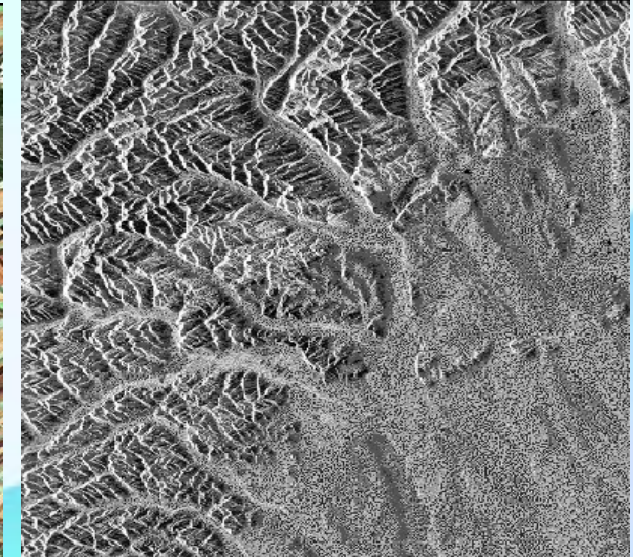
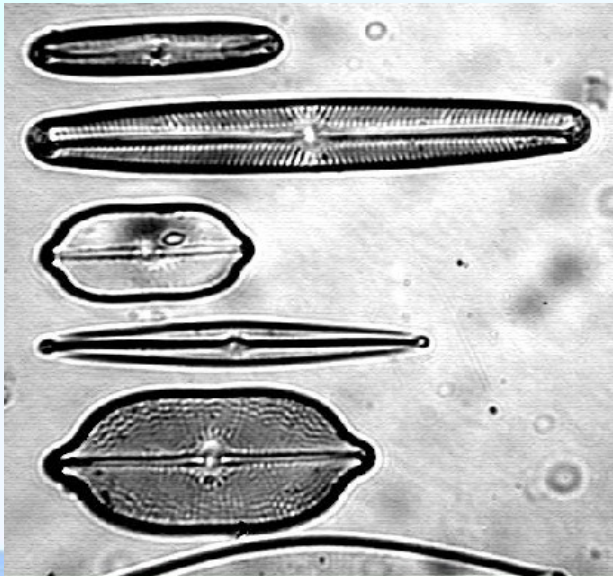


Immagini Digitali (parte 3)

