	0	2	0,83	0,85	0,8
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
255	255	253	0,95	0,99	1,08	<b>20</b>	<b>90</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>0,37</b>	<b>0,19</b>	<b>0,02</b>
255	255	254	0,95	0,99	1,09	...	...	...	...	...	...	...
255	255	255	0,95	1,00	1,09	100	100	100	100	0,06	0,07	0,06

Le coordinate Rgb del pixel sul monitor corrispondono a precisi valori XYZ che sono riproducibili in stampa con determinati valori Cmyk.

lo l'origine della conversione di colore, mai la destinazione.

Lo schema generale della conversione di colore è quindi:

- nella tabella di origine si identifica la riga che contiene le coordinate di periferica che devono essere convertite;
- nella stessa tabella si leggono le corrispondenti coordinate colorimetriche;
- si individuano tali coordinate colorimetriche nella tabella di destinazione;
- si leggono in corrispondenza le coordinate di periferica.

### Tutte le conversioni possibili

Nei due esempi precedenti la conversione di colore avviene rispettivamente dalla caratterizzazione di una fotocamera a quella di un monitor e poi da questa a quella di una stampante. Naturalmente, la conversione può avvenire tra qualunque altra coppia di tabelle di caratterizzazione di periferica, indipendentemente dalla modalità di colore. Questi sono tutti i casi possibili:

- **da scanner a monitor:** visualizzare un'immagine sul display in modo che conservi l'aspetto dell'originale scansionato;
- **da scanner a stampante:** stampare un'immagine in modo che mantenga i colori dell'originale digitalizzato;
- **da fotocamera a monitor:** visualizzare un'immagine in modo che mantenga i colori dell'originale fotografato;
- **da fotocamera a stampante:** stampare una immagine in modo che conservi l'aspetto dell'originale fotografato;
- **da monitor a monitor:** visualizzare un'immagine su un altro monitor in modo che conservi gli stessi colori;
- **da monitor a stampante:** stampare un'immagine in modo che mantenga l'aspetto di quella visualizzata;

- **da stampante a monitor:** visualizzare un'immagine in modo che abbia i colori di quella stampata;
- **da stampante a stampante:** riprodurre un'immagine preparata per una stampante su una seconda unità, in modo che i colori siano uguali.

È importante notare che una conversione di colore avviene sempre tra due tabelle di caratterizzazione: una tabella di origine e una tabella di destinazione. Monitor e stampante sono periferiche che possono essere sia l'origine sia la destinazione della conversione, mentre scanner e fotocamera sono periferiche che possono essere so-

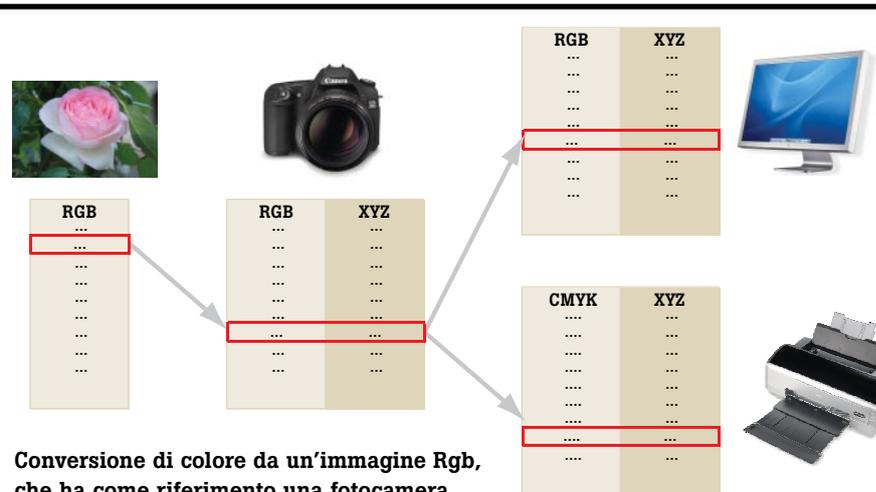
### GAMUT E FUORI GAMUT

Il gamut di una periferica è l'insieme dei colori che essa è in grado di riprodurre.

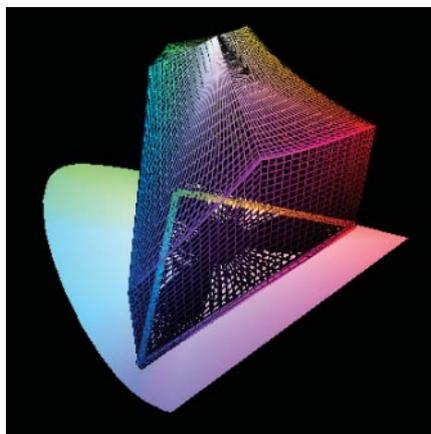
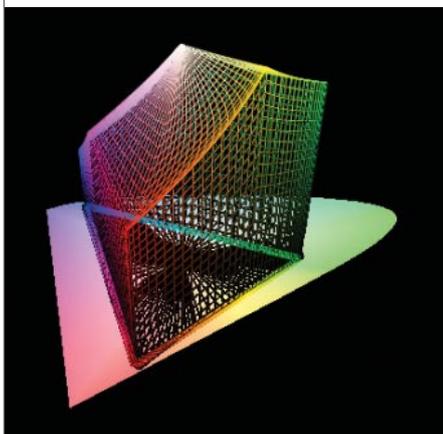
### Gamut di un monitor

