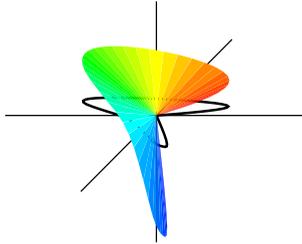


Colore, visione a colori e colori elementari per la codifica informatica del colore



Autore:
Prof. Dr. Klaus Richter

Edizione speciale per la mostra
Colore e visione a colori (Colour and colour vision)
al dipartimento di
Illuminotecnica della Università di Tecnologia di Berlino (TU)

Einsteinufer 19
10587 Berlin, Germany
consultare: <http://www.li.tu-berlin.de>

Questa pubblicazione (IL16.PDF) è edita in differenti versioni:
per output offset, stampa e monitor ed in tedesco, inglese ed altre lingue,
consultare

<http://130.149.60.45/~farbmetrik/color> o

<http://farbe.li.tu-berlin.de/color>

Indice

01	Metrica del colore	4
02	Colore e visione a colori	4
03	Molteplicità dei Colori	5
04	Il solido dei colori	9
05	I Colori elementari	10
06	Cerchio simmetrico delle tinte	13
07	Colori con croma massima	16
08	Attributi del colore: croma e chiarezza	17
09	Attributi del colore: brillantezza e bianchezza	18
10	Spettro dei colori e colori elementari	20
11	Dispositivo per miscelare i colori spettrali e riflessione	25
12	Fluorescenza	27
13	Retroriflessione	29
14	Miscela di colori	30
15	Radiazione spettrale	41
16	Contrasto	46
17	Specificazione standard del colore e misurazione del colore	51
18	Proprietà speciali della visione a colori	58
19	Colori elementari e codifica informatica del colore	67
20	Output dei Colori elementari indipendente dal dispositivo per la riproduzione del colore	70
21	Riproduzione affine del colore	71
22	Riferimenti	72
23	Ringraziamenti	73
24	Tavole ed osservazioni tecniche	75

Osservazioni sulle cartelle test.

Le *tavole dalla n. 1 alla n. 3 per la resa del colore* (PI13, PI23, PI33) sono utilizzate nell'illuminazione e nella tecnologia dell'immagine. Le valutazioni visive e le specificazioni colorimetriche seguenti sono possibili tra la sorgente reale di luce e quella di riferimento (D65, D50, P4000, A) o tra la riproduzione reale e quella voluta:

Fedeltà del colore: differenza di colore nella riproduzione (CIELAB ΔE^*_{ab})

Posizione delle tinte elementari: Posizione delle quattro tinte elementari (CIELAB Δh_{ab}) della realtà e della riproduzione voluta.

Scala delle tinte: spostamento delle tinte (CIELAB Δh_{ab}) all'interno di ogni settore di tinte

Colori metamerici: Differenza di colore (CIELAB ΔE^*_{ab}) tra una sorgente di luce reale e quella di riferimento (D65, D50, P4000, A), o tra uno scanner reale e quello ideale (i.e. colorimetrico).

Preferenza del colore: Differenza di colore (CIELAB ΔE^*_{ab}) con voluto aumento della chiarezza L^* e / o della croma C^*_{ab} .

Gli *standard internazionali* ISO/IEC 15775 e ISO 9241-306 e la serie standard DIN 33866 da 1 a 5, e DIN 33872 da 1 a 6 usano per l'input e l'output serie di colori visivamente equispaziati in 5 e 16 passi. Solitamente le differenze uguali sono valutate visivamente. La specificazione colorimetrica considera le differenze di colore tra il colore reale e il colore voluto in output secondo CIELAB (ISO 11644-4).

Informazioni per ottenere i vari colori sono riportate mediante descrizione tecnica in tabella nelle due pagine interne della copertina

1 Metrica del colore

La metrica del colore riguarda la definizione e la misurazione dei colori e delle differenze di colore. La metrica del colore si basa sulla pubblicazione CIE 15 "Colorimetria" (Colorimetry) della Commissione Internazionale per l'Illuminazione (CIE).

2 Colore e visione a colori

Una descrizione della qualità della resa del colore è possibile solo sulla base di una buona conoscenza delle proprietà che caratterizzano la visione dei colori da parte dell'uomo. Pertanto è essenziale estendere le conoscenze di base attraverso ricerche sulla visione. Con il supporto della Fondazione Tedesca per la Ricerca (DFG = *Deutsche Forschungsgemeinschaft*) K. Richter (1979, 1985) ha curato due rapporti di ricerca "BAM". Numerose altre pubblicazioni riguardanti il campo delle scale dei colori, delle soglie di discriminazione dei colori e delle tinte elementari sono disponibili.

Una importante sezione di *Colore e Visione a colori* è dedicata all'ordinamento "psicologico" dei colori basato sulla percezione umana. La descrizione psicofisica del sistema visivo è invece basata sia su misurazioni fisiche che sulla percezione.

Nelle seguenti parti saranno presentati i concetti basilari nel campo del "Colore e visione a colori"

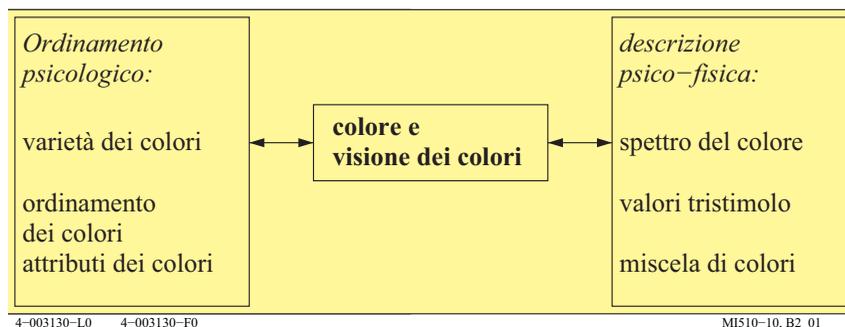


Fig. 1: Parti separate di Colore e visione a colori

La Fig. 1 mostra schematicamente i due approcci di "Colore e visione a colori", illustrati nel seguito mediante numerose immagini.

1

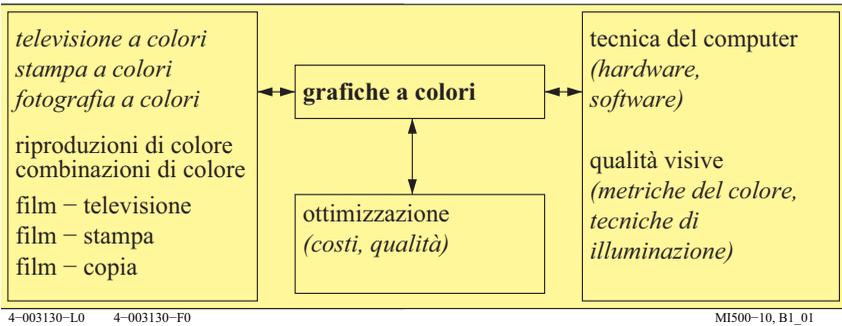


Fig. 2: La riproduzione dei colori come applicazione delle proprietà della visione a colori

La Fig. 2 mostra le applicazioni della riproduzione a colori, che è essenzialmente basata sulle proprietà della visione dei colori. Devono inoltre essere considerate le proprietà della riproduzione dei colori e le tecniche di calcolo al fine di ottimizzare i risultati conseguibili per le molteplici applicazioni.

3 Molteplicità dei Colori

Tutto ciò che vediamo è colorato. I colori rappresentano gli elementi di base delle nostre sensazioni visive. I materiali ed i processi che producono i colori sono ben diversi da queste. Nel seguito daremo un ordine alla molteplicità dei colori e ciò ci condurrà alla individuazione di colori con uguali attributi.

Secondo *Judd e Wyszecki (1975)* le persone in possesso di normale visione cromatica sono in grado di distinguere circa 10 milioni di colori diversi. Per mettere in ordine questa molteplicità è necessario introdurre una classificazione basata su attributi convenzionali.

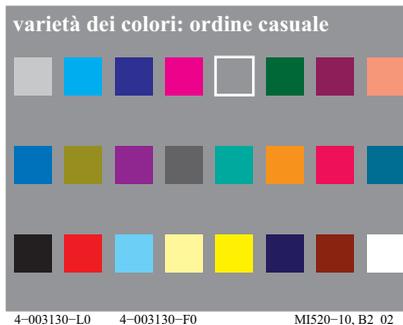


Fig. 3: Molteplicità dei colori

La Fig. 3 mostra una disposizione casuale di campioni di colore, i quali si possono innanzitutto suddividere in colori acromatici e colori cromatici.

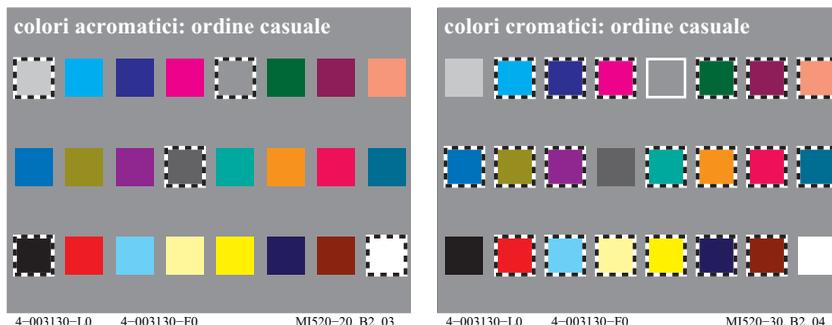


Fig. 4: Colori cromatici e colori acromatici

In Fig. 4, da un insieme di colori disposti in ordine casuale, sono evidenziati i colori acromatici (*a sinistra*) e quelli cromatici (*a destra*)

Colori acromatici colori intermedi	colori cromatici colori elementari	colori cromatici, colori prodotti da dispositivi TV, Stampa (PR), Foto (PH)
<i>cinque colori acromatici:</i>	<i>Colori "nè-neppure"</i>	<i>Sei colori del dispositivo (d):</i>
<i>N</i> nero (noir in Francese)	<i>Quattro colori elementari (e):</i>	<i>C</i> = C_d blu ciano (ciano)
<i>D</i> grigio scuro	$R = R_e$ rosso	$M = M_d$ rosso magenta (magenta)
<i>Z</i> grigio intermedio	$G = G_e$ verde	$Y = Y_d$ giallo (giallo)
<i>H</i> grigio chiaro	$B = B_e$ blu	$O = R_d$ rosso arancio (rosso)
<i>W</i> bianco	$J = Y_e$ giallo (jaune, Francese)	$L = G_d$ verde foglia (verde)
<i>Due colori intermedi:</i>	$M_e = B50R_e$ blu-rosso	$V = B_d$ blu viola (blu)
$C_e = G50B_e$ verde-blu		
4-003130-L0	4-003130-F0	MI580-10

Tabella 1: Colori elementari e colori generati da dispositivi informatici

La Tabella 1 mostra la definizione dei colori elementari (pedice e) e dei colori prodotti da un dispositivo digitale (pedice d). Ci sono quattro colori elementari $RGBY_e$ e sei colori prodotti da un dispositivo $RGBCMY_d$. Per alcune applicazioni, ai quattro colori elementari si aggiungono i colori visivamente intermedi, C_e (blu-verde) e M_e (blu-rosso), in modo da ottenere in tutto sei colori (in basso a sinistra). La Tabella 1 riporta anche 5 colori acromatici $NDZHW$, dal nero N (= *Noir* in francese), passando per il grigio medio Z fino al bianco W . Tutti gli altri sono colori cromatici.

I nomi O , L e V sono utilizzati in molte norme (per esempio ISO/IEC 15775, ISO/IEC 24705, ISO 9241-306, DIN 33866-1 5 e DIN 33872-1 6). Sebbene tale nomenclatura abbia il vantaggio di sintetizzare in una sola lettera l'apparenza, presenta lo svantaggio di essere poco utilizzata nella pratica. Inoltre la

lettera L può creare confusione perché impiegata per indicare la luminanza nelle norme che comprendono anche l'illuminazione (ad esempio la ISO/IEC/CIE 8589).

Per evitare confusione, nel seguito, al posto di O , L e V , si useranno le dizioni R_d , G_d , B_d . In Tabella 1 i colori prodotti dal dispositivo (pedice d), rosso R_d , verde G_d e blu B_d differiscono dai colori elementari (indice e), rosso R_e , verde G_e e blu B_e . Per ciascun rosso, verde o blu indeterminato si utilizzano le lettere $R_$, $G_$ e $B_$ (lettera con sottolineatura $_$). Il colori $RGB_$ sono solitamente diversi sia dai colori R_d , G_d , B_d del dispositivo che da quelli elementari R_e , G_e , e B_e . Il grande pregio dei colori elementari rosso R_e , verde G_e e blu B_e è nella loro definizione esclusivamente visiva ed indipendente da qualsiasi dispositivo di riproduzione del colore, in accordo con quanto riportato nel report CIE R1-47: 2009 " Angoli di tinta dei colori elementari" (*Hue Angles of Elementary colours*). Oggi, nella tecnologia delle immagini a colori, la specificazione dei colori è fatta secondo la tecnica digitale. Il numero minimo di colori riproducibili è 4096. Infatti i tre colori prodotti dal dispositivo (indice d) R_d (colore rosso), G_d (colore verde) e B_d (colore blu) sono usati per produrre 16 gradazioni per ciascun colore. Per i monitor e i proiettori la sintesi additiva di questi colori porta a 4096 (= 16x16x16) miscele di colori.

I tre colori del dispositivo sono generalmente codificati mediante il sistema esadecimale. Pertanto i 16 numeri, che espressi in forma decimale vanno da 0 a 15, sono codificati come tali dallo 0 al 9 e con le lettere da A a F per i numeri da 10 a 15.

La Fig. 5 mostra le codifiche di diversi colori nel sistema esadecimale. I tre simboli del codice corrispondono rispettivamente ai colori RGB_d . In accordo con la loro apparenza, i tre colori sono denominati $R_d = O$ (per il rosso arancio), $G_d = L$ (per il verde foglia) e $B_d = V$ (per il blu violetto)



Fig. 5: codifiche del colore rgb_d , cmy_d e codifiche del colore rgb_{de} , cmy_{de}

In Fig. 5 (*a sinistra*) i colori acromatici del dispositivo (pedice d = dispositivo), sono codificati con tre valori esadecimali uguali tra loro. Per i colori cromatici, almeno uno dei tre è differente dagli altri. E' possibile trasformare la codifica di un colore espressa in rgb_d nella codifica espressa in cm_yd , secondo la relazione "1-meno" (complementarietà). Ad esempio il colore espresso in dati rgb_d con $00F_d$, che rappresenta il blu primario del dispositivo, viene trasformato con il codice $FF0_d$ nel sistema cm_yd . Se nel file dei colori sono utilizzate queste due definizioni colorimetriche, i colori in output possono essere uguali o diversi. Se si rispetta la norma DIN 33872-4, l'uguaglianza dei colori risultanti, applicando la regola del complemento, viene comprovata, si veda <http://www.ps.bam.de/De14/10L/L14e00NP.PDF>

La Fig. 5 (*a destra*) mostra le codifiche rgb_{de} e cm_yde per la riproduzione dei colori elementari (pedice de = "dispositivo per output di colori elementari"), specificati da tre cifre esadecimali. Anche in questo caso i dati rgb_{de} sono trasformati in dati cm_yde in base alla relazione del complemento. Tuttavia si osservi che il blu elementare (prima riga, terzo colore) è definito dal codice esadecimale $06F_{de}$ invece di $00F_d$. Il blu di Fig. 5 (*sinistra*) è il blu del dispositivo B_d mentre il blu in fig. 5 (*a destra*) è il blu elementare B_e . Entrambi appaiono differenti, B_d appare rossastro, mentre B_e né verdastro né rossastro. Negli standard *sRGB* dei monitor e quelli della stampa offset, i numeri esadecimali per la riproduzione del blu elementare B_e sono diversi.

Nel caso di ordinamento dei colori con scale visivamente equispaziate, viene adoperato il simbolo *(asterisco) per le coordinate cromatiche, come per esempio nella scala dei 16 valori di grigio equispaziati. Ad esempio, l'attributo visivo chiarezza viene indicata con L^* mentre la luminanza con L senza asterisco. In modo simile si può aggiungere ai dati rgb_e il simbolo * (asterisco), e chiamarli dati rgb^*_e . Ne consegue che l'interpretazione di questa codifica simbolica comporta, per esempio, che la serie esadecimale di codici $rgb^*_e = 000, 111, 222, \dots, EEE, FFF$ produca una serie di grigi *visivamente equidistanti*.

Invece dei numeri esadecimali si possono usare numeri compresi tra 0.0 e 1.0. Ad esempio, il numero decimale corrispondente all'esadecimale 5 è 0.3333 (= $5 / F = 5/15$). La tecnologia informatica usa invece dei 16 passi tra 0 e 9 e da A a F, 256 numeri tra 00 e 9F e da A0 a FF. Anche questi valori esadecimali sono trasformabili in numeri decimali. Per esempio il numero esadecimale 55 è uguale al numero decimale 0.3333 (= $55/FF = 85/255$).

Molti problemi si verificano nella riproduzione di colori con codifiche equivalenti rgb e cm_y0 . Per esempio, colori equivalenti rgb e cm_y0 trattati dal software *Acrobat di Adobe* (tutte le versioni superiori a 3 in *Mac e Windows*) risultano differenti in output su display, mentre se trattati da *FrameMaker di Adobe* (versione 8, *Windows, 2011*) risultano uguali. Altro esempio, le stampanti a colori

PostScript producono spesso risultati diversi mentre stampanti *PostScript* in bianco e nero producono risultati uguali. Per file campione, seguendo la norma DIN 33872-4 e -2, l'uguaglianza dei risultati è provata, vedi <http://www.ps.bam.de/33872E>

4 Il solido dei colori

Leonardo da Vinci (morto nel 1519) ha proposto un ordinamento nella molteplicità dei colori, selezionando sei colori "elementari": una coppia di colori neutri o acromatici (bianco-nero), e due coppie cromatiche, rosso-verde e giallo-blu. Il doppio cono di Fig.6 è un modello semplificato per illustrare le sue idee. L'asse verticale corrisponde alla linea di colori neutri (dal bianco al nero) e la circonferenza rappresenta la linea dei colori cromatici puri.

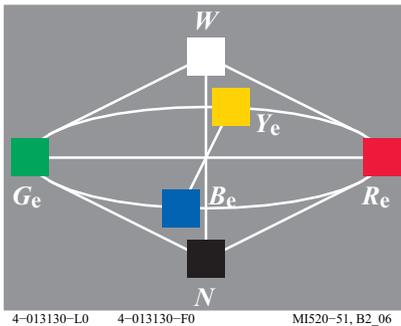


Fig. 6: Doppio cono dei colori

La Fig. 6 mostra il doppio cono con i sei colori "semplici". Le lettere stanno per:

W bianco	Y_e giallo	R_e rosso
N nero	B_e blu	G_e verde

Qui i sei colori "semplici" sono i sei colori "elementari" (pedice e). Il Comitato Tecnico ISO TC 159/WG2/SC4 Ergonomics, Visual Display Requirements (Ergonomia, requisiti dei display visivi) ha raccomandato, per produrre i quattro colori elementari $RYGB_e$, di utilizzare i seguenti quattro codici d'ingresso rgb^*_e : 100, 110, 010, e 001 (vedi il report CIE R1-47). Esistono almeno tre metodi per calcolare i codici rgb_{de} (il pedice de significa "colori elementari del dispositivo") in output del dispositivo: direttamente fornito dal produttore del dispositivo, mediante software per la produzione delle immagini oppure mediante un file associato che determina il metodo di calcolo ("frame file"). Il metodo del "frame file" è stato utilizzato per modificare in questa pubblicazione tutti i dati rgb delle figure a seconda del dispositivo scelto per l'output (display $sRGB$, stampa offset o stampante laser). Il frame file consta di 729

(= 9x9x9) dati, *rgb* o CIELAB (dati ottenuti da misurazione del colore), a seconda del dispositivo per l'output.

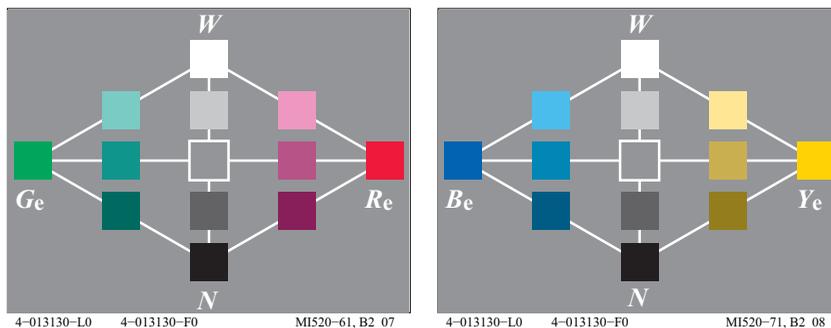


Fig. 7: Sezioni dei piani delle tinte RG_e e YB_e

La Fig. 7 mostra due sezioni del doppio cono dei colori con molti passi intermedi: a sinistra c'è la sezione verticale con i colori dal rosso al verde e a destra i colori dal giallo al blu. L'asse acromatico, dal bianco al nero, si trova al centro in entrambe le immagini.

5 I Colori elementari

In ogni circonferenza delle tinte ci sono quattro colori cromatici, che sono percettivamente semplici (si confronti la Tabella 1 a pagina 6). Questi colori, detti elementari, sono il rosso elementare, il giallo elementare, il verde elementare ed il blu elementare.

In pratica l'inserimento in modo ordinato in un cerchio delle tinte consente una facile individuazione del giallo elementare. Il giallo elementare è chiamato colore "né-neppure", in questo caso, è un colore né rossastro né verdastro, differente dal giallo-verde che, inserito nel cerchio delle tinte, si trova tra il giallo e il verde ed è pertanto detto colore binario o "sia-che" (sia...che: sia giallo che

verde). I colori "né-neppure" sono spesso denominati in letteratura come colori unici.

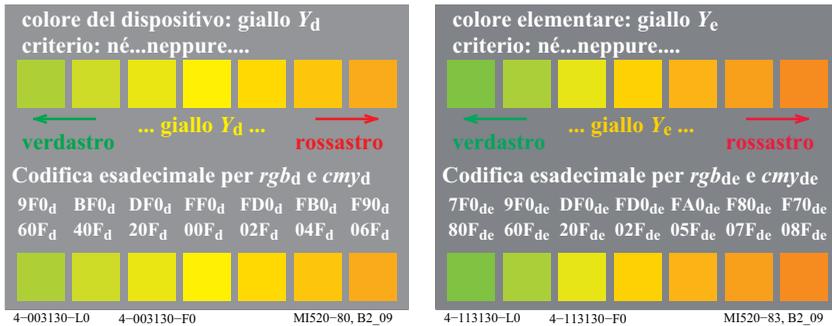


Fig. 8: Colore del dispositivo e colore elementare ordinati seguendo il criterio per individuare il giallo elementare Y_e

La Fig. 8 descrive il criterio per determinare nella regione dei colori gialli tratti dal cerchio delle tinte, il giallo elementare Y^e . In corrispondenza dei dati di input rgb_d (1 1 0)_d (dati separati da spazi) o $FF0_d$, viene di solito prodotto il giallo del dispositivo Y_d . Il desiderato giallo elementare Y_e , con la proprietà visiva di apparire "né verdastro né rossastro", è ottenuto con i dati di input rgb_d (1 0.86 0)_{de} = $FD0_{de}$ per un monitor standard $sRGB$, (1 0.86 0)_{de} = $FD0_{de}$ per un dispositivo offset standard e (1 0.79 0)_{de} = $FC0_{de}$ per una stampante laser. La differenza di tinta tra il giallo prodotto dal dispositivo Y_d ed il giallo elementare Y_e è massima per la stampante laser.

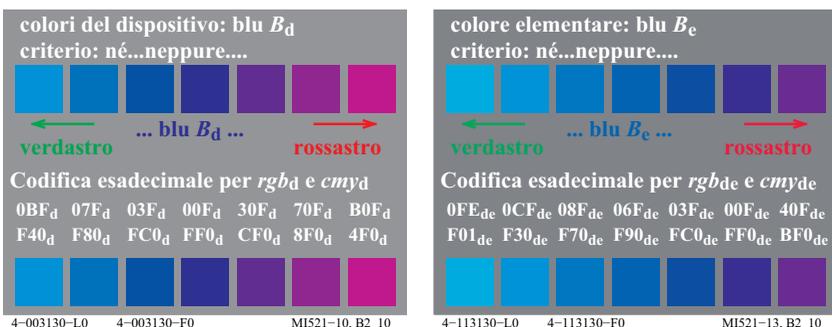


Fig. 9: Colore del dispositivo e colore elementare ordinati seguendo il criterio per individuare il blu elementare B_e

La Fig. 9 riporta il criterio per la determinazione, nella zona dei colori blu tratta dal cerchio delle tinte, il colore blu elementare B_e . In corrispondenza dei

dati di input $rgb_d (0\ 0\ 1)_d$ o $00F_d$, viene di solito prodotto il blu del dispositivo B_d . Il desiderato blu elementare B_e , con la proprietà visiva di apparire "né verdastro né rossastro", è ottenuto con i dati di input $rgb_{de} (0\ 0.60\ 1)_{de} = 09F_{de}$ per un monitor standard $sRGB$, $(0\ 0.40\ 1)_{de} = 06F_{de}$ per un dispositivo offset standard e $(0\ 0.27\ 1)_{de} = 04F_{de}$ per una stampante laser. La differenza di tinta tra il blu prodotto dal dispositivo B_d ed il blu elementare B_e è minima per la stampante laser.

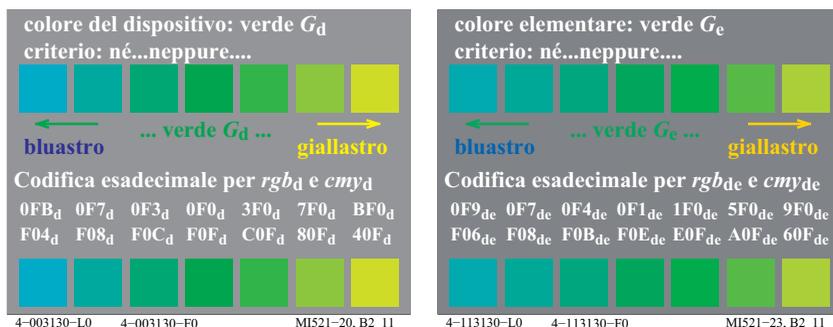


Fig. 10: Colore del dispositivo e colore elementare ordinati seguendo il criterio per individuare il verde elementare G_e

La Fig. 10 riporta il criterio per la determinazione, nella zona dei colori verde tratta dal cerchio delle tinte, il colore verde elementare G_e . In corrispondenza dei dati di input $rgb_d (0\ 1\ 0)_d$ o $0F0_d$, viene di solito prodotto il verde del dispositivo G_d . Il desiderato verde elementare G_e , con la proprietà visiva di apparire "né bluastro né giallastro", è ottenuto con i dati di input $rgb_{de} (0\ 1\ 0.67)_{de} = 0FB_{de}$ per un monitor standard $sRGB$, $(0\ 1\ 0.07)_{de} = 0F1_{de}$ per un dispositivo offset standard e $(0\ 0.87\ 0.13)_{de} = 0D2_{de}$ per una stampante laser. La differenza di tinta tra il verde prodotto dal dispositivo G_d ed il verde elementare G_e è minima per la stampante laser.

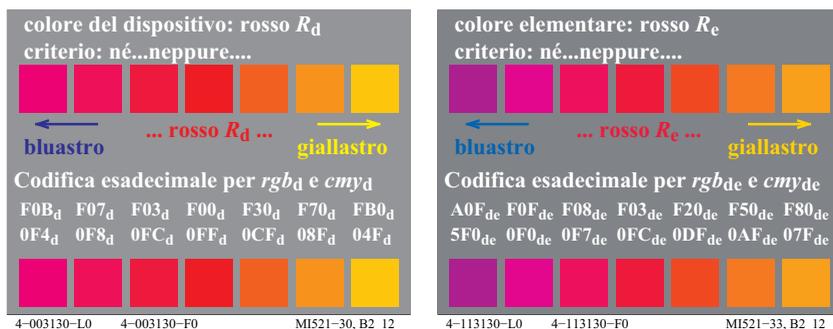


Fig. 11: Colore del dispositivo e colore elementare ordinati seguendo il criterio per individuare il rosso elementare R_e

La Fig. 11 riporta il criterio per la determinazione, nella zona dei colori rossi tratta dal cerchio delle tinte, il colore rosso elementare R_e . In corrispondenza dei dati di input $rgb_d (1\ 0\ 0)_d$ o $F00_d$, viene di solito prodotto il rosso del dispositivo R_d . Il desiderato rosso elementare R_e , con la proprietà visiva di apparire "né bluastro né giallastro", è ottenuto con i dati di input $rgb_{de} (1\ 0\ 0.27)_{de} = F04_{de}$ per un monitor standard $sRGB$, $(1\ 0\ 0.20)_{de} = F03_{de}$ per un dispositivo offset standard e $(1\ 0\ 0.27)_{de} = F04_{de}$ per una stampante laser. La differenza di tinta tra il rosso prodotto dal dispositivo R_d ed il rosso elementare R_e è minima per la stampante laser

K. Miescher (1948) ha individuato sperimentalmente i colori elementari su un cerchio delle tinte suddiviso in 400 passi impiegando 28 osservatori in condizioni di adattamento alla luce del giorno. I colori sono stati determinati con una deviazione standard di 4 passi per R_e , e Y_e , e G_e (1% = 4 passi su 400) e 8 passi per B_e (2%), vedi CIE R1-47. I colori del cerchio delle tinte usato avevano valori di croma più elevati rispetto ai campioni di colore CIE dal n. 9 al n. 12, vedi fig. 52 a pagina 56.

6 Cerchio simmetrico delle tinte

I colori su entrambi i lati dei due assi perpendicolari Y_e - B_e e R_e - G_e rappresentativi delle tinte elementari, diventano in modo progressivo, rispettivamente più gialli o più blu, più rossi o più verdi, man mano che ci si allontana dal centro acromatico.

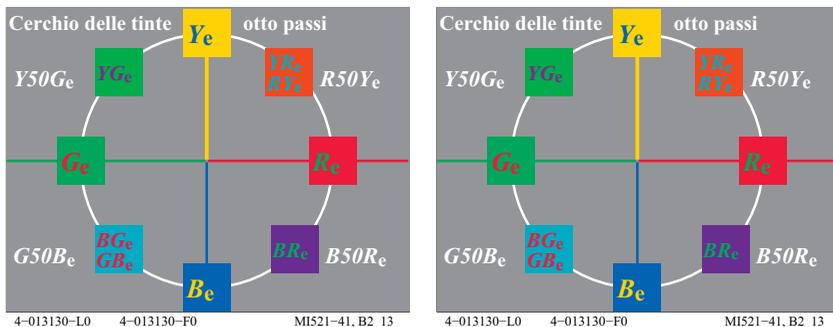


Fig. 12: Cerchio simmetrico delle tinte con le denominazioni dei colori intermedi

La Fig. 12 mostra il cerchio simmetrico delle tinte con i colori elementari opposti: rosso-verde e giallo-blu; sono riportati anche i colori intermedi.

Nella maggior parte delle lingue (ad esempio in tedesco, inglese, francese), i nomi giallo e blu sono usati come primo nome per chiamare colori composti, per esempio il colore giallo-rosso YR , il giallo-verde YG , il blu-verde BG e il blu-rosso BR . Questa convenzione è adottata in Fig. 12 (a sinistra). In Fig. 12 (a destra), per la determinazione dei colori intermedi è riportato l'angolo matematico e la denominazione con ordinamento continuo, RY_e , YG_e , GB_e e BR_e .

Inoltre, il sistema cromatico CIELAB (ISO 11664-4/CIE S 014-4) utilizza per la tinta h l'angolo matematico, detto angolo di tinta. La Fig. 12 mostra la misura dell'angolo parte da 0 gradi, corrispondente al rosso elementare R_e , e cresce a 90 gradi, per Y_e , a 180 gradi per G_e e 270 gradi per B_e .

Il sistema dei colori CIELAB definisce 100 passi tra il nero ed il bianco. Si usano 100 passi di tinta tra due colori elementari contigui. Ciò porta a definire i nomi delle tinte intermedie, Fig. 12. Nell'ambito dell'informatica si raccomandano degli output di tinte intermedie traslate del 25%, 50% e 75% dal rosso R_e verso il giallo Y_e . Molti dispositivi producono tinte indefinite che fanno parte di un'ampia gamma tra il R_e e il Y_e .

Nell'ambito della riproduzione informatica del colore, si raccomanda che al colore percepito come intermedio tra il R_e ed il Y_e corrisponda la codifica $R50Y_e$. Per molti dispositivi, le tinte riprodotte come intermedie ossia $R50Y_e$ appartengono in realtà ad una vasta gamma $R50Y_*$ (gamma gialla), dipendendo dal dispositivo. Ciò si verifica in modo analogo anche per le altre tinte intermedie $Y50G_e$, $G50B_e$ e $B50R_e$.

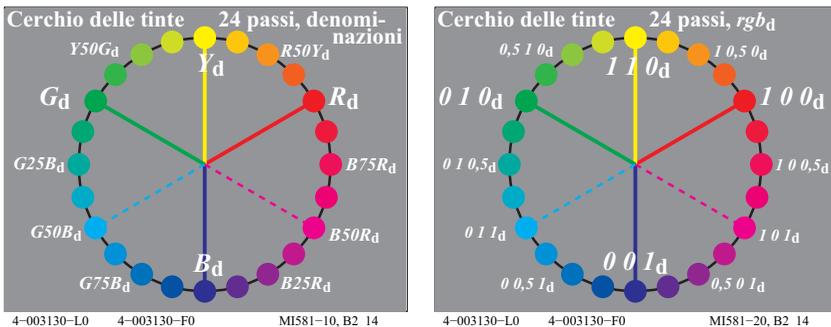


Fig. 13: Cerchio delle tinte a 24 passi prodotte dal dispositivo nell'informatica

La Fig. 13 mostra il cerchio delle tinte riprodotte da un dispositivo con una risoluzione di 24 passi. A sinistra sono riportate le denominazioni dei colori prodotti dal dispositivo RGB_d , mentre a destra sono riportati i corrispondenti dati d'ingresso in rgb ($1\ 0\ 0$)_d, ($0\ 1\ 0$)_d, e ($0\ 0\ 1$)_d (a destra). Alle tinte interme-

die del dispositivo Y_d , $G50B_d$ e $B50R_d$ corrispondono i dati d'ingresso rgb $(1\ 1\ 0)_d$, $(0\ 1\ 1)_d$ e $(1\ 0\ 1)_d$.

Per le applicazioni nella tecnologia delle immagini, del design e dell'arte, la gamma dei colori più chiari che vanno dal rosso verso il giallo e fino al verde è più importante rispetto alla gamma di colori più scuri compresi tra il verde, verso il blu e fino al rosso. Inoltre nella zona del giallo il valore assunto dalla croma CIELAB C^*_{ab} dei colori di superficie è due volte più grande rispetto al quello nella zona del blu, vedere la tabella con C^*_{ab} per 48 tinte sul lato interno della copertina nel retro.

Quindi ad uguali differenze in angoli, corrispondono diverse differenze di tinta, circa il doppio nella zona del giallo rispetto a quella del blu. Per i suddetti motivi si è ampliata la regione che va dal rosso al giallo dagli iniziali 120° a 180° e si è ridotta l'ampiezza della zona dal verde al blu fino al rosso da 240° a 180° .

