



# PELLICOLE E CARTE FOTOGRAFICHE A COLORI

## Sommario

Riproduzione dei colori .....	2
Pellicole e carte fotografiche a tre strati fotosensibili .....	3
Struttura e disposizione dei tre strati fotosensibili .....	4
Caratteristiche dei tre strati fotosensibili .....	7

# Riproduzione dei colori

---

Attualmente, per ottenere immagini a colori, si sfruttano due diversi metodi basati su principi analizzati e sviluppati già nel secolo scorso o in epoca addirittura precedente:

## Sintesi additiva

Questo metodo fu elaborato da Maxwell che si basò sugli studi di Le Blon (1667-1741) e di Young (1811) relativi alla combinazione di luci colorate, cioè alla sintesi additiva. Le Blon e Young avevano stabilito che l'occhio umano, che può distinguere 150-200 diverse tonalità di colore, è sensibile a tre sole radiazioni: la rossa, la verde e la blu-violetta. Quando il cervello percepisce nello stesso momento più di una di queste radiazioni, le combina formando tutte le svariate tonalità di colore.

Partendo da questi presupposti, Maxwell preparò tre negativi fotografando tre volte il soggetto con tre filtri colorati nei tre colori primari: rosso, verde e blu-violetto. Di conseguenza, il primo negativo era opaco per le zone rosse, il secondo per le zone verdi e il terzo per le zone blu-violette dell'originale. I tre diapositivi corrispondenti, evidentemente trasparenti per le suddette zone, venivano proiettati su uno schermo con tre fasci luminosi di colore analogo a quello dei filtri usati in ripresa, cioè rosso, verde e blu-violetto. Dalla sovrapposizione delle tre immagini colorate si ottenevano tutte le combinazioni dei colori dell'originale, in base alla teoria della sintesi additiva.

Ai nostri giorni, questo metodo trova applicazione limitata in fotografia, mentre è il fondamento della riproduzione elettronica delle immagini (televisione).

## Sintesi sottrattiva

Warnecke (1881) scoprì che un'emulsione al bromuro di argento diventava insolubile in acqua calda dopo essere stata sviluppata con bagni composti da pirogallolo e ammoniac.

Successivamente Koppmann osservò che tali sviluppi, unitamente alla pirocatechina e all'idrochinone, tannavano la gelatina in maniera tanto più energica

quanto più i bagni erano poveri in solfito. Il tannaggio, provocato dai prodotti di ossidazione del rivelatore, avveniva solo dove lo sviluppo poteva agire, cioè dove la pellicola era stata colpita dalla luce. In tal modo da tre negativi, ottenuti ciascuno con un filtro di selezione (R, G e B), si potevano ottenere tre positivi, ognuno caratterizzato da un rilievo di gelatina ottenuto con sviluppo tannante. I rilievi dei tre positivi venivano quindi inchiostriati con speciali inchiostri di colore complementare a quello dei filtri di selezione e stampati su una speciale carta, che fungeva da supporto ricevente dell'immagine a colori definitiva.

Il processo Technicolor, usato nella cinematografia a colori fino agli anni '60, sfrutta un principio fondamentalmente simile. I materiali fotografici a colori messi a punto a partire dagli anni '30 operano sempre in sintesi sottrattiva, ma con strutture e trattamenti completamente diversi.

## Pellicole e carte fotografiche a tre strati fotosensibili

---

La struttura delle moderne pellicole (negative e diapositive), così come delle carte positive, è costituita fondamentalmente da tre strati di emulsione fotosensibile stesi su un unico supporto, che si colorano nel corso del trattamento chimico (fanno eccezione i materiali a distruzione del colore, come l'Ilfochrome Classic). L'immagine positiva finale è il risultato di due diversi processi ottici:

- selezione cromatica in fase di ripresa,
- sintesi sottrattiva in fase di stampa e di osservazione.

Il concetto base fu esposto da K. Schinzel nel 1905, ma trovò applicazione pratica solo 30 anni dopo, grazie agli studi e alle modifiche di B. Gaspar. Ciascuno strato è sensibilizzato, mediante specifici cromatizzatori, per una determinata banda dello spettro. Conseguentemente nelle pellicole e nelle carte a colori sono presenti 3 strati: uno ottimizzato per la banda del blu, uno per quella del verde e uno per quella del rosso; le tre diverse sensibilità cromatiche hanno quindi la stessa funzione dei filtri di selezione.