La colonna destra della tabella di caratterizzazione di un monitor indica le coordinate colorimetriche di tutti i colori riproducibili. Ogni terna di coordinate è un punto nello spazio colorimetrico XYZ. L'insieme di tutte le terne forma un oggetto che può essere visto come un volume nello spazio colorimetrico XYZ: questo è il gamut del monitor, la rappresentazione grafi-

## Schema della conversione del colore

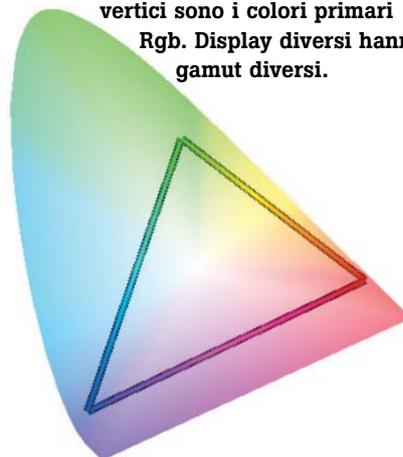


Conversione di colore da un'immagine Rgb, che ha come riferimento una fotocamera digitale, a un monitor Rgb e una stampante Cmyk.



Due viste del gamut di un monitor nello spazio Xy. La rappresentazione è tridimensionale a filo di ferro.

**Il gamut di un monitor,** nel diagramma delle cromaticità xy, ha la forma di un triangolo i cui vertici sono i colori primari Rgb. Display diversi hanno gamut diversi.



ca dei colori che esso può visualizzare. In realtà si tratta di un insieme di punti discreti e dunque non propriamente di un volume, ma si può considerare come gamut, in prima approssimazione, l'involucro convesso che contiene tutti i punti. Il gamut di un monitor nello spazio XYZ ha la forma di un parallelepipedo, ma è più significativo rappresentarlo nello spazio colorimetrico Xy (dove Y è il valore di luminosità, x la tinta, y la saturazione). In quest'ambito il gamut assume un'altra forma, simile a quella riportata nell'illustrazione qui sotto: la proiezione del gamut sul diagramma delle cromaticità xy è un triangolo i cui vertici sono costituiti dai tre colori primari del monitor. È caratteristico di tutte le periferiche che formano i colori tramite sintesi additiva di tre primari avere un gamut la cui proiezione sul diagramma delle cromaticità è un triangolo. Esaminando il gamut di un display si possono osservare due fatti importanti. Il primo è che può riprodurre solo

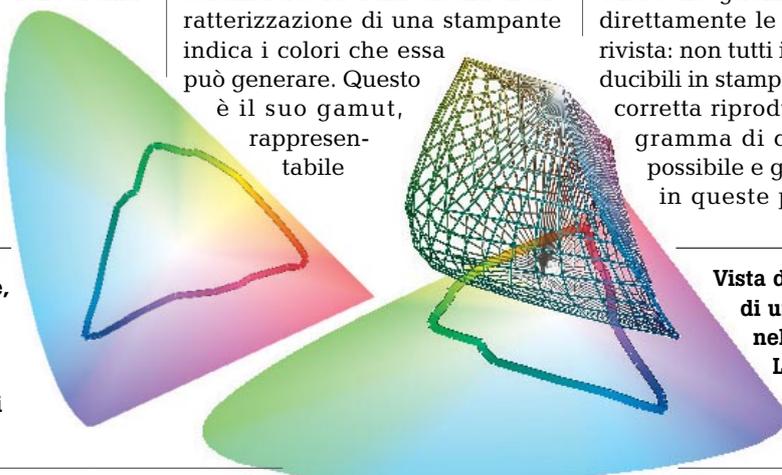
una parte, un sottoinsieme, dei colori percepibili dall'occhio umano. Anche se i primari fossero in posizioni più favorevoli (ma sempre nelle zone del rosso, verde e blu) alcuni colori non sarebbero comunque riproducibili: per esempio, i verdi brillanti e gli azzurri. Non esiste un monitor in grado di visualizzare tutti i colori percepibili dall'uomo. Il secondo fatto, cui abbiamo già accennato, è che monitor diversi hanno caratterizzazioni diverse e gamut diversi. Perciò, gli stessi numeri 0R 255G 0B rappresentano due colori differenti e, viceversa, lo stesso colore in due spazi diversi ha valori Rgb differenti.

### Gamut di una stampante

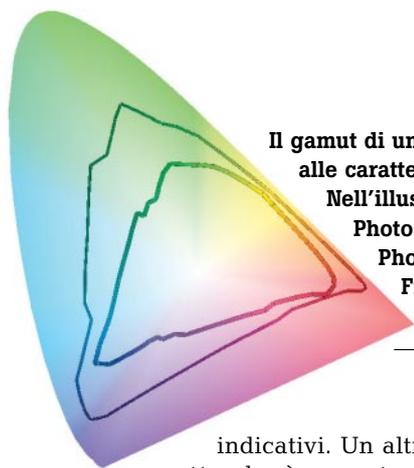
Come nel caso di un monitor, la colonna destra della tabella di caratterizzazione di una stampante indica i colori che essa può generare. Questo è il suo gamut, rappresentabile

graficamente come un insieme di punti racchiusi in un volume tridimensionale nello spazio colorimetrico considerato. La proiezione di questo volume sul diagramma delle cromaticità xy fornisce una rappresentazione bidimensionale del gamut: non un triangolo, come nel caso del monitor, ma un poligono irregolare in cui tre vertici corrispondono ai colori primari ciano, magenta e giallo. La diversa geometria dipende dal fatto che la formazione dei colori in una stampante non avviene per sintesi additiva, ma in modo più complesso: una combinazione di mescolanza additiva e sottrattiva fra colori degli inchiostri e colore della carta. Osservando il grafico bidimensionale è evidente che anche una stampante non è in grado di riprodurre tutti i colori visibili dall'occhio umano, ma solo una parte. Una conseguenza di ciò riguarda direttamente le pagine di questa rivista: non tutti i colori sono riproducibili in stampa, in particolare la corretta riproduzione di un diagramma di cromaticità è impossibile e gli esempi riportati in queste pagine sono solo