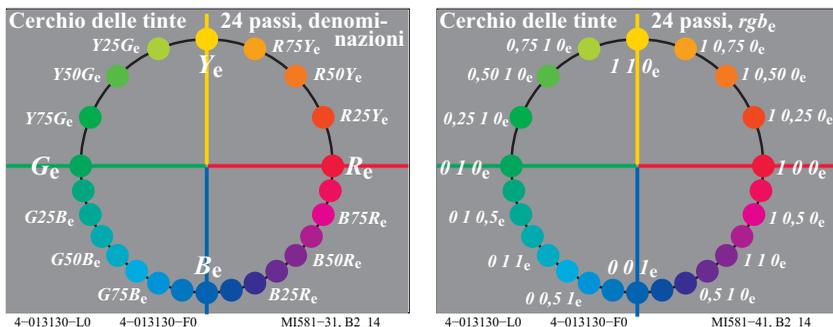


Fig. 14: Cerchio delle tinte elementari a 24 passi nell'informatica

La Fig. 14 mostra la relazione tra le tinte elementari $RYGB_e$ (a sinistra) e i dati d'ingresso rgb^*_e (a destra) per un cerchio delle tinte a 24 passi in informatica. In essa sono mostrate le tinte elementari $RYGB_e$ relative ai dati d'ingresso rgb^*_e $(1\ 0\ 0)_e$, $(1\ 1\ 0)_e$, $(0\ 1\ 0)_e$ e $(0\ 0\ 1)_e$. Il processo file-output deve produrre i dati rgb_{de} per la riproduzione desiderata delle tinte elementari. Nel caso più semplice il produttore può implementare la trasformazione nel dispositivo stesso. La norma DIN 33872-5 contiene una cartella di prova nei formati *PDF* e *PS* (*PostScript*). Di solito le tinte elementari in output sono verificate visivamente. Inoltre possono essere specificate anche mediante misure del colore.

Data la minore discriminazione delle tinte dei colori di superficie nella zona dei colori più scuri, dal verde verso il blu e fino al rosso, si raccomanda in questa zona, di usare solo i colori ogni due passi..

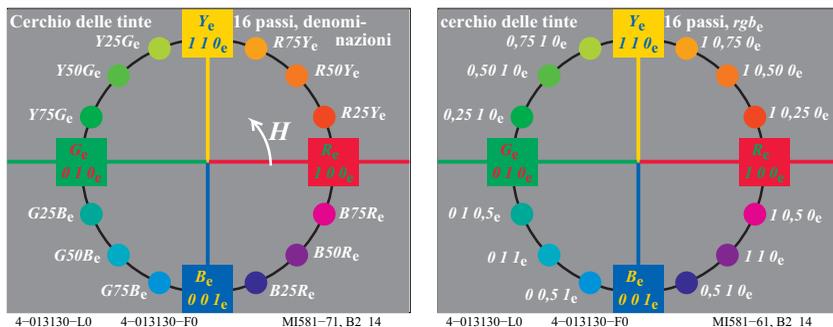


Fig. 15: Cerchio delle tinte elementari a 16 passi nell'informatica

La Fig. 15 mostra la relazione tra le tinte elementari $RYGB_e$ (a sinistra) e i dati d'ingresso rgb^*_e (a destra) su un cerchio delle tinte a 16 passi nell'informatica. Le tinte elementari $RYGB_e$ corrispondono ai dati d'ingresso rgb_e (1 0 0)_e, (1 1 0)_e, (0 1 0)_e e (0 0 1)_e. Il valore della tinta cambia al variare dell'angolo di tinta in modo simile a quello dell'angolo di tinta h_{ab} del sistema cromatico CIELAB (ISO 11564-4). Secondo il report CIE R1-47 gli angoli delle tinte elementari hanno nel sistema di ordinamento dei colori CIELAB gli angoli di tinta h_{ab} di 26° , 92° , 162° e 272° . In particolare il rosso elementare R_e ed il verde elementare G_e sono piuttosto distanti dall'asse orizzontale del sistema dei colori CIELAB.

7 Colori con croma massima

In una successione ordinata di colori della stessa tinta con diverse quantità di colorante, che parte da colori biancastri verso colori nerastri, vi è un colore che viene percepito con la massima croma.

La successione ordinata dei colori (*bracketing*) consente di individuare il rosso più rosso in questa serie. Questa individuazione si ottiene infatti ordinando i colori in successione seguendo il criterio per cui un colore risulta più acromatico o più cromatico, così come risulta più bianco o più nero degli altri colori della serie.

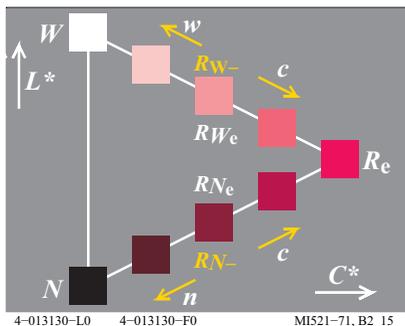


Fig. 16: Colori con chroma massima

In Fig. 16, si può facilmente individuare il colore rosso più cromatico. In essa sono riportati i criteri per determinare il colore di croma massima in un insieme di colori caratterizzati dalla stessa tinta, ma con diverse quantità di colorante. Le denominazioni stanno per:

R_e rosso	W bianco	N nero
c più cromatico	w più bianco	n più nero
C^* croma	L^* chiarezza	

Generalmente, in informatica, il colore più cromatico per qualsiasi tinta (ossia il colore cui corrisponde la massima croma C^*_{ab} nel sistema cromatico CIELAB) viene mescolato col bianco W e col nero N . Per la miscela tra il colore più cromatico (ad esempio il rosso elementare) R_e ed il bianco W , a partire dal più cromatico la differenza di croma CIE decresce con continuità, mentre per la miscela tra R_e con il nero N la saturazione è approssimativamente costante. La miscela additiva dei colori su monitor a colori (display) e la sintesi sottrattiva dei colori sottrattiva in stampa offset verranno discusse nella sezione 20 a pagina 70.

In Fig. 16, i colori visivamente intermedi RW_e e RN_e sono compresi rispettivamente tra R_e e W e tra R_e e N . Analogamente a quando mostrato in Fig. 10 a pagina 12, i colori riprodotti appartengono ad una vasta gamma dipendente dal dispositivo (*gamma dei colori gialli*).

8 Attributi del colore: croma e chiarezza

Dal punto di vista percettivo sono necessari tre attributi per specificare un colore. La maggior parte dei sistemi di colore sceglie la tinta come primo attributo: per esempio il sistema dei colori di *Munsell*, il sistema dei colori DIN 6164 e il sistema dei colori *NCS*. Questi sistemi di colore differiscono nella scelta degli altri due attributi del colore. Un confronto tra diversi sistemi di

colore è possibile solo se i sistemi di coordinate sono simili. In colorimetria si considera una sezione del solido dei colori contenente i colori a tinta costante. Si usa la croma C^* in ascissa e la chiarezza L^* in ordinata.

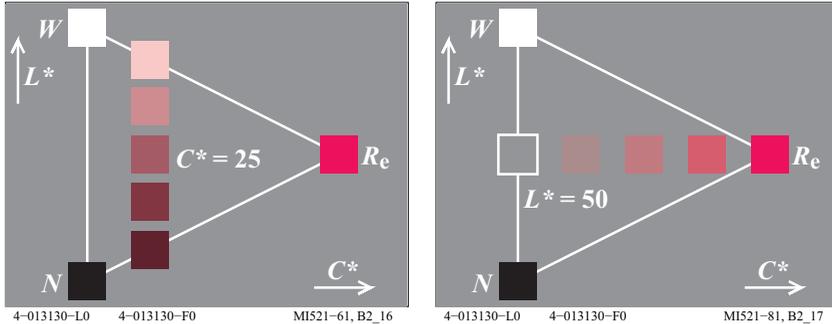


Fig. 17: Colori ad uguale croma C^* colori ad uguale chiarezza L^*

La Fig. 17 (a sinistra) mostra dei colori a tinta costante e croma $C^* = 25$. I colori ad uguale croma sono situati su colonne parallele all'asse acromatico. In colorimetria pone convenzionalmente il valore di croma $C^* = 100$ per il rosso più cromatico R_e ; quindi i colori rappresentati in Fig. 17 (a sinistra) hanno la croma $C^* = 25$.

La Fig. 17 (a destra) mostra dei colori di tinta costante e chiarezza $L^* = 50$. I colori di uguale chiarezza si trovano su righe orizzontali, perpendicolari all'asse acromatico. La colorimetria associa la chiarezza $L^* = 100$ al bianco W ; la serie di colori rappresentati in Fig. 17 (a destra) ha la chiarezza $L^* = 50$.

Inizialmente, le scale di colori a tinta costante, a croma costante e a chiarezza costante furono definite nel sistema dei colori di *Munsell*. Questo sistema consta di campioni di colore di 40 tinte diverse. Oggi le metriche implementate negli spazi colore (ISO 11564-4 e -5) definiscono le coordinate croma C^* (designata con C^*_{ab} nel CIELAB e con C^*_{uv} nel CIELUV) e chiarezza L^* .

Nel sistema di ordinamento cromatico *RAL-Design*, i campioni di colore sono caratterizzati da 36 tinte CIELAB ($h_{ab} = 0, 10, \dots$ fino a 350), e costituiscono una griglia, i cui nodi adiacenti differiscono sia in croma che in chiarezza di 10 unità, $\Delta C^*_{ab} = 10$ e $\Delta L^* = 10$.

9 Attributi del colore: brillantezza e bianchezza

Ci sono altri attributi del colore, oltre alla tinta, croma e chiarezza. In un piano a tinta costante gli ulteriori attributi del colore sono la nerezza (attributo opposto di brillantezza) e la bianchezza (attributo opposto di profondità di colore), che hanno una relazione lineare con la croma e la chiarezza.

Gli attributi del colore nerezza e brillantezza descrivono la stessa proprietà. Tuttavia, i valori di questi attributi cambiano secondo direzioni opposte, in modo simile a quelli di chiarezza e scurezza. Maggiore bianchezza e maggiore profondità di colore corrono in direzioni opposte. La nerezza (*blackness*) è un attributo di colore importante nel *Natural Color System (NCS)* Svedese. Il sistema dei colori NCS sceglie come attributi del colore la tinta, la nerezza e la croma (*chiamata "chromaticness"*). L'attributo chiarezza del sistema *Munsell* non è utilizzato.

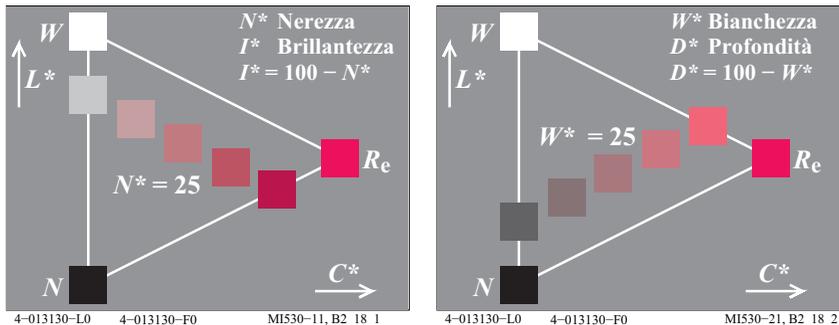


Fig. 18: Nerezza $N^* = 25$ e bianchezza $W^* = 25$.

In Fig. 18 sono rappresentati a sinistra colori di uguale nerezza $N^* = 25$ ed a destra colori di uguale bianchezza $W^* = 25$. Invece della nerezza N^* , si può usare l'attributo brillantezza $I^* = 100 - N^*$. Analogamente, invece della bianchezza W^* , si può usare l'attributo profondità di colore $D^* = 100 - W^*$.

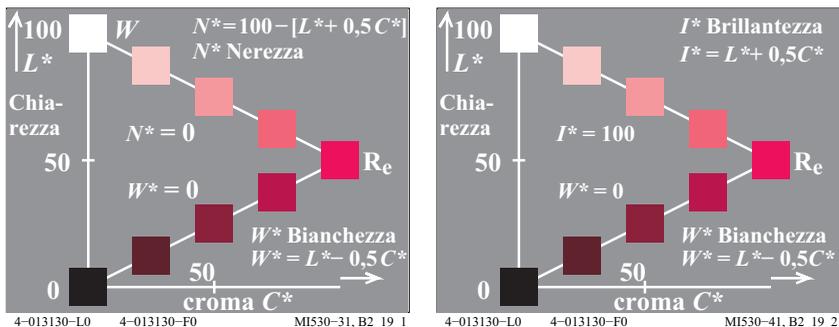


Fig. 19: Nerezza N^* , bianchezza W^* e brillantezza I^*

La Fig. 19 mostra la relazione dei tre attributi del colore, nerezza N^* , bianchezza W^* e brillantezza I^* , con i due attributi del colore chiarezza L^* e croma C^* . In Fig. 19 sono riportate le relazioni lineari che intercorrono tra i suddetti attributi.

Ci si aspetta che le relazioni lineari siano collegate ai segnali fisiologici acromatici e cromatici riportati in Fig. 20 a pagina 20 ed ai valori cromatici della Fig. 58 a pagina 67 (*in basso a sinistra*).

10 Spettro dei colori e colori elementari

10.1 Valenza luminosa e chiarezza

La distribuzione spettrale della luce naturale, che può essere ottenuta mediante un prisma e che fu studiata da *Newton* (morto nel 1727), contiene radiazioni comprese tra lunghezze d'onda più piccole corrispondenti alla zona del violetto-Blu (circa R60B_c) e le lunghe lunghezze d'onda più grandi corrispondenti alla zona del rosso giallastro (circa Y90R_c). Luci che appaiono di diverso colore si distinguono per la diversa *distribuzione spettrale della potenza radiante* nel campo del visibile. La distribuzione spettrale della radiazione luminosa che giunge infine all'occhio viene modificata dagli effetti dovuti alle riflessioni da parte delle superfici, che appaiono colorate, ottenute ad esempio mediante pigmenti, prodotti dall'industria chimica.

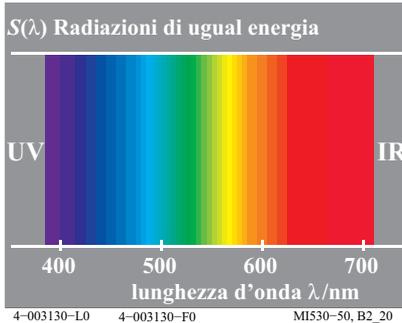


Fig. 20: Campo del visibile.

La Fig. 20 mostra schematicamente la regione della radiazione luminosa con tutte le lunghezze d'onda nello spettro visibile, di lunghezze d'onda comprese tra circa $\lambda = 380\text{nm}$ e $\lambda = 720\text{nm}$ ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{m}$). Le radiazioni le cui lunghezze d'onda ricadono all'esterno di questo intervallo sono dette *ultraviolette* (UV) e *infrarosse* (IR). La Fig. 20 mostra uno spettro, che può essere prodotto da un filtro interferenziale continuo posto sul piano portadiapositiva di un proiettore. Il filtro interferenziale continuo ha la proprietà di farsi attraversare dalla radiazione con lunghezza d'onda compresa tra circa 380nm e 720nm, con uno spettro continuo.

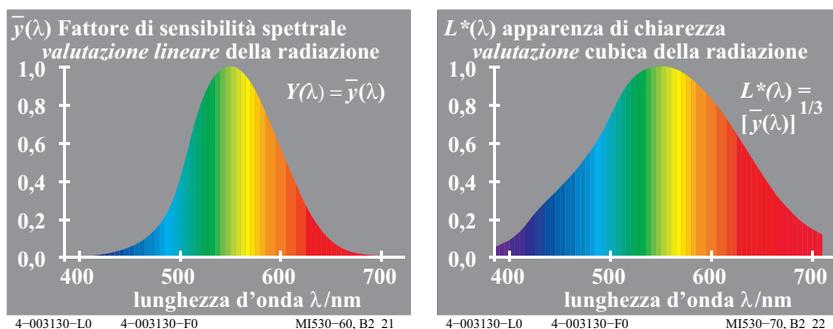


Fig. 21: Sensibilità visiva spettrale e apparenza di chiarezza

In Fig. 21 (*a sinistra*) la sensibilità visiva spettrale $Y(\lambda)$ attinge il massimo al centro della regione giallo-verde e decresce spostandosi verso gli estremi del campo del visibile. Questa proprietà è una conseguenza del fattore di visibilità spettrale $Y(\lambda) = V(\lambda) = y_q(\lambda)$ dell'occhio. Questo fattore assume valore massimo in prossimità di 555nm e scende a meno di 1% intorno ai 400nm ed ai 700nm. Il fattore relativo di visibilità spettrale $y_q(\lambda)$ rappresenta la valenza (valore) luminosa del colore ottenuto dalla miscela di colori spettrali, per esempio caratterizzato da ampiezze di banda di 10 nm e con distribuzione equienergetica. Pertanto il valore che è descritto mediante la funzione di visibilità spettrale $y_q(\lambda)$ può essere chiamato anche valore luminoso o valenza luminosa.

Nella pubblicazione CIE n.15 Colorimetria, viene definito il valore tristimolo Y con la normalizzazione $Y_w = 100$ per il bianco W , si veda il paragrafo 17 a pagina 51.

A differenza della funzione lineare $Y(\lambda)$, la funzione non lineare $L^*(\lambda)$ descrive la chiarezza apparente dei colori spettrali di uguale composizione spettrale. Questa funzione non lineare diminuisce dal centro dello spettro verso entrambe le estremità, secondo una relazione non lineare che è approssimativamente cubica per il grigio e quadratica per le zone bianche circostanti, si confronti il paragrafo 16 a pagina 46.

La Fig. 21 (*a destra*) mostra la chiarezza apparente $L^*(\lambda)$. La funzione $L^*(\lambda)$ diminuisce molto meno rispetto alla funzione $Y(\lambda)$, spostandosi verso gli estremi del campo del visibile (*a sinistra*).

Nota: La pubblicazione CIE 15 definisce la seguente relazione tra la chiarezza apparente L^* ed il valore tristimolo Y :

$$L^* = 116 [Y/100]^{1/3} - 16 \quad (Y > 0,8)$$

Le seguenti relazioni sono approssimazioni

$$L^* = 100 [Y/100]^{1/3} \text{ e } L^* = Y^{1/3},$$

quest'ultima è stata utilizzata per i colori spettrali in Fig. 21.

10.2 Valore cromatico (Valenza) e croma

In una miscela cromatica, lo spettro viene valutato da valori luminosi e da *valori cromatici*.

Lo spettro visibile include una serie continua di tinte, e tra queste si possono riconoscere in esso tre colori spettrali elementari. I colori spettrali elementari si trovano in prossimità di 475nm per il blu elementare B_e , 503nm per il verde elementare G_e , e 575nm per il giallo elementare Y_e .

Il rosso elementare è localizzato all'esterno del campo del visibile e può essere prodotto, per esempio, da radiazioni di lunghezze d'onda 400nm e 700nm, opportunamente miscelate. I colori porpora prodotti in questo modo sono specificati da lunghezze d'onda compensative rispetto all'illuminante E (bianco equienergetico). Per il rosso elementare R_e , questo risultato è la lunghezza d'onda dominante $\lambda_{d,E} = 494c \text{ nm}$, vedi fig. 50 a pagina 51.

Nella zona compresa tra le due estremità del campo del visibile, i valori cromatici rosso-verde e giallo-blu cambiano segno da negativo a positivo o viceversa.

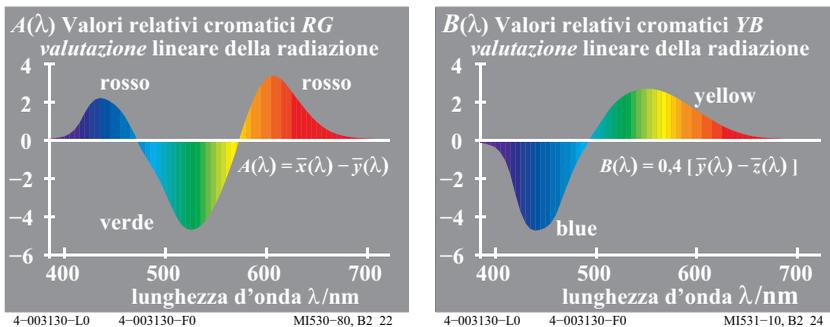


Fig. 22: Valori cromatici RG ed YB.

La Fig. 22 (a sinistra) mostra i valori cromatici $A(\lambda)$, che rappresentano le valenze (valori) rosso-verde in funzione della lunghezza d'onda nella miscela cromatica. I punti di nullo sono in prossimità di 475nm e 574nm e corrispondono rispettivamente ai colori spettrali blu elementare B_e e giallo elementare Y_e .

La Fig. 22 (a destra) mostra i valori cromatici $B(\lambda)$, che rappresentano le valenze (valori) giallo-blu in funzione della lunghezza d'onda nella miscela cromatica. Il punto di nullo ricade in prossimità di 503nm e specifica il colore spettrale verde elementare G_e .

Per i colori spettrali equienergetici, i valori di luminosità ed i valori cromatici rosso-verde e giallo blu, determinano, per ciascuna lunghezza d'onda, una terna di valori, rappresentabili come componenti di vettori. Ad esempio, nella pratica, il calcolo può essere effettuato assumendo un passo di 10 nm tra 380nm and 720nm. Per ciascuna lunghezza d'onda considerata è dunque possibile definire un punto nello spazio tridimensionale, le cui coordinate sono il valore cromatico rosso-verde A , il valore cromatico giallo-blu B e il valore di luminosità (o valore tristimolo) Y . In Fig. 23 i punti corrispondenti a tali colori spettrali giacciono su una curva nello spazio tridimensionale.

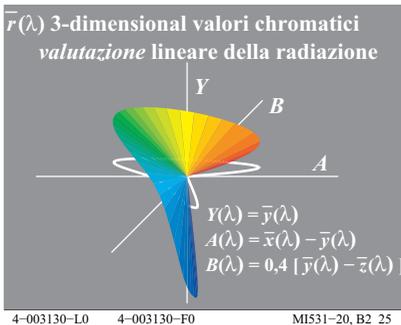


Fig. 23: Rappresentazione tridimensionale dei valori del colore.

La Fig. 23 mostra, oltre che i valori cromatici (A , B , Y) nello spazio tridimensionale, anche la proiezione sul piano (A , B), (*curva bianca*). La curva tridimensionale interseca il piano (B , Y) in prossimità di 475 nm (blu elementare B_e) e 574 nm (giallo elementare Y_e). Il piano (A , Y) viene intersecato intorno ai 503 nm (verde elementare G_e). La Fig. 23 contiene la relazione lineare tra i valori di luminosità e cromatici $Y(\lambda)$, $A(\lambda)$ e $B(\lambda)$ ed i valori tristimolo CIE $x_q(\lambda)$, $y_q(\lambda)$, e $z_q(\lambda)$.

Vi è una differenza tra i valori cromatici (valenza nelle miscele di colore) e la cromia, simile a quella che sussiste tra il valore di luminosità e la chiarezza.

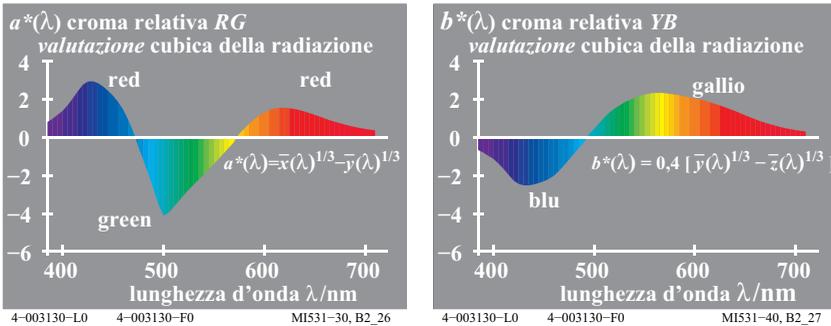


Fig. 24: Croma RG e croma YB

La Fig. 24 (a sinistra) mostra la funzione croma rosso-verde $a^*(\lambda)$, che descrive l'apparenza di croma dei colori spettrali rossastri e verdastri. I punti di nullo sono in prossimità di 475nm e 574nm e corrispondono rispettivamente ai colori spettrali blu elementare B_e e giallo elementare Y_e .

La Fig. 24 (a destra) mostra la funzione croma giallo-blu $b^*(\lambda)$, che descrive l'apparenza di croma dei colori spettrali giallastri e bluastri. Il punto di nullo ricade in prossimità di 503 nm cui corrisponde il colore spettrale verde elementare G_e .

Per le radiazioni spettrali di uguale energia, per ogni lunghezza d'onda λ , la chiarezza ed i valori di croma rosso-verde e croma giallo-blu costituiscono una terna numerica (un vettore). Ad esempio, nella pratica, il calcolo può essere effettuato assumendo un passo di 10 nm tra 380nm and 720nm. Per ciascuna lunghezza d'onda considerata è dunque possibile definire un punto nello spazio tridimensionale, le cui coordinate sono il valore di rosso-verde a^* , il valore di giallo-blu b^* e la chiarezza L^* . In Fig. 25 i punti corrispondenti a tali colori spettrali giacciono su una curva nello spazio tridimensionale.

E' utile definire il termine "colorità" (in tedesco *Farbheit*) che comprende i termini chiarezza, croma rosso-verde, croma giallo-blu, bianchezza, nerezza, profondità di colore ed altri attributi visivi del colore. Al posto del termine croma è usato anche il termine "cromaticità", ad esempio nel sistema di colori NCS.

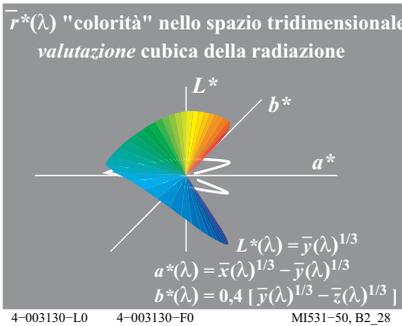


Fig. 25: Rappresentazione tridimensionale della "colorità".

La Fig. 25 mostra per ogni lunghezza d'onda i tre valori di "colorità" L^* , a^* , b^* in uno spazio cromatico a 3 dimensioni e la proiezione sul piano (a^*, b^*) (curva bianca). La curva tridimensionale interseca il piano (b^*, L^*) in prossimità di 475 nm (blu elementare B_e) e 574 nm (giallo elementare Y_e). Il piano (a^*, L^*) viene intersecato intorno ai 503 nm (verde elementare G_e).

In Fig. 25 la proiezione della curva tridimensionale sul piano (a^*, b^*) è rappresentata da una curva bianca. La Fig. 25 riporta inoltre le relazioni non lineari di chiarezza e croma spettrali $L^*(\lambda)$, $a^*(\lambda)$ e $b^*(\lambda)$ con i valori spettrali tristimolo $x_q(\lambda)$, $y_q(\lambda)$ e $z_q(\lambda)$.

11 Dispositivo per miscelare i colori spettrali e riflessione

Mediante uno spettrofotometro è possibile misurare, per ciascuna lunghezza d'onda, il fattore di riflessione della radiazione che incide su una superficie. Dal confronto della riflessione di un colore di superficie con quella di una superficie ideale bianca, si ottiene la curva dei fattori di riflessione spettrali che assume, per ogni lunghezza d'onda, valori compresi tra 0,0 ed 1,0.

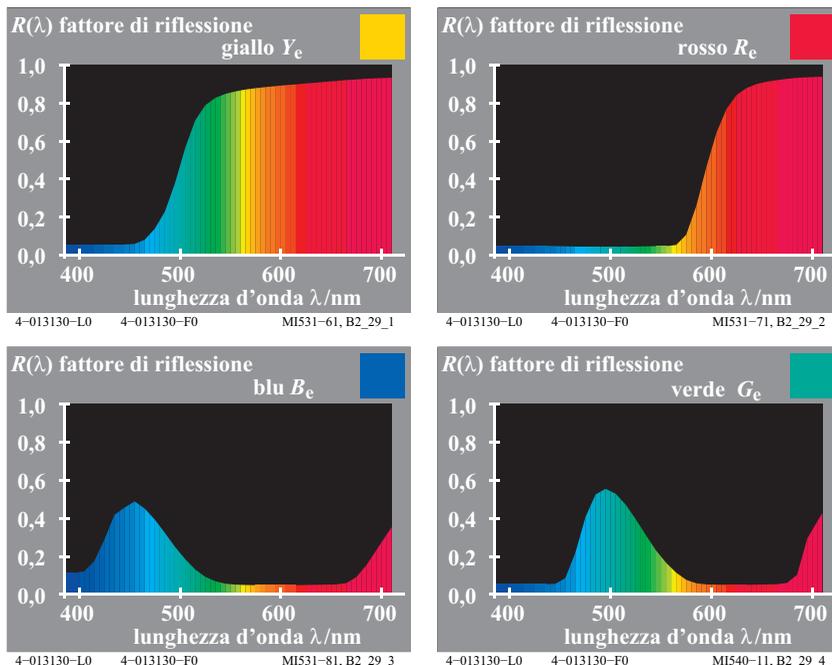


Fig. 26: Fattori spettrali di riflessione dei quattro colori elementari $RYGB_e$

La Fig. 26 mostra i fattori spettrali di riflessione che sono trasferiti a delle "maschere" con i corrispondenti fattori di trasmissione. Mediante un dispositivo per la miscelazione dei colori spettrali è possibile produrre otticamente i colori elementari $RYGB_e$

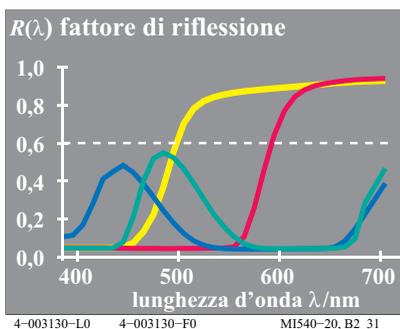


Fig. 27: Dispositivo per la miscela dei colori spettrali e fattori di riflessione spettrale come maschera.

La Fig. 27 (*a sinistra*) mostra il principio di funzionamento di un dispositivo per la miscela dei colori spettrali. Da una lampada ad arco allo xeno che emette luce bianca, si dipartono due fasci luminosi con differenti direzioni.

Uno dei due fasci determina uno sfondo bianco dalla forma di anello circolare su uno schermo di proiezione.

L'altro fascio viene suddiviso nelle componenti spettrali, mediante il passaggio attraverso un prisma. Questa distribuzione viene miscelata otticamente in modo da produrre sullo schermo di proiezione un campo centrale di forma circolare dello stesso colore bianco dello sfondo.

Attraverso l'aiuto di maschere localizzate nella zona in cui il fascio è suddiviso nelle sue componenti, alcuni colori spettrali possono essere parzialmente o totalmente eliminati. Le parti rimanenti dello spettro sono quindi miscelate otticamente. Collocando diverse maschere si otterranno differenti colori sul campo centrale, ad esempio il colore campione CIE n. 9 (rosso elementare R_e secondo il report CIE R1-47).

La Fig. 27 (*a destra*) mostra le maschere per ottenere i colori elementari $RYGB_e$. Le maschere sono prodotte in accordo con i fattori spettrali di riflessione $R(\lambda)$ del colore campione CIE n. 9 (rosso R_e), n. 10 (giallo Y_e), n. 11 (verde G_e) e n.12 (blu B_e). Secondo il report CIE 13.3 questi colori campione CIE ed altri sono usati per la specifica delle proprietà di resa cromatica delle sorgenti luminose. In Fig. 27 è inoltre riportato il caso di fattore di riflessione spettrale costante $R(\lambda) = 0,6$, che corrisponde ad un colore grigio chiaro.

12 Fluorescenza

La fluorescenza consiste nell'assorbimento nel campo delle piccole lunghezze d'onda e riemissione per lunghezze d'onda più grandi. Gli sbiancanti ottici si basano su questo. Con gli sbiancanti ottici la biancheria lavata e la carta appaiono più bianche ed i dipinti appaiono più luminosi. Il rosso luminescente viene utilizzato come colore per gli avvisi. Le pitture luminescenti o i colori fluorescenti determinano un'estensione del normale gamut dei colori o dei normali colori di superficie (non fluorescenti).

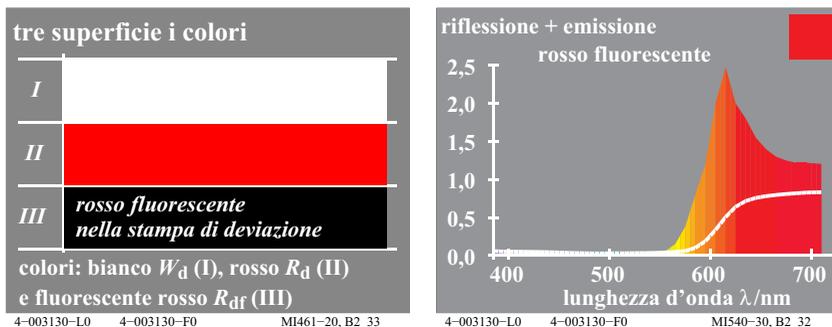


Fig. 28: Colori di superficie e riflessione ed emissione di un colore fluorescente

La Fig. 28 mostra a sinistra tre colori di superficie, il bianco W_d (I), il rosso R_d (II) ed un rosso fluorescente R_{df} (III), mentre a destra sono rappresentati gli spettri di riflessione ed emissione (ossia il rapporto tra la radiazione monocromatica emessa e quella incidente) di un colore rosso fluorescente. I colori fluorescenti riflettono maggiori radiazioni luminose ad elevata lunghezza d'onda (apparenza di rosso) rispetto ad un campione bianco riflettente in modo diffuso. Sempre in Fig. 28 (a destra) la somma dei fattori spettrali di riflessione ed emissione è maggiore di 1,0 nella zona dello spettro ad elevate lunghezze d'onda. Un siffatto colore di superficie appare di un rosso particolarmente luminoso. Di conseguenza tale colore sarà chiamato "colore luminoso".

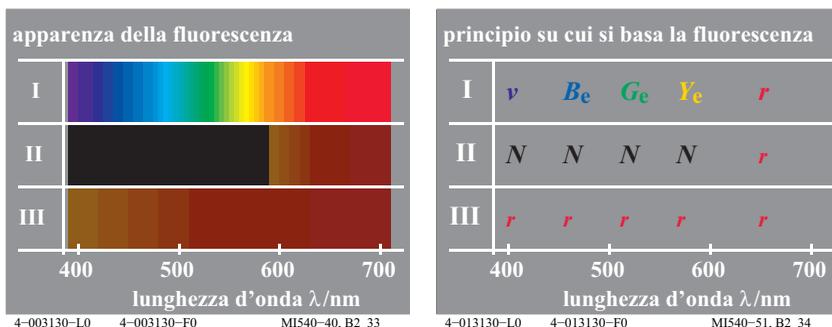


Fig. 29: Apparenza spettrale e principio della fluorescenza.

La Fig. 29 mostra l'apparenza spettrale (a sinistra) ed il principio della fluorescenza (a destra). Lo spettro appare completamente diverso su una superficie bianca (I), su una superficie normale rossa (II) e su una superficie fluorescente rossa (III) (a sinistra).

Il cambiamento nell'apparenza di colore dello spettro può essere dimostrata su differenti aree di colore. Si può produrre uno spettro mediante un filtro interferenziale continuo. Lo spettro è proiettato sulle tre differenti aree di colore da I a III:

- Lo spettro proveniente da superficie bianca (I) appare con la solita sequenza tipica della luce bianca, che va dal viola-blu v , e comprende il blu B_e , il verde G_e , il giallo Y_e ed il rosso r (*a sinistra*). Ciò è indicato con lettere che denominano i colori (*a destra*).
- Lo spettro di una superficie rossa (II) assume valori nulli nell'intervallo che va dal viola-blu v fino al giallo Y_e , mentre riflette solo nella regione del rosso, in questa regione in modo analogo a quanto avviene per la superficie bianca (*a sinistra*). La lettera N (=nero) indica che le radiazioni dal viola-blu v al giallo Y_e sono assorbite e la lettera r rappresenta la riflessione nella regione del rosso (*a destra*).
- Lo spettro di una superfiche fluorescente rossa (III) appare rosso r per tutto l'intero campo delle radiazioni incidenti che vanno dal viola-blu v al rosso r (*a sinistra*). La lettera r per l'intero spettro indica questa proprietà di riflessione (*a destra*).