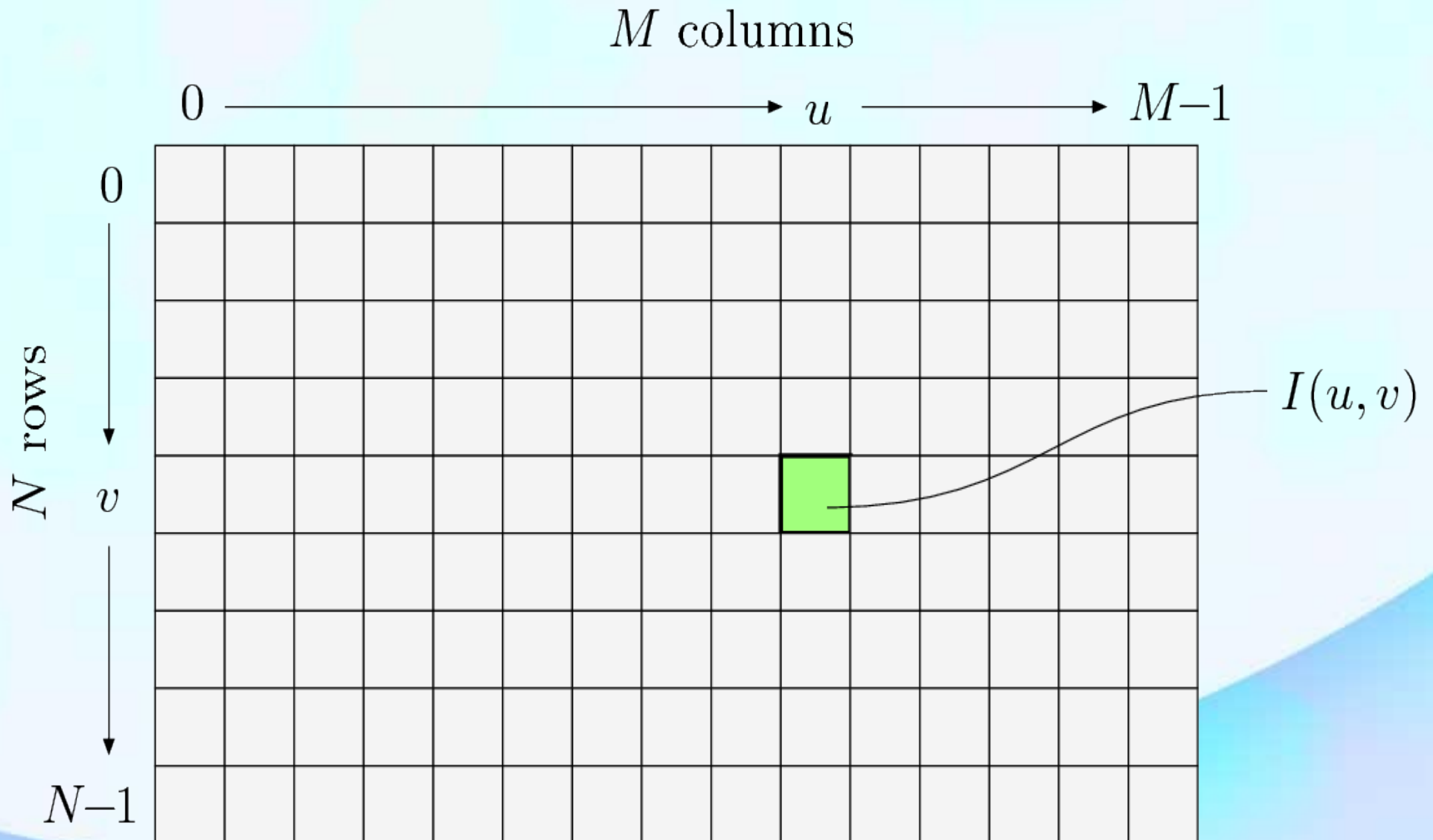


Immagini Grayscale

Rappresentazione Digitale di un'Immagine

- Il cuore della fotocamera digitale è la matrice di elementi fotosensibili che assorbono la luce liberando elettroni al proprio interno
- La carica associata agli elettroni liberati viene misurata
- L'insieme di tutti i risultati della conversione eseguita per tutti gli elementi fotosensibili viene memorizzato in una matrice
- La matrice ha un'organizzazione tabellare che riflette la stessa disposizione spaziale degli elementi fotosensibili
- Ogni elemento della matrice è il più piccolo elemento dell'immagine, viene identificato da una coppia di indici: indice di riga e indice di colonna
- Questo elemento è detto Pixel (Picture Element)

Sistema di Coordinate



Rappresentazione Digitalizzata



$F(x, y)$



148	123	52	107	123	162	172	123	64	89	...
147	130	92	95	98	130	171	155	169	163	...
141	118	121	148	117	107	144	137	136	134	...
82	106	93	172	149	131	138	114	113	129	...
57	101	72	54	109	111	104	135	106	125	...
138	135	114	82	121	110	34	76	101	111	...
138	102	128	159	168	147	116	129	124	117	...
113	89	89	109	106	126	114	150	164	145	...
120	121	123	87	85	70	119	64	79	127	...
145	141	143	134	111	124	117	113	64	112	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

$I(u, v)$

Estratto della matrice che rappresenta la foto a sinistra:
i dati si riferiscono al ritaglio in alto a sinistra visibile per
il bordo nero

Immagine Digitalizzate

- Alcuni fatti riguardandi le immagini 'grayscale'
 - Ogni elemento **PIXEL** (**PI**[X](cture) **EL**(ement)) viene rappresentato da una parola binaria di M bit.
 - Il significato di questo registro binario è quella di intensità luminosa assorbita dall'elemento fotosensibile (fotosito)
 - Il valore 0 significa assenza di luce
 - Il valore 2^M-1 significa saturazione del fotosito, cioè la quantità massima di luce misurabile per le caratteristiche tecnologiche del dispositivo
 - L'immagine è rappresentata da una matrice NxM

Risoluzione Spaziale

- Dato che l'immagine è suddivisa in pixel è importante eliminare un'ambiguità. Spesso la dimensione $N \times M$ della matrice viene confusa con la risoluzione
 - La risoluzione spaziale definisce il dettaglio più piccolo ricostruibile e dipende non solo dal numero di pixel ma anche dal tipo di sistema di imaging, dalle caratteristiche costruttive e dalle impostazioni usate nel raccogliere un'immagine
 - Per una fotocamera la risoluzione può essere determinata preparando un campo di osservazione con linee di spessore determinato. La risoluzione è numero di coppie di linee distinguibili per unità di distanza
 - Nei sistemi di stampa viene definito come *Dot Per Inches* (dpi) numero di punti per unità di distanza

Risoluzione di Intensità

- La più piccola variazione di intensità rilevabile
 - Definita dalle caratteristiche dell'hardware
 - A parità di caratteristiche determinata dalla *bit depth*, quindi di solito espressa con una potenza di 2
 - Definisce una caratteristica tecnica, non del nostro sistema percettivo
 - Importante da un punto di vista computazionale

