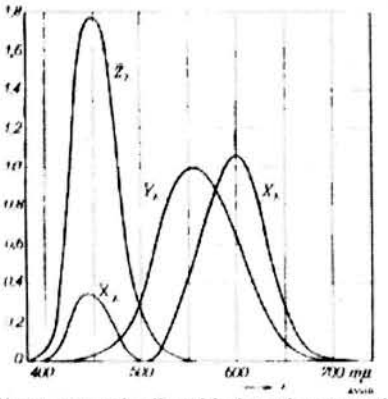
La gestione del colore nei sistemi elettronici

La prima ragione per cui i colori non risultano coerenti tra un dispositivo e l'altro sta nel fatto che ogni dispositivo può riprodurre solamente una piccola parte dei colori che l'occhio è in grado invece di percepire. Questa gamma di colori è chiamata "color gamut" (scala cromatica) del dispositivo (o semplicemente "gamut").
La seconda ragione che da origine a una cattiva corrispondenza tra i colori è rappresentata dalle unità dei dispositivi per rappresentare i colori, ossia in termini tecnici il loro "sistema cromatico". Gli scanner, le fotocamere digitali e i monitor utilizzano normalmente il sistema cromatico RGB, mentre la maggior parte delle stampanti opera in CMY o CMYK. Le immagini acquisite tramite scanner e visualizzate tramite monitor devono essere convertite in CMYK per essere stampate, mentre i file CMYK devono essere convertiti in RGB per essere visualizzati. La situazione diventa ancora più problematica in quanto i termini RGB, CMY e CMYK sono espressioni ambigue. In altre parole un valore RGB o CMYK inviato ad un dispositivo può non produrre lo stesso colore tramite un dispositivo simile.
La terza ragione è che ogni singolo dispositivo, anche se dello stesso modello, possiede proprie caratteristiche cromatiche. Di conseguenza, ogni dispositivo deve essere considerato separatamente, tenendo conto del suo comportamento cromatico. Utilizzando le caratteristiche cromatiche generiche, si presuppone che ogni dispositivo si comporti esattamente nello stesso modo. Questa valutazione porta inevitabilmente all'introduzione di errori grossolani.

Flusso di lavoro senza un sistema di gestione del colore

Le tre ragioni che causano un cattivo contrasto cromatico sono meglio illustrate nell'esempio seguente, che prende in considerazione un flusso di lavoro senza la presenza di un sistema di gestione colore.
Immaginiamo che un grafico pubblicitario stia lavorando alla realizzazione di un prospetto illustrativo per un'agenzia di viaggi.Abbia acquisito tramite scanner un'immagine di una spiaggia e ne valuti il risultato ottenuto tramite photoshop. L'immagine visualizzata dal monitor sembra corretta e simile alla fotografia originale, ma si ritiene che l'acqua del mare sembri sbiadita. Quindi si aumenterà il blu. L'immagine apparirà quindi come era desiderata, e pertanto si procederà alla relativa stampa con una stampante a getto d'inchiostro connessa alla rete aziendale.
Il grafico non conosce le caratteristiche cromatiche di questa stampante, di conseguenza non è in grado di fornire a photoshop le informazioni necessarie per una conversione corretta in CMYK. Perciò la conversione viene realizzata utilizzando un'impostazione standard di photoshop quindi non ottimizzata per questa stampante: così i colori della stampa di bozza non assomiglieranno a quelli previsti.
A questo punto si ritorna in photoshop, si correggono i colori e si ristampa. Viene ripetuto questo procedimento di prova finché i colori della bozza sono come quelli desiderati. Questo modo di procedere è chiaramente lungo e costoso.



Si suppone che l'occhio lavori con tre tipi di cellule le cui sensibilità relative corrispondano alle tre curve di distribuzione dell'energia raggiante. X_γ Y_γ Z_γ

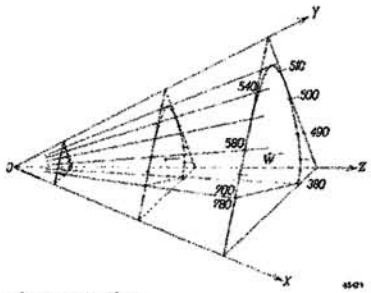
Il sistema del C.I.E. delle coordinate tricromatiche