13 Retroriflessione

I materiali retroriflettenti appaiono di colori particolarmente cromatici e luminosi sotto speciali condizioni di illuminazione ed osservazione. Il colore viene in questo caso prodotto da un illuminante, una superficie di materiale acromatico (di apparenza bianca), con speciali proprietà geometriche di riflessione, e da un foglio di materiale colorato e trasparente come un filtro colorato, dalle caratteristiche spettrali di trasmissione dipendenti dalla sua colorazione.

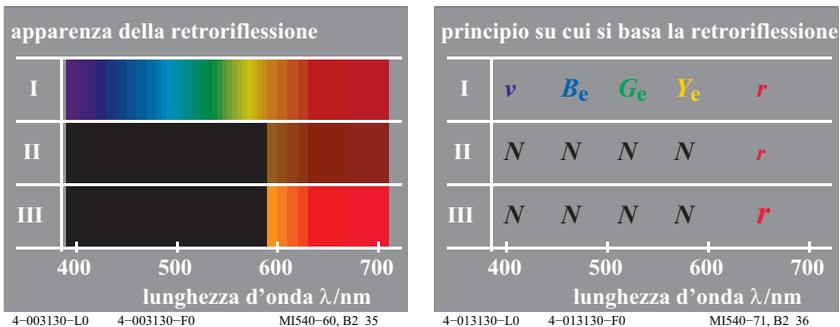


Fig. 30: Apparenza e spettrale e principio della retroriflessione

La Fig. 30 mostra l'apparenza (*a sinistra*) ed il principio (*a destra*) della retroriflessione. Gli spettri di una superficie bianca (I), una superficie normale rossa (II) ed una superficie retroriflettente rossa (III) appaiono molto diversi.

Il cambiamento dell'apparenza cromatica dello spettro delle differenti aree può essere spiegato attraverso l'analisi dello spettro mediante un filtro interferenziale continuo. Lo spettro è proiettato sulle diverse aree di colore da I a III:

- Lo spettro di una superficie bianca (I) e di una superficie normale rossa (II) sono stati già descritti in Fig. 29.
- Lo spettro di una superficie retroriflettente rossa (III) appare buio nell'intervallo dal viola-blu ν al giallo Y_c e può riflettere nella regione del rosso in misura maggiore rispetto alla superficie bianca (*a sinistra*). La lettera N (=nero) indica l'assorbimento nell'intervallo dal viola-blu ν al giallo Y_c e la lettera r grande un incremento della riflessione rispetto alla superficie bianca (*a destra*). Tale riflessione assume valori massimi quando la direzione di illuminazione e quella di osservazione sono prossime.

14 Miscela di colori

14.1 Miscela di colori dicromatica additiva

Miescher ha denominato la miscela additiva di due colori come miscela *dicromatica*. In modo analogo una miscela di tre colori può essere definita come miscela *tricromatica*. La miscela di due colori complementari può determinare un colore acromatico e, secondo *Miescher* (1961, 1965) è denominata miscela di colori *anticromatica*.

I colori di ogni data distribuzione spettrale possono essere prodotti mediante una miscela additiva (sintesi additiva), mediante un dispositivo atto alla miscelazione delle radiazioni di diverso contenuto spettrale, si confronti la Fig. 27 a pagina 27. E' perfino possibile ottenere i colori ottimali, che rappresentano i possibili limiti dei colori di superficie. Tra i colori ottimali, quelli più cromatici, ad esempio il rosso più rosso, sono di grande importanza nella tecnologia dell'immagine, vedi il cap. 19 a pagina 67.

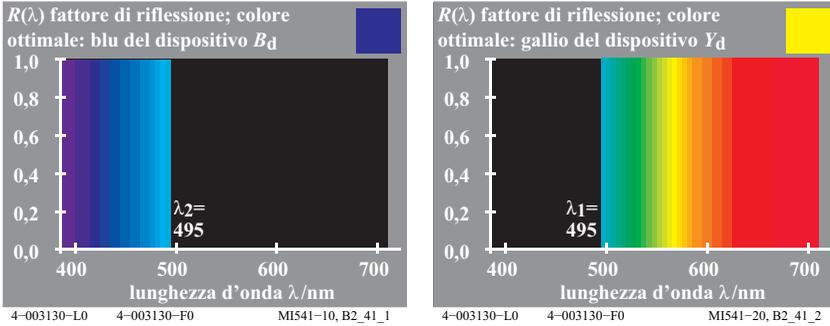


Fig. 31: Sintesi additiva dicromatica dei colori ottimali B_d , Y_d

La Fig. 31 riporta la miscela dicromatica per ottenere il bianco. Il bianco W è prodotto da una miscela additiva di una qualsiasi coppia di colori ottimali compensativi o complementari (per esempio il blu B_d ed il giallo Y_d). Nel seguito e nei processi di riproduzione sono utilizzati frequentemente un giallo verdastro, che denomineremo giallo del dispositivo Y_d (Y = giallo, d =dispositivo), ed un blu rossastro B_d .

In Fig. 31 (*a sinistra*) il fattore di riflessione monocromatico del colore ottimale blu B_d presenta una brusca variazione tra il valore 1,0 e 0,0 a 490nm. La curva assume il valore 1,0 tra 380nm e 490nm ed il valore 0,0 tra 490nm e 720nm.

In Fig. 31 (*a destra*) il fattore di riflessione monocromatico del colore ottimale giallo Y_d assume il valore 0,0 tra 380nm e 490nm con una brusca discontinuità a 490nm. Tra 490nm e 720nm il valore è 1.0.

La miscela additiva di entrambi i colori ottimali B_d e Y_d produce un colore acromatico con fattore di riflessione spettrale $R(\lambda)$ pari a 1,0 in tutto l'intervallo, che appare bianco.

La Fig. 31 mostra i due colori del dispositivo, il giallo Y_d ed il blu B_d , che risultano differenti se confrontati con i colori elementari giallo Y_e e blu B_e .

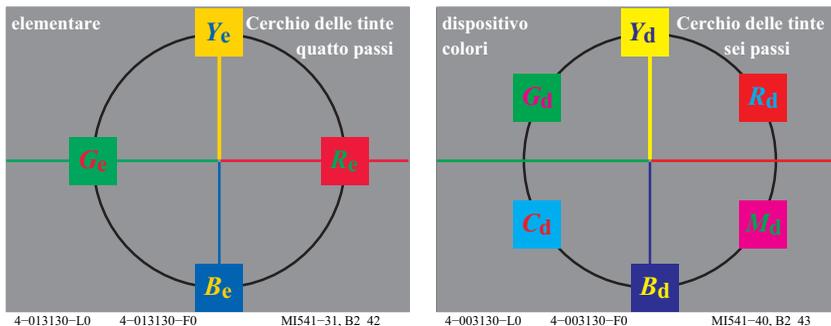


Fig. 32: I quattro colori elementari $YRGB_e$ and ed i sei colori del dispositivo $RYGCBM_d$

La Fig. 32 (a sinistra) riporta i quattro colori elementari rosso R_e , giallo Y_e , verde G_e , e blu B_e su una circonferenza simmetrica dei colori elementari.

La Fig. 32 (a destra) mostra i sei colori cromatici $RYGCBM_d$ su una circonferenza delle tinte a sei passi, che costituisce la base per la riproduzione a colori. In accordo con la posizione simmetrica sulla circonferenza delle tinte, il giallo Y_d appare leggermente verdastro se confrontato al giallo elementare Y_e così come il blu B_d appare rossastro rispetto al blu B_e .

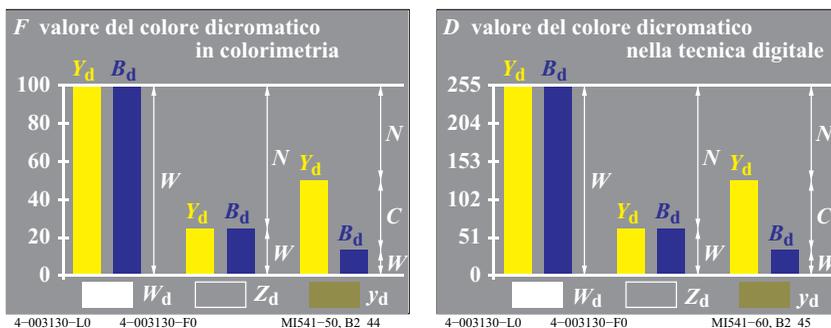


Fig. 33: Valore del colore dicromatico in colorimetria e nella tecnica digitale

La Fig. 33 mostra il valore del colore F in colorimetria (a sinistra), ed il valore del colore D nella tecnica digitale (a destra). In colorimetria si usano 100 passi, mentre nella tecnica digitale 255.

La Fig. 33 mostra tre miscele tra un colore dominante giallo Y_d ed il colore compensativo blu B_d : il bianco W_d , il grigio medio Z_d , ed un colore giallo y_d (in basso a destra).

Se si adopera il 100% di entrambi i colori, il dominante Y_d ed il compensativo B_d , allora la miscela acromatica è il colore bianco W_d , il cui fattore di riflessione spettrale è 1,0 in tutto lo spettro. Ciò è riportato a sinistra: il valore di bianco $W = 100$, il valore di nero $N = 0$ and il valore cromatico $C = 0$. In basso a sinistra è rappresentata la miscela W_d .

Se si adopera solo il 25% di entrambi i colori, il dominante Y_d ed il compensativo B_d , allora la miscela acromatica è il colore grigio intermedio Z . Mediante il dispositivo per le miscele spettrali, le maschere possono avere solo due salti tra 0,0 e 0,25. Ciò è riportato al centro della figura per il grigio medio Z_d : il valore di bianco $W = 25$, il valore di nero $N = 75$ ed il valore cromatico $C = 0$.

Se il colore dominante Y_d è in quantità maggiore rispetto al colore compensativo blu B_d , allora si otterrà un colore cromatico che ha la tinta del colore dominante. Ciò è riportato a destra della figura: valore di bianco: $W = B_d = 15$, valore di nero $N = 100 - Y_d = 50$ ed il valore cromatico $C = Y_d - B_d = 35$.

La tecnologia dell'immagine porta alla riproduzione di serie di colori equidistanti per quanto riguarda gli attributi del colore. Per esempio delle serie con chiarezza equispaziata $\Delta L^* = \text{costante}$ sono descritte su uno sfondo bianco mediante la radice quadrata dei valori cromatici. Ad esempio il valore tristimolo Y della CIE che assume i valori $Y=1, 4, 9, 16, \dots, 81, 100$ produce la serie dal passo costante di chiarezza $L^*=10, 20, 30, \dots, 90, 100$.

Le coordinate degli attributi del colore sono la "colorità" F^* in colorimetria o la "colorità" D^* nella tecnica digitale. Il termine collettivo "colorità" comprende gli attributi del colore chiarezza, nerezza, bianchezza, profondità ed altri. Il termine collettivo "valori del colore" comprende i valori del colore, ossia il valore bianco, il valore nero, il valore cromatico ed altri. Spesso sussiste una relazione non lineare (radice quadrata) tra i valori assunti da attributi omologhi dei due gruppi, per esempio tra la chiarezza L^* ed il valore tristimolo Y su uno sfondo bianco (carta bianca o monitor bianco).

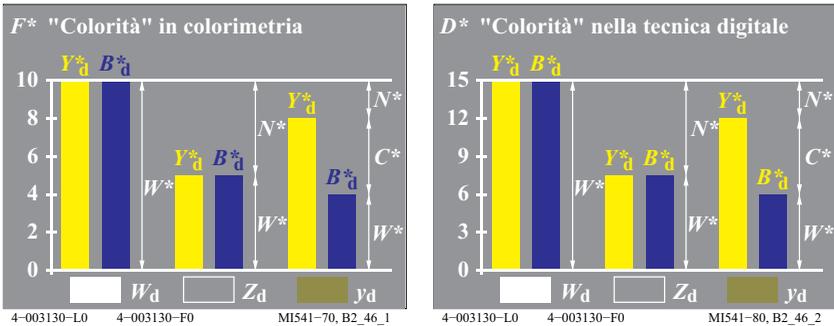


Fig. 34: "Colorità" in colorimetria e nella tecnica digitale

La Fig. 34 (a sinistra) mostra la "colorità" $F^* = Y^*_d$ o B^*_d , che assume valori tra 0 e 10 in colorimetria (scala a sinistra). Nel sistema dei colori di Munsell si usano 10 passi. La Fig. 34 (a destra) mostra la "colorità" D^* , che assume valori tra 0 e 15 nella tecnica digitale. Nello standard Europeo "CEPT for Videotext" (BTx) per i testi a video, si utilizzano 15 passi.

14.2 Miscela di colori additiva tricromatica

Il bianco W_d può essere prodotto da una miscela additiva di tre colori ottimali R_d (o rosso-arancio O), verde G_d (o verde-foglia L) e blu B_d (o blu-viola V). Miescher denominò miscela tricromatica questa miscela con tre colori base.

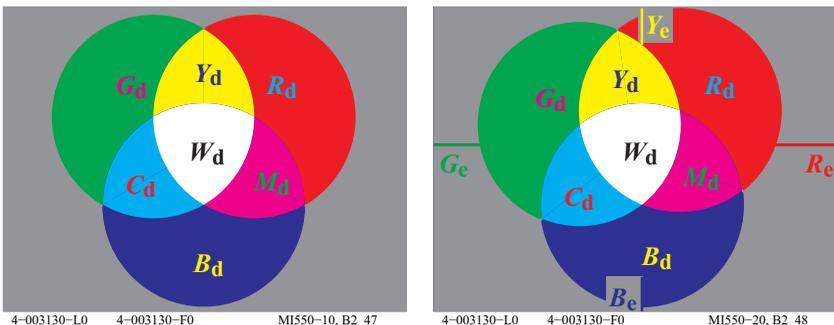


Fig. 35: Miscela di colori additiva tricromatica e posizionamento dei colori elementari.

La Fig. 35 (a sinistra) mostra la miscela additiva di tre colori base, il rosso R_d (o rosso-arancio I), il verde G_d (o verde-foglia L), ed il blu B_d (o blu-viola V).

Essi si mescolano in tre miscele dicromatiche di colori, il giallo Y_d , il blu-ciano C_d , ed il rosso-magenta M_d . Il bianco W_d è il colore ottenuto con la miscela tricromatica dei tre colori base.

La Fig. 35 (a destra) mostra la posizione dei colori base additivi, nonché i colori ottenuti con miscele dicromatiche CMY_d , ed anche il colore ottenuto dalle miscela tricromatica W_d , in relazione ai quattro colori elementari $RYGB_e$. E' necessario considerare la differenza tra R_d e R_e , e tra G_d e G_e .

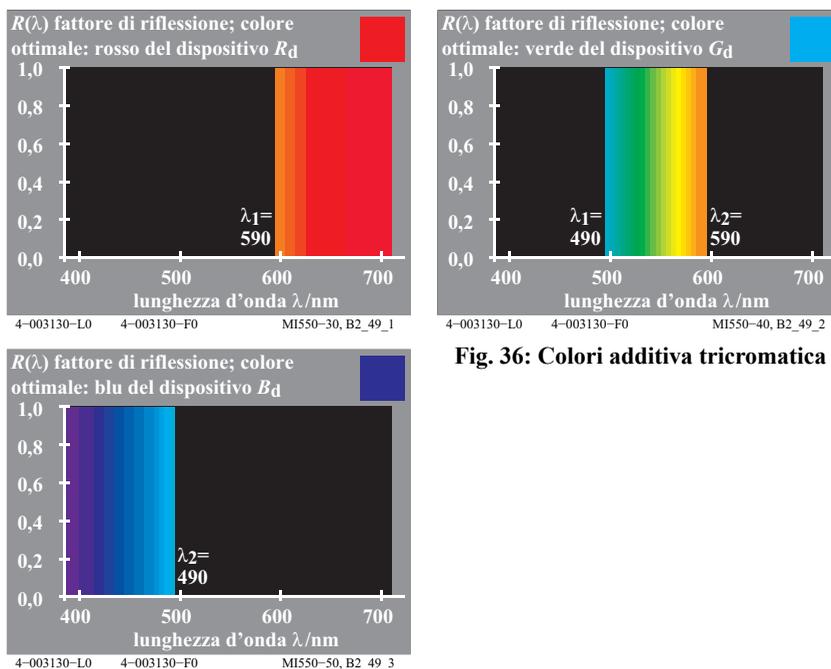


Fig. 36: Colori additiva tricromatica

La Fig. 36 mostra i tre colori ottimali rosso R_d , verde G_d e blu B_d , che si mescolano in modo additivo ottenendo il bianco. La miscela additiva con diversi valori dei tre colori base rosso R_d , verde G_d e blu B_d è di importanza generale.

In Fig. 36 i tre valori dei colori del dispositivo, rosso R_d , verde G_d e blu B_d , sono ordinati in base ai valori da essi assunti, nell'esempio si ha che $R_d > G_d > B_d$.

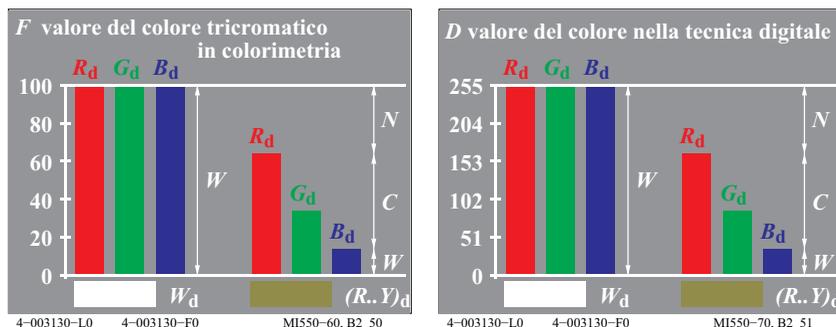


Fig. 37: Valori dei colori tricromatici RGB_d in colorimetria e nella tecnica digitale

La Fig. 37 mostra i valori di colore $F = R_d, G_d$ e B_d tra 0 e 100 in colorimetria (a sinistra) ed i valori di colore $F = R_d, G_d$ e B_d tra 0 e 255 nella tecnica digitale (a destra).

E' inoltre riportata la relazione con il valore di nero N , di bianco W e cromatico C .

Attributi del colore nelle metriche di alto e basso livello	Modalità di miscela di colori	
	Dicromatica	Tricromatica
<i>Metrica di basso livello o di valenza</i>	(per $Y_d \geq B_d$)	(per $R_d \geq G_d \geq B_d$)
valore bianco W	B_d	B_d
valore nero N	$100 - Y_d$	$100 - R_d$
valore cromatico C	$Y_d - B_d$	$R_d - B_d$
<i>Metrica di alto livello o basata sulla percezione</i>	(per $Y^*_d \geq B^*_d$)	(per $R^*_d \geq G^*_d \geq B^*_d$)
bianchezza W^*	B^*_d	B^*_d
nerezza N^*	$100 - Y^*_d$	$100 - R^*_d$
cromaticità C^*	$Y^*_d - B^*_d$	$R^*_d - B^*_d$

Tabella 2: Modalità di miscela del colore, valore di colore e "colorità" in colorimetria.

La Tabella 2 mostra le due modalità di miscela dei colori. Sono riportate le relazioni tra gli attributi del colore ed i valori di colore Y_d e B_d per la miscela dicromatica, ed i valori di colore R_d, G_d e B_d per la miscela tricromatica.

Per gli attributi di colore della metrica di alto livello (o basata sulla percezione) viene usato il nome collettivo "colorità" (bianchezza, nerezza, croma). In tabella gli attributi della "colorità" sono indicati con * (asterisco), per esempio la bianchezza è $W^* = B^*_d$.

Le abbreviazioni in Fig. 33 a pagina 32 ed in Fig. 37 a pagina 36 e nella Tabella 2 significano

Fig. 33 a pagina 32 per $Y_d \geq B_d$:

(commento: il colore dominante è in quantità maggiore del compensativo)

Y_d colore dominante B_d colore compensativo
 W bianco Z grigio intermedio y_d giallo chiaro

Fig. 37 a pagina 36 per $R_d \geq G_d \geq B_d$

R_d rosso G_d verde
 B_d blu $(Y..R)_d$ giallo-rosso

In Tabella 2 i valori di colore del colore dominante giallo Y_d e del colore compensante blu B_d o i tre colori base rosso R_d , verde G_d e blu B_d sono relazionati in modo semplice con gli attributi del colore: valore di bianco relativo w , valore di nero relativo n , e valore cromatico relativo c di *Ostwald*.

Le seguenti relazioni sono valide, si vedano la Fig. 33 a pagina 32 e la Fig. 37 a pagina 36:

w valore del bianco relativo = valore del bianco / 100 = $W / 100$
 n valore del nero relativo = valore del nero / 100 = $N / 100$
 c valore cromatico relativo = valore cromatico / 100 = $C / 100$

I tre valori di colore RGB_d della colorimetria o della tecnica digitale possono essere usati per calcolare il valore del bianco W , il valore del nero N ed il valore cromatico C . A causa della relazione non lineare tra il valore di colore e la "colorità", i due rapporti valore del bianco/valore del nero e bianchezza/nerezza sono differenti.

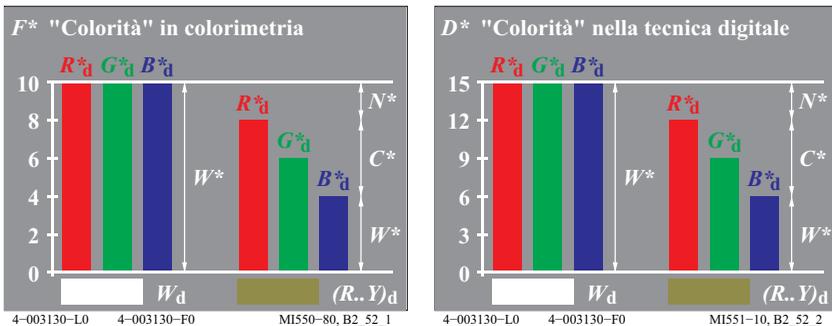


Fig. 38: "Colorità" $RGB*_d$ in colorimetria e nella tecnica digitale.

La Fig. 38 mostra la "colorità" R^*_d , G^*_d or B^*_d tra 0 and 10 in colorimetria (*a sinistra*) e tra 0 e 15 nella tecnica digitale (*a destra*). E' riportata inoltre la relazione con la nerezza N^* , la bianchezza W^* e la croma C^* dei colori.

Nota: Nel sistema CIELAB la chiarezza L^* e la chroma C^* variano in un intervallo da 0 a 100 invece che tra 0 e 10, come ad esempio nel sistema di *Munsell*.

La più nota applicazione della miscela additiva di colori è la televisione ed i monitor a colori dei computer. In questi casi l'output sullo schermo è ottenuto dalla composizione di molti punti "raster" rossi R_d , verdi G_d , e blu B_d . La luminanza di questi punti viene modificata dai segnali televisivi o dal software per la visualizzazione dell'immagine. Su un monitor di un televisore standard ci sono almeno 1.2 milioni di punti luminosi. I punti sono piccoli in modo da non potere essere distinti ad una distanza di osservazione di circa 3m in condizioni di visione normale. In questo modo una miscela additiva di colori raster si forma sullo schermo.

14.3 Miscela di colori tricromatica sottrattiva

L'inserimento di tre appropriati filtri colorati sul percorso luminoso di una stessa sorgente determina (su uno sfondo bianco) il nero nel caso in cui tutta la radiazione viene pressoché assorbita. A differenza della miscela additiva di colori precedentemente descritta, i filtri sono collocati uno sull'altro sul percorso di un'unica sorgente luminosa.

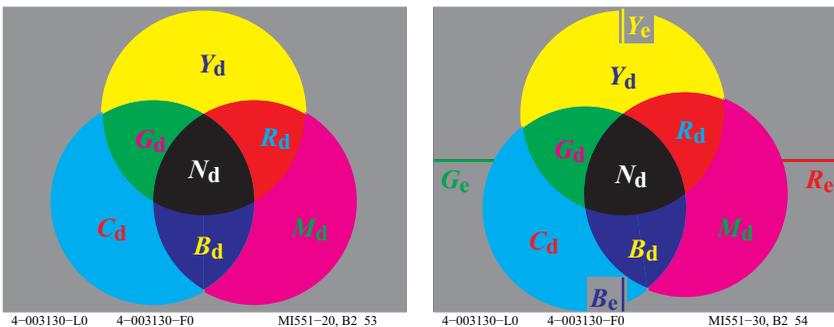


Fig. 39: Miscela cromatica sottrattiva e collocazione dei colori elementari.

La Fig. 39 (*a sinistra*) mostra la sintesi o miscela sottrattiva di colori effettuata con tre colori base blu-ciano C_d , rosso-magenta M_d e giallo Y_d . Le tre miscele dicromatiche determinano il rosso R_d , il verde G_d ed il blu B_d . Il nero N_d (= noir) è il prodotto della miscela tricromatica dei tre colori base. Per la miscela sottrattiva, si considerano tre apposti filtri speciali con fattori di trasmissione spettrali

con andamenti simili a quelli dei colori ottimali giallo Y_d , blu-ciano C_d e rosso-magenta M_d , vedi Fig. 40 a pagina 39.

La Fig. 39 (*a destra*) mostra la posizione dei colori base per la sintesi sottrattiva CMY_d , dei colori ottenuti dalle miscele dicromatiche RGB_d , nonché del colore N_d della miscela tricromatica. Viene mostrata la posizione rispetto ai quattro colori elementari $RYGB_e$. C'è una notevole differenza tra R_e e R_d o M_d . Nel settore della stampa M_d è spesso denominato rosso invece che *rosso-magenta*. Inoltre vi è differenza tra B_e e B_d o C_d , che è spesso chiamato blu invece di blu-ciano nell'ambito delle stampa.

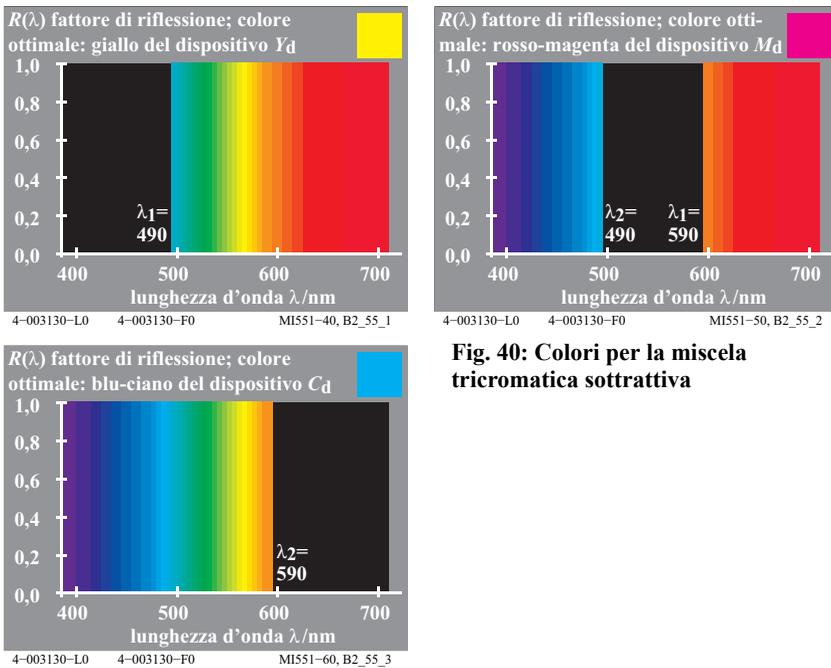


Fig. 40: Colori per la miscela tricromatica sottrattiva

La Fig. 40 mostra i fattori di riflessione spettrale $R(\lambda)$ (o fattori di trasmissione $T(\lambda)$ di filtri) adatti per effettuare la miscela sottrattiva: Il colore ottimale giallo Y_d con $R(\lambda) = 1$ a partire dalla lunghezza d'onda 490 nm, il colore ottimale rosso-magenta M_d con $R(\lambda) = 1$ fino a 490nm ed ancora a partire da 590nm ed il colore ottimale blu-ciano C_d con $R(\lambda) = 1$ fino alla lunghezza d'onda di 590nm.

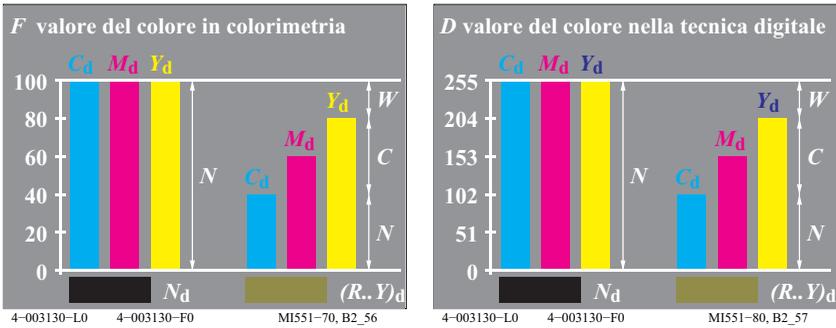


Fig. 41: Valori del colore CMY_d in colorimetria e nella tecnica digitale

La Fig. 41 mostra i valori del colore F in colorimetria (*a sinistra*), ed i valori del colore D nella tecnica digitale (*a destra*) per una miscela di tre colori sottrattiva.

E' riportata la specifica della miscela di colori basata sui tre colori standard per la stampa, blu-ciano C_d , rosso-magenta M_d e giallo Y_d . Se il valore del colore del giallo Y_d è dominante rispetto ai valori del rosso-magenta M_d e del blu-ciano C_d , allora la miscela di Y_d e M_d conduce in prima istanza al rosso R_d . A causa della grande quantità di giallo Y_d , la tinta miscelata risulta di colore rosso giallastro $(R..Y)_d$.

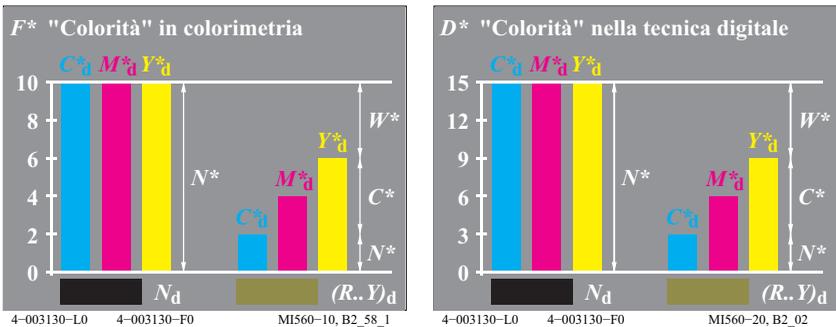


Fig. 42: "Colorità" $CMY*_d$ in colorimetria e nella tecnica digitale

La Fig. 42 mostra la "colorità" F^* in colorimetria e la "colorità" D^* nella tecnica digitale per una miscela tricromatica sottrattiva.

La più nota *applicazione tecnica* della sintesi *sottrattiva* è nella riproduzione delle *fotografie a colori*. Su una pellicola di rovesciamento (pellicola di avanzamento-slittamento), vi sono tre strati di filtri, uno dopo l'altro, con colori blu-

ciano C_d , rosso-magenta M_d , e giallo Y_d . I fattori di trasmissione dei tre strati dipendono dall'esposizione e dal processo di sviluppo

Nella stampa standard policromatica sono coinvolte sia le miscele additive che quelle sottrattive e tale tipo di miscela prende il nome di miscela auto-tipica.

La miscela risulta additiva se due colori sono stampati fianco a fianco e sottrattiva se due inchiostri trasparenti sono stampati uno sull'altro. Tale tipo di miscela nella stampa prende il nome di miscela auto-tipica.

15 Radiazione spettrale

La stessa apparenza di colore può essere realizzata con differenti distribuzioni spettrali di radiazioni luminose. Nella moderna colorimetria, i colori metameric possono essere calcolati mediante speciali procedure numeriche, tenendo conto dell'illuminamento.

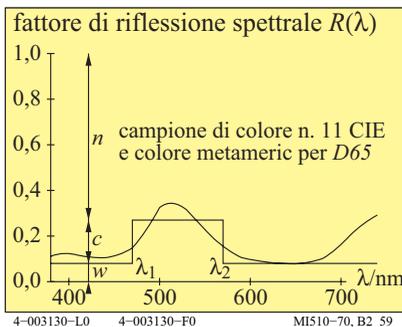


Fig. 43: Reflection factor of metameric colours

La Fig. 43 mostra il campione CIE n.11 (verde) secondo il report CIE 13.3, ed un colore metameric il cui diagramma del fattore di riflessione spettrale ha un andamento costante a tratti (di forma rettangolare). In genere si evita di utilizzare colori metameric per differenti parti di uno stesso prodotto industriale, poiché i colori risulteranno uguali solo sotto un illuminante. Cambiando l'illuminante, ad esempio passando dalla luce naturale ad una sorgente ad incandescenza, appaiono *differenze cromatiche* ed i colori metameric non appariranno più uguali.

La Fig. 43 riporti il valore del nero *relativo* n , il valore cromatico *relativo* c , ed il valore del bianco *relativo* w . Vale l'equazione di *Ostwald*: $n + c + w = 1$.

Le due lunghezze d'onda limite $\lambda_1=480\text{nm}$ e $\lambda_2=580\text{nm}$ dell'intervallo di lunghezze d'onda compensative sotto l'illuminante D65 appartengono ad un colore ottimale con la tinta elementare verde G_e . Tale colore ottimale ha il massimo valore cromatico C_{AB} e determina un "colour half" secondo *Ostwald*.

Ci sono molti colori dicromatici ottenuti da colori complementari che mescolati determinano il bianco, per esempio il blu B_d in Fig. 36 a pagina 35 ed il giallo Y_d in Fig. 40 a pagina 39. Similmente, sia il verde G_d ed il rosso magenta M_d , che il rosso R_d ed il blu ciano C_d di queste due figure mescolati determinano il bianco.

Inoltre vi sono speciali colori dicromatici complementari caratterizzati lunghezze d'onda compensative limite λ_1 e λ_2 , per esempio le coppie verde - rosso magenta, con i valori limite di lunghezza d'onda $(\lambda_1, \lambda_2) = (475\text{nm}, 574\text{nm})$, blu - giallo con i valori limite di lunghezza d'onda $(\lambda_1, \lambda_2) = (495\text{nm}, 700\text{nm})$, blu ciano - rosso con i valori limite di lunghezza d'onda $(\lambda_1, \lambda_2) = (400\text{nm}, 567\text{nm})$. Tali valori limite di lunghezza d'onda sono localizzati su segmenti che contengono il punto acromatico E (o approssimativamente il punto rappresentativo dell'illuminante D65) sul diagramma cromatico CIE, vedi Fig. 50 a pagina 51 (a destra)

I corrispondenti valori *lineari* di colore rgbe per $n=0,73$ e $w=0,08$ sono:

$$rgb_e = (w, (1-n), w) = (0,08 \ 0,27 \ 0,08)$$

I corrispondenti valori *non lineari (visivi)* di colore rgb_e determinano (*per una relazione di radice quadrata del bianco circostante*):

$$rgb^*_e = (w^{1/2}, (1-n)^{1/2}, w^{1/2}) = (0,28 \ 0,52 \ 0,28)$$

Per la riproduzione del campione cromatico CIE n.11, mediante stampa o su schermo, bisogna calcolare i valori di colore rgb_{de} (*de = dispositivo per l'output di colori elementari*), che possono assumere approssimativamente i seguenti valori:

$$rgb_{de} = (w, (1-n), w+0,20w) = (0,08 \ 0,27 \ 0,10)$$

In accordo con la Fig. 10 a pagina 12, e per la produzione del colore elementare verde G_e , il valore-*b* aumenta del 20% ($=3/F\%=3/15\%$) da 0,08 a 0,10.