Immagini a Colori

Immagini a Colori

·I metodi di analisi e manipolazione di immagini presentati nel corso si applicano ad immagini grayscale

- Le immagini a colori sono una composizione di 3 immagini grayscale
- L'idea di colore perde di senso per immagini che rappresentano informazioni raccolte fuori dalla banda della luce visibile

·Comprendere la struttura di un'immagine a colori ha comunque un interesse

- Per tutte le fotocamere che raccolgono nel visibile
- Perché da immagini degli stessi oggetti prese con diverse tecniche, all'interno e al di fuori dalla luce visibile si costruiscono immagini a falsi colori per integrare queste informazioni

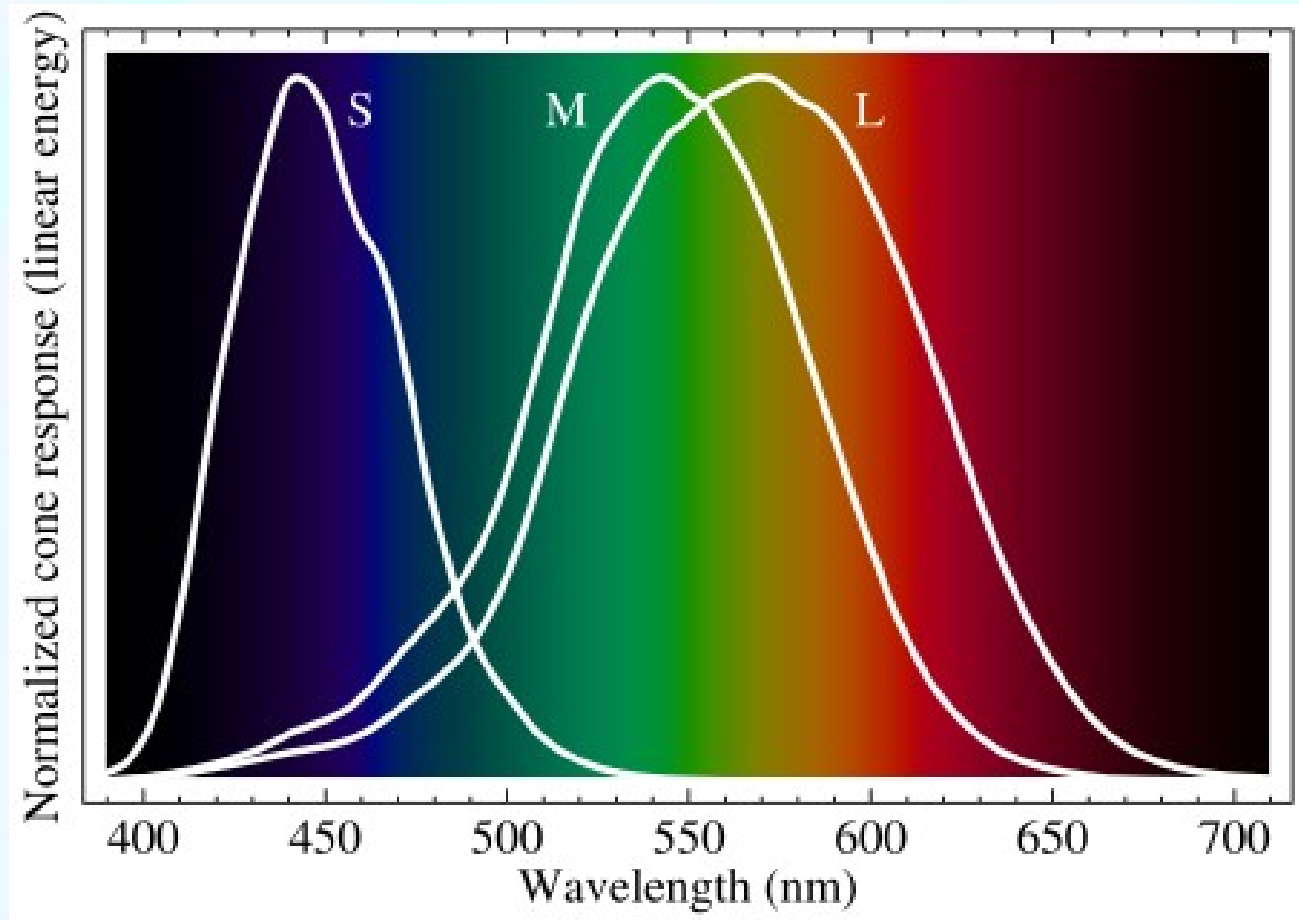
Modello additivo di Immagini a colori



1861

- J.C. Maxwell
 - Compose un triangolo dei colori basato sulla teoria di Young–Helmholtz (1802)
 - La teoria postulava l'esistenza di 3 specie di recettori sulla retina
 - La triplice stimolazione produce la percezione di un colore
 - E' possibile che due stimolazioni differenti producano la stessa percezione (metamerismo)