**Il gamut di una stampante,** proiettato sul diagramma delle cromaticità xy, è un poligono irregolare in cui alcuni vertici sono i colori primari della periferica.



Vista del gamut 3D di una stampante nello spazio Xy. La rappresentazione è a filo di ferro.



**Il gamut di una stampante varia in base alle caratteristiche della carta utilizzata.**

**Nell'illustrazione, il gamut della Epson Stylus Photo R2400 con carte Moab Kokopelli Photo Gloss (tracciato esterno) ed Entrada Fine Art Natural (tracciato interno, più compresso).**

indicativi. Un altro aspetto che è opportuno sottolineare è che la tabella di caratterizzazione di una stampante, e dunque il suo gamut, non riguarda la sola periferica ma l'intero sistema di stampa: hardware, pigmenti e supporto cartaceo. Anche per questa categoria di periferiche vale il fatto che modelli diversi riproducono gli stessi numeri Cmyk con colori diversi sulla base dei rispettivi gamut.

## Colori fuori gamut

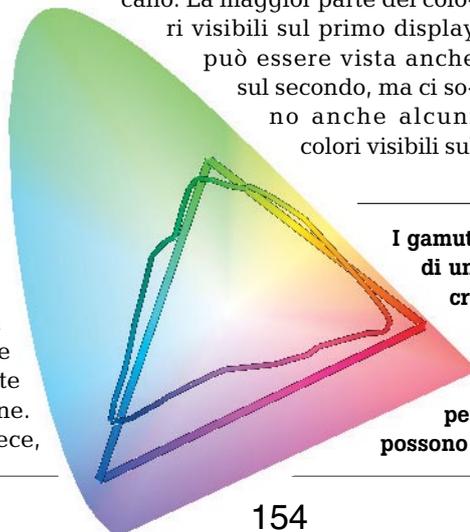
Chiarito il concetto di gamut, possiamo completare il quadro con un importante dettaglio volutamente omissso nella sezione di conversione del colore. La tabella di caratterizzazione di un monitor o di una stampante consente di rispondere a due domande:

- dati in input al monitor o alla stampante determinati valori Rgb o Cmyk, quali sono le coordinate colorimetriche del colore visualizzato o stampato?
- per visualizzare o stampare un colore di determinate coordinate colorimetriche, quali valori Rgb o Cmyk devono essere dati in input al monitor o stampante?

Alla prima domanda rispondono i passi 1 e 2 dello schema generale di conversione del colore. Per com'è costruita la tabella di caratterizzazione, la risposta si trova sempre: per ogni terna Rgb o Cmyk la tabella riporta le relative coordinate colorimetriche, eventualmente individuate per interpolazione. Alla seconda domanda, invece,

si può rispondere solo se il punto 3 dello schema di conversione di colore ha successo, cosa che abbiamo data per scontata, ma non è detto che sia sempre così: se il colore di origine non è riproducibile nella periferica di destinazione, al secondo quesito non c'è risposta. Per esempio, può darsi che un particolare colore sia visibile su un monitor ma non sia stampabile con una data periferica, cioè sia fuori gamut (*out of gamut*). Ci si rende conto immediatamente della situazione confrontando il gamut del monitor con quello della stampante. Nell'illustrazione in basso si osserva che la maggior parte dei colori visibili sul display sono stampabili, ma altri - come il blu saturo - non lo sono. È altrettanto vero che parte dei colori stampabili non sono riproducibili sul monitor, per esempio alcuni azzurri-verdi.

**La stessa situazione si presenta quando l'origine e la destinazione della conversione sono due monitor con gamut diversi.** In questo caso i due gamut sul diagramma delle cromaticità sono rappresentati da due triangoli che s'intersecano. La maggior parte dei colori visibili sul primo display può essere vista anche sul secondo, ma ci sono anche alcuni colori visibili sul



**I gamut bidimensionali di un monitor (triangolo) e di una stampante (poligono) sul diagramma di cromaticità si intersecano. La maggioranza dei colori visualizzati è stampabile, ma una parte non lo è (come i blu più saturi). Ci sono anche colori stampabili, per esempio alcuni azzurri-verdi, che non si possono riprodurre sul display.**

primo che non sono visualizzabili sul secondo perché sono fuori gamut. Applicando ai due display gli stessi valori Rgb si ottengono colori diversi; per esempio i valori 0R 255G 0B producono due verdi differenti che corrispondono ai due spigoli superiori dei gamut. E ognuno di questi non è visualizzabile sull'altro monitor.