Per questo output di stampa tutti i calcoli qui mostrati vengono effettuati in modo automatico dal software. Il software utilizza i dati misurati di 729 (=9x9x9) colori del dispositivo per l'indirizzamento dell'output.

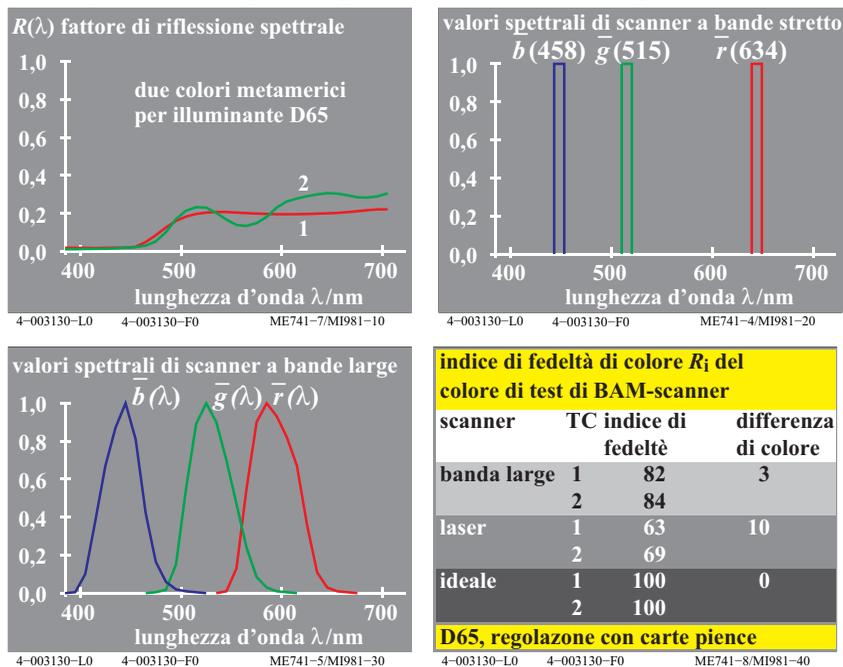


Fig. 44: Due campioni di colore metamerici, valori dello scanner e resa cromatica

La Fig. 44 (*in alto a sinistra*) mostra due campioni di colore metamerici che sono acquisiti da uno scanner laser e da uno scanner a banda larga. I valori dello scanner sono solitamente normalizzati per la carta bianca ed assunti pari a $r=g=b=1$

In relazione al tipo di scanner i due colori n. 1 e 2 in Fig. 44 (*in alto a sinistra*) producono in genere due differenti set di dati rgb . Tuttavia i due colori appaiono uguali sotto l'illuminante CIE D65 ed hanno uguali coordinate cromatiche CIE-XYZ.

I valori rgb da scanner sono in genere rappresentati nello spazio colorimetrico $sRGB$ secondo lo standard IEC 61966-2-1, e poi trasformati nello spazio CIE-XYZ ed in differenze cromatiche ΔE^* . Per uno scanner ideale, caratterizzato dalle sensibilità ad ampia banda dei valori tristimolo CIE, i valori rgb sono uguali. I valori massimi e minimi dei diagrammi dei fattori di riflessione e le *reali* sensibilità spettrali di un tipo di scanner, ad esempio laser oppure scanner a banda larga, determinano le differenze dei valori rgb dello scanner. In Fig. 44

(in basso a destra) le differenze cromatiche ΔE^* assumono valori compresi tra 0 e 10.

Nel caso ideale, l'indice di resa cromatica R_i secondo la pubblicazione CIE 13.3 assume il valore 100. Negli altri casi decresce secondo la relazione $R_i = 100 - 4,6 \Delta E^*$. Per esempio $R_i = 86$ ($=100 - 3 \cdot 4,6$) per la differenza cromatica $\Delta E^* = 3$ in Fig. 44 (in basso a destra).

Nella stampa offset e con stampanti a colori i colori acromatici possono essere stampati solo con il colore acromatico nero N_d o solo con i tre colori cromatici blu-ciano C_d , rosso-magenta M_d , e giallo Y_d , specialmente nelle immagini. I colori acromatici che sono stampati mediante l'inchiostro nero N_d , hanno il fattore di riflessione spettrale pressoché costante. I colori acromatici che sono stampati mediante i primari CMY_d , hanno funzioni di riflessione spettrale con fino a tre massimi e minimi, vedi Fig. 44 (in alto a sinistra).

I colori campione e metamerici per gli illuminanti standard CIE D65 ed A, e per gli illuminanti CIE D50 e P40 sono stampati e riportati nelle tavole dei campioni dalla n. 1 alla n.3 in Appendice in formato A4. I fattori di riflessione spettrale dei campioni riportati nelle tre tavole sono disponibili. Sono fornite le coordinate *rgb* e sono state calcolate le numerose coordinate CIE sotto 6 illuminanti D65, D50, P40, A, C ed E. I campioni di colore si basano sul cerchio dei colori a 16 passi del sistema relativo dei colori elementari, *Relative Elementary colour system RECS*, cfr. DIN 33872 da -1 a -6.

La pubblicazione CIE R1-47 definisce gli angoli delle tinte elementari con l'illuminante standard CIE D65. Gli angoli delle tinte del giallo elementare Y_e e del blu elementare B_e sono rispettivamente 92 e 272 gradi. Tuttavia, con l'illuminante standard A, tali angoli possono variare da 92 e 272 gradi a 82 e 262 gradi nello spazio CIELAB (per D65 and A). Gli esatti valori sono sconosciuti. Pertanto le tinte elementari sotto l'illuminante D65 non appaiono più tinte elementari sotto l'illuminante standard CIE A. Per esempio il blu elementare B_e sotto l'illuminante standard CIE D65 appare rossastro sotto l'illuminante standard CIE A. Similmente, il giallo elementare Y_e sotto l'illuminante standard CIE D65 appare verdastro sotto l'illuminante standard CIE A. Nel futuro la CIE potrebbe pubblicare la variazione delle tinte dei colori elementari sotto diversi illuminanti standard.

Se nella stampa offset o con stampanti a colori, i colori acromatici sono solo stampati con i tre coloranti *CMY* invece del solo *N*, allora ciò necessita di risorse di materiale tre volte maggiori. Se i colori acromatici sono stampati solo con i primari *CMY*, allora il prezzo può aumentare fino a 6 volte. Il prezzo dei tre inchiostri cromatici *CMY* è in genere doppio rispetto a quello dell'inchiostro acromatico *N*. Inoltre per la stampa con *CMY* ci sono fino a tre valori massimi e minimi nella curva dei fattori di riflessione spettrale, il che può produrre diffe-

renze cromatiche fino a $\Delta E^*=10$ per colori metameric, vedi Fig. 44 (in basso a destra).

In Appendice, le tavole dei campioni no. 2 e 3 (*PI2311L* e *PI3311L*) utilizzano le suddette due tecnologie di stampa per la riproduzione dei colori acromatici. La stampa offset delle tavole no. 2 e 3 ha generato colori acromatici metameric per i quattro diversi illuminanti CIE D65, D50, P40 ed A. Inoltre sono riportati colori metameric per il cerchio dei colori ad 8 passi con la metà della massima cromia CIELAB C^*_{ab} , rispetto alla massima cromia ottenuta con stampa offset

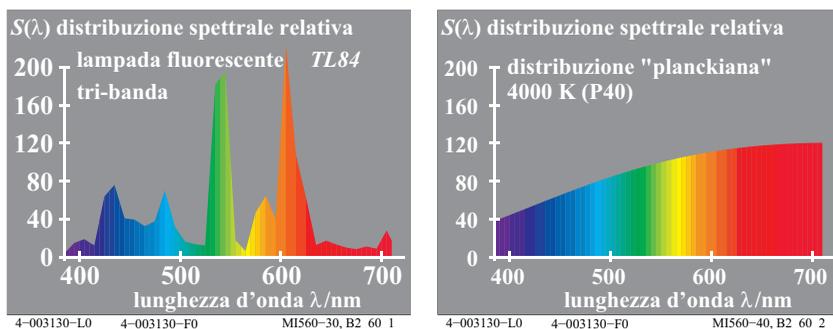


Fig. 45: Distribuzione spettrale relativa della radiazione

La Fig. 45 mostra la distribuzione spettrale della radiazione $S(\lambda)$ emessa da una lampada fluorescente trifosforo con elevata efficienza luminosa (lampada a risparmio energetico), ed una (ipotetica) sorgente luminosa con temperatura di colore di 4000K che emette secondo la legge di *Planck* (corpo nero). Entrambi gli illuminanti appaiono dello stesso bianco, benché abbiano differenti distribuzioni spettrali.

Una illuminazione alternata dei campioni di colore sotto queste sorgenti metameriche determina differenze nell'apparenza dei colori campione. In questo caso si parla di *differenze nelle proprietà di resa cromatica*, si confronti la pubblicazione CIE 13.3. I due colori metameric in Fig. 43 a pagina 41, che appaiono uguali sotto l'illuminante D65, appaiono differenti sotto i due illuminanti TL84 e radiatore planckiano a 4000K, i cui spettri sono riportati in Fig. 45.

Le tavole dei campioni di colore, dalla n. 1 alla n.3 in Appendice, consentono sia una *valutazione visiva* che una *specificazione colorimetrica delle proprietà di resa cromatica* di lampade LED e delle *proprietà di riproduzione cromatica* nel campo dell'informatica. Le tavole sono basate sul sistema relativo dei colori elementari *Relative Elementary Colour System RECS*, cfr. DIN 33872 da -1 fino a -6.

16 Contrasto

Il contrasto, già noto a *Leonardo da Vinci* e descritto in dettaglio da *Goethe* (1749-1832), è uno dei *più importanti principi di espressione* nelle belle arti, nell'artigianato e nell'industrial design. Il contrasto è condizionato dalla mutua influenza di diverse parti del campo visivo.

16.1 Contrasto acromatico

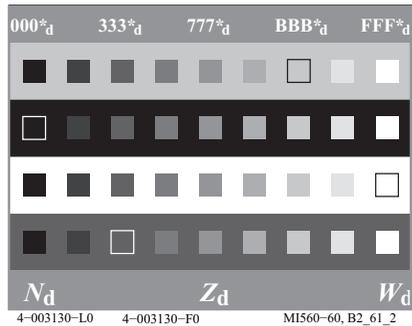
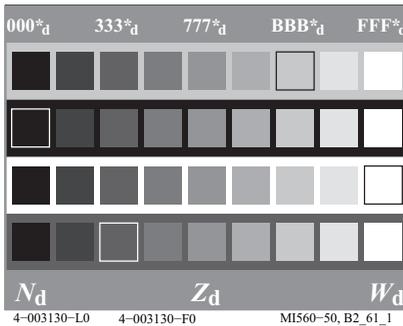
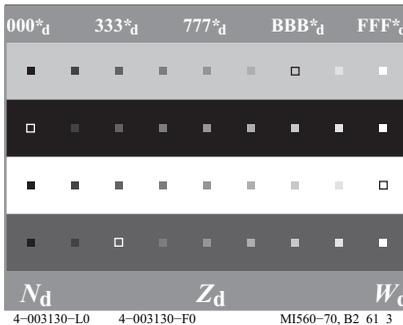


Fig. 46: Contrasto acromatico: dimensioni del campo e dello sfondo



La chiarezza percepita di un campo centrale su uno sfondo luminoso si sposta in senso opposto. Per esempio la chiarezza di differenti livelli di serie di quattro grigi *fisicamente identici* dipende dalla luminanza della zona adiacente. Senza uno sfondo più chiaro di riferimento non c'è grigio o nero.

La Fig. 46 mostra quattro serie acromatiche di grigi compresi tra il nero N_d ed il bianco W_d collocati su quattro sfondi, differenti in chiarezza. La codifica $rgb*_d$ (con un asterisco) indica che su uno sfondo grigio intermedio la serie a nove passi di grigio è ugualmente spaziata ed i campioni hanno una chiarezza nello spazio CIELAB $L^* = 15, 25, 35, \dots, 95$. Su uno sfondo bianco i campioni appaiono più *scuri* e su uno sfondo più *scuro* appaiono più chiari rispetto allo

sfondo grigio medio (Z_d = grigio centrale, qui rappresentato come rettangolo sia in alto che in basso).

Secondo *Miescher* (1961) una scala ugualmente spaziata di 100 passi su uno sfondo bianco, grigio medio e nero segue la seguente legge per il valore tristimolo CIE Y :

- sfondo bianco:
$$L^*_W = 100 (Y_W / 100)^{1/2}$$

In base a tale relazione per un livello di grigio medio con $L^*_W = 50$, il valore tristimolo CIE è $Y_W = 25$.

- sfondo grigio medio:
$$L^*_Z = 100 (Y_Z / 100)^{1/2,4}$$

In base a tale relazione per un livello di grigio medio con $L^*_Z = 50$, il valore tristimolo CIE è $Y_Z = 19$.

- sfondo nero:
$$L^*_N = 100 (Y_N / 100)^{1/3,0}$$

In base a tale relazione per un livello di grigio medio con $L^*_N = 50$, il valore tristimolo CIE è $Y_N = 12,5$.

Su uno sfondo grigio intermedio il livello di grigio con $Y_Z = 19$ ha una chiarezza $L^*_Z = 50$. Secondo le formule sopra riportate, $Y_W = 19$ su uno sfondo bianco assume una chiarezza $L^*_W = 44$ e $Y_N = 19$ assume su uno sfondo nero una chiarezza pari a $L^*_N = 58$.

Le formule date per la valutazione dei grigi su differenti sfondi forniscono solo un primo passo nel descrivere il contrasto tenendo conto dello sfondo. Inoltre anche la luminanza assoluta influenza questa valutazione.

All'aumentare della luminanza, la discriminazione tra i diversi livelli di grigio aumenta. Il bianco appare sempre più bianco ed il nero sempre più nero. Ciò significa che anche la differenza cromatica percepita tra bianco e nero aumenta. Se l'illuminamento della serie di grigi aumenta da 500 lux a 5000 lux, allora la discriminazione aumenterà del 20%. Tale effetto appare piccolo se confrontato con un cambio di illuminamento di fattore 10 (1000%).

La Fig. 46 comprende tre immagini separate con differenti dimensioni del campo centrale rispetto allo sfondo. La maggiore influenza sul contrasto si verifica con un campo centrale dalle dimensioni angolari di circa un grado (1°) e se il campo dello sfondo è almeno 10 volte più esteso ($>10^\circ$).

16.2 Contrasto cromatico

Il colore di uno sfondo cromatico sposta tutti gli attributi del colore del campo centrale nella direzione opposta.

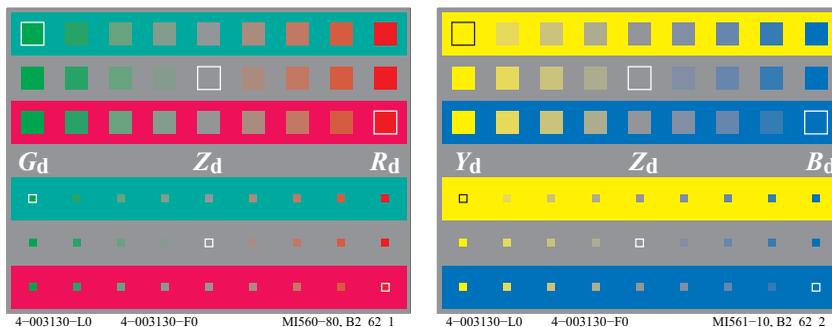


Fig. 47: Contrasto cromatico: dimensioni del campo e dello sfondo.

La Fig. 47 mostra tre serie di colori di uguale croma e passi equispaziati, viste rispettivamente su uno sfondo grigio medio Z_d , e due sfondi rossi R_d e verdi G_d . In Fig. 47 i campioni rossi su sfondo verde appaiono più rossi rispetto a quando sono su sfondo rosso. I campioni verdi appaiono più verdi sullo sfondo rosso piuttosto che su quello verde. Inoltre i campioni grigi Z_d appaiono non acromatici sugli sfondi rosso e verde, in quanto vi è un'influenza nella *direzione opposta*.

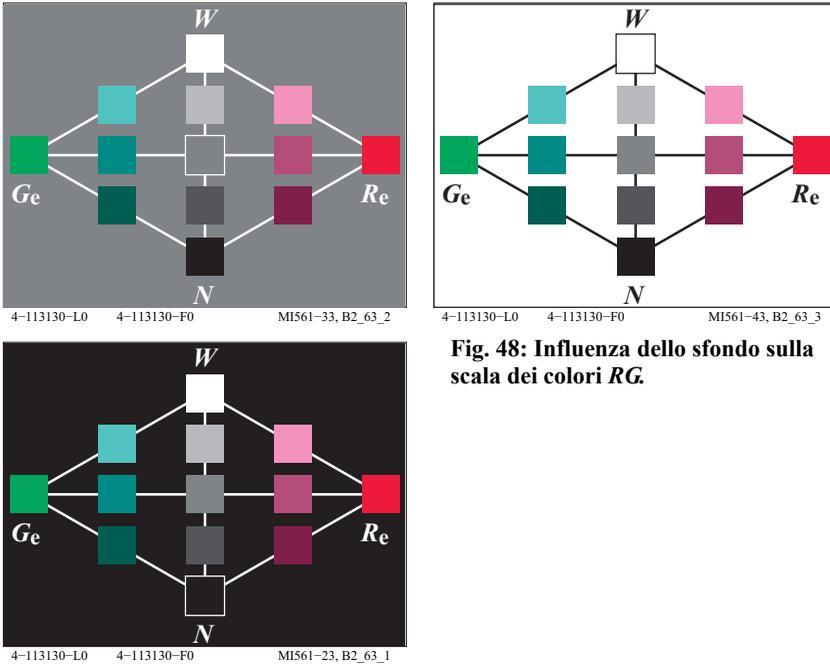


Fig. 48: Influenza dello sfondo sulla scala dei colori RG.

La Fig. 48 mostra una ulteriore importante proprietà del contrasto acromatico e cromatico sul piano di tinte rosso-verde.

La molteplicità dei colori ed il gamut appaiono più grandi su uno sfondo grigio medio rispetto ad uno sfondo bianco o nero. Su uno sfondo nero molti colori appaiono luminosi, e la componente "nerezza" sparisce. Su uno sfondo bianco i colori appaiono nerastri, mentre si riduce la luminosità. Su uno sfondo grigio intermedio sono presenti entrambi gli attributi "nerastro" e "luminoso", in proporzione appropriata rispetto alla "visione naturale".

La Fig. 48 mostra che tutti i colori rossi presentano un migliore accordo nella tinta con il rosso elementare R_e , rispetto a quanto riportato nella Fig. 7 a pagina 10. Nella Fig. 48 è stata usata una linearizzazione tridimensionale per calcolare (dai dati indefiniti rgb di input nel file) le volute coordinate rgb_{de} (si ricorda che il pedice de sta per "dispositivo per il colore elementare"). Le coordinate rgb_{de} producono in output, per tutti i colori rossi, la stessa tinta nel sistema CIELAB $h_{ab} = 26$ gradi, che è definita nel report CIE R1-47 come tinta del rosso elementare R_e .

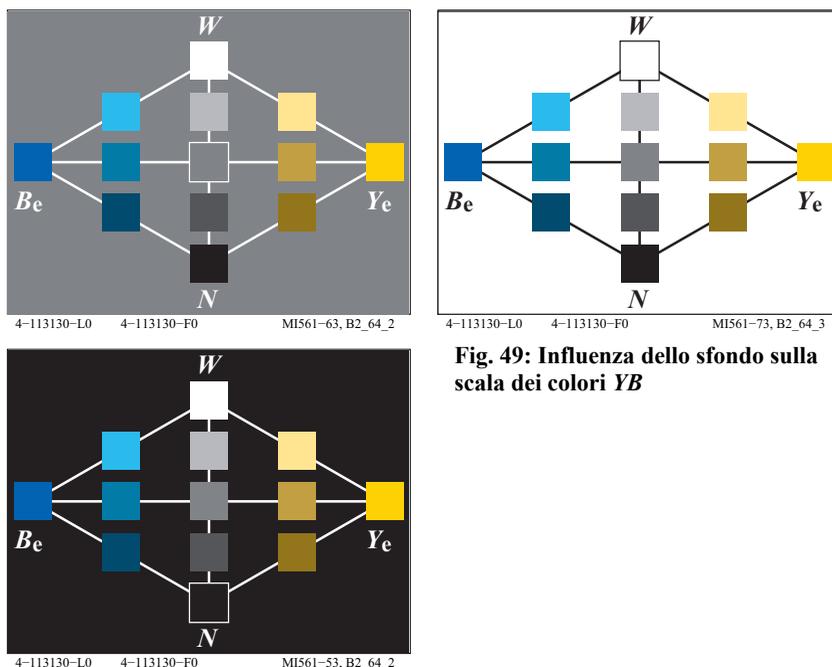


Fig. 49: Influenza dello sfondo sulla scala dei colori YB

La Fig. 49 mostra la molteplicità dei colori ed il gamut sul piano delle tinte giallo-blu. In modo simile a quanto descritto per il piano rosso-verde, anche questa volta su uno sfondo grigio intermedio i due attributi di colore "nerastro" e "luminoso" sono presenti in misura appropriata rispetto alla visione naturale.

Il cambiamento di apparenza dei colori operato dallo sfondo dipende da processi fisiologici nell'occhio. Fino ad oggi sono stati fatti solo i primi passi per descrivere tali processi, si confronti con quanto riportato nel capitolo 18 a pagina 58.

17 Specificazione standard del colore e misurazione del colore

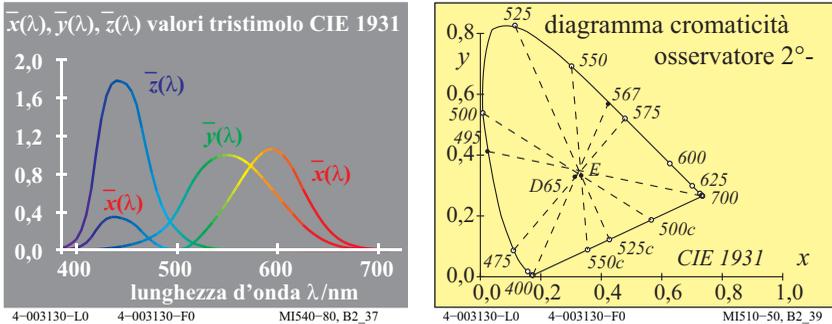


Fig. 50: I valori tristimolo CIE ed il diagramma cromatico per l'osservatore 2°

La Fig. 50 mostra le tre funzioni spettrali tristimolo CIE $x_q(\lambda)$, $y_q(\lambda)$, e $z_q(\lambda)$ per l'illuminante E (radiatore equienergetico) tra 380 nm e 760 nm. Le curve mostrano i valori delle tre componenti per i colori spettrali. Ci sono tre funzioni tristimolo che possono essere specificate approssimativamente da tre colori: blu $z_q(\lambda)$, verde $y_q(\lambda)$, e rosso $x_q(\lambda)$.

Per i colori spettrali la CIE ha definito la cromaticità spettrale:

$$\begin{aligned} x(\lambda) &= x_q(\lambda) / [x_q(\lambda) + y_q(\lambda) + z_q(\lambda)] \\ y(\lambda) &= y_q(\lambda) / [x_q(\lambda) + y_q(\lambda) + z_q(\lambda)] \\ z(\lambda) &= z_q(\lambda) / [x_q(\lambda) + y_q(\lambda) + z_q(\lambda)] = 1 - x(\lambda) - y(\lambda) \end{aligned}$$

I valori spettrali tristimolo, la radiazione spettrale incidente sul campione ed il fattore di riflessione spettrale dei campioni consentono di calcolare i valori tristimolo CIE X , Y e Z e le cromaticità standard CIE x , y e z .

$$\begin{aligned} x &= X / (X + Y + Z) \\ y &= Y / (X + Y + Z) \\ z &= Z / (X + Y + Z) = 1 - x - y \end{aligned}$$

Esempi di questi calcoli per i tre colori additivi ottimali sono riportati da *K. Richter* (1996), pagine 276-277, per il download (288 pagine, 2.8 MB), cliccare sul seguente link:

<http://farbe.li.tu-berlin.de/BUA4BF.PDF>

In Fig. 50, le cromaticità spettrali CIE definiscono la frontiera del diagramma cromatico CIE. Insieme alla cosiddetta linea delle porpore, tale frontiera delimita un'area limitata. La linea delle porpore è determinata dal segmento che

connette i colori spettrali di piccola e grande lunghezza d'onda, approssimativamente: $\lambda = 400\text{nm}$ and $\lambda = 700\text{nm}$.

Tutti i colori, ad esempio i colori di superficie, quelli spettrali ed i colori ottimali, sono rappresentati da punti che giacciono sulla frontiera o all'interno del diagramma cromatico.

Le cromaticità x ed y ed il valore tristimolo Y , che viene normalizzato a 100 per il bianco di riferimento, specificano un colore, così come i valori tristimolo CIE X , Y e Z . I valori numerici dei valori tristimolo CIE X , Y e Z variano tra 0 e 100, in accordo con la pubblicazione CIE 15 "Colorimetry" per l'illuminante equie-nergetico CIE E. Le coordinate di cromaticità assumono valori sempre minori di 1. Le coordinate x ed y specificano dei punti di cromaticità su un diagramma (x,y) con assi ortogonali.

Sul diagramma di cromaticità (x, y) , in corrispondenza di ciascun punto esiste una completa gamma di colori con differenti valori della coordinata tristimolo Y della CIE ($0 \leq Y \leq 100$). Pertanto il colore corrispondente ad un dato punto di cromaticità costante nella regione "gialla" del diagramma può apparire approssimativamente nero (per esempio se $Y=4$) oppure giallo chiaro (con $Y=90$). Per definire uno stimolo cromatico sono necessarie sia le cromaticità (x,y) che il valore tristimolo Y .

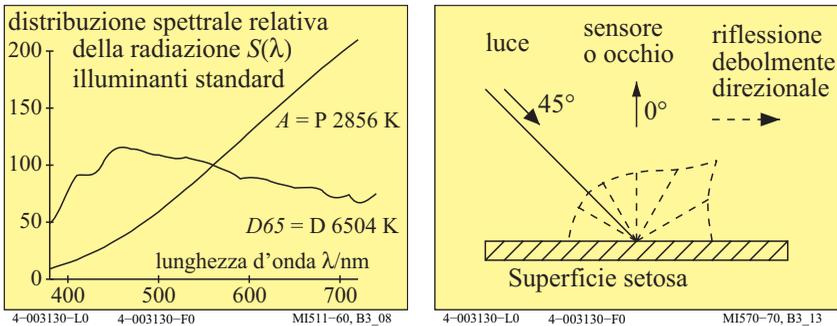


Fig. 51: Distribuzione spettrale della radiazione emessa dagli illuminanti D65 ed A e caratterizzazione geometrica della misura secondo la CIE

I valori standard tristimolo sono dipendenti dall'illuminante, per esempio l'illuminante standard CIE D65 o A sono riportati in Fig. 51 (a sinistra). L'angolo di incidenza della radiazione sul campione è in genere 45°, mentre l'angolo di vista o di misura è usualmente 0°, vedi Fig. 51 (a destra). La debole superficie setosa della stampa offprint produce in genere una riflessione diffusa in tutte le direzioni. Tuttavia, c'è una certa componente speculare nella direzione -45°. Di conseguenza i colori neri appaiono più neri se osservati lungo la direzione 0°

rispetto che lungo la direzione -45° . Il valore tristimolo CIE è $Y=2.5$ in corrispondenza di 0° e circa $Y=5$ per l'angolo -45° .

Metrica del colore di valenza: (relazioni lineari dai dati CIE 1931)		
Denominazione degli attributi cromatici "lineari"	Simbolo e relazione con i valori tristimolo o di cromaticità CIE	Note
valori di tristimulus	X, Y, Z	
valore cromatico	<i>Diagramma lineare del valore cromatico (A, B)</i>	$n=D65$
rosso-verde	$A = [X / Y - X_n / Y_n] Y = [a - a_n] Y$ $= [x / y - x_n / y_n] Y$	(sfondo)
giallo-blu	$B = -0,4 [Z / Y - Z_n / Y_n] Y = [b - b_n] Y$ $= -0,4 [z / y - z_n / y_n] Y$	
radiale	$C_{AB} = [A^2 + B^2]^{1/2}$	
cromaticità	<i>Diagramma lineare di cromaticità (a, b)</i>	<i>confrontabili con le sensibilità dei coni in modo lineare</i>
rosso-verde	$a = X / Y = x / y$	
giallo-blu	$b = -0,4 [Z / Y] = -0,4 [z / y]$	$L/(L+M)=P/(P+D)$
radiale	$c_{ab} = [(a - a_n)^2 + (b - b_n)^2]^{1/2}$	$S/(L+M)=T/(P+D)$

4-003130-L0 4-003130-F0

MI980-70

Tabella 3: Coordinate cromatiche nella metrica di basso livello o metrica di valenza cromatica

La Tabella 3 mostra le coordinate nella metrica di basso livello o di valenza cromatica. Tali coordinate sono ottenute mediante trasformazioni *lineari* dei valori tristimolo CIE X, Y, Z , o delle cromaticità CIE x, y e del valore tristimolo Y . Le coordinate principali sono i valori cromatici A, B e C e le cromaticità a, b , e c_{ab} . I valori cromatici sono dipendenti dalle coordinate cromatiche della zona circostante (pedice n). In genere si usano le coordinate $x=0,3127$ e $y=0,3390$ dell'illuminante standard CIE D65.

Le sensibilità dei fotorecettori CIE per la visione umana a colori $I_q(\lambda)$, $m_q(\lambda)$ e $s_q(\lambda)$, secondo la CIE 170-1 sono funzioni lineari dei valori spettrali tristimolo $x_q(\lambda)$, $y_q(\lambda)$ e $z_q(\lambda)$. Il fattore di sensibilità spettrale $y_q(\lambda)$ è approssimativamente la somma di $I_q(\lambda)$ e $m_q(\lambda)$. Nel capitolo 18 a pagina 58 sono riportate le sensibilità dei recettori CIE.

In Tabella 3 la cromaticità a (contenuto di rosso o verde) è circa pari al rapporto $L/(L+M)$ e la cromaticità b (contenuto di blu o giallo) è circa pari al rapporto $S/(L+M)$. In letteratura, invece delle lettere L , M e S sono utilizzate le lettere P , D e T in accordo con le tre tipologie di deficienza della visione cromatica: $P=Protanopia$, $D=Deuteranopia$ e $T=Tritanopia$.

Le anomalie della visione a colori, dovute ai fotorecettori sulla retina o alla trasmissione neurale dei segnali, determinano delle deficienze parziali o totali nella visione dei colori. I difetti nella visione a colori si verificano nell'8% degli uomini, ma solo nello 0.5% delle donne (rapporto 16:1). La maggior parte di queste persone confonde i colori rosso e verde. Per costoro tali colori appaiono grigi o grigiastri.

Le persone con deficienze nella visione a colori non possono intraprendere alcune professioni per le quali è necessaria una corretta visione dei colori, ad esempio piloti, autisti di autobus o taxi, e tecnici della riproduzione su stampa. Solo pochissime persone confondono i colori giallo e blu. Ancor meno persone percepiscono tutti i colori come acromatici (bianco, grigio e nero). Per rilevare le anomalie della visione a colori esistono delle tavole test, ad esempio quelle di *Ishihara* (1953) in cui sono usati numeri o simboli. Gli osservatori con visione a colori normale o deficitaria vedono su queste tavole differenti numeri o simboli. L'anomaloscopia di Nagel, in accordo con la norma DIN 6160 consente di determinare il grado di deficit della visione a colori.

Metrica del colore basata sulla percezione : (relazioni non lineari dai dati CIE 1931)		
termini di colore "non lineare"	Simbolo e relazione con i valori tristimolo o di cromaticità CIE	Note
chiarezza	$L^* = 116 (Y / 100)^{1/3} - 16 \quad (Y > 0,8)$ Approssimazione: $L^* = 100 (Y/100)^{1/2,4} \quad (Y > 0)$	CIELAB 1976
croma	<i>trasformazioni non lineari dei valori cromatici A, B</i>	
rosso-verde	$a^* = 500 [(X / X_n)^{1/3} - (Y / Y_n)^{1/3}]$ $= 500 (a' - a'_n) Y^{1/3}$	CIELAB 1976
giallo-blu	$b^* = 200 [(Y / Y_n)^{1/3} - (Z / Z_n)^{1/3}]$ $= 500 (b' - b'_n) Y^{1/3}$	CIELAB 1976
radiale	$C^*_{ab} = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$	$n=D65$ (sfondo)
cromaticità	<i>trasformazioni non lineari delle cromaticità x/y, z/y</i>	<i>confrontabili con le sensibilità dei coni in modo logaritmico</i>
rosso-verde	$a' = (1 / X_n)^{1/3} (x / y)^{1/3}$ $= 0,2191 (x / y)^{1/3} \quad \text{per D65}$	$\log[L / (L+M)]$
giallo-blu	$b' = -0,4 (1 / Z_n)^{1/3} (z / y)^{1/3}$ $= -0,08376 (z / y)^{1/3} \quad \text{per D65}$	$= \log[P / (P+D)]$ $\log[S / (L+M)]$
radiale	$c'_{ab} = [(a' - a'_n)^2 + (b' - b'_n)^2]^{1/2}$	$= \log[T / (P+D)]$

4-003130-L0 4-003130-F0

MI981-70

Tabella 4: Coordinate cromatiche nella metrica di alto livello o basata sulla sensazione del colore

La Tabella 4 mostra le coordinate nella metrica dei colori definita di alto livello o basata sulla sensazione. La chiarezza L^* , le coordinate che definiscono la croma a^* , b^* e C^*_{ab} dello spazio dei colori CIELAB e le notazioni cromatiche a' , b' e c'_{ab} sono le più importanti coordinate nella metrica del colore di alto livello o basata sulla sensazione. In Tabella 4 le notazioni cromatiche non lineari a' e b' servono come alternativa per calcolare le coordinate della croma a^* , b^* e C^*_{ab} dello spazio dei colori CIELAB. La notazione cromaticità (a' , b') per lo spazio CIELAB non è definita nelle pubblicazioni CIE 15 ed ISO 11664-4. La notazione cromatica *non lineare* (a' , b') appare approssimativamente simile alla notazione cromatica *lineare* (u' , v') dello spazio CIELUV (pubbl. CIE 15).