Colore: Sensibilità dei Coni



Prime immagini a Colori

·La foto della slide seguente è stata presa dal chimico russo Sergey Prokudin-Gorsky, il quale per primo aveva portato la tecnica delle immagini a colori a standard di resa grafica accettabili

- La tecnica richiedeva l'impressione separata di 3 lastre fotografiche
- Ogni lastra veniva impressa dopo aver applicato un filtro cromatico
- La fotografia veniva composta con un procedimento fotochimico a partire dalle lastre dei 3 colori fondamentali

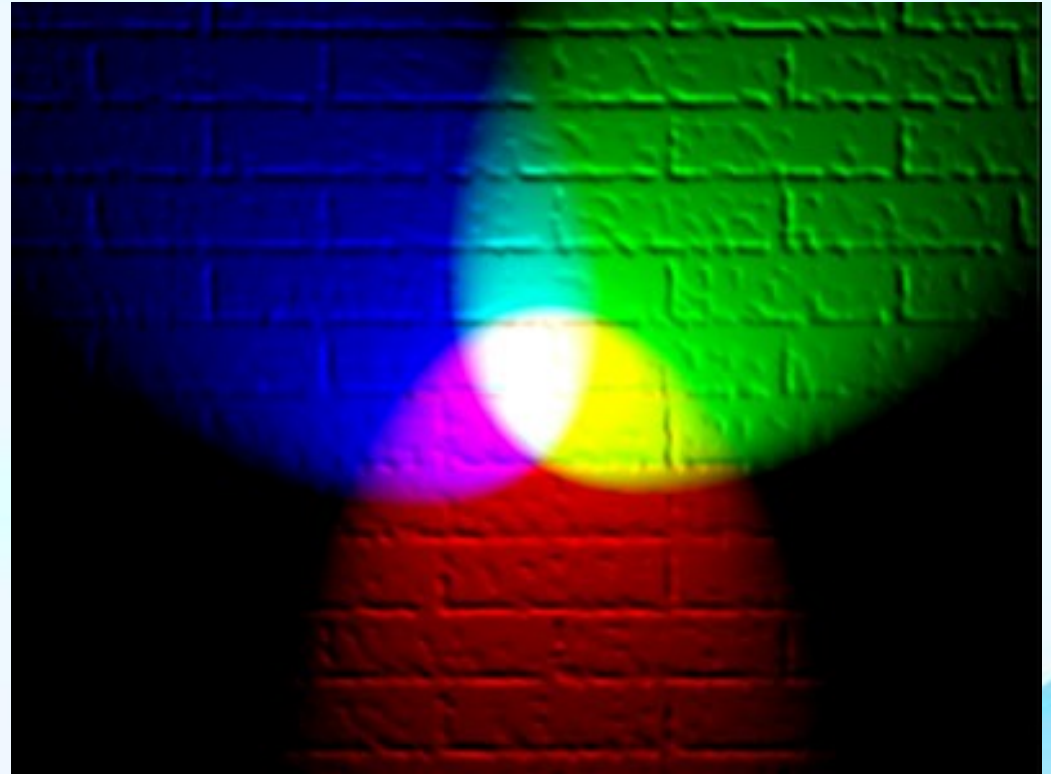
Immagini a Colori



Emiro di Bukhara – Foto di Sergey Prokudin-Gorsky (1911)

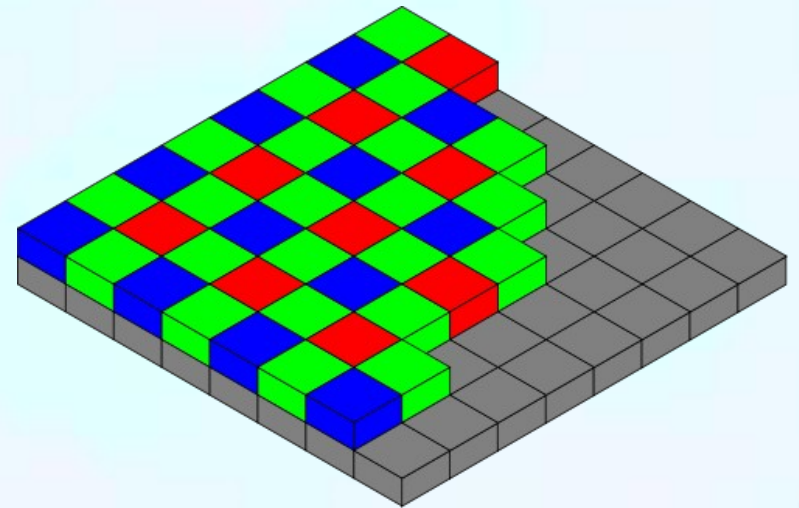
Immagini a Colori

- Le immagini a colori sono rappresentate a partire da un modello additivo di generazione dei colori
 - Il modello base è quello in tricromia: **rosso**, **verde** e **blu** (RGB)
 - I colori vengono ottenuti sovrapponendo colori base con intensità variabile