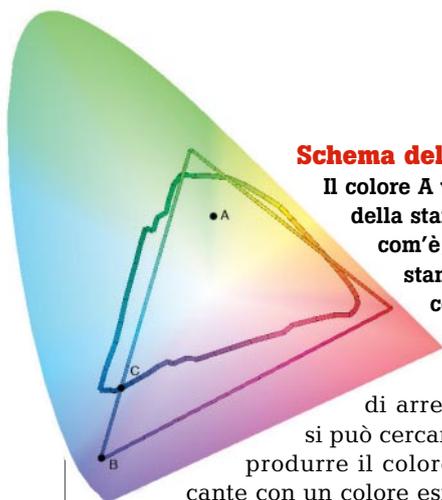
In generale, quando si confrontano due gamut (per esempio di un monitor e di una stampante), ci sono colori che:

- sono contenuti in entrambi i gamut (colori che si possono visualizzare e stampare);
- appartengono a un solo gamut (colori che si possono visualizzare ma non stampare e colori che si possono stampare ma non visualizzare);
- non sono presenti in nessuno dei due gamut (colori non visualizzabili né stampabili).

Se un colore è parte di entrambi i gamut o di nessuno dei due non c'è alcun problema. Diverso è il caso di un colore che sta nel gamut di origine ma non in quello di destinazione. Questa situazione si affronta con i cosiddetti *intenti di rendering*.

## Intenti di rendering

Abbiamo appena descritto il quadro generale delle possibili relazioni tra due gamut. Quello che succede effettivamente, però, dipende dall'immagine da convertire. L'aspetto più importante è se il gamut dell'immagine è completamente compreso nel gamut di destinazione oppure no. Tutti i pixel dell'immagine con colori al di fuori del gamut di destinazione non sono riproducibili, ma non è il caso



### Schema dell'intento di rendering colorimetrico.

Il colore A visualizzato sul monitor è anche nel gamut della stampante e perciò è riprodotto esattamente com'è; il colore B non è compreso nel gamut della stampante ed è riprodotto approssimandolo al colore in gamut più vicino (C).

di arrendersi: si può cercare di riprodurre il colore mancante con un colore esistente, rinunciando alla corrispondenza precisa e optando per un'approssimazione ragionevole.

Naturalmente ciò non può essere fatto a caso, ma in modo ponderato, e ciò dipende dall'effetto che si desidera ottenere. Gli intenti di rendering sono criteri di "approssimazione ragionevole" e sono raggruppabili in due principali famiglie: colorimetrici e non colorimetrici.

### Intento colorimetrico

L'effetto più semplice che possiamo chiedere è il seguente: poiché alcuni colori sono riproducibili e altri no, vogliamo (a) riprodurre i primi esattamente come sono; (b) approssimare gli altri al colore riproducibile più vicino (operazione definita *clipping*). Per alcuni tipi di conversione e di gamut, l'intento colorimetrico può essere appropriato. Per esempio, quando il gamut dell'immagine è del tutto o quasi interamente compreso nel gamut di destinazione.

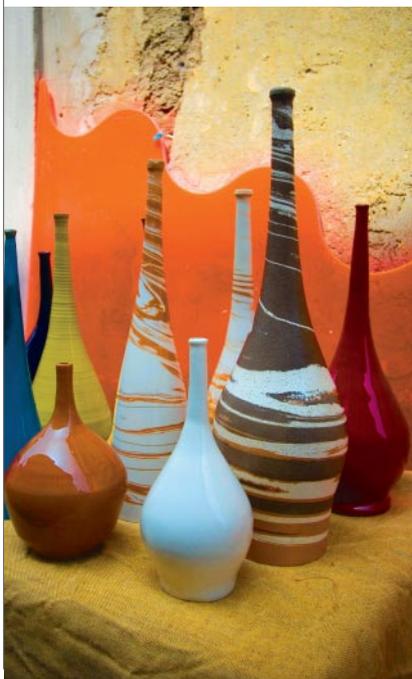
**Il caso tipico è quello di un logo, un marchio** di fabbrica. Pensiamo al rosso del logo Coca-Cola o al giallo del logo McDonald: chi li ha progettati si è sicuramente preoccupato della loro stampabilità e ha scelto colori riproducibili su qualunque periferica. È quindi ragionevole scegliere un intento di rendering per riprodurre esattamente i colori stampabili e approssimare gli altri (se ce ne fossero) portandoli al bordo del gamut di destinazione. Altri tipi d'immagine adatti all'intento di rendering colorimetrico sono le fotografie con colori

non molto saturi, come in genere quelle amatoriali. Con immagini ricche di colori saturi, invece, questo approccio potrebbe rivelarsi inadeguato. In questo caso, infatti, i colori saturi potrebbero non essere compresi nel gamut di destinazione: riprodurre i colori meno saturi in modo esatto e quelli più saturi solo in modo approssimato potrebbe fornire risultati inaccettabili. La soluzione, qui, è l'intento di rendering percettivo.

### Intento percettivo

Questo intento si usa quando è opportuno che i colori mantengano le loro posizioni cromatiche relative. Ciò significa che tutti i colori, anche quelli riproducibili in

**Per le fotografie e le immagini ricche di colori saturi l'intento di rendering percettivo è più adatto del colorimetrico.**



modo fedele, vengono modificati proporzionalmente per essere compresi nel gamut di destinazione. Tutti i colori sono modificati, non solo quelli fuori gamut, ma lo sono in modo che mantengano i loro rispettivi rapporti cromatici. L'occhio compensa la differenza dei gamut rendendo simili le due immagini. L'intento di rendering percettivo talvolta è chiamato *immagine fotografica* o *fotometrico*.