Per individuare il calore i fisici usano un insieme di tre variabili che possono essere definite da colore, brillanza e saturazione. La valutazione matematica del colore invece è stata data nel 1931 dal C.I.E. (Commission Internationale de l'Eclarage - oggi: I.C.I. - International Commission of Illumination) in base alla nota esperienza di Maxwell delle tre lanterne.
In questa esperienza nel 1931, davanti ai 100 osservatori di Berlino, la scelta a primari dei colori rosso, verde e blu fu conseguita al fatto che nella prova delle tre lanterne la terna aveva fornito la più ampia gamma di colori senza passare a quantità negative, ed essendo valida nel frattempo la condizione che con la somma di due dei tre colori non si riusciva mai a produrne il terzo. In ragione di dette considerazioni sono state enunciate le tre leggi della colorimetria attribuite a H.Grassmann.
Quando per esempio si desideri riprodurre un colore sconosciuto proiettando su di uno schermo bianco due luci colorate sovrapposte i valori di tristimolo delle quali siano X_1, Y_1, Z_1, e X_2, Y_2, Z_2 i valori di tristimolo del nuovo colore saranno:

$$X = X_2, + Y_2, + Z_2$$

Coefficienti di trasmissione cromatica

Un raggio di luce bianca attraverso



Spazio cromatico

un prisma di cristallo si scomporrà nel noto spettro cromatico. Esaminiamo poi piccole porzioni di questo spettro attraverso una sottile fenditura che faremo spostare lungo la banda cromatica. Quando la fenditura è sufficientemente stretta (monocromatore) la porzione dallo spettro isolata successivamente lungo la banda potremo considerarla monocromatica. Tuttavia tale monocromatismo non sarà assoluto e per questo la lunghezza d'onda effettiva della porzione sotto osservazione rappresenterà la risultante λ delle varie lunghezze d'onda delle luci monocromatiche limitate dalla fenditura. Tale valore viene detto *componente spettrale:*
Eseguiamo ora due proiezioni successive su di uno schermo bianco : una delle componenti spettrali della luce e una delle componenti spettrali filtrate da un filtro campione di colore prestabilito. Se il nostro filtro avrà una percentuale di trasmissione del 50%, potremo affermare che il suo coefficiente di trasmissione è eguale a 0,50. Il colore del filtro campione dipende da due valori distinti:
a) il coefficiente di trasmissione;
b) la componente spettrale del raggio di luce preso in esame.
(Se si tratta di un oggetto colorato anziché di un filtro, la risposta sarà eguale purchè al concetto di luce trasmessa si sostituisca quello di luce riflessa dall'oggetto stesso, e al concetto di trasmissione si sostituisca quello di riflessione).

Trasformazione di classificazioni
Un fascio luminoso è formato da un numero variabile di componenti spettrali. Queste si potranno

Tramite rete internet il nostro grafico invia l'immagine al cliente, che possiede una stampante dello stesso modello ma con caratteristiche cromatiche leggermente differenti. Di conseguenza il risultato dell'immagine stampata dal cliente sarà differente da quella stampata dal grafico. Così per convincere il cliente della qualità del lavoro, il nostro grafico è costretto ad inviargli l'immagine stampata tramite la sua stampante.
Alla fine l'immagine è stampata con una macchina da stampa offset. Purtroppo questo procedimento di stampa possiede un numero di colori inferiori rispetto al monitor RGB ed alla stampante a getto d'inchiostro. Il risultato sarà che il colore del mare si mostrerà completamente differente da quello previsto.

Sistemi di gestione del colore

Con la disponibilità di scanner e stampanti a basso costo, si avverte sempre più la necessità di gestire il colore in maniera più efficiente. Quest'ambiziosa meta non è niente altro che una rivoluzione nel concetto di gestione colore, che fino ad ora figurava esclusivo appannaggio di specialisti. La tecnologia che ha permesso questa rivoluzione nasce dal concetto detto "device-independent color".
Per i tre problemi descritti in precedenza sono state individuate tre diverse soluzioni:
Le differenze tra color gamut vengono eliminate con una tecnica chiamata gamut mapping
Le differenze tra i sistemi cromatici (RGB-CMYK) utilizzando il sistema tricromatico *cie*.
Le differenze cromatiche tra lo stesso modello e lo stesso costruttore, tramite la creazione di profili individuali.