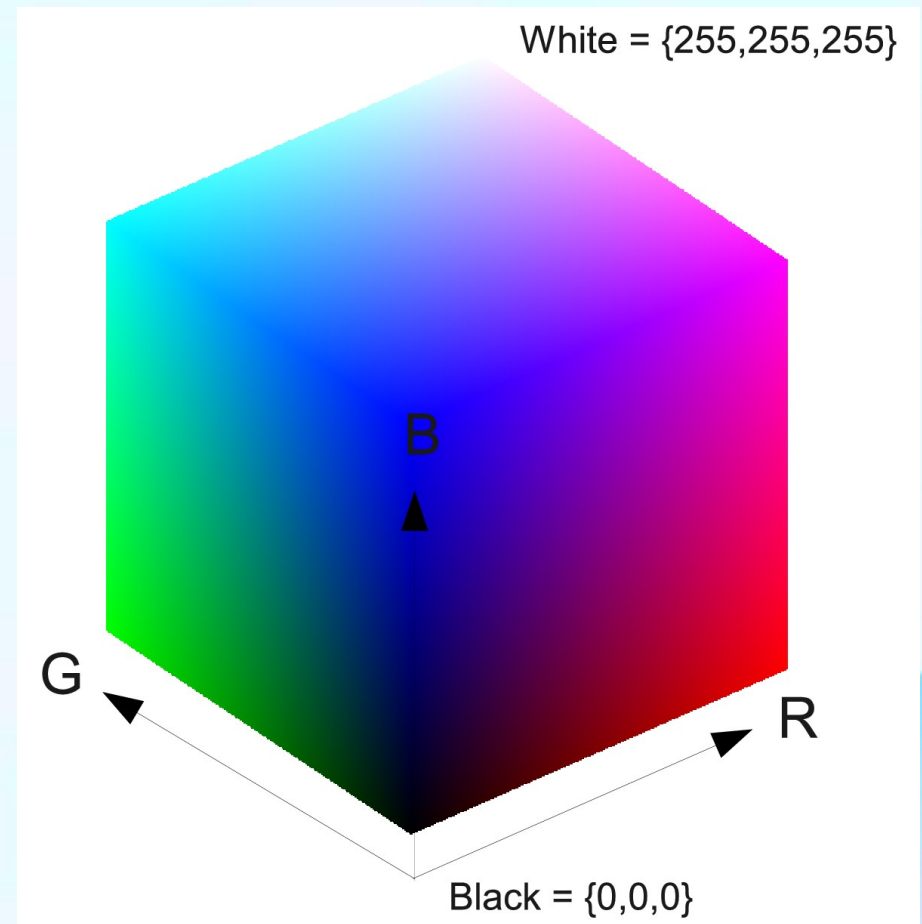
Raccolta di immagini a colori

- Per comporre le immagini a colori ad ogni pixel vengono associati 3 fotositi
- A ciascun fotosito raccoglie luce con lunghezza d'onda che si concentra viene depositato uno strato semitrasparente (filtro di Bayer) che sopprime le lunghezze per ognuna delle componenti cromatiche **RGB**
- Ci sono 2 elementi per la luce verde per ragioni legate alla fisiologia della visione (il colore a cui il nostro occhio è più sensibile è il verde)
- In un immagine a colori ogni pixel è rappresentato da una terna di numeri
- Se la bit-depth per ciascun canale è di 8 bit allora ogni elemento è rappresentato da 24 bit



Immagini a Colori

- Le coordinate R,G,B rappresentano l'intensità di una componente
 - Le 3 coordinate possono essere rappresentate da un numero nell'intervallo $[0,1]$ (coordinate normalizzate) per effettuare trasformazioni
 - L'hardware della quasi totalità dei sistemi in uso oggi usano il **true color** che è rappresentato da una terna di byte ($3 \times 8 = 24$ bit) così come la maggior parte delle fotocamere a colori generano



Rappresentazione RGB

·Rappresentazione true color dei colori codificati ai vertici del cubo RGB

Rosso	(255,0,0)
Verde (lime)	(0,255,0)
Blu	(0,0,255)
Giallo	(255,255,0)
Magenta	(255,0,255)
Ciano	(0,255,255)
Bianco	(255,255,255)
Nero	(0,0,0)