### Colorimetrico assoluto e relativo

Nella pratica, l'intento colorimetrico, così com'è stato descritto, è usato raramente (sostanzialmente solo per alcuni tipi di prove colore). È invece più utilizzata una sua variante, chiamata *intento colorimetrico relativo*. L'intento colorimetrico originale viene allora definito *colorimetrico assoluto*. L'intento di rendering colorimetrico relativo si comporta come quello assoluto, ma in più riproduce il bianco di origine con il bianco di destinazione (che può essere diverso) e quindi modifica la corrispondenza di tutti gli altri colori. Questo comportamento è giustificato dal meccanismo di adattamento cromatico del sistema visivo umano. Il rendering colorimetrico assoluto non ne tiene conto, quello relativo sì. In alcune applicazioni l'intento colorimetrico relativo viene chiamato *grafica* o *logo*, mentre quello assoluto è chiamato semplicemente *colorimetrico*, *prova* o *corrispondenza*.

### Intento saturazione

Così come esistono due varianti dell'intento di rendering colorimetrico, esistono anche due forme di intento di rendering percettivo. La prima è l'intento percettivo vero e proprio, la seconda è l'intento di rendering *saturazione*. Questo si applica nei casi in cui la precisa corrispondenza del colore ha meno importanza del fatto che sia vivido e saturo, come nel caso di grafici statistici, carte geografiche



e schemi tecnici. L'intento di rendering saturazione, talvolta chiamato *grafica o presentazione*, richiede appunto che nella conversione da origine a destinazione sia mantenuta il più possibile la saturazione del colore, eventualmente a spese della chiarezza e della tinta. Con questo metodo i colori dell'immagine sono modificati per riempire esattamente, o quasi, il gamut di destinazione e in modo che i primari cadano nei primari. Ciò significa che alcune regioni del gamut vengono compresse, mentre altre sono espanse. Questo è l'unico intento che può espandere un gamut limitato in uno più grande.

### Intenti di rendering standard

Per riassumere, abbiamo descritto quattro intenti di rendering, raggruppabili in due gruppi: al primo appartengono gli intenti che mantengono le coordinate cromatiche (per i colori in gamut ed eventualmente dopo un adattamento cromatico), ovvero il cromatico assoluto e relativo; al secondo appartengono gli intenti che operano trasformazioni di gamut (*gamut mapping*) con l'obiettivo di modificare l'apparenza del colore in base a varie esigenze (per esempio, per rendere almeno piacevole la stampa di una fotografia in cui non è possibile riprodurre tutti i colori catturati), ovvero gli intenti di rendering percettivo e saturazione.

Gli intenti del primo gruppo sono più adatti quando la conversione è da un gamut piccolo a un gamut grande, quelli del secondo gruppo sono più opportuni nella situazione opposta.

### Profili di colore

Ora che abbiamo chiarito i concetti base di caratterizzazione di una periferica e di intento di rendering, introduciamo il concetto di profilo di colore. Si tratta, in generale, di un'implementazione della tabella di caratterizzazione e contemporaneamente di uno o più intenti di rendering.

**Le caratteristiche specifiche di un profilo di colore** dipendono dalla tecnologia di implementazione della gestione del colore. Ognuna delle due soluzioni attualmente utilizzate ha una diversa idea della struttura del profilo e la sviluppa a modo proprio. Invece di dare qui una definizione generale, descriviamo subito le due alternative e la struttura dei rispettivi profili.

### Due tecnologie di gestione del colore

Come tutte le idee informatiche, anche quelle relative alla gestione digitale del colore, per diventare operanti, devono essere integrate nell'ambito di un sistema operativo, di un'applicazione o di un driver di stampa. In particolare, l'implementazione della gestione del colore riguarda le tabelle di caratterizzazione, gli intenti di rendering e il motore di colore (*color engine*), ossia il meccanismo che provvede all'esecuzione di calcoli e conversioni.

**Oltre ad alcune soluzioni proprietarie la cui trattazione** esula da questo articolo, vi sono attualmente due tecnologie aperte che utilizzano in modo diverso i vari componenti di un sistema di gestione del colore. La più diffusa è

quella standardizzata dall'International Color Consortium (Icc) a partire dal 1995, la seconda è PostScript Color Management (Pcm), parte del linguaggio PostScript di Adobe. La versione 3 di PostScript contiene tutti gli elementi del Pcm e risale al 1997, sebbene alcuni suoi componenti fossero già presenti nella versione precedente del 1991.

Entrambe le tecnologie adottano differenti modalità di implementazione delle tabelle di caratterizzazione e degli intenti di rendering e utilizzano un proprio motore di colore. La caratteristica più importante, però, è quella di essere ambedue aperte e ciò garantisce un'ampia accettazione, lunga vita e continui aggiornamenti (al contrario dei sistemi chiusi). Diamo la precedenza alla tecnologia Pcm, perché, oltre a essere stata sviluppata per prima, è più semplice da descrivere e didatticamente più efficace.

### PostScript Color Management

PostScript Color Management è la tecnologia di gestione digitale del colore presente nelle ultime versioni del linguaggio e nei Rip (*Raster image processor*) PostScript: in un Rip Level 2 possono esservi alcuni elementi di questa tecnologia, mentre in un Rip Level 3 può esservi la tecnologia completa, se il costruttore ha scelto di integrarla pienamente.