Colori indipendenti dal dispositivo operativo

Per ottenere colori indipendenti dal dispositivo operativo è necessario realizzare un procedimento in cui i dispositivi a colori digitali siano misurati tramite un sistema colore standard ed indipendente. In tal modo è possibile convertire le immagini da un sistema colore all'altro senza perdita di informazioni.
Traducendo le informazioni RGB specifiche di uno scanner in un sistema colore indipendente, ogni colore letto dallo scanner può essere memorizzato, trasmesso e riprodotto in qualunque angolo della terra senza avere la necessità di vedere la foto originale. Allo stesso modo traducendo i colori prodotti dalle varie combinazioni di CMYK di una data stampante in un sistema colore indipendente, questa sarà in grado di stampare qualunque colore con un'elevata fedeltà, semplicemente traducendo i colori dal sistema colore indipendente nei colori CMYK specifici della stampante.
Alla base del concetto di dispositivo indipendente sta il fatto che tutti i dispositivi traducono da e a un sistema colore comune, ossia in unità di misura che hanno lo stesso risultato visivo ovunque siano utilizzate.

Il Sistema Tricromatico Cie

Il sistema tricromatico RGB, quello *cmk* o CMYK non sono sistemi colore dipendenti, in quanto un colore descritto in tali sistemi appare differente se ottenuto con differenti tipi di dispositivi. Fortunatamente un sistema colore tridimensionale indipendente esiste.

Nel 1931, a Berlino, un gruppo internazionale di scienziati sotto l'egida della *cie* (Commission Internationale de l'Eclairage), ricercarono le proprietà della visione umana e definirono una nuova via oggettiva per descrivere l'intero spettro cromatico visibile (color gamut). La *cie* definì i colori visibili mediante una serie di valori di tristimolo. Quelli di uso più comune sono il *cie* lab e il *cie-xyz* utilizzati dalla maggior parte dei metodi di gestione colore. Ogni sistema colore *cie* può essere convertito esattamente in un altro.

La creazione dei "profili"

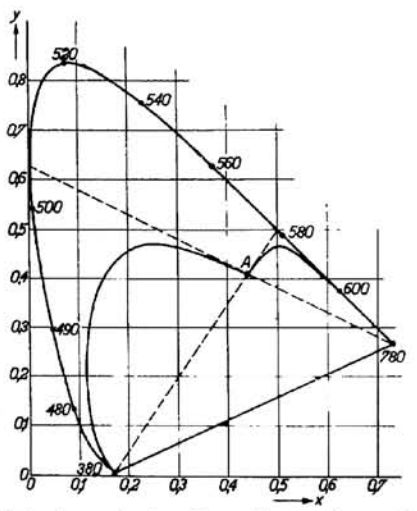
Il processo di conversione delle caratteristiche di un dispositivo in un sistema cromatico spaziale indipendente è ottenuto tramite la creazione dei "profili". Un profilo di un dispositivo consiste principalmente in un elenco di numeri RGB, CMK o CMYK abbinati ai relativi valori *CIE*. L'elenco definisce tutte le possibili combinazioni che un dato dispositivo può acquisire, visualizzare o stampare. Questo elenco è comunemente definito come "look-up table".
I profili degli scanner e delle fotocamere digitali sono realizzati tramite la scansione di un fotocolor test e mettendo in relazione i valori RGB (CMYK) ottenuti con un file CIE fornito dal costruttore del fotocolor.
Per la realizzazione del profilo della stampante viene stampata una tabella colori che è misurata in formato CIE tramite uno spettrofotometro o uno scanner CIE tarato. I valori cie ottenuti vengono accoppiati ai valori CMY o CMYK che producono quel colore così da formare un elenco che costituisce il profilo.
I profili del monitor si realizzano in modo analogo ad eccezione dello strumento di misura che è collocato direttamente sulla superficie dello schermo, dove i colori della tabella sono visualizzati in sequenza. I valori CIE letti sono memorizzati e accoppiati ai relativi valori RGB che li producono così da formare il profilo del monitor.

Formato dei "profili"

A seconda del tipo di applicazione esistono differenti formati per la codifica dei profili. Il formato più comune è quello definito dalla ICC (international Color Consortium), l'organizzazione che ha creato un'architettura standard per la gestione dei colori. Questa architettura è chiamata ICC 3.0 ed è indipendente dalla piattaforma utilizzata.
Il formato ICC 3.0 sta diventando lo standard industriale per la definizione dei profili. La maggior parte delle applicazioni danno la possibilità di creare o di leggere i profili ICC. La prima applicazione della architettura ICC è stata realizzata dalla Apple con il colorsync 2.0, rilasciato nel marzo del 1995.
Altri due tipi di formato sono il postscript Color Rendering Dictionaries (CRDS) e le tabelle di separazione di Photoshop.