È comunque necessario che i campi di sensibilità cromatica dei tre strati si sovrappongano parzialmente, affinché sia possibile registrare anche le lunghezze d'onda poste agli estremi di ogni banda.

Affinché questi materiali diano buone rese, è quindi assolutamente necessario che i cromatizzatori introdotti negli strati siano in grado di selezionare con precisione le bande della luce incidente. Se così non fosse, si formerebbero nei vari strati delle immagini parassite che renderebbero assolutamente inaccettabile il risultato finale.

## Struttura e disposizione dei tre strati fotosensibili

---

La struttura e la disposizione degli strati fotosensibili dipendono dal tipo di materiale fotografico.

### Negativi, diapositive

Il primo strato di emulsione fotosensibile, cioè quello esterno, presenta cristalli di AgX, sensibili di per sé alla luce blu ed eventualmente trattati con cromatizzatori per sfruttare l'intera banda del blu; il colore assunto dopo lo sviluppo cromogeno è giallo.

Lo strato sottostante è costituito da semplice gelatina colorata uniformemente di giallo; questo strato filtrante ha il compito fondamentale di impedire che la rimanente luce blu possa formare immagini parassite negli strati che seguono; la sua decolorazione avviene in fase di sbianca.

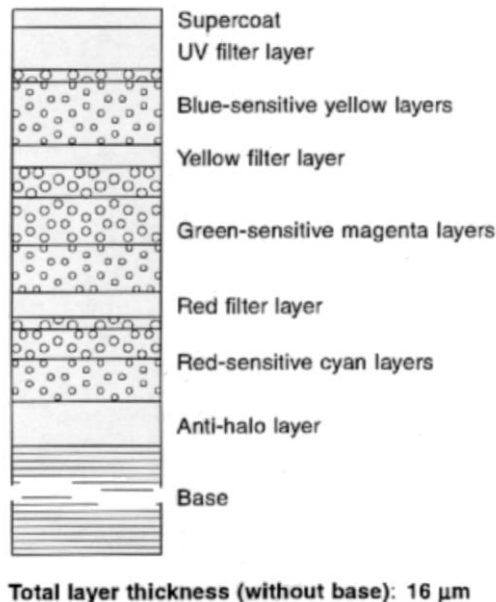
Il secondo strato di emulsione fotosensibile, cioè quello intermedio, è costituito da cristalli di AgX, sensibili di per sé alla luce blu e trattati con cromatizzatori per sfruttare l'intera banda del verde; il colore assunto dopo lo sviluppo cromogeno è magenta.

Il terzo strato di emulsione fotosensibile, cioè quello interno, è costituito da cristalli di AgX, sensibili di per sé alla luce blu e trattati con cromatizzatori per sfruttare l'intera banda del rosso; il colore assunto dopo lo sviluppo cromogeno è ciano.

In realtà la struttura delle pellicole è più complessa, in quanto sono presenti anche strati ausiliari di grande

importanza, quali un primo strato di gelatina protettiva, uno strato filtrante capace di bloccare la radiazione ultravioletta, un eventuale strato filtrante capace di bloccare la radiazione rossa e uno strato antialo/adesivo. Inoltre ogni strato fotosensibile è costituito da due o tre emulsioni di diversa sensibilità e quindi di diverso contrasto, al fine di avere il migliore compromesso tra rapidità, potere risolvante e contrasto.

Lo spessore totale degli strati a base di gelatina è di 15 – 20  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ), mentre lo spessore del supporto (in **acetato di cellulosa** o, più raramente, in **polietilentereftalato (PET)**) varia da circa 100  $\mu\text{m}$  per le pellicole in rullo a circa 120  $\mu\text{m}$  per quelle piane.



### Carte positive

Il primo strato di emulsione fotosensibile, cioè quello esterno, presenta cristalli di AgX, sensibili di per sé alla luce blu e trattati con cromatizzatori per sfruttare l'intera banda del rosso; il colore assunto dopo lo sviluppo cromogeno è ciano.