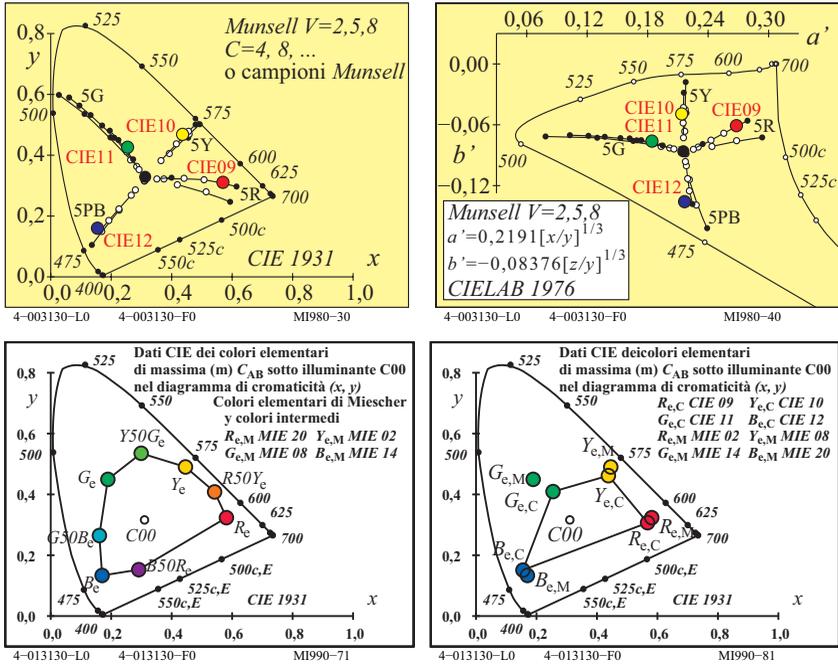


Fig. 52: Colori Munsell, Miescher e CIE nelle coordinate (x, y) e (a', b')

La Fig. 52 mostra le quattro tinte elementari $RYGB_e$ ed in aggiunta le quattro tinte intermedie di Miescher $R50Y_e$, $Y50G_e$, $G50B_e$ e $B50R_e$ (in basso a sinistra). Sono mostrati i colori delle quattro tinte di Munsell reali (o) ed estrapolate (\bullet) 5R, 5Y, 5G e 5PB di Valore 2, 5 ed 8 (in alto a sinistra ed a destra). Nel diagramma cromatico (a', b') la collocazione è maggiormente su linee rette rispetto al diagramma (x, y) . La cromia dei quattro colori elementari nel cerchio delle tinte di Miescher è maggiore rispetto ai quattro colori campione CIE dal no. 9 al 12 secondo la CIE 13.3 (in basso a destra). Il cerchio delle tinte di Miescher è stato prodotto mediante 11 appropriati inchiostri colorati. Inoltre la cromia è maggiore rispetto al cerchio delle tinte del Sistema dei Colori Elementari Relativi (Relative Elementary Colour System RECS). Questo cerchio delle tinte è ottenuto mediante i tre colori CMY_d della stampa standard offset, vedi Fig. 59 a pagina 69 (in basso a sinistra e a destra).

Il diagramma cromatico (a', b') è definito in Tabella 4. Ha una ampia estensione fino alla cromaticità corrispondente alla lunghezza d'onda $\lambda=400nm$. Per applicazioni nel campo dell'informatica questo non è un problema, poiché questi colori in genere non esistono né nella stampa offset né nei monitor a colori.

Tutti i colori reali sono localizzati all'interno della regione della Fig. 52 (*in alto a destra*).

La Fig. 52 mostra i colori elementari di *Miescher* sul diagramma cromatico (x, y) . I campioni dei colori non sono localizzati su una circonferenza intorno alla cromaticità dell'illuminante C della CIE, che è usato anche nel sistema dei colori di *Munsell*. Le differenze cromatiche degli illuminanti CIE C e D65 sono piccole. I colori elementari giallo Y_e e blu B_e , ed il punto acromatico D65 sono approssimativamente allineati. Di conseguenza si possono mescolare in modo additivo i colori Y_e e B_e secondo una appropriata proporzione per ottenere il colore acromatico D65. I colori elementari rosso R_e e verde G_e non sono invece allineati con il punto che rappresenta l'illuminante D65. Conseguentemente la miscela additiva di R_e e G_e determina i colori verde-giallastro, giallastro o rosso-giallastro e mai il colore acromatico D65.

La Tabella 3 a pagina 53 mostra gli attributi dei colori della metrica di basso ed alto livello. Si ipotizza che i colori complementari del dispositivo giallo Y_d e blu B_d si mescolino in modo additivo per ottenere il bianco. Quindi si possono mescolare solo un colore acromatico ed i colori giallo o blu. Se il valore giallo risulta maggiore rispetto al valore blu, ($Y_d > B_d$), allora i valori di colore bianco, nero ed i valori cromatici sono calcolati secondo quanto riportato in Tabella 3 a pagina 53.

La miscela dicromatica e tricromatica è di grande importanza nell'informatica applicata al colore. In informatica, per esempio su un monitor a colori, o con un proiettore a colori, o nella stampa policromatica, tutti i colori sono riprodotti mediante tre colori base del dispositivo RGB_d or CMY_d . La miscela additiva su un monitor e su un proiettore di dati si realizza con due colori base ed il terzo colore è una miscela dicromatica, ad esempio

$$\begin{aligned} W_d &= R_d + (G_d + B_d) = R_d + C_d \\ W_d &= G_d + (B_d + R_d) = G_d + M_d \\ W_d &= B_d + (R_d + G_d) = B_d + Y_d \end{aligned}$$

Nell'informatica applicata al colore, in genere si desidera riprodurre colori in un ampio gamut. Per ottenere questo i colori con il massimo valore cromatico C_{AB} ed approssimativamente della massima chroma C^*_{ab} sono prodotti da colori ottimali complementari con lunghezze d'onda compensative comprese tra λ_d e λ_c . Quindi la miscela dicromatica consentirà di ottenere il bianco. Nel capitolo 19 sono riportate soluzioni colorimetriche per ottenere un ampio gamut di colori.

18 Proprietà speciali della visione a colori

Le proprietà della visione dei colori dipendono dalle caratteristiche dei tre recettori *LMS* o *PDT* per la visione diurna.

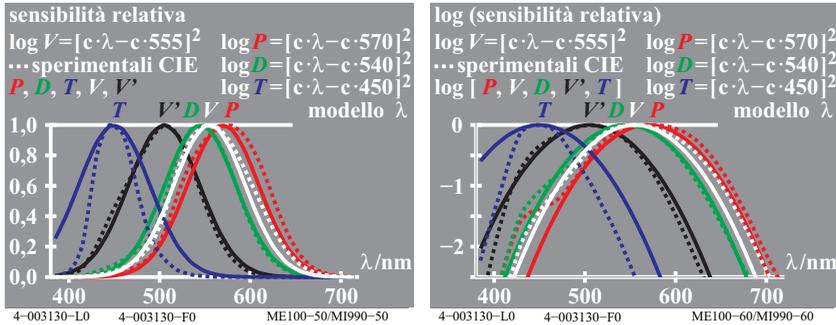


Fig. 53: Sensibilità relative dei fotorecettori *PDT* (o *LMS*), $V(\lambda)$ e $V'(\lambda)$

La Fig. 53 mostra le sensibilità dei recettori *PDT* (in base ai deficit della visione a colori P =Protanopia, D =Deuteranopia e T =Tritanopia oppure *LMS* secondo la CIE 170-1). I valori di massima sensibilità sono in prossimità delle lunghezze d'onda 570, 540, e 450nm. Per descrivere la visione mesopica, caratterizzata da luminanze comprese tra quelle diurne e notturne, si usa una combinazione lineare tra la sensibilità fotopica (diurna) $V(\lambda)$ e quella scotopica (notturna) $V'(\lambda)$, avente un massimo intorno ai 500 nm.

Il recettore sensibile alle più elevate lunghezze d'onda (L o P) ha la massima sensibilità non nella regione del rosso, ma in quella del giallo-verde. La lunghezza d'onda $\lambda_m = 570\text{nm}$, corrispondente alla massima sensibilità, è minore della lunghezza d'onda dominante $\lambda_d = 575\text{nm}$ del giallo elementare Y_e . Se si adotta per l'asse verticale una scala logaritmica, allora tutti i recettori sono caratterizzati da una curva di sensibilità di forma pressoché parabolica. In questo caso la somma e le differenze godono di speciali proprietà:

$$\log V(\lambda) = \log P(\lambda) + \log D(\lambda) \quad (\text{nuovo punto di massimo } 555\text{nm con } 570 \text{ e } 540\text{nm})$$

$$\log P(\lambda) = \log V(\lambda) - \log D(\lambda) \quad (\text{punto di massimo già noto } 570\text{nm con } 555 \text{ e } 540\text{nm})$$

$$\log R(\lambda) = \log P(\lambda) - \log D(\lambda) \quad (\text{nuovo punto di massimo } 600\text{nm con } 570 \text{ e } 540\text{nm})$$

Inoltre l'ultima riga definisce una funzione a forma di parabola, corrispondente alla *sensibilità mancante* corrispondente alla zona del rosso $R(\lambda)$, con un massimo a 600nm.

Il fattore di visibilità spettrale $V(\lambda)$ ha un ruolo importante nella visione dei colori. $V(\lambda)$ è fondamentale per la definizione della luminanza. Nella pubblicazione CIE 15 *Colorimetry*, $V(\lambda)$ è calcolato in modo lineare applicando la legge di *Grassman*, ad esempio con la relazione:

$$V(\lambda) = P(\lambda) + D(\lambda)$$

Il calcolo, applicando invece le precedenti formule logaritmiche conduce a:

$$V_{\log}(\lambda) = 10^{[\log P(\lambda) + \log D(\lambda)]}$$

La differenza tra $V(\lambda)$ e $V_{\log}(\lambda)$ è circa 1% per le due lunghezze d'onda 400 e 700nm rispetto al massimo intorno a 555nm, vedi *K. Richter* (1996). La soglia di discriminazione del colore è anch'essa prossima all' 1%. Pertanto, per molte applicazioni, entrambi i metodi portano a risultati approssimativamente uguali. Il fattore di visibilità spettrale $V(\lambda)$ è di particolare importanza nell'illuminotecnica. I seguenti rapporti calcolati con $V(\lambda)$ hanno rilevante importanza nel campo del colore, per esempio

$$A(\lambda) = R(\lambda) / V(\lambda) \quad \text{cromaticità spettrale rosso-verde}$$

$$B(\lambda) = - T(\lambda) / V(\lambda) \quad \text{cromaticità spettrale giallo-blu}$$

Nelle applicazioni questi rapporti corrispondono ai rapporti X/Y e Z/Y . In Tabella 3 a pagina 53 questi rapporti (insieme ad un fattore di peso) sono chiamate cromaticità rosso-verde e giallo-blu a e b . Entrambe definiscono il diagramma cromatico (a, b) . Per l'utilizzo del diagramma cromatico (a, b) invece del diagramma cromatico (x, y) nelle applicazioni, e per la descrizione delle soglie di discriminazione del colore, vedi *K. Richter* (1996).

Ulteriori proprietà della visione dei colori possono essere descritte attraverso segnali fisiologici in risposta a stimoli di colore nella retina delle scimmie. *A. Valberg* (2005) ha descritto molte risposte fisiologiche in funzione della cromaticità e della luminanza sia del campo centrale che periferico.

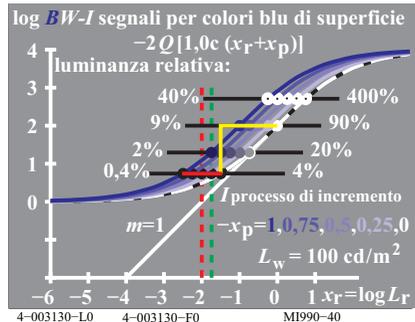
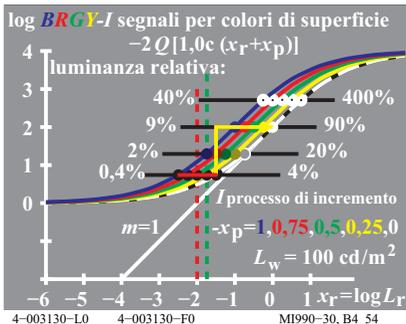


Fig. 54: Segnali del colore di colori cromatici e del blu.

La Fig. 54 mostra di principio i segnali misurati del colore del campo centrale con valori di luminanza in una zona periferica bianca. In entrambi gli assi le scale sono logaritmiche. La luminanza della zona periferica (sfondo bianco w) è 100 cd/m^2 . Poiché negli uffici si raccomanda un illuminamento di 500 lux , questo corrisponde ad un valore di luminanza di 142 cd/m^2 per carta standard bianca per la stampa offset. Questa luminanza ricade nell'intervallo della visione fotopica compreso tra circa 1 cd/m^2 e 10000 cd/m^2 .

In Fig. 54 i Segnali-I (I =Incremento) per i colori acromatici e cromatici seguono una curva a forma di S che si satura allo 0,9% e 9000% rispetto alla zona periferica bianca con il valore 90%. Le curve per i colori cromatici (*a sinistra*) sono traslate a sinistra rispetto ai colori acromatici. Le curve per i colori cromatici blu (*a destra*) sono traslate a sinistra in base alla differenza cromatica con il punto D65 nel diagramma di cromaticità (*a, b*). Per tutti i colori cromatici, uguali segnali sono quindi ottenuti con una luminanza più bassa rispetto a quella periferica $L_w=100 \text{ cd/m}^2$ (w = sfondo bianco).

Secondo *Ostwald* (1920), i colori ottimali di massima croma sono definiti da un "colour half" che ha dei limiti di lunghezza d'onda compensativa. Il valore tristimolo Y ed il valore cromatico C_{ab} possono essere calcolati secondo quanto riportato in Tabella 2 a pagina 36. Tra il valore tristimolo Y ed il valore cromatico C_{ab} sussiste una relazione lineare. Il rapporto C_{ab}/Y può servire a descrivere la traslazione a sinistra 54 a pagina 60. La pendenza della curva del segnale a forma di S è maggiore nel centro. Pertanto è lì che ci si aspetta la massima discriminazione di luminanza $L / \Delta L$. La soglia tra i colori acromatici e cromatici è prevista ad una luminanza che è al massimo ridotta di un fattore pari a 36 rispetto alla luminanza dello sfondo bianco. Il numero 36 è ottenuto dal rapporto tra i valori tristimolo $Y_w=90$ and $Y_N=2,5$ del bianco W e del nero N .

Probabilmente le luminanze nella zona di maggiore discriminazione $L / \Delta L$ sono simili alle luminanze dei colori G_0 di *Evans* (1967). I colori G_0 su una zona periferica bianca, né nerastra né luminosa. Secondo *Evans* il valore tristimolo Y_s alla soglia di discriminazione del colore (s =soglia) è per tutti i colori 30 volte più piccolo rispetto al valore tristimolo dei colori G_0 .

Un report CIE della Commissione CIE 1-83 "Validità delle formule per la valutazione di piccole differenze di colore" (*Validity of Formulae for Predicting Small Colour Differences*), (Chairman K. Richter, DE) con una descrizione delle soglie di discriminazione del colore dovrebbe uscire nel 2016. Un report CIE R1-57 "Confine tra colori nerastri e luminosi" (*Border between blackish*

and luminous colours), (Reporter *T. Seim*, NO) è stato pubblicato nel 2013.

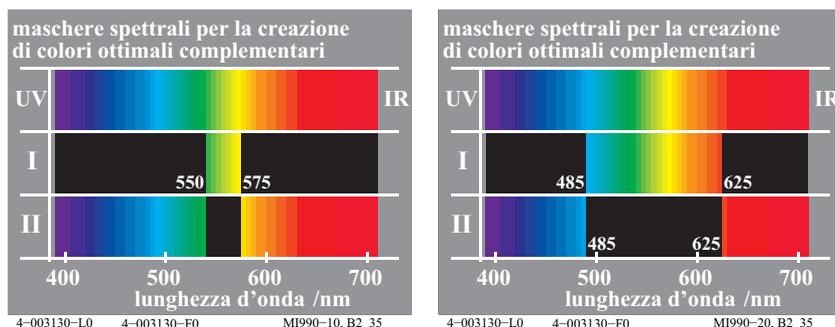


Fig. 55: Colori complementari ottimali di differenti larghezze di banda

La Fig. 55 mostra i colori complementari ottimali con differenti larghezze di banda (*sinistra e destra*). Tali colori complementari ottimali sono creati come spettri di bordo del bianco-nero e nero-bianco, se si osservano i bordi di differenti misure con un prisma. Già *Goethe* (1830) aveva osservato che sussiste una uguale discriminazione di colore nello spettro *positivo* e *negativo* per posizioni confinanti, entro la serie di colori continui complementari.

T. Holmsmark e A. Valberg (1971) hanno mescolato i colori spettrali di una fenditura *positiva* e *negativa* con un apparato per mescolare i colori spettrali. La fenditura *negativa* e *positiva* produce colori ottimali molto differenti, per esempio il giallo ed il blu (*a sinistra*) o il ciano ed il rosso (*a destra*). Per l'apparenza della differenza di colore (soglia di discriminazione), la traslazione della fenditura era all'incirca uguale per i colori complementari ottimali.

Una metrica del colore avanzata per la descrizione delle soglie di discriminazione del colore richiede quindi coordinate uguali ed antisimmetriche. I valori cromatici *A* e *B* di Tabella 2 a pagina 36 hanno questa proprietà. Le coordinate di croma *a** e *b** dello spazio CIELAB non hanno questa proprietà. Una colori-

metria per le soglie di discriminazione del colore, che dovrà considerare i risultati, è prevista nel 2016 in un report CIE della Commissione CIE 1-81.

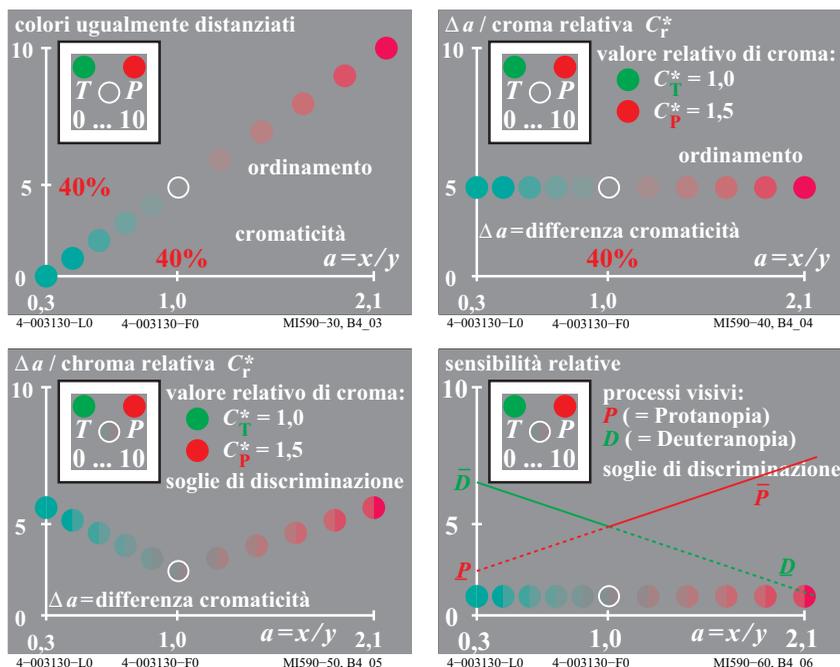


Fig. 56: scala di colore e soglie di discriminazione del colore della serie di colori *T - D65 - P*

La Fig. 56 mostra il principio di alcuni esperimenti ed i risultati riguardanti le variazioni e le soglie di colore in funzione della coordinata cromaticità $a = x/y$. La scala dei colori e le soglie di discriminazione dei colori sono mostrate per colori di ugual luminanza L , in questo caso con valore tristimolo costante $Y = 18$.

La Fig. 56 (*in alto a sinistra*) mostra una serie di colori tra un turchese molto cromatico T passando per il grigio (D65 daylight) fino ad un rosso-porpora molto cromatico P. Questa serie di colori è approssimativamente ugualmente spaziata. La condizione sperimentale è mostrata in Fig. 56 (*in alto a sinistra*). Su uno sfondo bianco è collocato un quadrato grigio. In questa area grigia sono presentati due colori estremi, in questo caso il turchese T ed il rosso-porpora P. Nel campo più basso è stato possibile produrre colori di uguale luminanza tra i due colori estremi T e P.

L'osservatore dispone di una scala fissa tra i passi 0, 5 e 10 rispettivamente corrispondenti a T, D65 e P. Mediante un processo casuale all'interno degli esperi-

menti, sono stati prodotti i numeri da 0 a 10. Con 1, l'osservatore dovrà produrre un turchese cromatico, con 7 un porpora mediamente cromatico, con 5 il grigio acromatico o la cromaticità del D65. L'obiettivo di produrre una scala di colori visivamente equidistanti è stato spiegato in modo esplicito all'osservatore.

La Fig. 56 (in alto a destra) mostra i risultati degli esperimenti nella direzione $T - P$. La differenza Δa tra due passi adiacenti di colore (divisa dalla relativa cromia, che era 1 per $T - D65$, ed 1,5 per $D65 - P$) in funzione della coordinata $a = x/y$ mostra una linea retta. Differenze uguali di cromaticità Δa (divise per 1 ed 1,5) corrispondono a differenze uguali di cromia. Sussiste una semplice descrizione delle uguali differenze di cromia mediante uguali differenze di coordinata a nella metrica del colore di basso livello ($a = x/y$).

Inoltre, per la stessa serie di colori $T - D65 - P$ sono state determinate anche le soglie di discriminazione cromatica, ossia le differenze di colore appena percetibili. Dapprima abbiamo ipotizzato che la differenza di cromaticità Δa per le soglie potesse essere più bassa, per esempio di un fattore costante pari a 30. Tuttavia i risultati sono differenti.

La Fig. 56 (in basso a sinistra) mostra la situazione sperimentale. Su uno sfondo bianco è collocato un quadrato grigio. Su questo quadrato grigio sono mostrati due colori estremi, in questo caso il turchese T ed il rosso-porpora P . Nel campo circolare in basso, possono essere prodotti tutti i colori tra i due estremi. In due semicerchi possono essere aggiunte uguali quantità di T o P . In genere, per la soglia di discriminazione del colore, circa l'1% dei due colori estremi è risultato necessario per rilevare una differenza di colore.

La Fig. 56 (in basso a sinistra) mostra la differenza cromatica Δa per le soglie di discriminazione del colore in funzione della coordinata $a = x/y$ nella metrica del colore di basso livello. Le differenze Δa per le soglie di discriminazione di colore variano nell'intervallo da 1 a 3. La differenza Δa è minima per il grigio (D65), ed aumenta linearmente verso T e P . Per il grigio circa 30 soglie corrispondono ad un passo di cromia. Per il rosso-porpora P ed il turchese T , 10 soglie corrispondono ad un passo di cromia.

I risultati della ricerca "BAM" di *K. Richter* (1985) sono in accordo con altri risultati, ad esempio quelli di *Inamura e Yaguchi* (2011). Il linea di principio sono necessari due diversi tipi di metriche per descrivere ad esempio le ellissi di *MacAdam* (per la soglie di discriminazione) ed i sistemi ordinati di colori che determinano una scala di colori.

La Fig. 56 (in basso a destra) mostra le *sensibilità relative* di due processi di visione nella direzione rosso-verde. In ciascuna sezione un differente processo visivo determina il riconoscimento delle soglie discriminazione del colore. Secondo questo modello, la differenza di cromaticità Δa è piccola per i colori

acromatici e grande per i colori cromatici. In base alla Fig. 56 (*in basso a sinistra*) i risultati sperimentali sono opposti. Il modello di visione a colori con segnali di colore in funzione della luminanza e della cromaticità può spiegare questa proprietà.

La Fig. 54 a pagina 60 mostra i segnali di colore dei colori blu con una crescente differenza di cromaticità Δb , rispetto alla serie acromatica (destra). *La massima discriminazione di luminanza $L/\Delta L$* si ottiene su una linea *orizzontale* e per luminanza *decescente* dei colori blu rispetto al bianco acromatico. Ciò è descritto dalla *massima* pendenza di tutti i segnali rispetto ad una linea orizzontale (cambiamento di pendenza dei segnali). La discriminazione di *luminanza $L/\Delta L$* su una linea verticale decresce per i colori blu di uguale luminanza, poiché la pendenza della curva del segnale diminuisce. Se inoltre si assume una relazione lineare tra ΔL e Δb su una linea *verticale*, allora Δb *decresce* per i colori blu di *uguale luminanza*, come riportato in Fig. 54 a pagina 60.

La Fig. 56 (*in basso a destra*) sembra mostrare che le *sensibilità relative* aumentano con la differenza di cromaticità. Ciò non è vero e può essere spiegato come segue. La luminanza della soglia di discriminazione del nero è di un fattore 1:36 minore rispetto alla luminanza del bianco. Secondo *Evans (1974)* la luminanza della soglia di discriminazione cromatica è in genere più bassa rispetto alla luminanza del nero. Questo risultato è in accordo con la Fig. 56. Tuttavia, con differenze crescenti di cromaticità, per colori di uguale luminanza, la pendenza del segnale decresce e quindi la soglia cromatica decresce, il che sembra in contrasto con quanto riportato in Fig. 56 (*in basso a destra*).

I risultati della ricerca mostrano che sono necessarie sia una metrica per le soglie di discriminazione del colore che una metrica per le scala dei colori, se possibile con transizioni. Nelle applicazioni le soglie discriminazione del colore sono importanti per la determinazione di piccole differenze di colore. La uguale spaziatura di differenze di colore più grandi è importante per la spaziatura delle proprietà per la resa cromatica. I campioni di colore in un sistema di ordinamento dei colori hanno in genere differenze di circa 30 soglie di colore. (oppure $\Delta E^*_{ab} = 10$). Un esempio è il sistema di ordinamento dei colori *RAL-Design (1993)*, che è basato sullo spazio CIELAB ed ha differenze tra i campioni $\Delta E^*_{ab} = 10$ in ogni piano delle tinte, per 36 tinte.

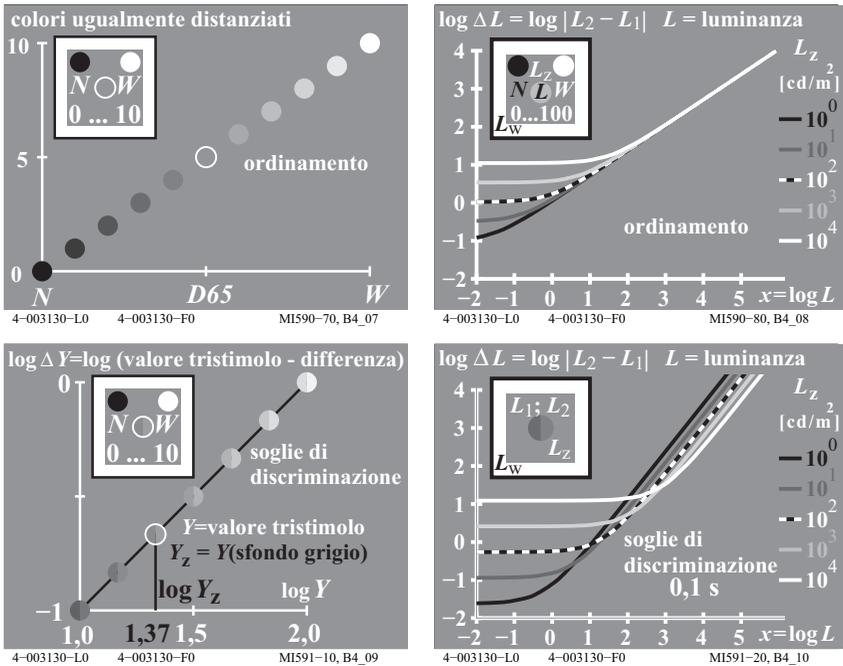


Fig. 57: Scala di luminanza e soglie di discriminazione della chiarezza della serie N - Z - W

La Fig. 57 mostra nel principio gli esperimenti ed i risultati riguardanti la scala dei colori e le soglie di discriminazione del colore in funzione della luminanza. Invece della luminanza L si può anche utilizzare il valore tristimolo Y , che rappresenta la luminanza relativa ed è sempre normalizzata a 100 per il bianco. La formula

$$Y = 100 L / L_w$$

usa la luminanza L del campo centrale e la luminanza della zona circostante L_w (vi è una cornice esterna bianca nella condizione sperimentale, vedi Fig. 57)).

La Fig. 57 (in alto a sinistra) mostra la scala dei colori ugualmente spaziate (chiarezza) per una serie di luminanze nel campo centrale nelle due regioni N - $D65$ e $D65$ - W .

La Fig. 57 (in alto a destra) mostra le differenze misurate di luminanza del campo centrale ΔL in funzione della luminanza del campo centrale. Per entrambi gli assi è usata la scala logaritmica. La luminanza della zona circostante è data come parametro. La curva nero-bianco è valida per la luminanza

del campo circostante $L_z = 100 \text{ cd/m}^2$ del grigio circostante z . La luminanza $L_z = 100 \text{ cd/m}^2$ corrisponde ad un illuminamento medio di 1500 lux ($= 5 \cdot \pi \cdot 100 \text{ lux}$). Il fattore cinque è utilizzato per un grigio medio con fattore di riflessione pari a 0,2.

La Fig. 57 (*in basso a sinistra*) mostra i risultati delle soglie di discriminazione del colore per la serie dei grigi. Per il campo centrale e solo per una parte della scala dei grigi, la differenza del valore tristimolo ΔY (proporzionale a ΔL) è funzione del valore tristimolo Y . La soglia ΔY è costante e pari all'1% del valore tristimolo Y del campo centrale. La pendenza costante prossima al valore 1 (o 0,9) è basata sulla legge di *Weber-Fechner* $\Delta Y/Y = \text{costante}$ o $\Delta L/L = \text{costante}$.

La Fig. 57 (*in basso a destra*) mostra inoltre i risultati per colori molto scuri e molto chiari per un intervallo di luminanza di sei unità logaritmiche (in Fig. 57 (*in basso a sinistra*) è mostrata una sola unità). Il parametro luminanza del campo circostante descrive in particolare l'ampia variazione della soglia di discriminazione del nero al variare della luminanza del campo circostante. Per basse luminanze del campo centrale L , si ottiene una soglia costante di discriminazione del nero ΔL_s (s =soglia). Le differenze di luminanza minori di ΔL_s non sono percettibili.

Un confronto della Fig. 56 a pagina 62 (a destra in alto ed in basso) mostra che le differenze di luminanza ΔL_{scala} per serie di grigi equispaziati e ΔL_{soglie} per le soglie di discriminazione di luminanza non sono proporzionali lungo le stesse scale di grigi. Le differenti pendenze (circa 0,9 e 0,45) stanno alla base di questo assunto. Queste differenze lungo la scala dei grigi possono essere spiegate mediante due processi visivi nella direzione bianco-nero, vedi *K. Richter* (1996).

Sempre in Fig. 56 a pagina 62 per colori di uguale luminanza lungo la serie dei colori *T - D65 - P* sono necessarie due differenti pendenze per le differenze cromatiche Δa_{scala} per le scale e Δa_{soglia} per le soglie.

A tutt'oggi manca un modello completo di visione a colori in accordo con i risultati degli esperimenti sia sulle scale che sulle soglie di discriminazione e mancano anche i raccordi tra i differenti modelli.

19 Colori elementari e codifica informatica del colore

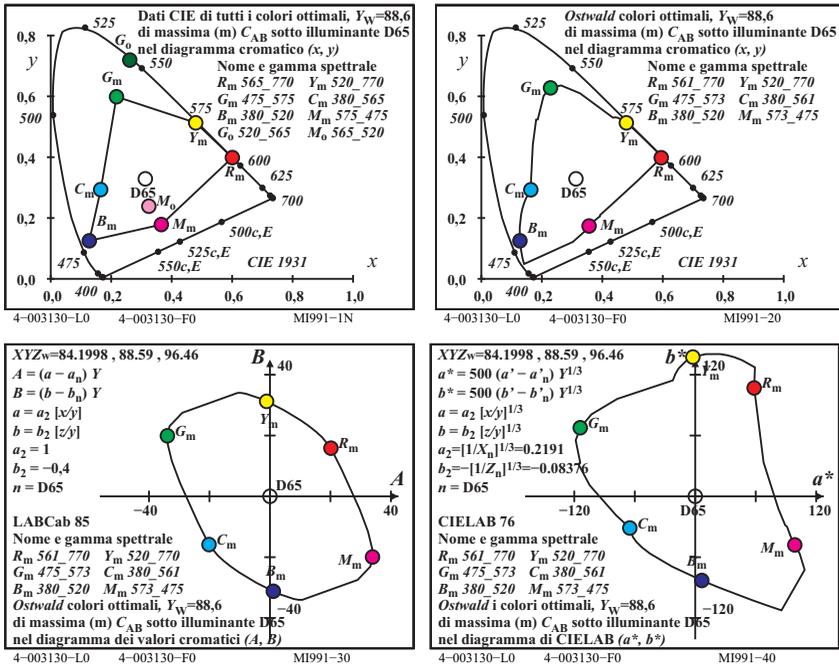


Fig. 58: Tre colori complementari e tutti i colori ottimali di massima croma

La Fig. 58 mostra tre coppie di colori ottimali R_m-C_m , Y_m-B_m e G_m-M_m . I due colori di ciascuna coppia sono complementari, consentono di ottenere il bianco per mescolamento e sono chiamati dicromatici. I valori cromatici A e B definiti in Tabella 2 a pagina 36 sono mostrati in Fig. 58 (in basso a sinistra). Il valore cromatico Cab è uguale per ciascuna coppia di colori ottimali dicromatici

Per tutti i colori ottimali, invece di un triangolo nel diagramma cromatico standard (x, y) adesso si ottiene approssimativamente un'ellisse nel diagramma dei valori cromatici (A, B).

L'antisimmetria nel diagramma dei valori cromatici (A, B) è un requisito per un'efficiente descrizione dell'uguale soglia di discriminazione per i colori complementari ottimali. Per questo risultato sperimentale ottenuto da *Holtmark e Valberg* (1969), si confronti la Fig. 55 a pagina 61.

I colori dicromatici ottimali, per esempio R_m e C_m , includono per il rosso ed il Ciano-Blu gli intervalli complementari di lunghezze d'onda da 565nm a 770nm

e da 380nm a 565nm, si confronti la descrizione in Fig. 58 (*in alto a sinistra*). Per esempio, i limiti di lunghezza d'onda $\lambda_1=380\text{nm}$ e $\lambda_2=565\text{nm}$ sono approssimativamente allineati con D65.

Il colore ciano-blu C_m di intervallo spettrale da 380nm a 565nm ("colour half") ha il massimo colore cromatico C_{ab} . Per esempio un addizionale rosso monocromatico con $\lambda_r=600\text{nm}$ si mescola per formare un ciano-blu più biancastro, ed il valore cromatico C_{ab} decresce.

La Fig. 58 (*in alto a sinistra*) mostra inoltre due colori ottimali G_o e M_o , che producono un triangolo nel diagramma cromatico standard (x, y) insieme con $RYCB_m$. L'intervallo di lunghezze d'onda da 495nm a 565nm del colore G_o è più piccolo dell'intervallo da 475nm a 575nm (con limiti di lunghezze d'onda compensative) del colore G_m . Il verde G_o è quindi più scuro di G_m . Nel diagramma cromatico standard (x, y) la differenza cromatica tra G_o e D65 è maggiore di quella tra G_m e D65. Tuttavia, per il valore cromatico C_{ab} si ha una disuguaglianza opposta ed è valido che $C_{ab,G_o} < C_{ab,G_m}$.

L'area individuata dai colori di base e dalle loro miscele in ogni diagramma cromatico è quindi *non* appropriata per specificare il gamut dei colori. Tuttavia, il gamut è spesso specificato mediante l'area dei colori sul diagramma cromatico in molte norme IEC ed ISO. Una specifica più appropriata usa il valore cromatico o l'area di croma

I risultati sperimentali di *Miescher e Weisenhorn* (1961) con colori ottimali su sfondo bianco hanno mostrato che i colori ottimali dicromatici che hanno il massimo valore cromatico, hanno contemporaneamente la massima croma. Tuttavia, in molti casi, l'ampiezza di banda era leggermente più piccola rispetto al "colore half" con limiti di lunghezze d'onda compensative.