Utilizzo dei "profili"

I profili cromatici sono inutili se non possono essere applicati alle immagini, o più in generale ad un documento a colori. I profili sono utilizzati attraverso diversi sistemi.
I profili in formato ICC si stanno sempre più imponendo come standard per i sistemi di gestione colore. La maggior parte dei programmi per il trattamento delle immagini sono ICC compatibili. Essi sono utilizzati per catalogare



Colori marginali sottoposti a una luce ad incandescenza

sempre determinare quando esista una f(λ) della lunghezza d'onda λ tale che l'energia raggiante del fascio di luce, a sua volta composto di onde la cui lunghezza d'onda vari tra λ e λ dλ, risulti eguale a f(λ)dλ.
Dividiamo in porzioni eguali di lunghezza d'onda di ampiezza λ la zona visibile, individuando in tal modo una successione di costanti:

$$W_\lambda = \int_{\lambda}^{\lambda+\Delta\lambda} (\lambda))\partial\lambda$$

che definisce la componente spettrale della luce in esame.
Conoscendo per ipotesi la composizione spettrale della luce che attraversa il filtro preso a campione nella successione di costanti Wλ e detto ε_λ il coefficiente di trasmissione del filtro stesso, otterremo la composizione della luce da esso trasmessa ed eguale a $W_\lambda\varepsilon_\lambda$.
A questo punto costruiamo un fascio luminoso per ognuno degli intervalli Δλ che presenti un'intensità eguale a 0 per tutte le lunghezze d'onda esterne all'intervallo stesso. Assegnamo tre primari a piacere e determinati i relativi valori di tristimolo dei colori dei fasci luminosi ora definiti X_λ, Y_λ, Z_λ, i valori di tristimolo del colore trasmesso da un filtro colorato preso per campione, estesi alle sole lunghezze d'onda dello spettro visibile saranno dati dalla sommatoria:

λ	*colore*	X_λ	Y_λ	Z_λ
578	giallo	31,20	31,28	0,00
546,1	verde	10,74	28,14	0,36
435,8	blu	7,33	0,39	36,30
407,8	indaco	0,08	0,00	0,40
404,7	violetto	0,27	0,01	1,26

Tavola delle coordinate X, Y e Z per i vari colori dello spettro visibile

$$X = \Sigma\varepsilon_\lambda W_\lambda X_\lambda$$
$$Y = \Sigma\varepsilon_\lambda W_\lambda X_\lambda$$
$$Z = \Sigma\varepsilon_\lambda W_\lambda X_\lambda$$

Ora si pone come postulato che una classificazione tricromatica X, Y, Z, relativa ad una determinata scelta di primari, può trasformarsi in un'altra qualunque R,G,B, relativa ad un altro sistema mediante una semplice equazione di trasformazione:

$$R = k_1X + k_1Y + k_1Z$$
$$G = k_2X + k_2Y + k_2Z$$
$$B = k_3X + k_3Y + k_3Z$$

Dove i coefficienti ki possono prendere qualsiasi valore positivo, negativo o nullo, purchè non sia tale da rendere uno dei primari eguale a una combinazione lineare degli altri due.

Il triangolo di Maxwell

Prendiamo quindi i valori di tristimolo del sistema C.I.E. X,Y e Z. Diremo coordinate (o coefficienti) di cromaticità i tre rapporti:

$$x = X / X+Y+Z$$
$$y = Y / X+Y+Z$$
$$z = Z / X+Y+Z$$

Poniamo $x + y + z = 1$ e vedremo che soltanto due di questi rapporti risultano tra loro indipendenti. E' possibile quindi rappresentare sul piano i vari colori portando sugli assi due sole delle tre variabili scelte a piacere. Il diagramma che otterremo è detto "triangolo di Maxwell o delle mescolanze", ed indica in forma completa il colore risultante dalla mescolanza additiva di due luci di differente colore. I punti della curva rappresentano le coordinate relative ai colori di maggior purezza; i punti non esterni alla curva rappresentano tutti colori fisicamente realizzabili.