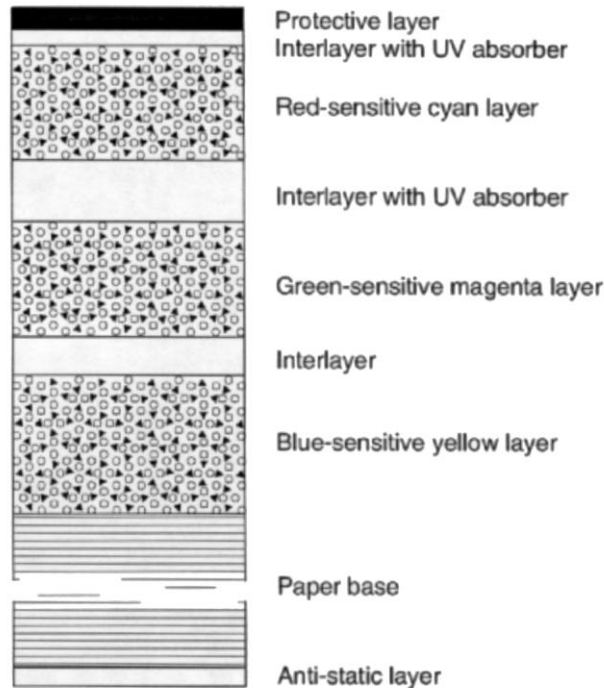
Il secondo strato di emulsione fotosensibile, cioè quello intermedio, è costituito da cristalli di AgX, sensibili di per sé alla luce blu e trattati con cromatizzatori per sfruttare l'intera banda del verde; il colore assunto dopo lo sviluppo cromogeno è magenta.

Il terzo strato di emulsione fotosensibile, cioè quello interno, è costituito da cristalli di AgX, sensibili di per sé alla luce blu; il colore assunto dopo lo sviluppo cromogeno è ciano.

Come si può notare, la disposizione degli strati è inversa a quella delle pellicole e manca lo strato di gelatina filtrante gialla. Ciò è reso possibile dal fatto che la carta non è utilizzata per la ripresa, ma solo per la stampa; deve quindi essere sensibile solo ai colori provenienti dalla negativa/diapositiva e non a tutto lo spettro. Pertanto, i cristalli di AgX sono prodotti con caratteristiche di sensibilità al blu differenziate in funzione dello strato: mentre i cristalli di quello interno sono in grado di registrare la porzione della banda blu proveniente dalla negativa/diapositiva, i cristalli di quello esterno e di quello intermedio sono in grado di registrare solo la restante porzione (verso gli UV).

L'opportunità di invertire la disposizione degli strati fotosensibili è dettata dal diverso grado di diffusione della luce nella gelatina in funzione della lunghezza d'onda (la diffusione è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda) e dal diverso contrasto visuale dei colori generati dallo sviluppo cromogeno rispetto al bianco di fondo del supporto (il contrasto è elevato per il ciano e, secondariamente, per il magenta e basso per il giallo). Risulta quindi evidente il vantaggio di avere per primo lo strato sensibile al rosso: qui la diffusione luminosa è ridotta al minimo e quindi l'immagine ha, nel suo complesso, una definizione e un contrasto molto alti. La struttura delle carte comprende anche strati ausiliari, quali un primo strato di gelatina protettiva, uno strato filtrante capace di bloccare la radiazione ultravioletta, due strati di semplice gelatina interposti tra le emulsioni fotosensibili e uno strato dorsale antistatico.

Lo spessore totale degli strati a base di gelatina è di circa 10  $\mu\text{m}$ , mentre lo spessore del supporto è dell'ordine di qualche decimo di millimetro.



Silver coating: approx. 0.60 g/m<sup>2</sup>  
Total layer thickness (without base): approx. 10 µm.

## Caratteristiche dei tre strati fotosensibili

### Sensibilità spettrale

Il grafico indica la sensibilità cromatica di una pellicola o di una carta non ancora trattata ed è ottenuto con uno spettro ad energia costante al variare della lunghezza d'onda. Le curve si riferiscono a una densità pari a  $D_{\min} + 1,0$ .

### Densità spettrale

Il grafico si riferisce sempre a una pellicola o a una carta già trattata. Nel caso di una pellicola negativa, le due curve esprimono la densità spettrale dell'immagine di un oggetto neutro di densità minima e densità media. Nel caso di una pellicola diapositiva o di una carta il grafico visualizza l'assorbimento dei coloranti dei singoli strati fotosensibili e la tonalità di grigio visivo neutro (corrispondente alla somma delle tre curve) con densità pari a 1,0.