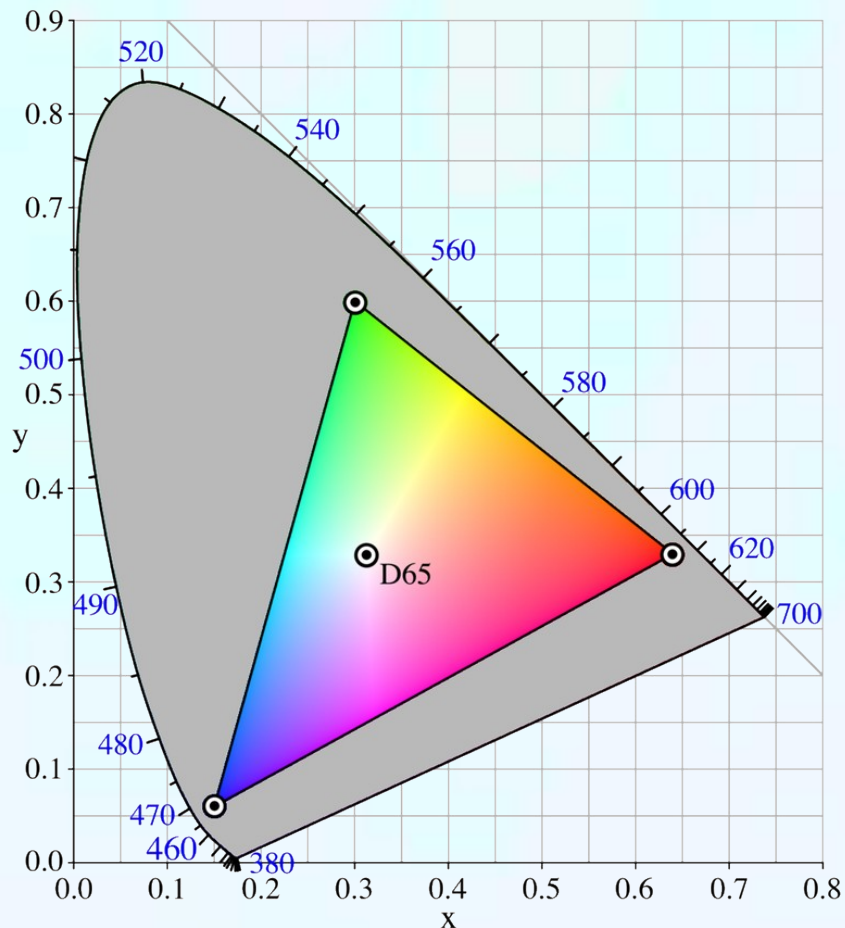
Rappresentazione RGB

- Nello spazio RGB i grigi occupano la diagonale del cubo che connette il vertice del nero $(0,0,0)$ e del bianco $(255,255,255)$
- I valori dei grigi hanno la caratteristica di avere valori uguali della terna.
- Quindi il true color può rappresentare 256 livelli di grigio $(0,0,0)$ $(1,1,1)$ $(2,2,2)$... $(128,128,128)$... $(255,255,255)$

Rappresentazione RGB

- La rappresentazione true color permette di avere $2^{24}=16,777,216$ colori differenti e indipendenti nella stessa immagine
- Tuttavia lo spazio dei colori RGB è solo un sottospazio dei colori che il nostro occhi può distinguere
- Una possibile rappresentazione dello spazio dei colori sulla base di studi della percezione cromatica dell'uomo è lo spazio CIE 1931