I punti rappresentanti i primari x = re i valori ICC del profilo di ingresso con quelli del profilo di uscita. Il risultato è una singola matrice (look-up table) che traduce i valori del dispositivo in ingresso (es. RGB) direttamente nei valori di quello in uscita.

Teoricamente i valori CIE Lab letti dovrebbero sempre catalogare i valori che li generano, ma per varie ragioni questo si verifica raramente. La qualità delle conversioni realizzate dal profilo dipende da come i valori CIE Lab sono catalogati e determina anche la differenza tra un programma di gestione colore buono e un cattivo.

Opzioni del "Gamut mapping"

L'obiettivo di un programma di gestione colore indipendente dal dispositivo è quello di fare corrispondere automaticamente i colori all'originale, a prescindere dallo scanner, monitor o stampante utilizzata.

Non sempre questo è possibile in quanto la maggior parte dei dispositivi d'uscita non è in grado di riprodurre i colori di una particolare immagine. In altri casi la stessa immagine necessita di essere elaborata per migliorare o modificare il suo aspetto. In questi casi, alcuni o tutti i valori CIE Lab del profilo sorgente sono fatti corrispondere a valori CIE Lab del profilo d'uscita non corrispondenti: di conseguenza i colori dell'immagine sorgente verranno deliberatamente cambiati.

Il "gamut mapping" è un procedimento di ridistribuzione dei valori cromatici di un profilo al fine di farlo corrispondere al "gamut" di un altro. Il tipo più comune di "gamut mapping" è la "compressione".

La "compressione" del "gamut" è generalmente necessaria quando un'immagine acquisita da scanner deve essere riprodotta attraverso un procedimento di stampa. La maggior parte delle diapositive e delle stampe fotografiche presentano un "gamut" maggiore rispetto ad un tipico dispositivo di stampa. Per riprodurre fedelmente l'originale, il programma di gestione colore deve comprimere il "gamut" dell'immagine sorgente nei colori disponibili nel dispositivo d'uscita.

Se la compressione del "gamut" è realizzata appropriatamente la riproduzione sarà tanto precisa quanto lo sono le capacità di riproduzione del dispositivo. Se non viene attuata nessuna compressione del "gamut", la riproduzione risultante apparirà troppo contrastata, con le zone scure dell'immagine confuse e scalettate.

La compressione del "gamut" ridistribuisce i colori non riproducibili dal dispositivo d'uscita all'interno del suo "gamut". Alcuni colori all'interno del "gamut" del dispositivo d'uscita devono essere anch'essi spostati per fare posto a quelli che sono stati inseriti al fine di evitare scalettature dell'immagine.

Colorsync

Alcuni sistemi di gestione colore, come il BARCO COBRAMATCH, fanno uso di Color Sync 2, che viene fornito insieme al sistema operativo Apple. Questo programma si prende carico di una rilevante parte del processo di gestione cromatica.

Il colorsync 2 comprende un robusto motore per le trasformazioni cromatiche e fornisce un'architettura standard alle applicazioni esterne. Il suo motore cromatico impiega i profili ICC forniti sia dalla Apple, che dai costruttori dei dispositivi a colori, o che sono generati dai sistemi di gestione colore come COBRAMATCH. Il Color Sync realizza complesse trasformazioni cromatiche delle immagini basandosi sui profili d'ingresso e d'uscita. Queste trasformazioni cromatiche, che in realtà modificano i dati dell'immagine, sono

conosciute come Color Matching Methods (CMM). Il Color Sync è dotato di un proprio CMM fornito direttamente dalla Apple.
L'architettura aperta del Color Sync permette alle applicazioni esterne ai driver (programmi che pilotano i dispositivi), di utilizzare le funzioni d'abbinamento cromatico inserite all'interno del motore di trasformazione. Inoltre fornisce alle applicazioni esterne la possibilità' di utilizzare il proprio CMM.

Trasformazioni cromatiche

I profili ICC possono essere utilizzati per molte applicazioni, ma la trasformazione cromatica è forse la fase più importante di tutto il procedimento di gestione colore. La trasformazione tricromatica segnala al dispositivo d'uscita il modo in cui devono essere trattati i colori delle immagini.
In funzione del tipo di profilo che è stato selezionato la trasformazione cromatica può simulare l'apparenza: a) dell'originale tramite il dispositivo d'uscita; b) di un originale acquisito tramite un monitor; c) di un dispositivo d'uscita tramite un altro dispositivo d'uscita (Digital Proofing); d) di un dispositivo d'uscita tramite un monitor (Soft Proofing); e) di un'immagine visualizzata dal monitor tramite un dispositivo d'uscita.