## Nitidezza

Il grafico riporta l'andamento della **MTF (Modulation Transfer Function, funzione di trasferimento della modulazione)**: più alto è il fattore di trasferimento, espresso in percentuale, e minore è la perdita di nitidezza dell'immagine. Questa funzione permette di valutare, globalmente e in modo affidabile, la definizione di una pellicola o di una carta, in quanto il potere risolvete e l'acutanza non sempre danno indicazioni concordi, nel senso che una pellicola può avere alta acutanza e non altrettanto alto potere risolvete e quest'ultimo aumenta con il contrasto del soggetto. L'esposizione è effettuata in luce diurna e i valori densitometrici sono letti con un filtro visivo.

## Grana

È espressa come valore di grana diffusa RMS ( $\times 1000$ ) ed è misurata con una densità diffusa pari a 1,0 e con un filtro visivo e un diaframma da 48  $\mu\text{m}$ . Il valore corrisponde al rapporto di ingrandimento.

## Curve caratteristiche

Il grafico è analogo a quello della singola curva caratteristica di annerimento dei materiali fotografici b/n. In quelli a colori si ha evidentemente una curva per ogni strato fotosensibile o per ogni gruppo di strati fotosensibili alla stessa banda spettrale. Il grafico delle tre curve, note anche come **curve di densità cromatica**, deve indicare con precisione il tipo di luce usata nell'esposizione, se diversa da quella diurna.

## Bilanciamento cromatico

Le pellicole a colori bilanciate per riprese con sorgenti quarzo-alogene presentano una sensibilità nel blu leggermente più alta di quella nel rosso, in modo da compensare l'emissione luminosa carente di lunghezze d'onda blu che le lampade a incandescenza hanno rispetto a quella della luce diurna a causa della temperatura di colore più bassa. Quindi, modificando la sensibilità dell'emulsione, i fabbricanti possono realizzare pellicole diverse, bilanciate per ogni sorgente luminosa che emette uno spettro visibile continuo.

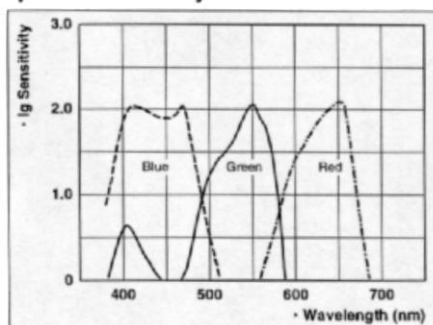


In pratica, per il colore sono disponibili soltanto alcuni tipi di pellicole bilanciate, in funzione delle sorgenti di luce più frequentemente utilizzate. Spesso si deve scegliere il tipo di pellicola più vicino alle esigenze di ripresa e poi adattarlo con un filtro compensatore di colore posto sull'obiettivo. Con le pellicole negative a colori è sempre preferibile adattare la luce e il bilanciamento dei colori per lo più in fase di ripresa piuttosto che contare esclusivamente sulla filtratura durante la stampa a colori.

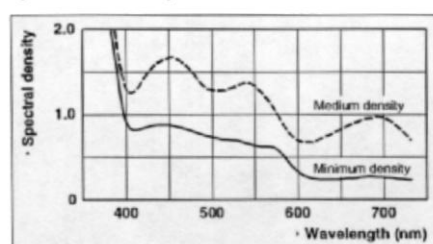
Scelta della pellicola in funzione della sorgente di luce		
Tipo pellicola	Temperatura colore	Sorgente luminosa
Tipo L (tipo B)	3200 °K	Lampade quarzo- alogene
Tipo S (luce diurna)	5500 °K	Luce solare e luce riflessa dal cielo, flash elettronico