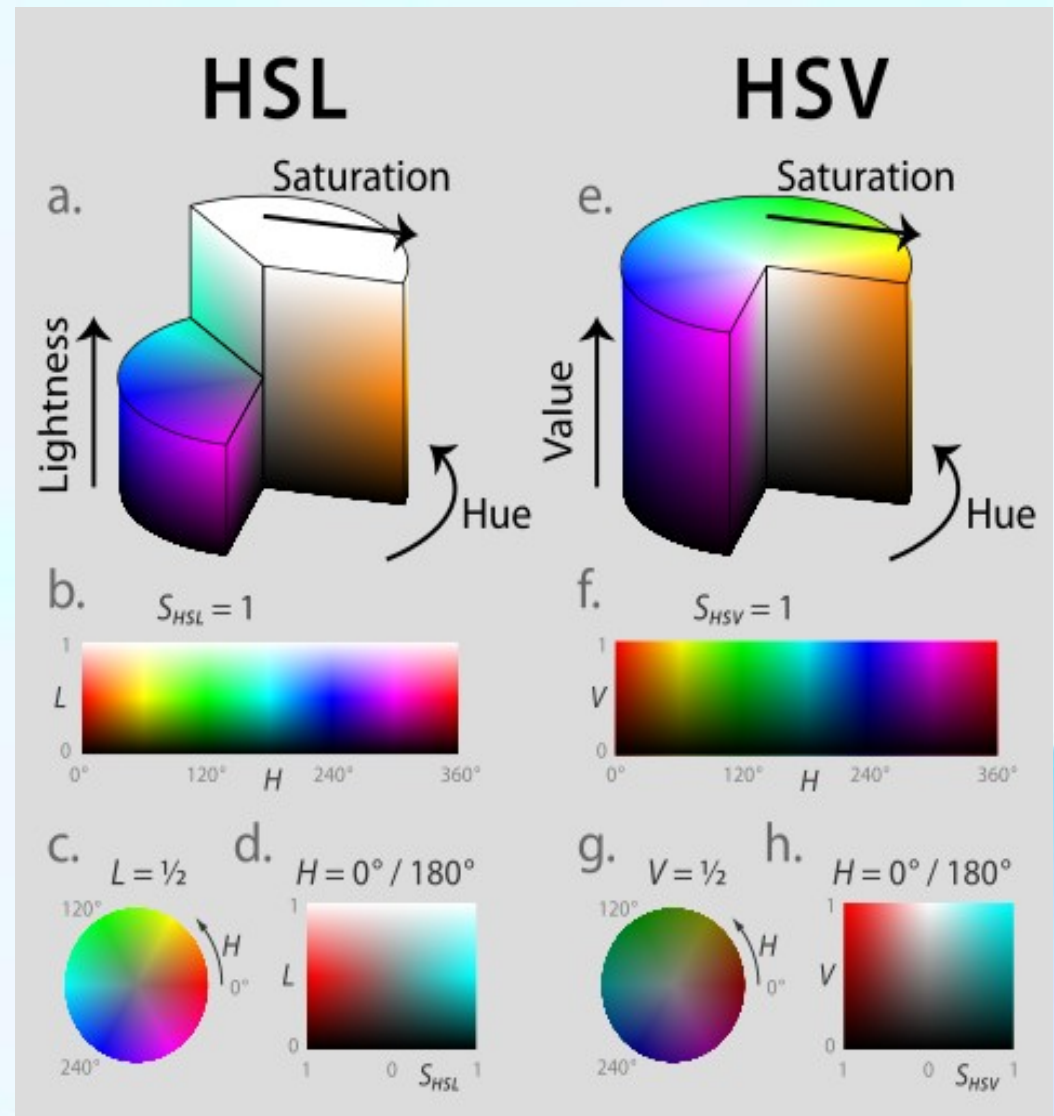
CIE 1931 color space



- Questo diagramma rappresenta una sezione dello spazio dei colori.
- I vertici del triangolo sono i tre colori fondamentali RGB
- Il triangolo sono lo spazio di colori rappresentabili in RGB
- All'esterno del triangolo ci sono i colori non rappresentabili
- Gli autori di questo diagramma hanno posto un colore grigio perché, essendo il diagramma digitale fatto da pixel espressi da terne RGB, i colori all'esterno non sono correttamente rappresentabili
- Esistono disponibili diagrammi completi che danno un'idea delle tinte presenti all'esterno, ma commettendo una forzatura

Immagini a Colori

- RGB può essere trasformato in sistemi di coordinate alternativi
 - HSV (HSB): Hue, Saturation, Value (Brightness)
 - HSL: Hue, Saturation, Luminosity
 - Hanno ragioni simili e permettono di separare la funzione delle coordinate
 - Una coordinata di luminosità
 - Due coordinate di cromaticità