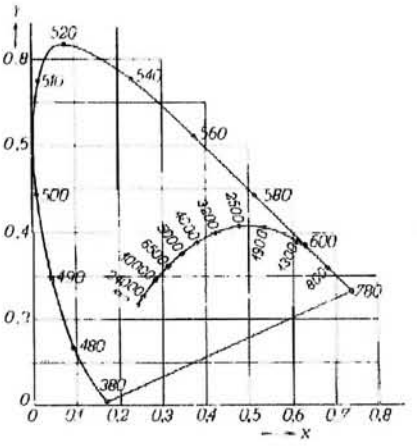
Il sistema cobramatch

Il COBRAMACH è il sistema di gestione colore più completo oggi disponibile sul mercato. Esso è composto da una serie completa di strumenti per la gestione e la correzione del colore.
Il primo strumento permette la creazione dei "profili". Per gli scanner e le fotocamere utilizza delle mire sia trasmittrici che riflettrici. Il COBRAMATCH produce un profilo misurando una scansione della mira e eventuali scostamenti rispetto al riferimento digitale fornito con l'applicazione.
Per i monitor è necessario acquistare un colorimetro o uno spettrofotometro in grado di misurare i colori emessi dal tubo catodico. Il COBRAMATCH visualizza una serie di colori tramite il monitor in modo che siano letti dallo strumento di misura, in seguito crea un profilo comparando i dati misurati con un file di riferimento incluso nella applicazione.
Per le stampanti, le prove colore e le macchine da stampa il COBRAMATCH elabora una tabella che poi viene successivamente stampata e crea un profilo facendo una comparazione tra i valori misurati sulla stampa e i valori CMYK o RGB inviati alla stampante.
Dopo la creazione del profilo, si può utilizzare il COBRAMATCH Edit per aprire un'immagine e assegnare un profilo ICC in modo da vedere l'immagine con i colori corretti. Assegnando i profili d'uscita è possibile realizzare la correzione cromatica o la simulazione della stampa.

[edito per la cortesia della BARCO s.r.l.,- Corsico (Milano)]

SUMMARY

The devices for chromatic reproduction cannot reproduce colours faithfully because not all of them can duplicate the same range of colors, and the systems of reference are different. In 1931 the I.C.I. estabilished red, green and blue as the primary colors, but this does not necessarily mean that colors can only be reproduced with this triad. Scanners, printers, etc., operate with CMY or CMYK systems; a drawback that is more evident with cheaper scanners and printers. The technology for handling color efficiently is called 'independent color device'. The I.C.I. system fixes the colors by using independent parameters (tristimulus values) and via 'profiles', it is possible to compare the colors pertaining to the three systems RGB, CMK and CMYK, in order to transfer the quality from one machine to another, wich is what Barco's Cobramatch does.



I radiatori termici nel triangolo di Maxwell (punti di bianco)

1, y = z = 0; y = 1, x = z = 0; z = 1, x = y = 0, cadono fuori della curva e pertanto sono immaginari.

Coordinate monocromatiche
Dovendosi ricercare le coordinate cromatiche del punto rappresentativo della trasmissione di un filtro (o della riflessione di un oggetto) si deve passare alle coordinate monocromatiche.
Va in tal caso notato che la trasmissione (o riflessione) è identica in entrambi i sistemi. La lunghezza d'onda la si scopre invece come lunghezza d'onda corrispondente al punto d'incontro nel grafico di Maxwell tra la semiretta uscente dal punto di bianco e passante per il punto di colore, di cui si conoscono le coordinate tricromatiche, e la curva dei valori spettrali.
Per la purezza il problema è differente e, dette x, y, z le coordinate del punto di colore, x_b, y_b, z_b, le coordinate del punto di bianco e x_s, y_s, z_s quelle della lunghezza d'onda dominante, avremo:

$$\frac{x - x_b}{x_s - x_b} = \frac{y - y_b}{y_s - y_b} = \frac{z - z_b}{z_s - z_b}$$

Indicando poi con p la purezza e ricordando quanto detto prima:

$$\frac{x - x_b}{x_s - x_b} = \frac{p}{100} \quad \text{quindi}$$

$$p = 100\,\frac{x - x_b}{x_s - z_s}$$

Analogamente si procede per y e per z.