La Fig. 58 (*in alto a destra*) mostra tutti i colori dicromatici ottimali come una curva continua sul diagramma cromatico standard (x, y) , sul diagramma dei valori cromatici (A, B) (*in basso a sinistra*) e sul diagramma di CIELAB (a^*, b^*) (*in basso a destra*). Questi colori complementari ottimali hanno tutti il massimo valore cromatico C_{ab} (*in basso a sinistra*). Le lunghezze d'onda limite calcolate (*in alto a destra*) per D65 differiscono leggermente rispetto all'approssimazione per i tre illuminanti CIE D65, E e C (*in alto a sinistra*).

Il sistema dei colori CIELAB è principalmente basato sulla scala dei colori del sistema di ordinamento dei colori di *Munsell* e richiede coordinate *non lineari*.

Per esempio i modelli visivi di *Guth* (1972), per la descrizione delle soglie di discriminazione del colore, richiedono solo coordinate *lineari*.

Tutti i valori ottimali dicromatici hanno lo stesso valore cromatico C_{ab} . Nello spazio CIELAB per i valori ottimali dicromatici la croma nella regione rosso-

giallo è circa doppia rispetto a quella nella regione complementare ciano-blu. Pertanto la definizione CIELAB di croma C^*_{ab} può essere errata di un fattore pari a 2.

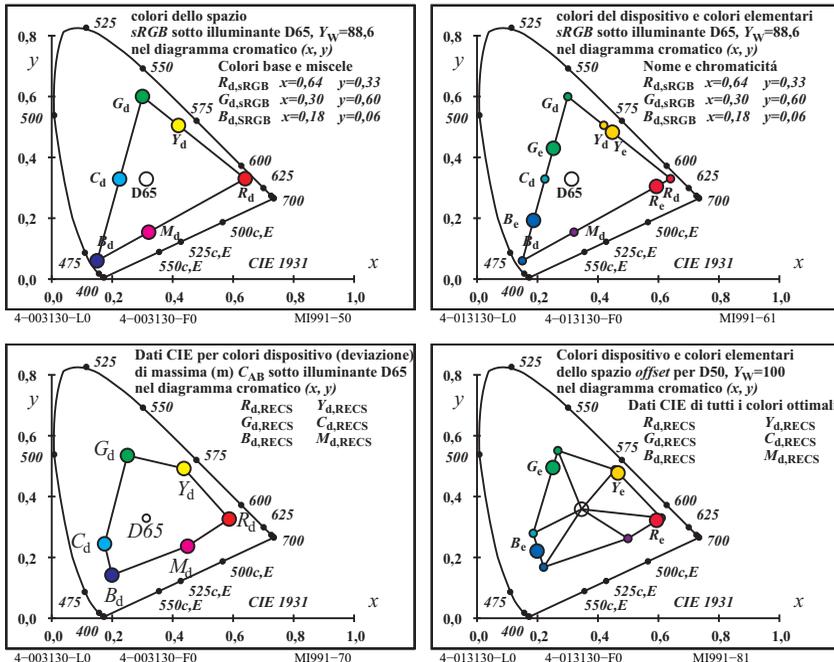


Fig. 59: Colori del dispositivo e colori elementari degli spazi colore sRGB e RECS (Offset)

La Fig. 59 mostra i colori del dispositivo di un display standard sRGB e del "sistema dei colori relativi elementari" (Relative Elementary Colour System) RECS (per la stampa offset standard) (in alto ed in basso a sinistra). Le tinte elementari indipendenti dal dispositivo $RYGB_c$ secondo il report CIE R1-47 con angoli di tinta CIELAB $h_{ab} = 26, 92, 162$ e 272 gradi (indicati sul diagramma con cerchi più grandi) possono essere ottenute per mescolamento da sei colori del dispositivo $RYGCBM_d$ (d=dispositivo) (in alto ed in basso a destra).

Nel sistema dei colori relativi elementari RECS con circa 2000 colori, è stampato un cerchio delle tinte a 16 passi con le quattro tinte elementari $RYGB_c$ usate come tinte di ancoraggio, si consulti RECS. In ciascuno dei quattro settori vi sono le tinte intermedie. Per le 16 tinte ci sono serie di colori da 5 passi e 16 passi nella stampa offset standard su carta offset standard.

20 Output dei Colori elementari indipendente dal dispositivo per la riproduzione del colore

Per i colori elementari il report CIE R1-47 definisce gli angoli di tinta $h_{ab,e} = 26, 92, 162$ e 272 che consentono un output di tinta indipendente dal dispositivo su ogni dispositivo per la riproduzione del colore. La Fig. 59 a pagina 69 mostra la soluzione per lo spazio colore *sRGB* (display standard) e lo spazio colore *RECS* (offset standard). Per i dati visivi $rgb^*_e (1\ 0\ 0)_e (1\ 1\ 0)_e, (0\ 1\ 0)_e, (0\ 0\ 1)_e$, sono prodotti i colori del dispositivo di massima croma $C^*_{ab,d}$ con angoli di tinta $h_{ab,e} = 26, 92, 162$ e 272 . Ciò conduce a specifici valori di chiarezza L^*_d e croma $C^*_{ab,d}$.

Come passo successivo, ed in aggiunta alla definizione degli angoli delle tinte elementari CIELAB, è appropriata la definizione di una speciale chiarezza L^*_e e di una speciale croma $C^*_{ab,e}$ per i colori elementari. Una prima definizione può essere inserita nel 2013 nel report CIE R1-57 "Border between blackish and luminous colours" "Confine tra colori nerastri e luminosi" (*Reporter T. Seim, Norvegia*).

Per l'illuminante D65 i colori ottimali dicromatici (pedice o ed e) con il massimo valore cromatico $C_{ab,oe}$, e gli angoli delle tinte elementari CIELAB $h_{ab,oe} = 26, 92, 162$ e 272 possono essere collocate al confine "né nerastro né luminoso". Questi colori hanno i seguenti (indipendenti dal dispositivo) valori di chiarezza L^*_{oe} e di croma $C^*_{ab,oe}$.

colour	rgb^*_{oe}	ncc^*_{oe}	L^*_{oe}	$C^*_{ab,oe}$	$h_{ab,oe}$	x_{oe}	y_{oe}	Y_{oe}
R_e	1 0 0	0 1 0,00	75	65	26	0,57	0,33	48
Y_e	1 1 0	0 1 0,25	89	136	92	0,47	0,51	73
G_e	0 1 0	0, 1 0,50	79	120	162	0,19	0,52	55
B_e	0 0 1	0 1 0,75	60	69	272	0,17	0,19	25

Non è noto se i qui calcolati colori ottimali sono collocato al confine visivo di "né nerastro né luminoso". La pubblicazione CIE 1-57 mostra che i qui calcolati colori ottimali sono localizzati approssimativamente al confine visivo di "né nerastro né luminoso". Il colore rosso fluorescente stampato in Fig. 28 a pagina 28 e che appare luminoso è al di sopra di questo confine.

Con display e software apposito si possono forse ottenere i dati di colore naturale LCh^*_{oe} di CIELAB per luminanza di un display standard di 142cd/m^2 . Questa è la luminanza richiesta in presenza di illuminamento standard di 500 lux negli uffici, con carta bianca per stampanti con fattore di riflessione standard $R(\lambda) = 0,886$.

Per colori di superficie (in assenza di fluorescenza e retroriflessione) sembra impossibile ottenere i valori CIELAB per il verde G_c e blu B_c . L'andamento dei fattori spettrali di riflessione di questi colori di superficie è molto differente rispetto a quella dei desiderati colori ottimali, si confronti Fig. 26 a pagina 26.

21 Riproduzione affine del colore

Nella tecnologia delle immagini a colori, il gamut dei colori in ciascun piano caratterizzato da una tinta è approssimativamente delimitato dal triangolo bianco - colore più cromatico - nero. Sia nel caso di display che nella stampa si determina approssimativamente una miscela additiva sui lati del triangolo. Le soluzioni per la riproduzione sia dei lati che dell'interno del triangolo sono estremamente importanti.

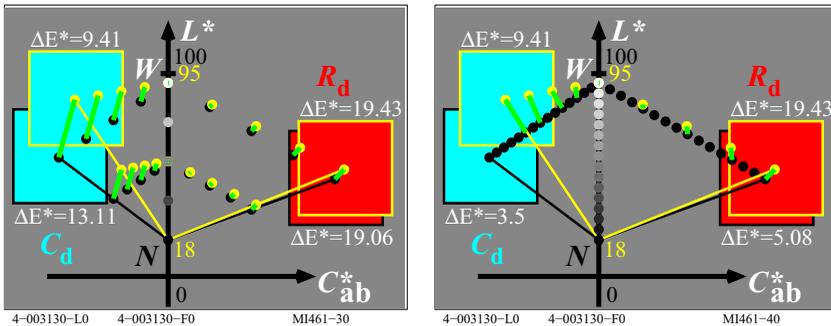


Fig. 60: Riproduzione del colore affine e minima differenza di colore ΔE^*_{ab}

La Fig. 60 mostra la riproduzione affine del colore (*a sinistra*) ed una riproduzione con la più piccola differenza di colore ΔE^*_{ab} (*a destra*) tra i colori ottenuti con un monitor (*cerchi gialli*) ed i colori ottenuti mediante stampa standard (*cerchi neri*).

La Fig. 60 (*a sinistra*) mostra che per la tinta blu-ciano il 20% dei colori del monitor ed il 30% dei colori della stampa sono all'esterno dell'area di riproduzione comune. La riproduzione del colore affine usa l'intero gamut dei colori di entrambi i dispositivi.

La Fig. 60 (*a destra*) mostra l'attuale soluzione della maggior parte dei metodi di gestione del colore. La finalità è quella di ottenere la più piccola differenza cromatica ΔE^*_{ab} . In questo caso non viene utilizzato il 30% dell'area di stampa del blu-ciano. Lo standard di gestione del colore ICC consente all'azienda di adottare specifiche soluzioni e quindi può essere prodotta un'ampia varietà di output, per esempio attraverso tavole di campioni di colori in accordo con gli

standard DIN 33872 da 1 a 6, vedi:

<http://www.ps.bam.de/33872E>

Per questioni riguardanti la compilazione di schede DIN per l'output, vedere (*vedere anche LE96 e simili*)

<http://farbe.li.tu-berlin.de/LE95>

Ogni utente può chiedere soluzioni al produttore del dispositivo, secondo lo standard DIN 33872 da 1 a 6 o altri standard internazionali, ad esempio la norma ISO/IEC 15775.

Questo testo ha dimostrato che sono possibili sia la riproduzione di una *tinta indipendente dal dispositivo*, sia la riproduzione *affine*. Con un possibile ulteriore passo la riproduzione del *colore indipendente dal dispositivo* può basarsi sui dati CIE di Fig. 58 a pagina 67 per colori ottimali di massimo valore cromatico e su quanto riportato nel paragrafo 21.

22 Riferimenti

Normative e pubblicazioni simili

CIE 13.3:1995, Method of measuring and specifying colour rendering of light sources.

CIE 15: 2004, Colorimetry, 3rd edition.

CIE 170-1:2006, Fundamental chromaticity diagram with physiological axes

CIE R1-47:2009, Hue angles of elementary colours, vedi <http://div1.cie.co.at/>

ISO 11664-4:2008(E)/CIE S 014-4/E:2007: Joint ISO/CIE Standard: Colorimetry — Part 4: CIE 1976 $L^*a^*b^*$ Colour Space

DIN 33872-1 to -6 (2010), Information technology - Office machines - Method of specifying relative colour reproduction with YES/NO criteria, vedi

<http://www.ps.bam.de/33872E>

ISO/IEC TR 24705 (2005) Information technology - Office machines - Method of specifying relative colour reproduction with YES/NO criteria, vedi

<http://www.ps.bam.de/24705TE>

Pubblicazioni de parte di autori

Evans, R. M. and S. B. Swenholt (1967), Chromatic Strength of Colors; Dominant Wavelength and Purity, J. opt. Soc. Amer. 57, S. 1319-1324

Holtzmark, T. and Valberg, A. (1969), Colour discrimination and hue, Nature, Volume 224, October 25, S. 366-367.

Miescher, K. (1948), Neuermittlung der Urfarben und deren Bedeutung für die Farbordnung, Helv. Physiol. Acta 6, C12-C13

Miescher, K., Richter, K. und Valberg, A. (1982), Farbe und Farbsehen, Beschreibung von Experimenten fuer die Farbenlehre, Farbe + Design, no. 23/24

Newhall, S.M., D. Nickerson and D.B. Judd (1943), Final report of the O.S.A. subcommittee on the spacing of the Munsell colors. J. opt. Soc. Amer. 33, p.

385-418

Richter, K. (1979), BAM-Forschungsbericht Nr. 61, Beschreibung von Problemen der höheren Farbmimetrie mit Hilfe des Gegenfarbsystems, 99 Seiten, ISSN 0172-7613

Richter, K. (1980), Cube root colour spaces and chromatic adaptation, *Color Research and Application* 5, no. 1, pages 25-43

Richter, K. (1985), BAM-Forschungsbericht Nr. 115, Farbmimetrie-merkmal Elementarabfarbtöne und Buntheitabstände als Funktion von Farbart und Leuchtdichte von In- und Umfeld, 118 Seiten, ISBN 3-88314-420-7

Richter, K. (1996), Computergrafik und Farbmimetrie - Farbsysteme, *PostScript* und geräteunabhängige CIE-Farben, VDE-Verlag, 288 pages with about 500 colour figures and additional references, vedi

<http://farbe.li.tu-berlin.de/buche.html>

Richter, K. (2011) ISO-CIE trend for the description of colour threshold data by new coordinates based on the device independent elementary colour coordinates of the report CIE R1-47:2009, see

http://farbe.li.tu-berlin.de/CIE_ISO_10.PDF

Valberg, A. (2005), *Light, Vision, Color*, Wiley, ISBN 0470 849037, 462 pages.

23 Ringraziamenti

La Fondazione Karl Miescher per il sostegno alla scienza del colore ha sostenuto il costo della stampa a colori di questa opera “*Colore e visione a colori*” in tedesco e in inglese, e della pubblicazione in internet delle versioni in altre lingue.

Dal 2000 i professori *H. Kaase* e *S. Voelker* hanno continuamente sostenuto le mostre “*Farbe und Farbsehen*” al “Das Sekretariat des Fachgebiets Lichttechnik der TU” di Berlino.

Note sulla storia della mostra “Colore e visione a colori”

Negli anni 1963-1964 *K. Richter*, sotto la guida del *Dr. Karl Miescher*, ha realizzato la mostra “*Colore e visione a colori*” presso il Laboratorio di Colorimetria dell'Istituto di Fisica dell'Università di Basilea / Svizzera. La mostra sul colore è stata esposta per sei mesi all'*Esposizione Nazionale Svizzera “Expo 64”* a Losanna / CH. Dopo l'*Expo 64*, la mostra sul colore è stata esposta per 30 anni alla scuola superiore *Mathematisch Naturwissenschaftliches-Gymnasium* di Basilea.

Nel 2000 la mostra è stata ricostruita col sostegno finanziario della *Fondazione Karl Miescher* - presso l'Università di Tecnologia di Berlino. A Berlino *K. Richter* ha continuamente ampliato la mostra con i più recenti sviluppi nel settore dell'informatica del colore. Dal 2000 molti studenti e persone interessate al colore hanno visitato la mostra.

Note sulle edizioni precedenti e sull'edizione 2012

Nel 1964 la prima edizione in occasione dell'Esposizione Nazionale Svizzera Expo 64 a Losanna, in tedesco, francese e italiano, fu redatta senza figure a colori.

La terza edizione del 1982, dopo la seconda edizione del 1978, fu con 50 figure a colori fu pubblicata a colori in tedesco sulla rivista "Farbe + Design". Inoltre, una edizione speciale fu stampata in tedesco e in inglese. Coautore di questa edizione è stato il *Prof. Dr. Arne Valberg*, Trondheim / Norvegia.

La quarta edizione del 2012 uscì con 135 figure a colori, le quali mostrano anche i nuovi sviluppi nel settore dell'informatica del colore. Ci sono versioni per offset, per monitor, per stampanti e versioni internet nelle lingue tedesco e inglese. Si desiderano produrre ulteriori versioni Internet nelle lingue francese, spagnolo e italiano.

Per il download delle ultime edizioni internet e per ordinare le versioni a stampa offset consultare il sito: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/color> o <http://farbe.li.tu-berlin.de/color>

Scopi e applicazioni della edizione speciale a stampa del 2012

Le stampe speciali servono a fini didattici e come introduzione nel campo della scienza del colore. Nell'ambito del colore, campi di applicazione differenti sono collegati senza conoscenze di base sul colore, ma con qualche conoscenza tecnica, ad esempio

- Basi della visione e proprietà della visione a colori
- Misura del colore e sistemi di misura del colore
- *Sistema relativo dei colori elementari RECS* nell'informatica del colore.

Per ulteriori studi si consiglia un libro a colori (solo in tedesco) dal titolo "*Grafica al computer e colorimetria - Sistemi cromatici, PostScript, e colori CIE indipendenti dal dispositivo di produzione del colore*". Questo libro è stato edito dalla casa editrice VDE-Verlag nel 1996 e contiene la descrizione di circa 500 figure a colori in tedesco e inglese. Le figure a colori possono essere utilizzate separatamente per scopi didattici. I file *PDF* di questo libro e le figure a colori sono scaricabili gratuitamente, vedere

<http://farbe.li.tu-berlin.de/buche.html> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik/buche.html>

La segreteria del dipartimento di Illuminotecnica presso l'Università di Tecnologia di Berlino può organizzare visite su richiesta della mostra "Colore e visione a colori", vedere <http://www.li.tu-berlin.de>

Copyright della quarta edizione di Colore e visione a colori
Prof. Dr. Klaus Richter Walterhoeferstrasse 44, D-14165 Berlin, Germany
Internet: <http://130.149.60.45/~farbmetrik> o <http://farbe.li.tu-berlin.de>
email: klaus.richter@me.com

Scopi ed applicazioni della versione aggiornata al 2016 in differenti lingue

Le traduzioni dal tedesco o dall'inglese sono state effettuate da noti esperti in colorimetria:

Prof. Dr. Manuel Melgosa (Università di Granada, Spagna)

email: mmelgosa@ugr.es.

ringrazio Manuel per la traduzione dall'inglese allo spagnolo nel 2015.

Arne Nicolaison di Oslo/Norway, già mio collaboratore a Berlino

email: initam@hotmail.com

ringrazio Arne per la traduzione dal tedesco al norvegese nel 2015.

Prof. Dr. Claudio Oleari

email: claudio.oleari@fis.unipr.it

e *Prof. Dr. Laura Bellia* (Università di Napoli, Italia)

email: bellia@unina.it

ringrazio Claudio che ha tradotto una prima parte nel 2013 e Laura che ha tradotto la maggior parte nel 2015 dall'inglese all'italiano.

Sono apprezzate e sostenute proposte di richiesta per ulteriori traduzioni, per esempio nelle lingue russa ed asiatiche.

24 Tavole ed osservazioni tecniche

Nomi delle tavole con 7 caratteri,

Esempi: PE40S0S, PG7011S, PG7311L, PF4611P, PG7911P

Il primo carattere è riferito ad una cartella di file (qui indicata con *P*). Il secondo indica la lingua (E=Inglese (English), G=Tedesco (German), F=Francese, S=Spagnolo, I=Italiano).

I successivi due numeri si riferiscono all'intervallo da *00* a *99*. Se l'ultimo numero è *0* produce l'output su un display *sRGB*. Se l'ultima cifra è *3* o *6* è indicato l'output in stampa offset su carta *L* con le due suddivisioni *CMYK* e *CMY0*. L'ultima cifra pari a *9* definisce un output di stampante su carta *A* (=APCO) con la suddivisione *CMYK*.

I successivi due caratteri *S0* indicano l'inizio dell'output (*S0*) con dati *rgb* e *cmk* mescolati nel file. In alternativa i due numeri *00* o *01* definiscono per l'output un trasferimento *rgb* di colori del dispositivo (*00*) o di colori elementari (*01*). Oppure, ancora, i due numeri *10* e *11* definiscono una linearizzazione *rgb-3D* per l'output di colori del dispositivo (*10*) o colori elementari (*11*).

L'ultima lettera *S*, *L* o *P* definisce l'output di un display *sRGB* (*S*), o in stampa offset su carta *L* (*L*), o di stampante su carta *A* (*P*).

Tavola in prima di copertina

PE7011S, PE7311L, PE7911P:

Cerchio delle tinte a 16 passi ed a 8 passi con i colori elementari in accordo con il report CIE R1-47 e DIN 33872- da 1 a 6.

Tavole in Appendice

1. Output S senza suddivisione e L e P con la suddivisione CMYK

PE1011S, PE1311L, PE1911P:

Tavola 1 di campioni di colore per la resa del colore con 54 colori del sistema dei colori RECS.

PE40S0S, PE4000S, PE4001S, PE4010S, PE4011S

PE43S0L, PE4300L, PE4301L, PE4310L, PE4311L

PE49S0P, PE4900P, PE4901P, PE4910P, PE4911P:

1080 colori per la misurazione e per la gestione dell' output.

TE7011S, TE7311L, TE7911P:

Tavola dei colori acromatici secondo le norme ISO/IEC 15775, ISO/IEC TR 24705 e ISO 9241-306, Appendice D

TE8011S, TE8311S, TE8911S:

Tavola dei colori cromatici con una immagine ISO/IEC secondo le norme ISO/IEC 15775, ISO/IEC TR 24705 e ISO 9241-306, Appendice D.

2. Output L e P con la suddivisione CMY0

PE46S0L, PE4600L, PE4601L, PE4610L, PE4611L

PE46S0P, PE4600P, PE4601P, PE4610P, PE4611P:

1080 colori per la misurazione e per la gestione dell' output.

3. Output L e P con le due suddivisioni CMYK e CMY0

PE2311L, PE2311P:

Tavola 2 di campioni di colore per la resa del colore con colori metameric per l'illuminante D65 e per l'illuminante D50.

PE3311L, PE3311P:

Tavola 3 di campioni di colore per la resa del colore con colori metameric per l'illuminante A e per l'illuminante P4000.

Tavole sulla terza di copertina

PE91S0S, PE91S0L, PE91S0P:

Tabella con i dati CIE di un cerchio dei colori a 48 passi.

PE9011S, PE9311L, PE9911L:

Serie di colori di 5 e 16 passi per il colore rosso elementare R_c secondo la norma DIN 33872-4.

Note tecniche riguardo alla tabella in terza di copertina

Per un cerchio delle tinte a 48 passi, la tabella mostra nella colonna 2 i dati di input rgb e i dati di misura del colore CIELAB $LabCh^*$. Nella colonna 3 i dati sono interpolati secondo numeri pari di angoli di tinta hab CIELAB ($0 < i = h_{ab} < 360$). Il sistema rgb_s ($s = \text{standard}$) mette in relazione i dati rgb_s ($1\ 0\ 0$)_s, ($1\ 1\ 0$)_s, ($0\ 1\ 0$)_s, ($0\ 1\ 1$)_s, ($0\ 0\ 1$)_s e ($1\ 0\ 1$)_s con gli angoli di tinta 30, 90, 150, 210, 270 e 330, espressi in gradi.

Similmente, in accordo con il report CIE R1-47 il sistema rgb_e ($e = \text{elementare}$) mette in relazione i dati rgb_e ($1\ 0\ 0$)_e, ($1\ 1\ 0$)_e, ($0\ 1\ 0$)_e, ($0\ 1\ 1$)_e, ($0\ 0\ 1$)_e e ($1\ 0\ 1$)_e con gli angoli di tinta 26, 92, 162, 217, 272 e 329, espressi in gradi.

Inoltre per esempio per il sistema $sRGB$ l' output del file

<http://farbe.li.tu-berlin.de/RE69/RE69L0NP.PDF>

produce i dati CIELAB in funzione dell'angolo di tinta i ($0 \leq i \leq 360$). Per ogni set di dati rgb (ad eccezione di $r=g=b$), vale la seguente relazione, in accordo con la norma DIN 33872-1:

$$i = 360 \operatorname{atan} \left\{ \frac{[r \sin(30) + g \sin(150) - b \sin(270)]}{[r \cos(30) + g \cos(150)]} \right\}$$

L'indice i consente di produrre tabelle con l'angolo i compreso tra 0 e 360 gradi, che contengono sia i dati CIELAB $LabCh^*$, che i correlati dati rgb per la riproduzione a colori mediante dispositivo o per il sistema di produzione del sistema di colori elementari.

Nelle applicazioni, i dati CIELAB dei colori che si vogliono ottenere sono calcolati per ogni angolo di tinta i a partire dai dati CIELAB $LabCh^*$ dei colori di massima croma C^*_{ab} , e di bianco W e nero N . Per produrre un dato colore, ai dati rgb_{dd} (del dispositivo per l'output del dispositivo) ed rgb_{de} (del dispositivo per output di colori elementari) si applica una linearizzazione 3-D nello spazio dei colori CIELAB.

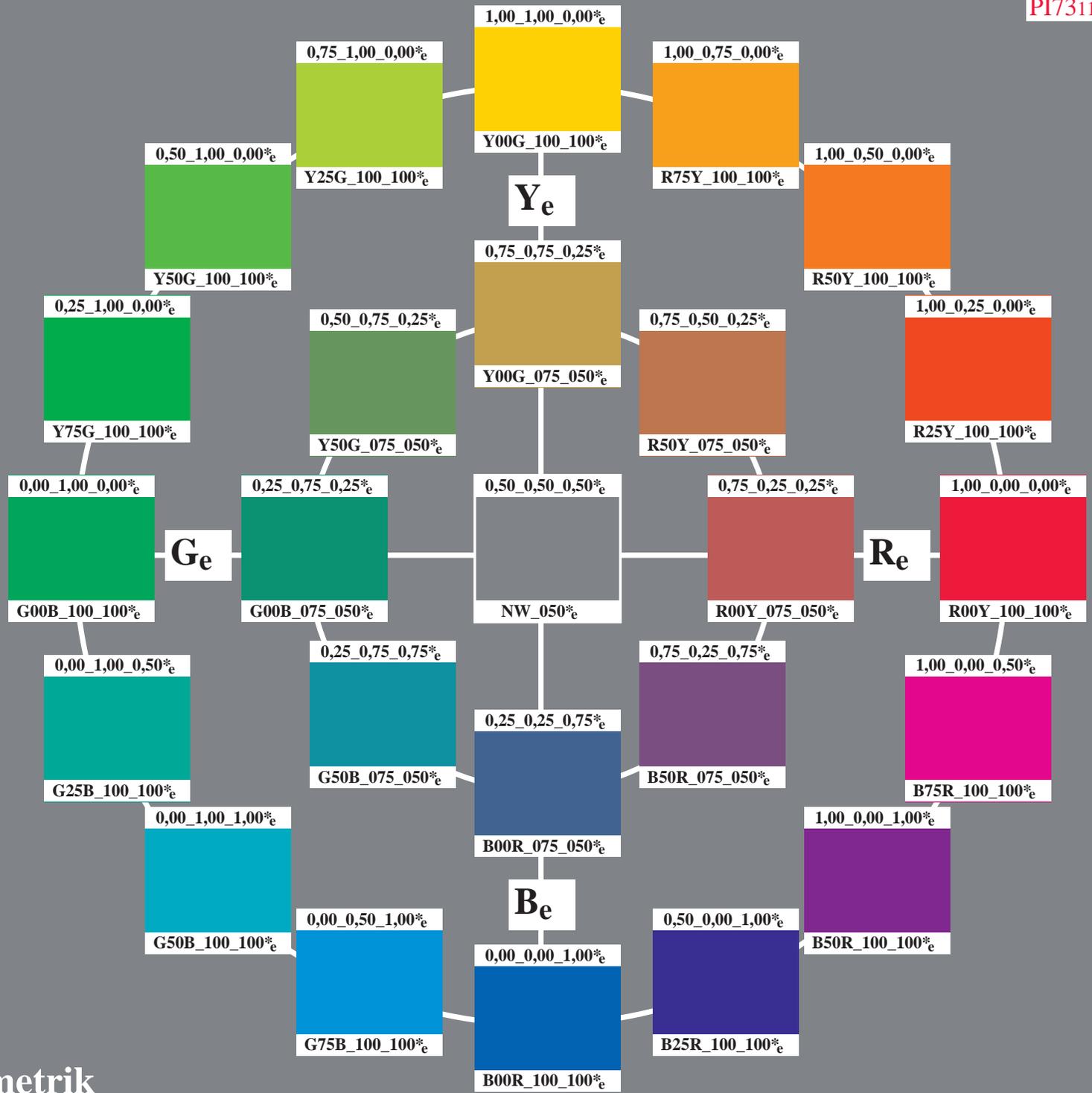
Per maggiori informazioni sulla linearizzazione dell'output su monitor, stampa offset e stampanti, si consulti il cosiddetto "report bianco" per una bozza di norma sulla linearizzazione dell'output:

<http://farbe.li.tu-berlin.de/outlin>

Il report CIE R8-09:2015 è un sommario esteso di questo report sulla linearizzazione dell'output e contiene molti esempi per le applicazioni.

Colore e Visione a Colori

Colori Elementari nella Tecnologia dell'Informazione



Test chart 1 for color rendering: 54 standard colours for D65; offset print (CMYK); rgb->rgb*de

Series:
maximum
m

maximum
m

whitish
w

central
z

blackish
n

grey
g



01: R00Y_100_100_e 02: R25Y_100_100_e 03: R50Y_100_100_e 04: R75Y_100_100_e 05: Y00G_100_100_e 06: Y25G_100_100_e 07: Y50G_100_100_e 08: Y75G_100_100_e 09=10: G00B_100_100_e



10: G00B_100_100_e 11: G25B_100_100_e 12: G50B_100_100_e 13: G75B_100_100_e 14: B00M_100_100_e 15: B25R_100_100_e 16: B50R_100_100_e 17: B75R_100_100_e 18=01: R00Y_100_100_e



19: R00Y_100_050_e 20: R50Y_100_050_e 21: Y00G_100_050_e 22: Y50G_100_050_e 23: G00B_100_050_e 24: G50B_100_050_e 25: B00R_100_050_e 26: B50R_100_050_e 27=19: R00Y_100_050_e



28: R00Y_075_050_e 29: R50Y_075_050_e 30: Y00G_075_050_e 31: Y50G_075_050_e 32: G00B_075_050_e 33: G50B_075_050_e 34: B00R_075_050_e 35: B50R_075_050_e 36=28: R00Y_075_050_e



37: R00Y_050_050_e 38: R50Y_050_050_e 39: Y00G_050_050_e 40: Y50G_050_050_e 41: G00B_050_050_e 42: G50B_050_050_e 43: B00R_050_050_e 44: B50R_050_050_e 45=37: R00Y_050_050_e



46: NW_000_e 47: NW_013_e 48: NW_025_e 49: NW_038_e 50: NW_050_e 51: NW_063_e 52: NW_075_e 53: NW_088_e 54: NW_100_e

vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI13/PI13.HTM>
Informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

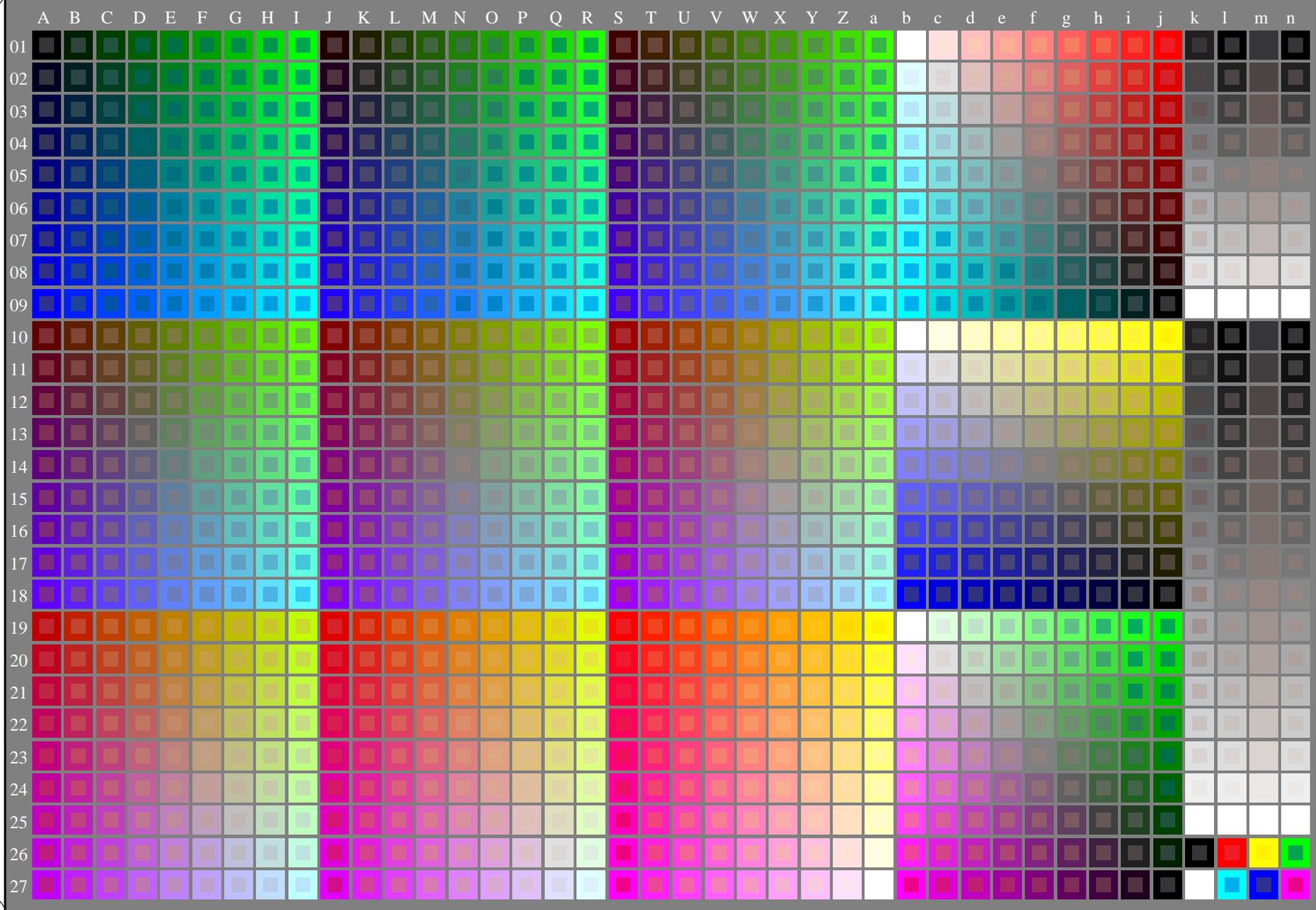
TUB iscrizione: 20130201-PI13/PI13L0FP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmyk* (CMYK)
TUB materiale: code=rh4ta



vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI43/PI43.HTM>
Informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI43/PI43L0NP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset

TUB materiale: code=rh4ta



4-003030-L0

PI430-7N

Test chart G with 1080 colours; 9 or 16 step colour scales; data in column (A-n): *rgb* (A_j+k26_n27), 000n (k), w (l), nnn0 (m), www (n) + *cmy0*(all)