## AGFACOLOR OPTIMA II 200

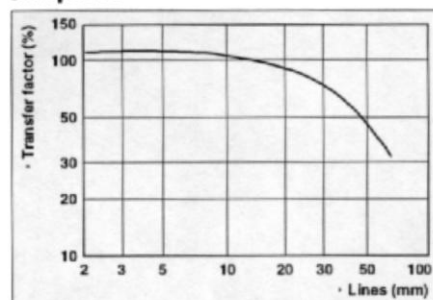
### Spectral sensitivity



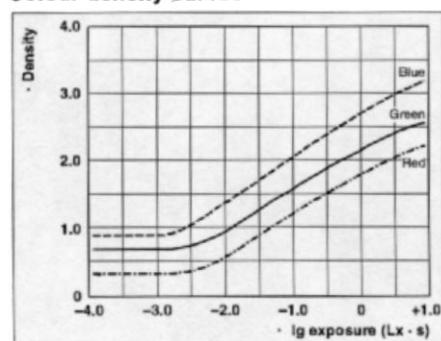
### Spectral density



### Sharpness



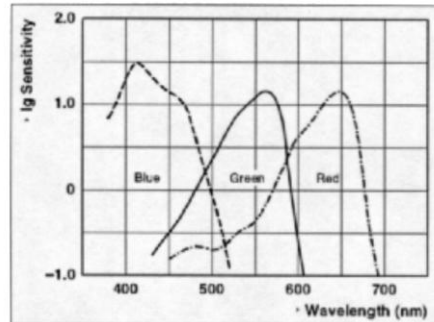
### Colour density curves



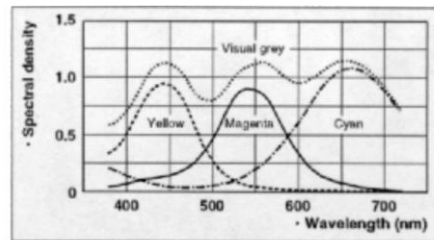
Speed:	ISO 200/24°	
Granularity (x 1000):	RMS 4.5	
Resolving power:	130 lines/mm	
Contrast 1000 : 1	50 lines/mm	
Contrast 1.6 : 1	50 lines/mm	
Layer thickness:	18 $\mu$ m	
Film base:	135 =	120 $\mu$ m
	120 =	95 $\mu$ m

# AGFACHROME RSX II 200

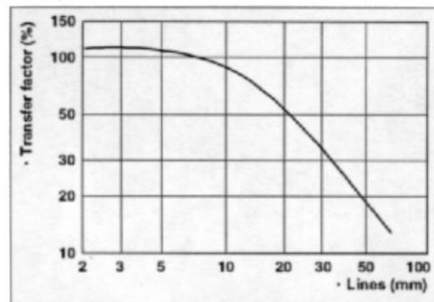
## Spectral sensitivity



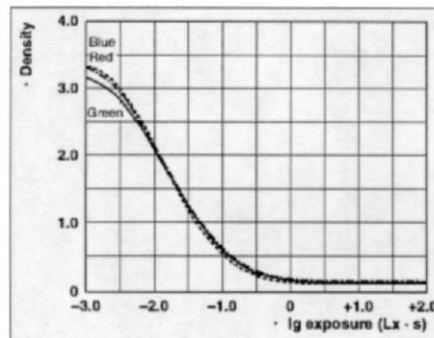
## Spectral density



## Sharpness



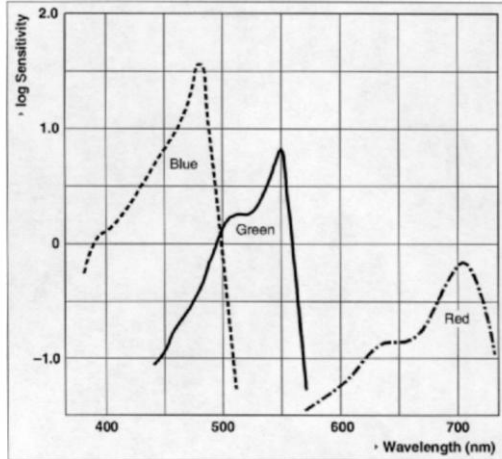
## Colour density curves



Speed:	ISO 200/24°
Granularity (x 1000):	RMS 12.0
Resolving power:	
Contrast 1000 : 1	110 lines/mm
Contrast 1.6 : 1	50 lines/mm
Layer thickness:	27 μm
Film base:	135 = 120 μm
	120/220 = 95 μm

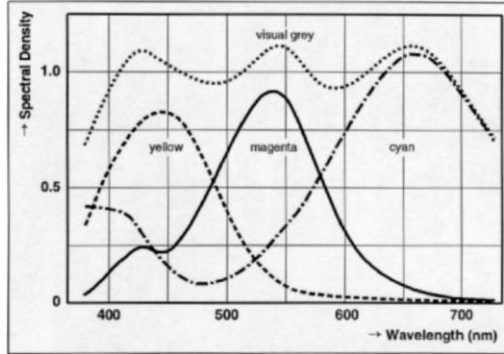
### Spectral sensitivity

(related to equal-energy spectrum)



### Spectral density

The diagram shows the spectral densities of the emulsion dyes at a visually neutral grey of a density of 1.0 in reflection.



**AGFACOLOR  
PAPER TYPE 11**

### Colour density curves

Exposure: tungsten light 0.04 s + neutral filtration

Process: AP 94

Densitometry: Status A