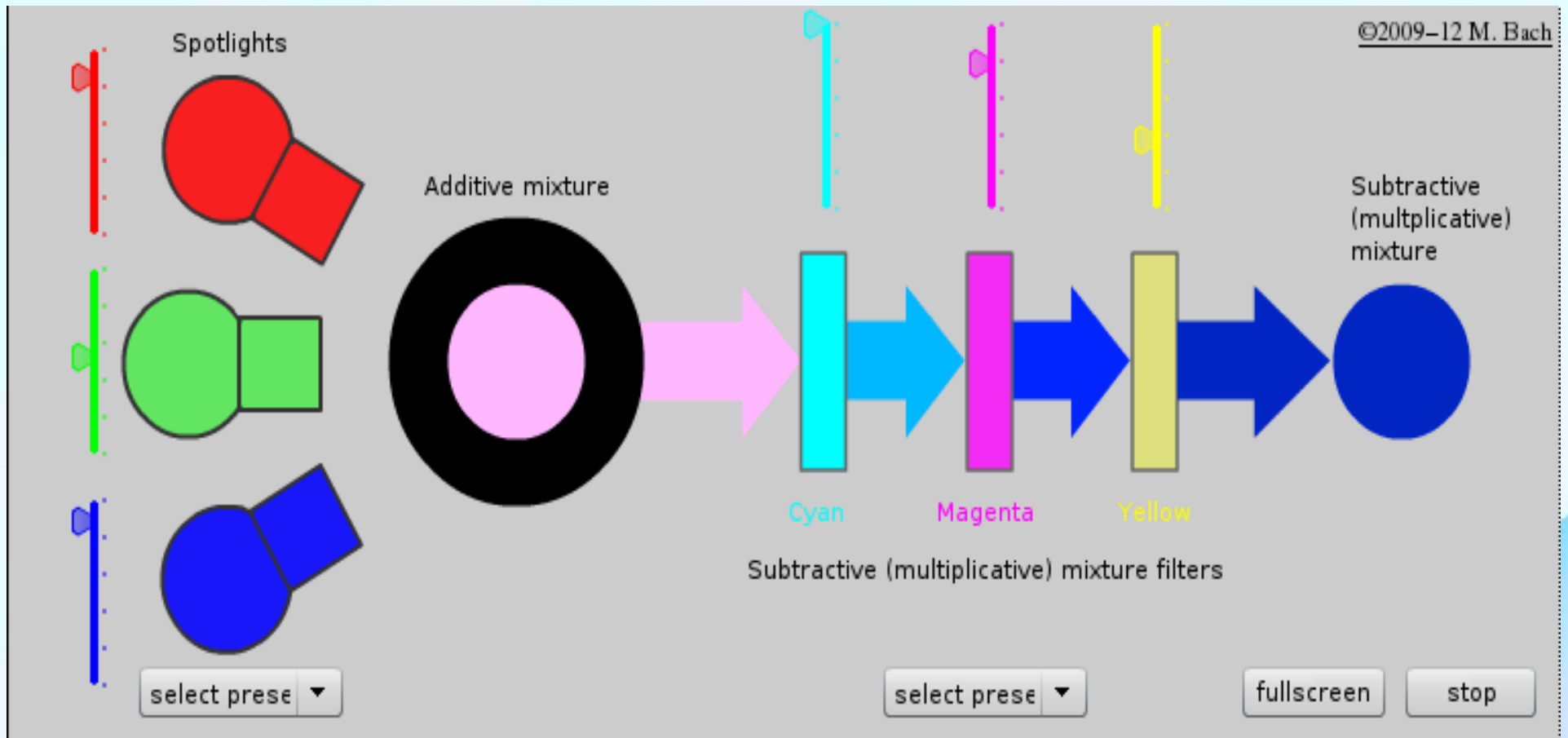


Modello colori sottrattivo

- CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, black)
 - Colori ottenuti per soppressione di componenti da una sorgente bianca
 - Usato nella tecnologia delle stampe

Piccolo Laboratorio dei Colori

- http://www.michaelbach.de/ot/col_mix/index.html



Pixel Values

- La tabella seguente riassume alcuni tipi di immagini digitali che sono caratterizzate da
 - Numero di bit per pixel
 - Come conseguenza i pixel possono assumere un determinato range di valori
 - Immagini con determinate caratteristiche hanno campi di applicazione
 - Si noti che le immagini RGB sono un caso speciale, in generale i sistemi di imaging non usano colori nel raccogliere un'immagine perché non quasi sempre non ha significato nell'imaging in medicina o astronomia.

Pixel Values

Grayscale (Intensity Images):

<i>Chan.</i>	<i>Bits/Pix.</i>	<i>Range</i>	<i>Use</i>
1	1	0...1	Binary image: document, illustration, fax
1	8	0...255	Universal: photo, scan, print
1	12	0...4095	High quality: photo, scan, print
1	14	0...16383	Professional: photo, scan, print
1	16	0...65535	Highest quality: medicine, astronomy

Color Images:

<i>Chan.</i>	<i>Bits/Pix.</i>	<i>Range</i>	<i>Use</i>
3	24	$[0...255]^3$	RGB, universal: photo, scan, print
3	36	$[0...4095]^3$	RGB, high quality: photo, scan, print
3	42	$[0...16383]^3$	RGB, professional: photo, scan, print
4	32	$[0...255]^4$	CMYK, digital prepress

Special Images:

<i>Chan.</i>	<i>Bits/Pix.</i>	<i>Range</i>	<i>Use</i>
1	16	$-32768...32767$	Whole numbers pos./neg., increased range
1	32	$\pm 3.4 \cdot 10^{38}$	Floating point: medicine, astronomy
1	64	$\pm 1.8 \cdot 10^{308}$	Floating point: internal processing