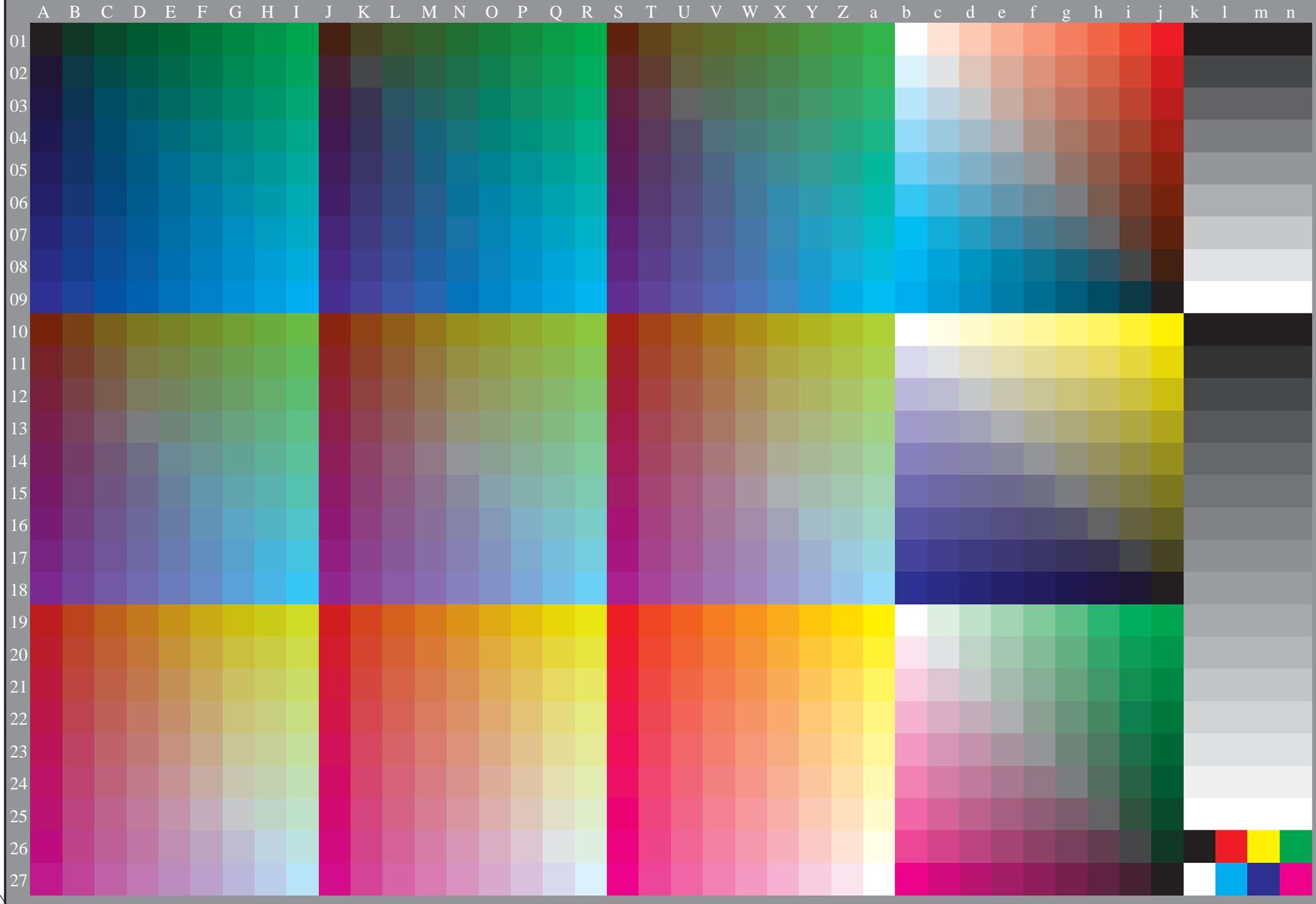
grafico TUB-PI43; grafico per il test
1080 colori di norma; tecnologia di immagine

immettere: *rgb/cmyk* -> *rgb/cmyk*
uscita: nessun cambiamento

vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI43/PI43.HTM>
informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI43/PI43L0NP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmyk6 (CMYK)

TUB materiale: code=rhata



4-003130-L0

PI430-70

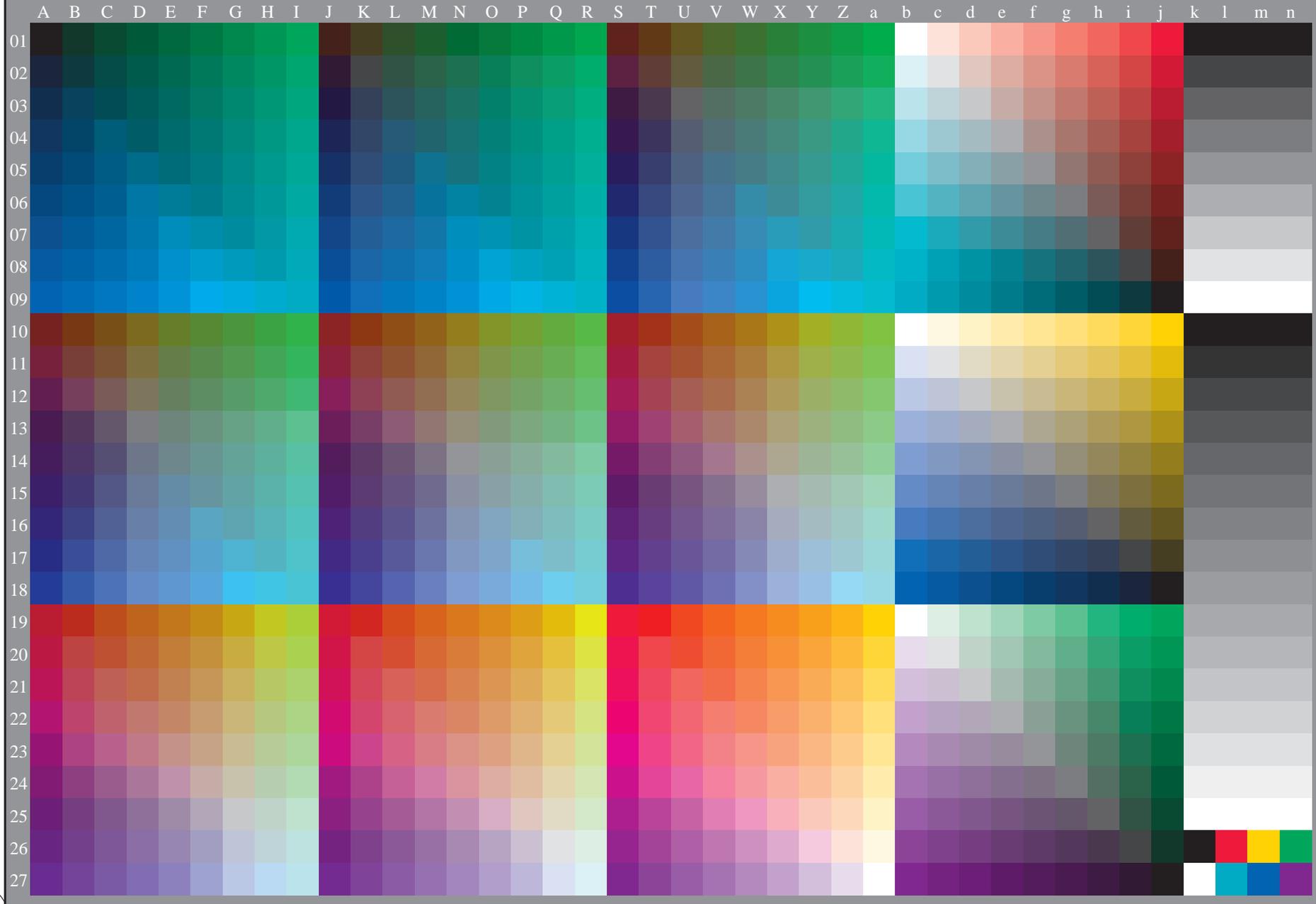
grafico TUB-PI43; grafico per il test
1080 colori di norma, 3D=0, de=0, cmyk

immettere: *rgb/cmyk* -> *rgb_d*
uscita: trasferire a *cmyk_d*

4-003130-F0

vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI43/PI43.HTM>
Informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI43/PI43L0NP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmykn6 (CMYK)
TUB materiale: code=rh4ta



4-013130-L0

PI430-71

grafico TUB-PI43; grafico per il test
1080 colori di norma, 3D=0, de=1, cmyk

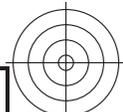
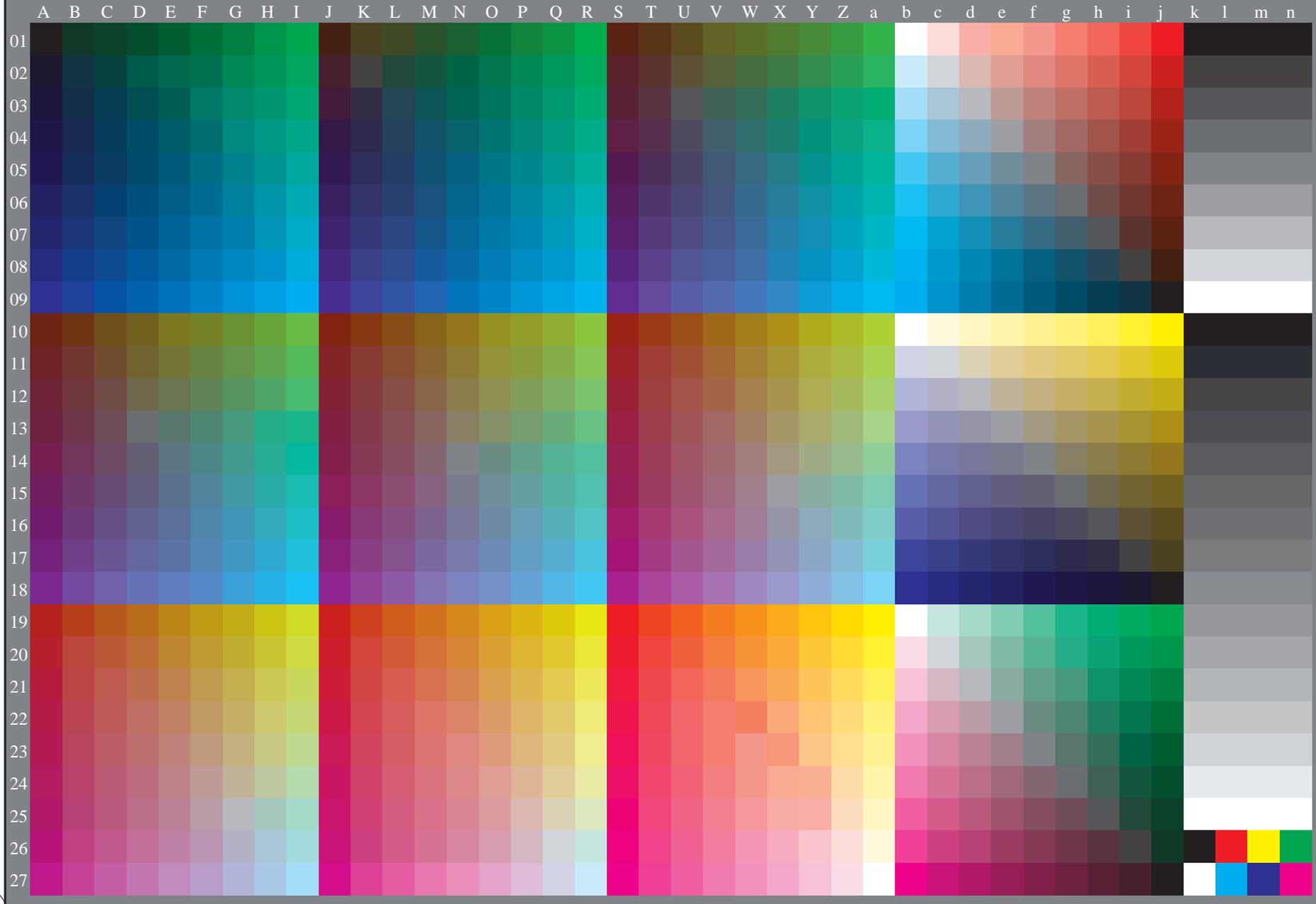
immettere: $rgb/cmyk \rightarrow rgb_e$
uscita: trasferire a $cmyk_e$

4-013130-F0



vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI43/PI43.HTM>
Informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI43/PI43L0FP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmyk* (CMYK)
TUB materiale: code=rh4ta



4-103130-L0

PI430-72

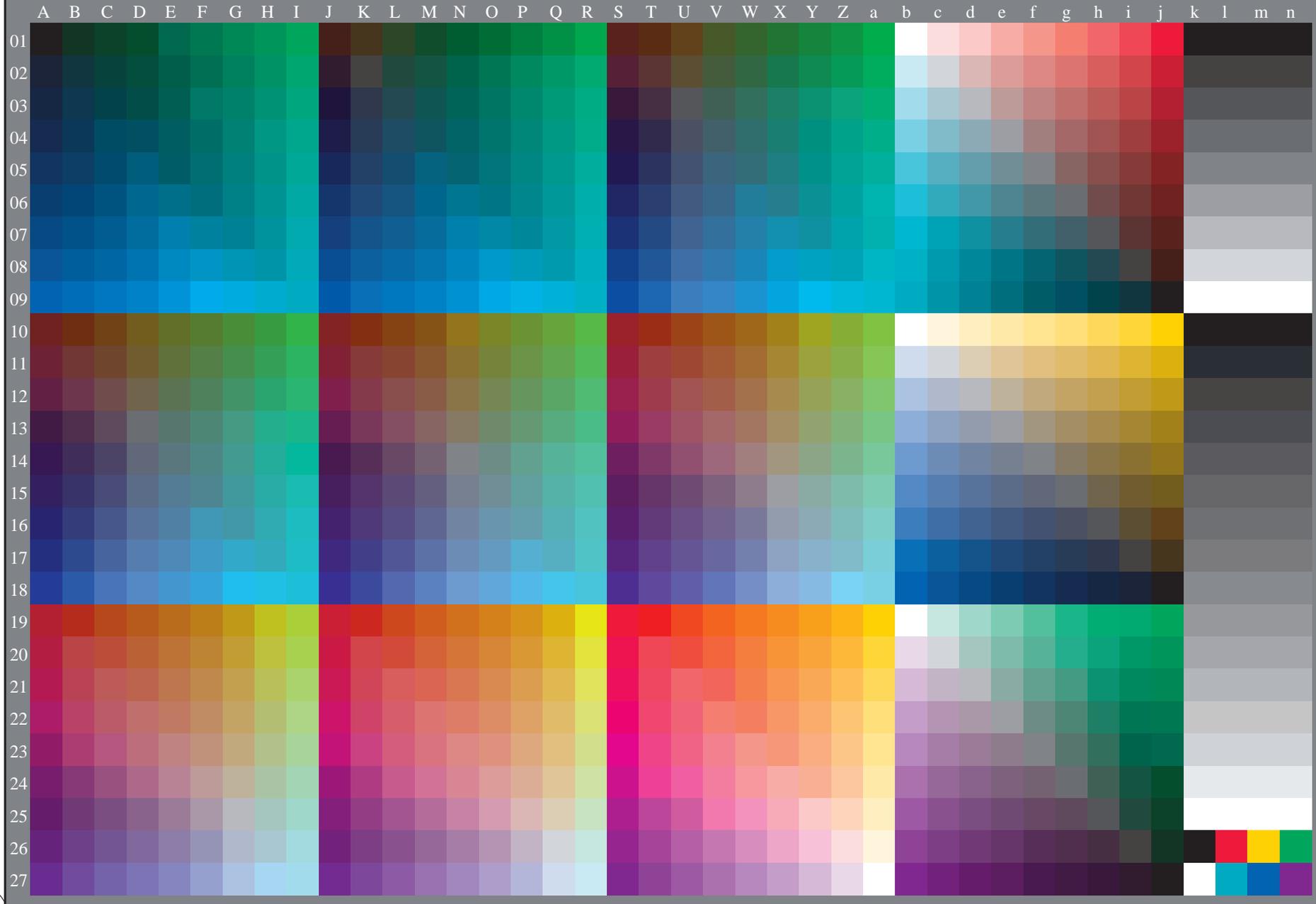
grafico TUB-PI43; grafico per il test
1080 colori di norma, 3D=1, de=0, cmyk*

immettere: *rgb/cmyk* -> *rgb_{dd}*
uscita: 3D-linearizzazione a *cmyk*_{dd}*

4-103130-F0

vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI43/PI43.HTM>
Informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI43/PI43L0FP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmyk* (CMYK)
TUB materiale: code=rh4ta



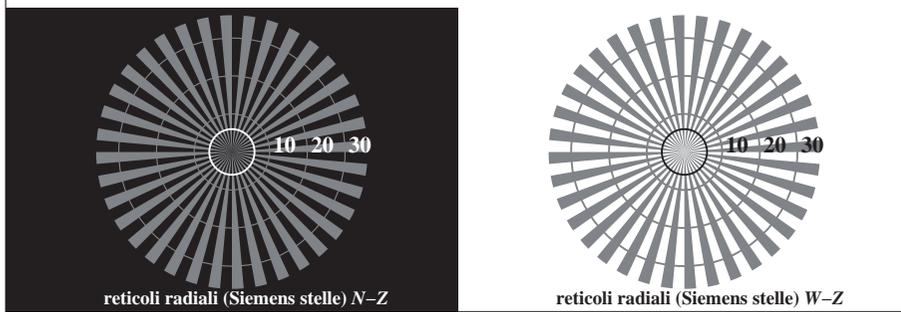
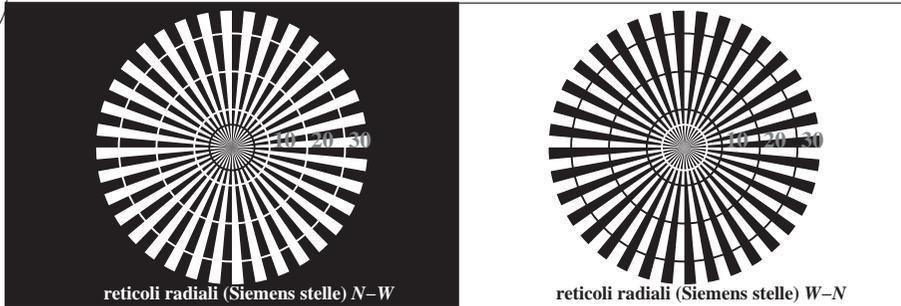
4-113130-L0 PI430-73

grafico TUB-PI43; grafico per il test
1080 colori di norma, 3D=1, de=1, cmyk*

immettere: *rgb/cmyk* -> *rgb_{de}*
uscita: 3D-linearizzazione a *cmyk*_{de}*

vedere dei file simili: http://130.149.60.45/~farbmetrik/TI73/TI73.HTM
 informazioni tecniche: http://www.ps.bam.de o http://130.149.60.45/~farbmetrik

TUB iscrizione: 20150901-TI73/TI73LOFP.PDF /.PS
 la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmyk* (CMYK)
 TUB materiale: code=rhata



TI730-3, Fig. C1Wde: Elemento A: reticoli radiali N-W, W-N, N-Z i W-Z; PS operator: rgb/cmy0

$L^*/Y_{destinati}$ (assoluta)	18.0/18.0	37.3/37.3	56.7/56.7	76.1/76.0	95.4/95.4	N_0 (min.)	W_1 (max.)
$w^* = L^*_{CIELAB, r}$ (relativo)							
$w^*_{inmettere}$	0,000	0,250	0,500	0,750	1,000	N_0 (min.)	W_1 (max.)
w^*_{uscita}							

TI730-5, Fig. C2Wde: Elemento B: 5 equidistante L^* grigio passi + N_0 + W_1 ; PS operator: rgb/cmy0

$L^*/Y_{destinati}$ (assoluta)	18.0/18.0	23.2/23.2	28.3/28.3	33.5/33.5	38.6/38.6	43.8/43.8	49.0/49.0	54.1/54.1	59.3/59.3	64.4/64.4	69.6/69.6	74.8/74.8	79.9/79.9	85.1/85.1	90.2/90.2	95.4/95.4
N. e codice Hex	00;F	01;E	02;D	03;C	04;B	05;A	06;9	07;8	08;7	09;6	10;5	11;4	12;3	13;2	14;1	15;0
$w^* = L^*_{CIELAB, r}$ (relativo)																
$w^*_{inmettere}$	0,000	0,067	0,133	0,200	0,267	0,333	0,400	0,467	0,533	0,600	0,667	0,733	0,800	0,867	0,933	1,000
w^*_{uscita}																

TI730-7, Fig. C3Wde: Elemento C: 16 equidistante L^* grigio passi; PS operator: rgb/cmy0

lo sfondo passo codice esadecimale	0	1	anello passo codice esadecimale	0-1
7			8	7-8
E			F	E-F
2			0	2-0
8			6	8-6
F			D	F-D

TI731-1, Fig. C4Wde: Elemento D: anelli di Landolt W-N; PS operator: rgb/cmy0

	120	128	136	144	152	160	168	176	184	192	200	208	216	224	232	240	
120 (+8)																240	
60 (+4)																120	
30 (+2)																60	
15 (+1)																30	
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	

TI731-3, Fig. C5Wde: Elemento E: Linea raster a 45° (o 135°) gradi; PS operator: rgb/cmy0

	120	128	136	144	152	160	168	176	184	192	200	208	216	224	232	240	
120 (+8)																240	
60 (+4)																120	
30 (+2)																60	
15 (+1)																30	
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	

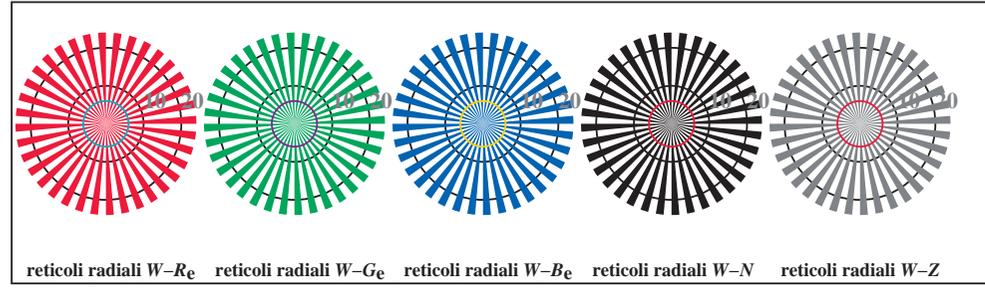
TI731-5, Fig. C6Wde: Elemento F: Linea raster a 90° (o 180°) gradi; PS operator: rgb/cmy0

grafico TI73; ME16(ISO 9241-306), 3(ISO/IEC 15775)
 prova acromatica grafico N, 3D=1, de=1, cmyk*
 immettree: rgb/cmyk -> rgb_{de}
 uscita: 3D-linearizzazione a cmyk*_{de}

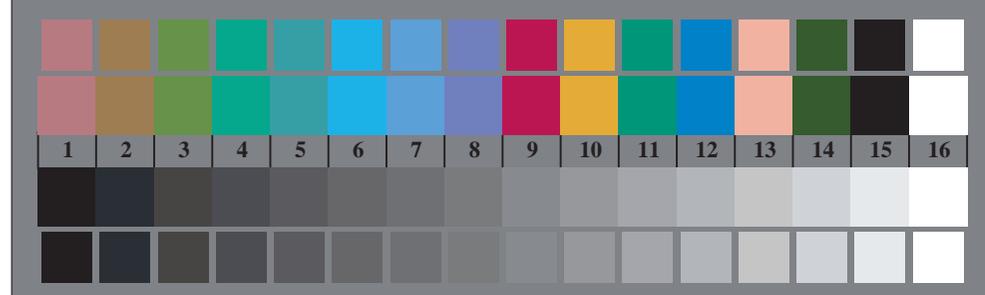
vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/TI83/TI83.HTM>
Informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>



TI830-3, Fig. D1Wde: motivo floreale, 14 prova colori CIE i 2 + 16 grigio passi (sf); ; PS 4 colorimage



TI830-5, Fig. D2Wde: reticoli radiali W-Re; W-Ge; W-Be; W-N; PS operator rgb->rgbde setrgbcolor



TI830-7, Fig. D3Wde: 14 prova colori CIE i 2 + 16 grigio passi (sf); rgb/cmy0->rgbde setrgbcolor

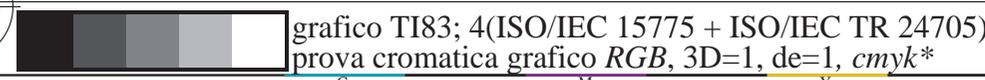
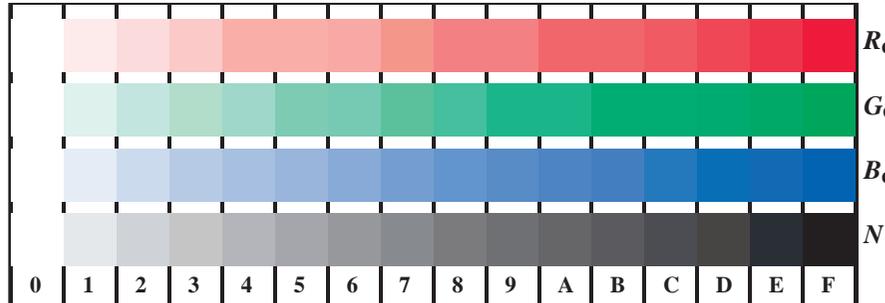
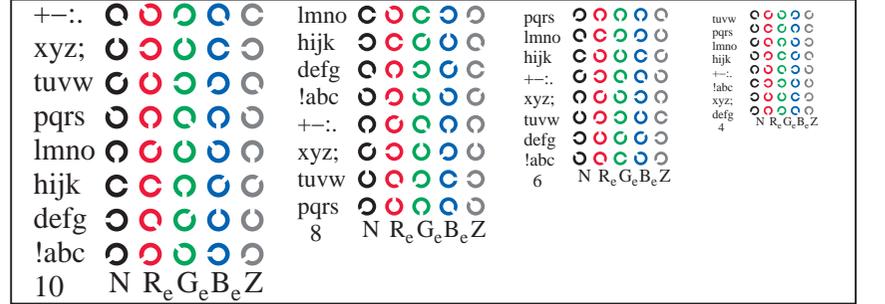


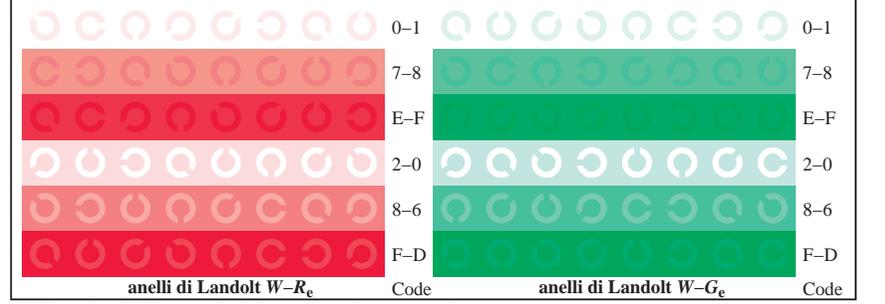
grafico TI83; 4(ISO/IEC 15775 + ISO/IEC TR 24705)
prova cromatica grafico RGB, 3D=1, de=1, cmyk*



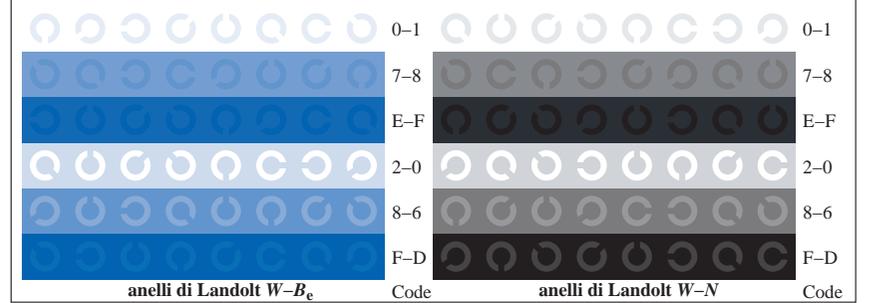
TI831-1, Fig. D4Wde: 16 equidistante passi W-Re; W-Ge; W-Be; W-N; rgb/cmy0->rgbde setrgbcolor



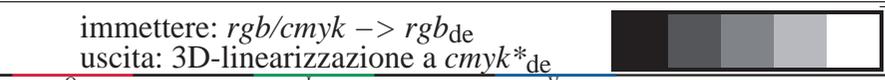
TI831-3, Fig. D5Wde: codice i Landolt anelli N; Re; Ge; Be; Z; PS operator rgb->rgbde setrgbcolor



TI831-5, Fig. D6Wde: anelli di Landolt W-Re; W-Ge; PS operator rgb->rgbde setrgbcolor



TI831-7, Fig. D7Wde: anelli di Landolt W-Be; W-N; PS operator rgb->rgbde setrgbcolor



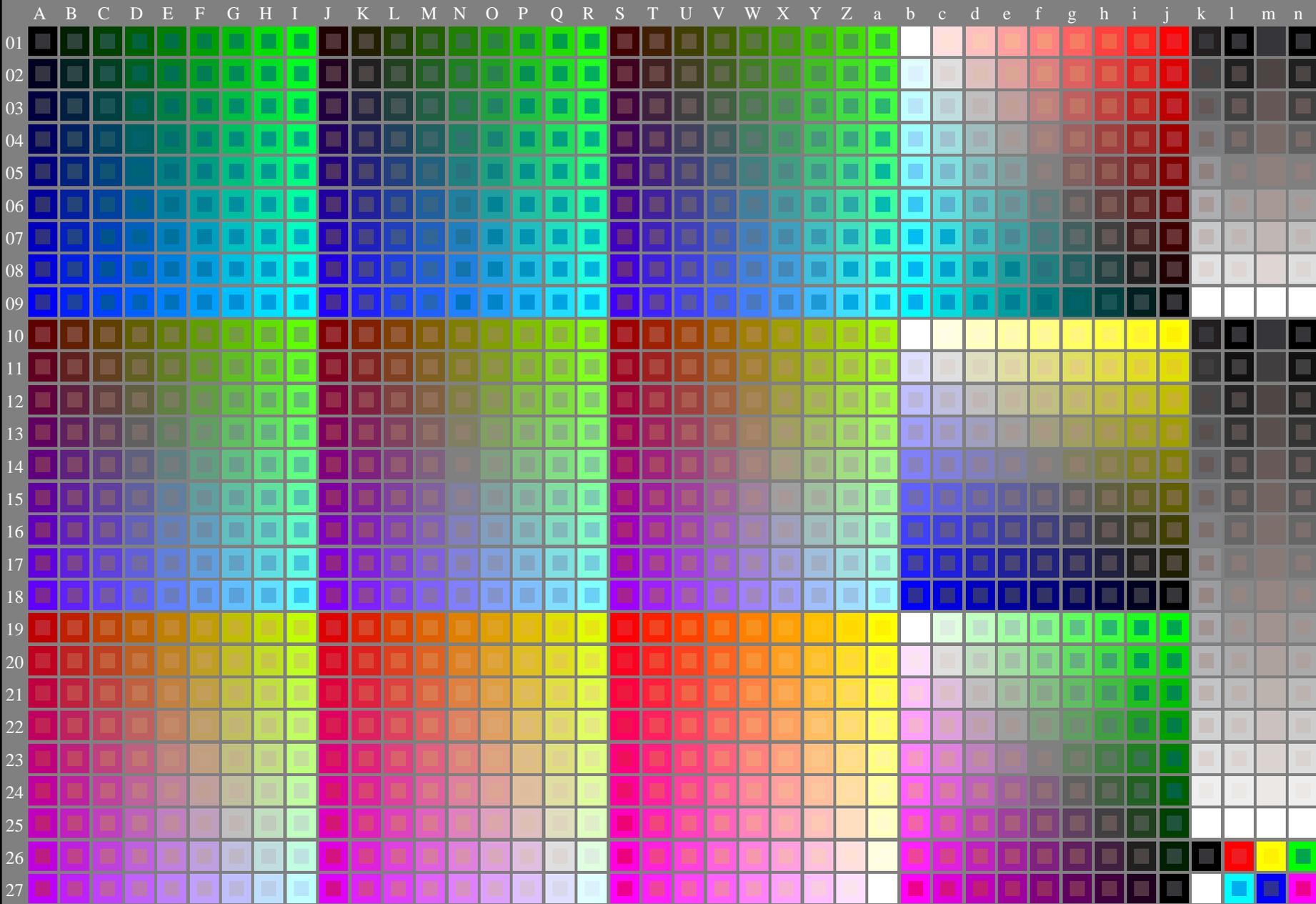
immettere: rgb/cmyk -> rgbde
uscita: 3D-linearizzazione a cmyk*de

TUB iscrizione: 20150701-TI83/TI83LOFP.PDF /PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazionecmykn6*(CMYK)
TUB materiale: code=rhata

vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI46/PI46.HTM>
Informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI46/PI46L0NP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset

TUB materiale: code=rh4ta



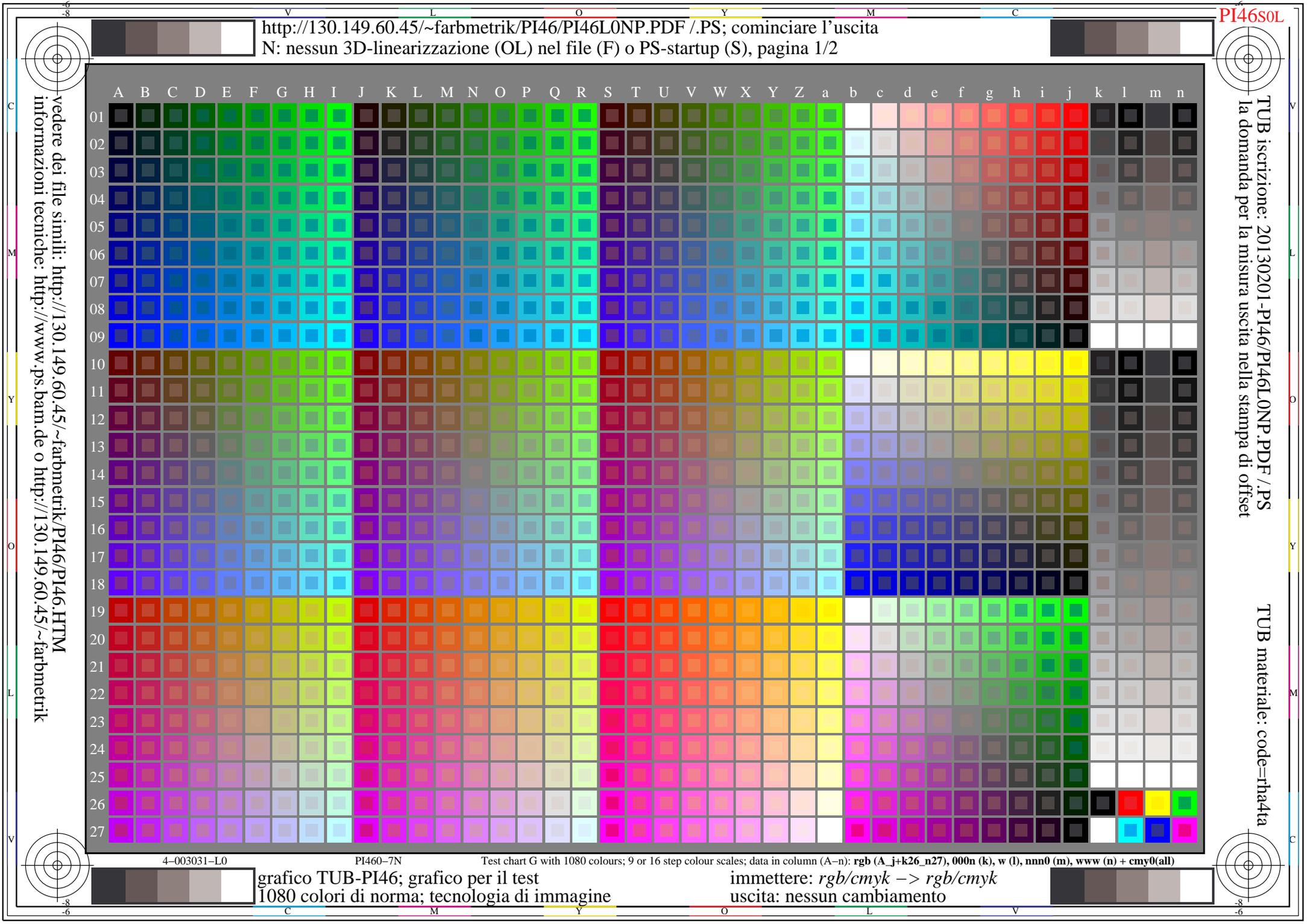
4-003031-L0

PI460-7N

Test chart G with 1080 colours; 9 or 16 step colour scales; data in column (A-n): *rgb* (A_j+k26_n27), 000n (k), w (l), nnn0 (m), www (n) + *cmy0*(all)

grafico TUB-PI46; grafico per il test
1080 colori di norma; tecnologia di immagine