**Il sistema PostScript Color Management agisce solo in fase di stampa su una periferica PostScript**, quando le istruzioni relative all'immagine da riprodurre sono trasmesse al Rip della periferica. Una conversione di colore viene sempre eseguita da un'origine a una destinazione: in Pcm, il profilo d'origine, ovvero la struttura PostScript che descrive la sorgente della conversione, è chiamato *Color Space Array* (Csa); il profilo di destinazione, invece, è definito *Color Rendering Dictionary* (Crd).

## Color Space Array e Color Rendering Dictionary

Sostanzialmente, il Color Space Array è la tabella di caratterizzazione che accompagna un'immagine in un file PostScript e che descrive l'origine della conversione di colore mettendo in relazione le coordinate di periferica (Rgb o Cmyk) alle coordinate colorimetriche XYZ. Il Color Rendering Dictionary, invece, è la tabella di caratterizzazione che descrive la destinazione della conversione e che porta dalle coordinate colorimetriche XYZ alle coordinate della periferica di stampa PostScript (spesso Cmyk, ma anche Rgb) sulla base di un determinato intento di rendering.

## Profili PostScript

Anche se il linguaggio PostScript non utilizza il termine "profili", nella tecnologia Pcm il Csa e il Crd corrispondono a tali strutture: il primo a quello di origine, il secondo a quello di destinazione della conversione del colore. Csa e Crd sono istruzioni incluse nel programma PostScript che descrive l'immagine (se si tratta di Csa) o nell'interprete PostScript del Rip della periferica di stampa (se si tratta di Crd). Entrambi sono espressi in funzione dello spazio colorimetrico XYZ.

In PostScript, i dati di colore che fanno riferimento a un profilo sono detti CieBased (perché i profili sono basati sullo spazio XYZ sviluppato da Cie, *Commission International de l'Eclairage*), mentre i dati che non fanno riferimento ad alcun profilo sono detti Device (DeviceRgb, DeviceCmyk). In Pcm, dunque, tra profilo



I profili di colore generici forniti dai produttori non considerano le peculiarità di ogni singolo esemplare.

di origine e profilo di destinazione vi è una naturale separazione: il primo è nel programma PostScript, il secondo nel Rip stesso. Sono dunque entrambi unidirezionali e il Crd può contenere un solo intento di rendering.

## Funzionamento di Pcm

Il meccanismo di funzionamento del PostScript Color Management è il seguente: le istruzioni PostScript sono trasmesse al Rip per l'interpretazione e la successiva stampa; nel flusso dei dati (*printing stream*) è inserito anche il Csa che contiene – o i Csa che contengono – le informazioni per convertire i dati di colore (per esempio Rgb) dallo spazio di origine allo spazio XYZ.

Nel Rip risiede il Crd, il profilo che include le informazioni per trasformare le coordinate XYZ in percentuali di colorante per la stampante. Quando le istruzioni

PostScript con il relativo Csa giungono al Rip, l'interprete converte i dati di colore (per esempio Rgb) in XYZ e, sulla base del Crd, esegue la procedura di rendering programmata, che converte i colori da XYZ in percentuali di colorante. La conversione procede dunque da un Csa di origine a un Crd di destinazione (che determina anche l'intento di rendering) attraverso lo spazio XYZ ed è effettuata dall'interprete stesso del Rip, che agisce come motore di colore.

## International Color Consortium

L'International Color Consortium (Icc) ha standardizzato una tecnologia d'implementazione dei profili di colore che supporta gli spazi colorimetrici XYZ e Lab D50 (uno spazio colorimetrico Lab con punto di bianco D50, pari a circa 5.000 Kelvin). La principale differenza con la tecnologia di gestione del colore PostScript (in cui i profili di origine sono distinti da quelli di destinazione) è che un profilo Icc può agire tanto da origine quanto da destinazione poiché contiene sia la tabella di caratterizzazione diretta (da valori di periferica Rgb o Cmyk a valori colorimetrici XYZ o Lab) sia la tabella inversa (da XYZ o Lab a Rgb o Cmyk).

Quando il profilo è usato come origine è utilizzata la tabella diretta; quando è usato come destinazione è usata la tabella inversa, in cui è implementato un intento di rendering. Si tratta quindi di una struttura bidirezionale. Un'altra differenza con la tecnologia di gestione del colore PostScript (in cui un Crd ha un unico intento di rendering e per averne a disposizione altri occorrono più Crd) è che tutti gli intenti di rendering che il profilo supporta sono implementati al suo interno. In altre parole, nel profilo Icc esiste una ta-

## Il flusso di stampa PostScript

**File PostScript**  
newline  
.5 inch 45 line moveto  
stroke  
/Helvetica-Bold



RGB	XYZ
...	...
...	...
...	...
...	...
...	...
...	...
...	...
...	...
...	...
...	...