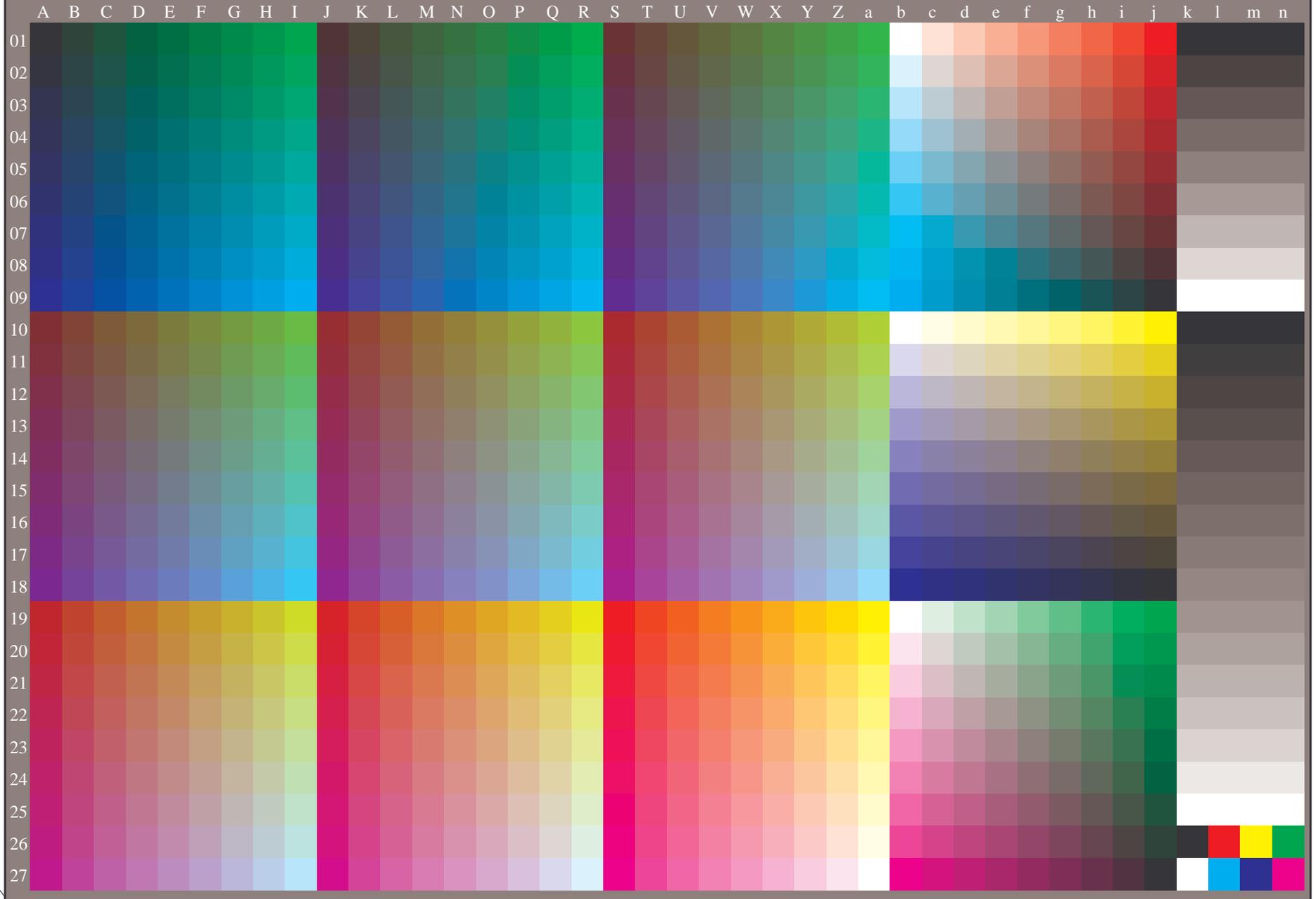
immettere: *rgb/cmyk* -> *rgb/cmyk*
uscita: nessun cambiamento



vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI46/PI46.HTM>
informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI46/PI46L0NP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmy0 (CMY0)

TUB materiale: code=rh4ta



4-003131-L0

PI460-70

grafico TUB-PI46; grafico per il test
1080 colori di norma, 3D=0, de=0, cmy0

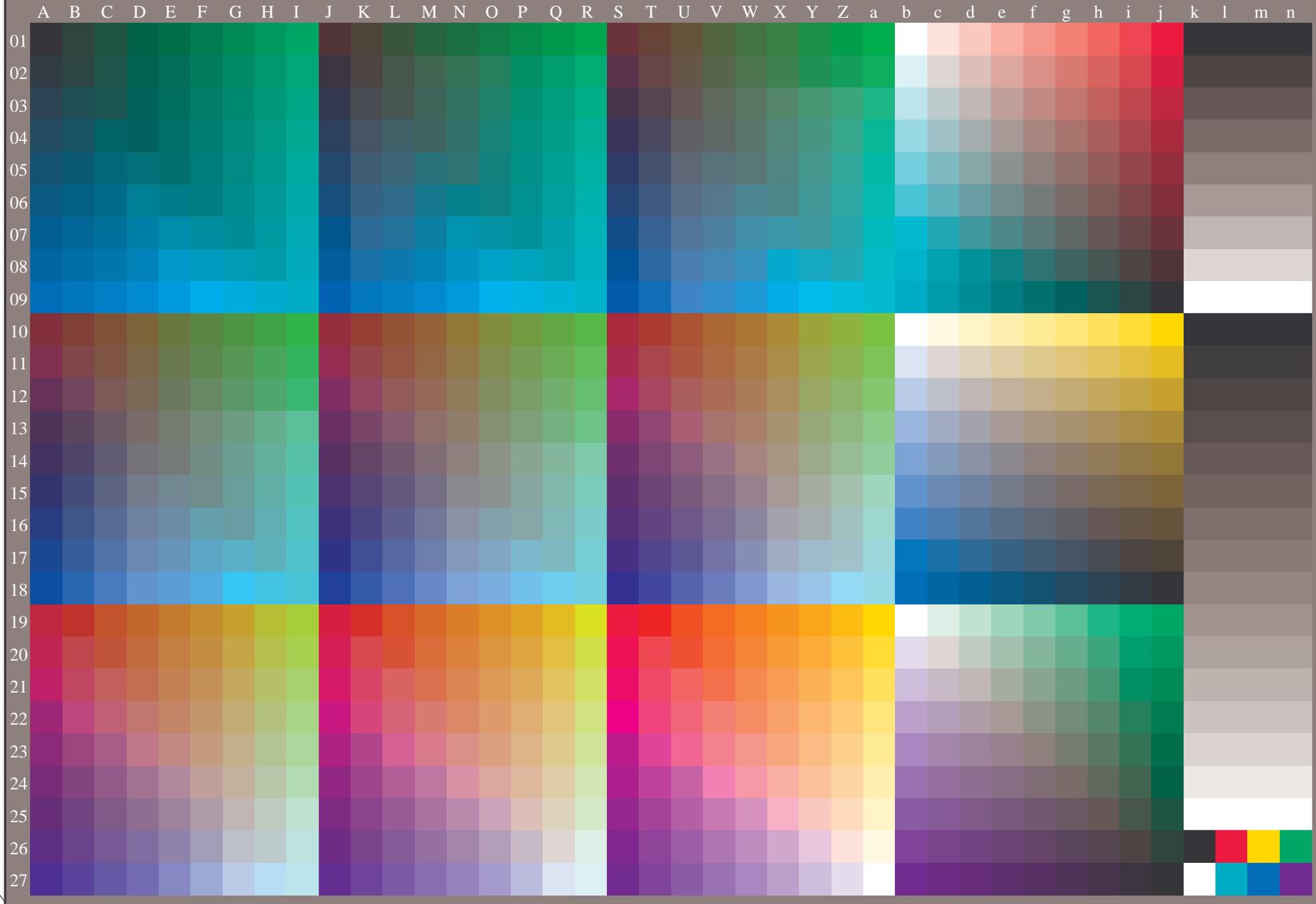
immettere: *rgb/cmyk* -> *rgb_d*
uscita: trasferire a *cmy0_d*

4-003131-F0

vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI46/PI46.HTM>
informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI46/PI46L0NP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmy0 (CMY0)

TUB materiale: code=rhata



4-013131-L0

PI460-71

grafico TUB-PI46; grafico per il test
1080 colori di norma, 3D=0, de=1, cmy0

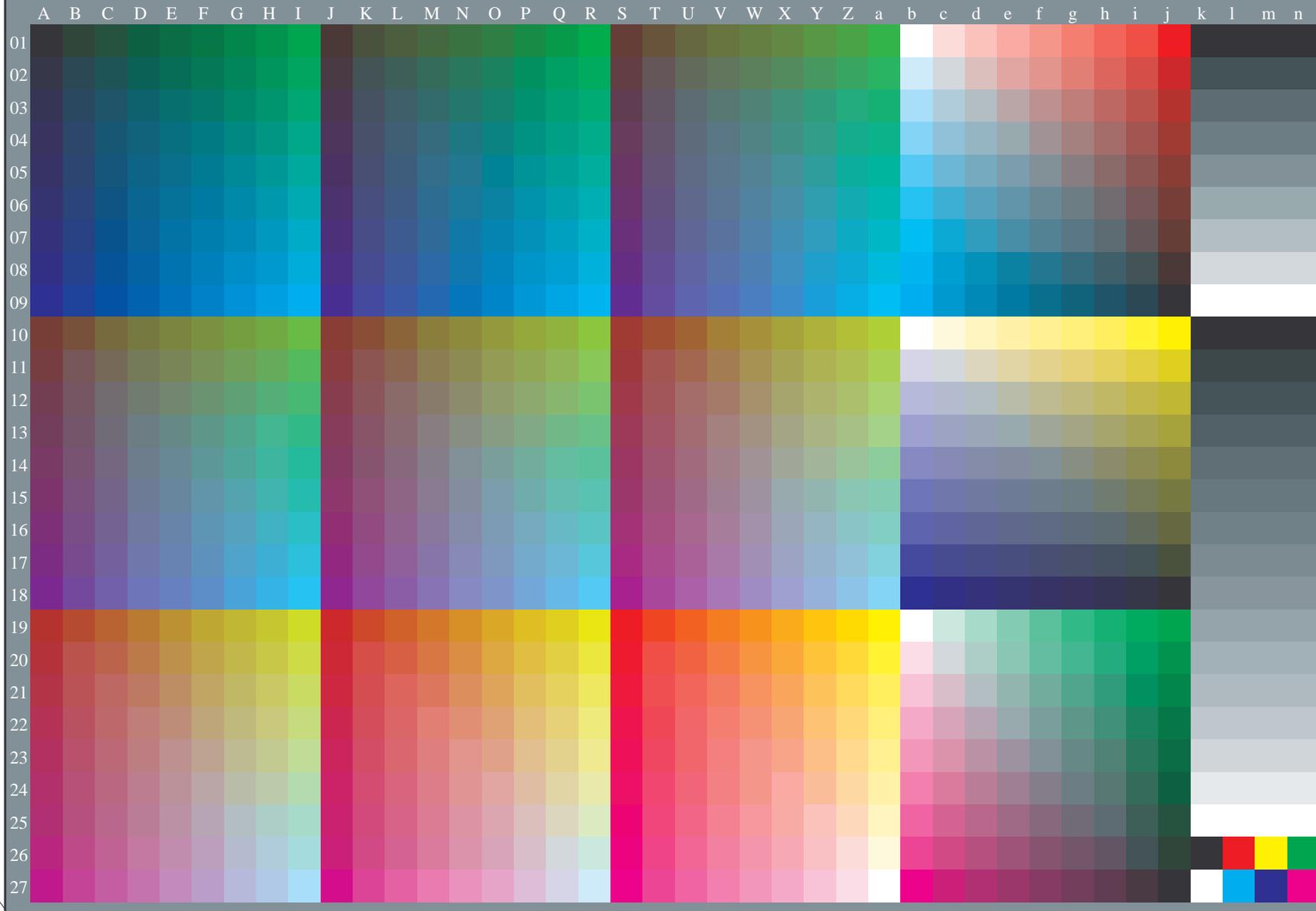
immettere: *rgb/cmyk* -> *rgbe*
uscita: trasferire a *cmy0e*

4-013131-F0

vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI46/PI46.HTM>
informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI46/PI46L0FP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmy0* (CMY0)

TUB materiale: code=rh4ta



4-103131-L0

PI460-72

grafico TUB-PI46; grafico per il test
1080 colori di norma, 3D=1, de=0, cmy0*

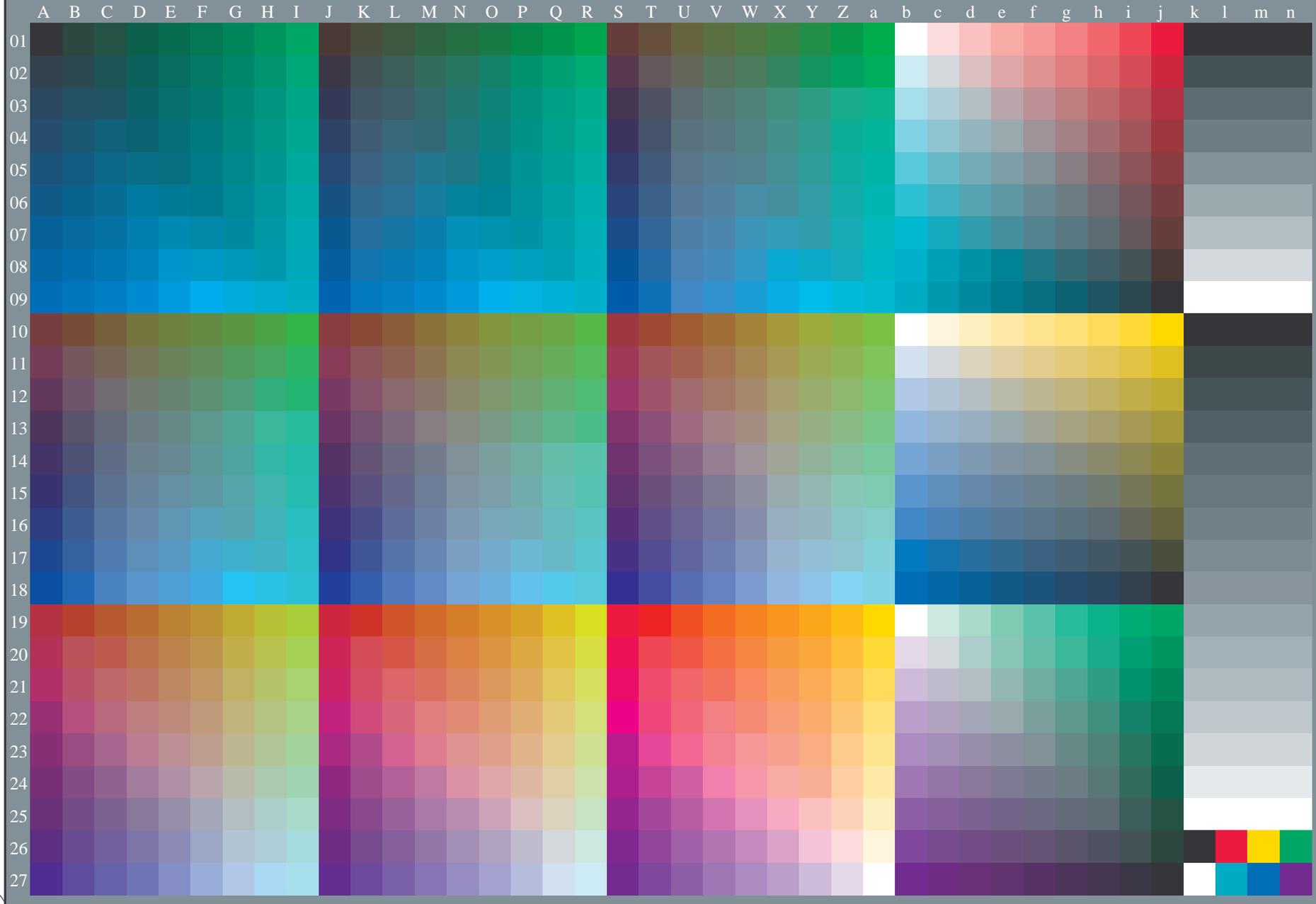
immettere: *rgb/cmyk* -> *rgb_{dd}*
uscita: 3D-linearizzazione a *cmy0*_{dd}*

4-103131-F0

C M Y O L V

vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI46/PI46L0FP.PDF> / .PS
Informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI46/PI46L0FP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmy0* (CMY0)



4-113131-L0 PI460-73

grafico TUB-PI46; grafico per il test
1080 colori di norma, 3D=1, de=1, cmy0*

immettere: *rgb/cmyk* -> *rgb_{de}*
uscita: 3D-linearizzazione a *cmy0*_{de}*



Test chart 2 for color rendering: metameric colours D65 and D50; offset print (CMYK); rgb->rgb_{de}

vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI23/PI23.HTM>
Informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI23/PI23L0FP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmy₆* (CMYK)
TUB materiale: code=rh4ta

Series:
metameric
m
D65

central
z
D65/D50

metameric
m
D50

metameric
m
D65

grey
g
D65/D50

metameric
m
D50

Lab*N0=17.7, 0.6, 0.6
Lab*W0=95.4, 1.3, -4.9
Lab*N=24.3, -5.6, -6.8
Lab*W=95.6, 1.4, -5.0

Lab*N0=17.7, 0.6, 0.6
Lab*W0=95.4, 1.3, -4.9
Lab*N1=17.7, 0.8, 0.6
Lab*W1=95.4, 0.8, -4.9

Lab*N1=17.7, 0.8, 0.6
Lab*W1=95.4, 0.8, -4.9
Lab*N=24.0, -5.6, -7.3
Lab*W=95.5, 0.9, -5.0



01: R00Y_075_050*_e 02: R50Y_075_050*_e 03: Y00G_075_050*_e 04: Y50G_075_050*_e 05: G00B_075_050*_e 06: G50B_075_050*_e 07: B00R_075_050*_e 08: B50R_075_050*_e 09=10: R00Y_075_050*_e



10: R00Y_075_050*_e 11: R50Y_075_050*_e 12: Y00G_075_050*_e 13: Y50G_075_050*_e 14: G00B_075_050*_e 15: G50B_075_050*_e 16: B00R_075_050*_e 17: B50R_075_050*_e 18=01: R00Y_075_050*_e



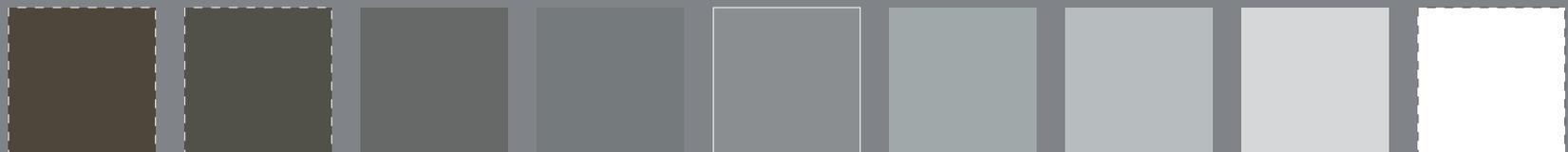
19: R00Y_075_050*_e 20: R50Y_075_050*_e 21: Y00G_075_050*_e 22: Y50G_075_050*_e 23: G00B_075_050*_e 24: G50B_075_050*_e 25: B00R_075_050*_e 26: B50R_075_050*_e 27=19: R00Y_075_050*_e



28: NW_000*_e 29: NW_013*_e 30: NW_025*_e 31: NW_038*_e 32: NW_050*_e 33: NW_063*_e 34: NW_075*_e 35: NW_088*_e 36=28: NW_100*_e



37: NW_000*_e 38: NW_013*_e 39: NW_025*_e 40: NW_038*_e 41: NW_050*_e 42: NW_063*_e 43: NW_075*_e 44: NW_088*_e 45=37: NW_100*_e

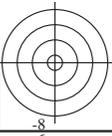


46: NW_000*_e 47: NW_013*_e 48: NW_025*_e 49: NW_038*_e 50: NW_050*_e 51: NW_063*_e 52: NW_075*_e 53: NW_088*_e 54: NW_100*_e

4-113130-L0 PI230-73

grafico TUB-PI23; riproduzione di colore
54 colori; metameric per D65&D50, 3D=1, de=1, cmyk*

immettree: rgb/cmyk -> rgb_{de}
uscita: 3D-linearizzazione a cmyk*_{de}





vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI33/PI33.HTM>
Informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI33/PI33L0FP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmykn6* (CMYK)
TUB materiale: code=rh4ta

; offset print (CMYK); rgb->rgbde



Series:
metamer
m
A

01: R00Y_075_050*_e 02: R50Y_075_050*_e 03: Y00G_075_050*_e 04: Y50G_075_050*_e 05: G00B_075_050*_e 06: G50B_075_050*_e 07: B00R_075_050*_e 08: B50R_075_050*_e 09=10: R00Y_075_050*_e



central
z
A/P4000

10: R00Y_075_050*_e 11: R50Y_075_050*_e 12: Y00G_075_050*_e 13: Y50G_075_050*_e 14: G00B_075_050*_e 15: G50B_075_050*_e 16: B00R_075_050*_e 17: B50R_075_050*_e 18=01: R00Y_075_050*_e



metamer
m
P4000

19: R00Y_075_050*_e 20: R50Y_075_050*_e 21: Y00G_075_050*_e 22: Y50G_075_050*_e 23: G00B_075_050*_e 24: G50B_075_050*_e 25: B00R_075_050*_e 26: B50R_075_050*_e 27=19: R00Y_075_050*_e



metamer
m
A
*Lab**N0=17.8, 1.3, 0.7
*Lab**W0=95.3, 0.3, -4.9
*Lab**N=23.1, -3.5, -9.1
*Lab**W=95.4, 0.3, -5.0

28: NW_000*_e 29: NW_013*_e 30: NW_025*_e 31: NW_038*_e 32: NW_050*_e 33: NW_063*_e 34: NW_075*_e 35: NW_088*_e 36=28: NW_100*_e



grey
g
A/P4000
*Lab**N0=17.8, 1.3, 0.7
*Lab**W0=95.3, 0.3, -4.9
*Lab**N1=17.7, 1.0, 0.7
*Lab**W1=95.3, 0.6, -5.0

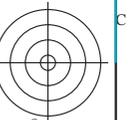
37: NW_000*_e 38: NW_013*_e 39: NW_025*_e 40: NW_038*_e 41: NW_050*_e 42: NW_063*_e 43: NW_075*_e 44: NW_088*_e 45=37: NW_100*_e



metamer
m
P4000
*Lab**N1=17.7, 1.0, 0.7
*Lab**W1=95.3, 0.6, -5.0
*Lab**N=23.7, -5.0, -8.0
*Lab**W=95.5, 0.6, -5.1

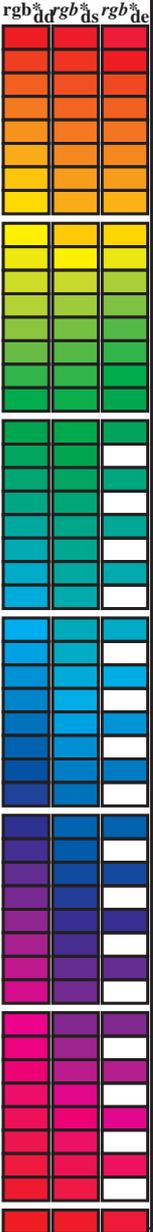
46: NW_000*_e 47: NW_013*_e 48: NW_025*_e 49: NW_038*_e 50: NW_050*_e 51: NW_063*_e 52: NW_075*_e 53: NW_088*_e 54: NW_100*_e

4-113130-L0 PI330-73



Data of maximum color M in colorimetric system Offset standard print; separation cmy6*, D65 for input or output; Six hue angles of the 60 degree standard colours RYGBM_s: h_{ab,ds} = 30.0, 90.0, 150.0, 210.0, 270.0, 330.0;
Six hue angles of the device colours RYGBCM_d: h_{ab,d} = 32.8, 97.2, 157.8, 236.2, 296.4, 353.3; Six hue angles of the elementary colours RYGBM_e: h_{ab,e} = 25.5, 92.3, 162.2, 217.0, 271.7, 328.6

Table with 12 columns: h_{ab,d}, h_{ab,s}, h_{ab,e}, r_{gb}^a, d_{64M}, LAB*, ddx64M (x=LabCh), r_{gb}^b, ddx361M, LAB*, ddx361M (x=LabCh), r_{gb}^b, dsx361M, LAB*, dsx361M (x=LabCh), r_{gb}^b, dex361M, LAB*, dex361M (x=LabCh), r_{gb}^a, d_{64M}, LAB*, ddx64M (x=LabCh), r_{gb}^a, dsx361M, LAB*, dsx361M (x=LabCh), r_{gb}^a, dex361M, LAB*, dex361M (x=LabCh)

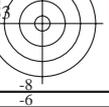
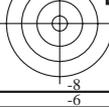


vedere dei file simili: http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI94/PI94.HTM
informazioni tecniche: http://www.ps.bam.de o http://130.149.60.45/~farbmetrik

TUB iscrizione: 20130201-PI94/PI94L0NP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmy6 (CMYK)
TUB materiale: code=rhatha

grafico TUB-PI94; codice di tinte: H*_D=R00Y_D
cerchio delle tinte a 48 passi; r_{gb}-LabCh*_{tavole}

immettere: r_{gb}/cmyk -> r_{gb}_D
uscita: trasferire a cmyk_D



Immettere y uscita: Offset Reflective System ORS18a for relative CIELAB hue $h_{ab,a,rel} = h_{ab}/360 = 25/360 = 0.07$

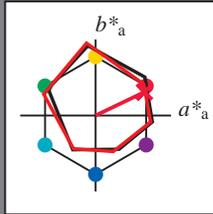
$H^*_e = R00Y_e$

Dati del dispositivo (d) o colori elementari (e):

HIC^*_e
codice di tonalità per i colori questa pagina:

$H^*_e = R00Y_e$

triangolo chiarezza T^*



ORS20a; dati atti CIELAB (a)

name	$L^*=L^*_a$	a^*_a	b^*_a	$C^*_{ab,a}$	$h^*_{ab,a}$
R _e ,Ma	47.6	64.9	30.9	71.9	25
Y _e ,Ma	82.9	-3.5	87.8	87.9	92
G _e ,Ma	52.4	-67.1	21.5	70.5	162
C _e ,Ma	56.6	-39.7	-29.9	49.8	216
B _e ,Ma	37.9	1.3	-45.4	45.4	271
M _e ,Ma	34.8	49.2	-30.0	57.7	328
N _e ,Ma	17.7	0.0	0.0	0.0	0
W _e ,Ma	95.4	0.0	0.0	0.0	0
R _e ,CIE	39.9	58.7	27.9	65.0	25
Y _e ,CIE	81.2	-2.8	71.5	71.6	92
G _e ,CIE	52.2	-42.4	13.6	44.5	162
B _e ,CIE	30.5	1.4	-46.4	46.4	271

Il dati per il massimo colore (Ma):

LabCh_e,Ma: 47 64 30 71 25

$HIC^*_e, Ma: R00Y_{100_{100}_e}$

rgbic_e,Ma:

1.0 0.0 0.2 1.0 1.0

triangolo chiarezza T^*

%Gamma

$u^*_{rel} = 92$

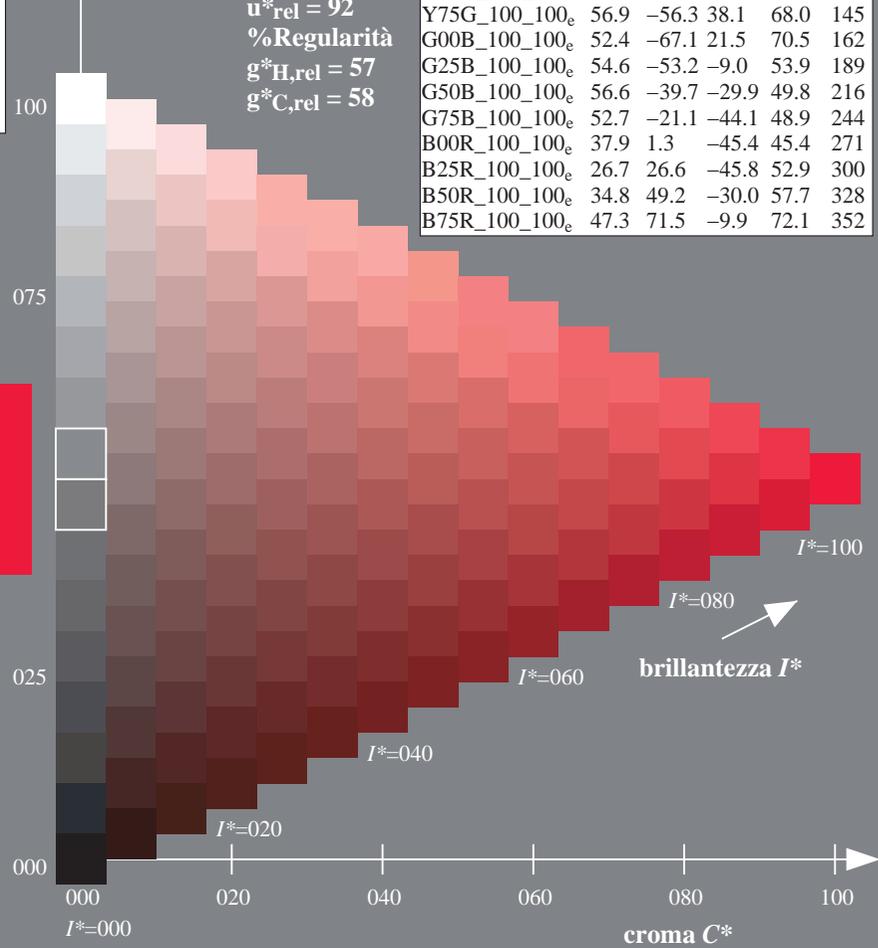
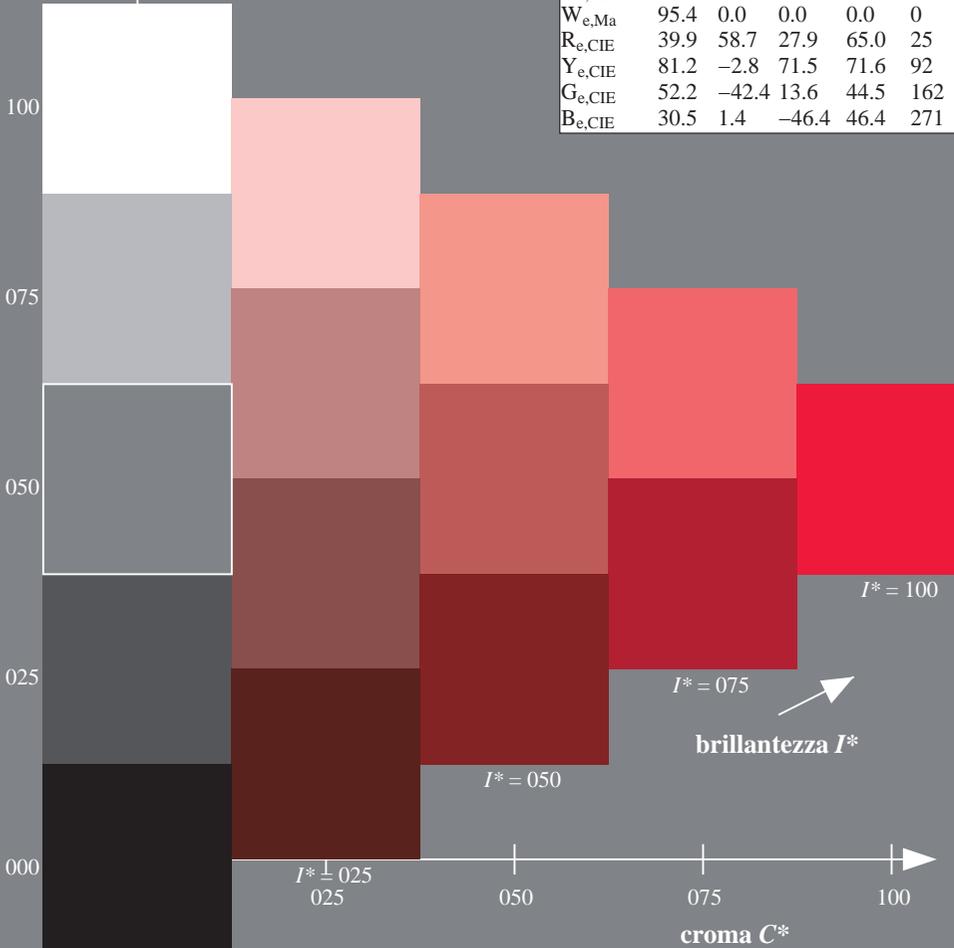
%Regularità

$g^*_{H,rel} = 57$

$g^*_{C,rel} = 58$

ORS20a; dati atti CIELAB (a)

H^*_e	$L^*=L^*_a$	a^*_a	b^*_a	$C^*_{ab,a}$	$h^*_{ab,a}$
R00Y_100_100 _e	47.6	64.9	30.9	71.9	25
R25Y_100_100 _e	51.5	54.2	47.2	71.9	41
R50Y_100_100 _e	60.3	35.6	59.0	68.9	58
R75Y_100_100 _e	70.4	17.0	72.2	74.1	76
Y00G_100_100 _e	82.9	-3.5	87.8	87.9	92
Y25G_100_100 _e	76.9	-25.5	75.9	80.1	108
Y50G_100_100 _e	65.8	-41.4	54.4	68.3	127
Y75G_100_100 _e	56.9	-56.3	38.1	68.0	145
G00B_100_100 _e	52.4	-67.1	21.5	70.5	162
G25B_100_100 _e	54.6	-53.2	-9.0	53.9	189
G50B_100_100 _e	56.6	-39.7	-29.9	49.8	216
G75B_100_100 _e	52.7	-21.1	-44.1	48.9	244
B00R_100_100 _e	37.9	1.3	-45.4	45.4	271
B25R_100_100 _e	26.7	26.6	-45.8	52.9	300
B50R_100_100 _e	34.8	49.2	-30.0	57.7	328
B75R_100_100 _e	47.3	71.5	-9.9	72.1	352



vedere dei file simili: <http://130.149.60.45/~farbmetrik/PI93/PI93.L0FP.PDF>
Informazioni tecniche: <http://www.ps.bam.de> o <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

TUB iscrizione: 20130201-PI93/PI93L0FP.PDF /.PS
la domanda per la misura uscita nella stampa di offset, separazione cmykn6* (CMYK)
TUB materiale: code=rhata

grafico TUB-PI93; codice di tinte: $H^*_e=R00Y_e$
grafico conformemente a DIN 33872, 3D=1, de=1, cmyk*

immettere: $rgb/cmyk \rightarrow rgb_{de}$
uscita: 3D-linearizzazione a $cmyk^*_{de}$

4-113130-L0 PI930-73

4-113130-F0