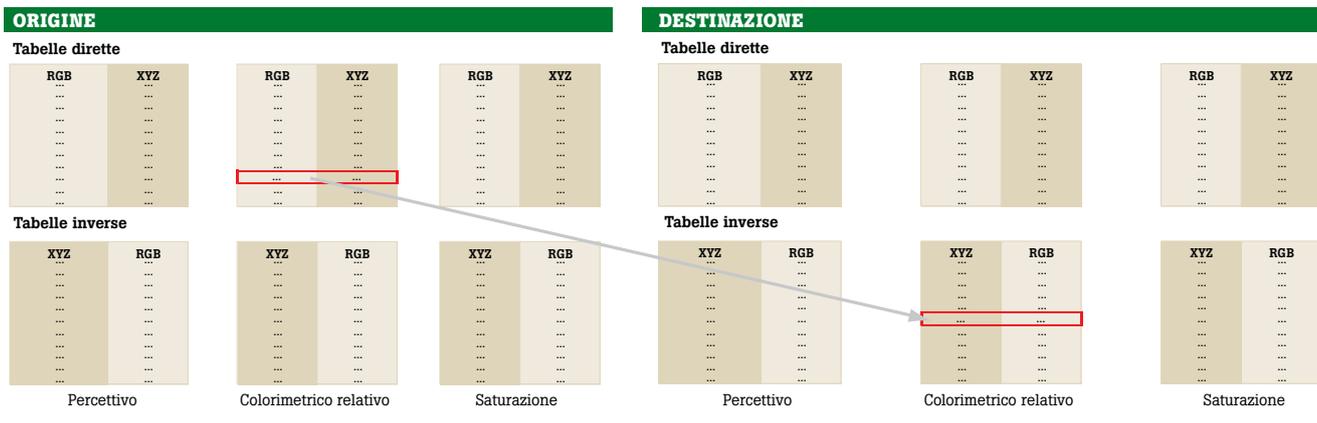
**Il flusso di stampa PostScript con il Csa e il Rip con il Crd.**

**Interprete del Rip**  
Color rendering dictionary

XYZ	CMYK
...	...
...	...
...	...
...	...
...	...
...	...
...	...
...	...
...	...
...	...

% di coloranti

## Conversione di colore Icc e struttura generale di un profilo



bella inversa per ognuno degli intenti di rendering in esso implementati.

### Motore di colore Icc

Il software che esegue effettivamente il calcolo della conversione del colore da un profilo di origine a un profilo di destinazione è detto motore di colore (*color engine* oppure *color management method* oppure *color management module*, in ogni caso abbreviato con Cmm). Un profilo Icc può essere scritto in termini di spazio colorimetrico XYZ oppure Lab, pertanto ogni motore di colore deve supportare entrambi. Oltre a questo, il *color engine* è responsabile:

- della creazione e del calcolo delle trasformazioni di colore;
- dell'implementazione di eventuali intenti non compresi nelle tabelle (colorimetrico assoluto a partire da colorimetrico relativo; compensazione del punto di nero);
- dell'interpolazione nelle tabelle;
- dei calcoli e degli arrotondamenti;
- della conversione tra gli spazi colorimetrici XYZ e Lab.

### Relazione tra le due tecnologie

Icc è una tecnologia di gestione del colore che agisce *on-host*: la conversione da un profilo di origine a un profilo di destinazione avviene – in maniera trasparente o

sotto il controllo dell'utente – su un computer, all'interno delle applicazioni (*application level*) oppure nel driver di stampa (*driver level*), ma non oltre.

Pcm è invece una tecnologia di gestione del colore che agisce *in Rip*, cioè in fase di stampa, all'interno di un Rip PostScript Level 3 dove avviene la conversione da Csa a Crd. L'ambito di applicazione di Pcm è quindi dal driver di stampa in poi.

**Le due tecnologie possono essere contemporaneamente presenti** solo in un driver di stampa PostScript, cioè nel momento del flusso in cui finisce la gestione dell'immagine *on host* e comincia quella *in Rip*. Pcm e Icc non sono tuttavia mondi separati e incomunicabili, ma si complementano e si integrano a vicenda.

Un Csa e una tabella diretta di un profilo Icc contengono essenzialmente gli stessi dati e così un Crd e una tabella inversa Icc. Trasformare un profilo Icc di periferica in un Csa o Crd è semplice ed esistono strumenti software che consentono di farlo; l'operazione inversa, invece, è più complessa.

### Gli elementi di una conversione

Per entrambe le tecnologie gli elementi necessari alla conversione del colore sono quattro:

- profilo di origine;

- profilo di destinazione;
- intento di rendering;
- motore di colore.

Se una conversione di colore non desse i risultati attesi la causa primaria potrebbe essere una forte differenza tra i due gamut (molti colori del gamut di origine sono esterni al gamut di destinazione). Altrimenti potrebbe risiedere in uno dei quattro elementi indicati in precedenza: un profilo di origine o di destinazione scorretto, la scelta di un intento di rendering inappropriato, un errato funzionamento del motore di colore.

### Creare un profilo Icc

La creazione effettiva di un profilo Icc avviene in tre passaggi: calibrazione, caratterizzazione e profilazione. Queste tre fasi sono spesso collegate e sono viste dall'utente come un unico procedimento. Calibrare significa portare la periferica in uno stato noto e misurabile. Caratterizzare significa registrare in una tabella il comportamento della periferica calibrata. Profilare significa costruire il profilo a partire dalla tabella di caratterizzazione.

**Per fare un paragone**, si potrebbe dire che la creazione di un profilo è come fotografare una persona: calibrare corrisponde a metterla in posa, caratterizzare equivale a scattare la fotografia e profilare è analogo a stampare l'immagine.



Colorimetri e spettrofotometri Eye-One di X-Rite per la profilazione dei monitor.

Il presupposto per la creazione e l'uso di un profilo è la stabilità della periferica nello stato di calibrazione e la possibilità di esservi ricondotta in caso di alterazione.

### Calibrare monitor e stampante

Calibrare il monitor significa anzitutto scegliere le coordinate di cromaticità del bianco (o, in modo equivalente, la temperatura di colore) e il valore del gamma (o fattore di contrasto), ossia il livello di compressione o espansione delle tonalità chiare e scure dell'immagine. La fase successiva consiste nel portare il display al punto di bianco e al gamma prescelti. Questo si può ottenere in modi diversi, ma sempre con l'aiuto di uno strumento di misura (un colorimetro o uno spettrofotometro) controllato da un'applicazione dedicata.

Lo strumento e il relativo software caratterizzano il display e ne creano il profilo. Nel caso di una periferica di stampa, occorre riprodurre un target specifico, misurare le tacche di colore con uno spettrofotometro (caratterizzazione) ed elaborare il risultato con un software specializzato. Nel caso di una macchina da stampa, questa va preventivamente calibrata.

### Sistemi di gestione del colore

Color Management System (Cms) è un termine generale per indicare un'architettura software che consente di gestire il colore e che può basarsi sulle specifiche Icc oppure

sulle istruzioni Pcm. In ogni caso si compone di profili che descrivono le periferiche, di intenti di rendering e di un motore di colore per eseguire i calcoli.

Un Cms può essere implementato a livello di applicazione, di sistema operativo o di driver di stampa.

### Livello di applicazione

A livello di applicazione si può implementare un Cms basato sulla tecnologia Icc, che provvede a svolgere la conversione di colore tra profili Icc, effettuare la chiamata al motore di colore e così via. È sufficiente che l'applicazione abbia un proprio motore di colore.

Un esempio tipico è il Cms di Adobe (Photoshop, InDesign, Illustrator, Acrobat) con il motore di colore Ace (*Adobe color engine*).

### Livello di sistema operativo

Avere una parte del sistema operativo che si occupa della funzione di gestione del colore semplifica le cose all'utente perché offre alle applicazioni, alle periferiche e agli altri componenti un'infrastruttura comune per il controllo e la conversione del colore.

In dettaglio, può offrire un database di profili, un controllo comune dei profili delle periferiche e dei profili di default (per i file nuovi o senza profilo), un'interfaccia condivisa, un formato standard dei profili, un motore di colore predefinito (e l'opportunità di usarne altri) e la possibilità di accedere alla

Api (*Application programming interface*), consentendo alle applicazioni l'uso delle funzioni e delle routine più comuni che il Cms ha già implementate. Le applicazioni, a loro volta, si possono basare completamente sull'architettura di gestione del colore del sistema operativo oppure possono avere una propria architettura che utilizza solo in parte gli strumenti e i servizi messi a disposizione dal sistema stesso. In Mac OS e Mac OS X il sottosistema che si occupa della gestione del colore secondo le specifiche Icc è ColorSync, ora alla versione 4, che comprende il motore di colore Apple Cmm.

In Windows 95 il sottosistema si chiamava Icm (*Image color management*) ed era stato progettato per le applicazioni che lavoravano in modalità Rgb. In Windows 98/98SE, ME, 2000 e XP è presente la versione 2 di Icm, che supporta il motore di colore LinoColor Cmm; in Windows NT non esisteva alcun Cms implementato a livello di sistema operativo.

### Livello di driver di stampa

A livello di driver di stampa, se la periferica è PostScript si può implementare un Cms basato su Icc o Pcm. Per esempio, il driver di stampa LaserWriter (che, nonostante il nome, non riguarda le stampanti laser, ma le stampanti PostScript) presente sia in Mac OS che in varie versioni di Windows, oppure il driver Adobe PS per Windows, consentono di gestire il colore mediante Icc oppure Pcm, a scelta dell'utente. Anche il driver di stampa di Mac OS X ha la stessa possibilità.

### Riepilogo

La gestione digitale del colore è la tecnologia che si pone l'obiettivo di garantire la stabilità cromatica di un'immagine digitale a prescindere dalla periferica con cui è creata, visualizzata e stampata. Non deve essere confusa con la correzione del colore, che riguarda gli interventi



**La corretta  
calibrazione  
dei dispositivi  
è alla base di un Cms  
affidabile.**



estetici sull'immagine. Identici valori Rgb o Cmyk non generano gli stessi colori su periferiche diverse. Pertanto, è necessario modificare e adattare queste informazioni per mantenere la corrispondenza cromatica quando l'immagine è trasferita da una periferica all'altra della catena. Il punto di partenza è la caratterizzazione delle periferiche, attuata mediante una tabella a due colonne: la prima contiene i valori Rgb o Cmyk, la seconda le rispettive coordinate colorimetriche. Il gamut di una periferica è l'insieme dei colori che essa può riprodurre. Ogni monitor e ogni stampante hanno un proprio gamut. Il cambiamento dei valori numerici Rgb o Cmyk si ottiene tramite una conversione, operazione che sfrutta una tabella di origine, una tabella di conversione, un intento di rendering e un motore di colore. L'intento di rendering indica in quale modo i colori fuori gamut sono approssimati e, più in generale, come il gamut di origine è trasferito nel gamut di destinazione. Gli intenti di rendering comunemente utilizzati sono: colorimetrico relativo, colorimetrico assoluto, percettivo, saturazione.

**Tutti i calcoli della conversione sono eseguiti** da un motore di colore (*color engine*) che può essere implementato a livello di sistema operativo, di applicazione o di driver di stampa. I profili di colore sono elaborazioni delle tabelle di caratterizzazione che possono contenere le implementazioni dei vari intenti di rendering. Esistono due soluzioni aperte per la gestione digitale del colore: la tecnologia International Color Consortium (Icc) e la tecnologia PostScript Color Management (Pcm), ognuna delle quali segue una propria filosofia nell'implementazione dei profili, degli intenti di rendering e del motore di colore. •