

**Introduzione
a xDNA**

Premesse

Ci sono due proprietà uniche dell'interazione tra luce e materia, che possono essere sfruttate nel processo di misurazione per capire di più sulla struttura e sulle caratteristiche di un materiale o di un rivestimento. La prima proprietà da considerare è il fatto che tutti i materiali sono dispersivi. Con questo intendiamo che la capacità di un materiale di deviare la luce (il suo indice rifrattivo) è diverso per la luce blu (400 nm) piuttosto che per la luce rossa (700 nm). Queste differenze nella capacità di deviazione sussistono indipendentemente dal colore apparente (proprietà assorbente) del materiale. Anche un materiale che appare nero o riflettente (come uno specchio) presenta dispersioni, a causa del fatto che la luce non interagisce semplicemente a livello di superficie, ma penetra anche al di sotto di essa, mentre viene riflessa o assorbita.¹ La seconda proprietà da considerare è la dispersione della luce all'interno di un materiale. La dispersione della luce all'interno del materiale può essere descritta in vari modi, ma in ogni caso anche la natura della dispersione dipende dalla lunghezza d'onda. La luce blu si disperde in modo diverso da come fa la luce rossa.

Tutti i materiali disperdono luce in qualche modo, anche vetro all'apparenza perfettamente trasparente. Attraverso precise misurazioni spettrofotometriche della luce dispersa da un materiale (o da un rivestimento), e confrontando le microscopiche direzioni privilegiate di distribuzione della luce blu rispetto a quella rossa, è possibile determinare la struttura e la costituzione fisica del materiale. L'energia si conserva. Pertanto, conoscendo le caratteristiche dell'energia di illuminazione e misurando le caratteristiche della luce riflessa da un materiale, è possibile risolvere modelli di complessità crescente, che consentono

di determinare la struttura e la costituzione fisica di materiali e rivestimenti. La luce può essere solo riflessa, rifratta, dispersa o assorbita, ed in tutti i casi l'energia si conserva.²

Probabilmente il modello più semplice utilizzabile è quello della Teoria del Mezzo Efficace, derivata dalla teoria dell'elettromagnetismo. La Teoria del Mezzo Efficace semplicemente postula che indipendentemente dalla complessità del rivestimento o del materiale, è possibile trattarlo come un unico materiale omogeneo. Un rivestimento con 3 strati e 9 ingredienti viene trattato come se fosse un unico materiale composto da una media pesata degli ingredienti, con pesatura secondo la distribuzione sugli strati, il loro spessore, e la struttura all'interfaccia tra due strati adiacenti. Un rivestimento di una data formulazione (ricetta di ingredienti, con una struttura a strati definita) è caratterizzata da proprietà di dispersione univoche. Se qualcosa cambia nella formulazione, cambiano anche le proprietà univoche. Persino se la distribuzione della dimensione media delle particelle si modifica, con essa si modificano le proprietà di dispersione.

¹ Ciò che in effetti è di particolare interesse è la costante dielettrica del materiale, che è dispersiva. L'indice rifrattivo complesso (potere di deviazione + assorbimento) è proporzionale alla radice quadrata della costante dielettrica.

² Vi sono molti altri modi con cui la luce può interagire con la materia, ed altre aspetti quali la polarizzazione, che potrebbero essere presi in considerazione e discussi, ma per semplicità essi verranno trascurati nella presente trattazione. Il caso speciale di interferenza si verifica ed è considerato successivamente, quando si utilizzano pigmenti con effetti speciali.

Insieme alla Teoria del Mezzo Efficace, uno dei metodi più semplici per caratterizzare il comportamento della dispersione della luce, è quello di misurare utilizzando un sistema di coordinate, dove la luce viene dispersa, in relazione al punto in cui emerge dal campione. È possibile rappresentare questa informazione come una polarizzazione, avanti/indietro e lateralmente rispetto alla grandezza corrispondente dell'energia luminosa che non viene assorbita. Maggiore la quantità di luce dispersa/riflessa in una data direzione, maggiore la grandezza. Se si effettua questa misurazione su ciascuna lunghezza d'onda, è possibile analizzare la natura dispersiva del materiale o del rivestimento. Utilizzando questa analogia, un materiale che è riflessivo in modo uniforme su tutte le lunghezze d'onda e disperde luce in modo uniforme in tutte le direzioni, non esibisce una polarizzazione verso alcuna direzione. Un materiale che approssima da vicino questo comportamento è lo Spectralon™. Lo Spectralon appare di un bianco uniformemente diffuso sotto tutte le geometrie di illuminazione, e da tutti gli angoli di osservazione. Uno Spectralon ben preparato non presenta alcuna zona lucida o riflesso, anche ad angoli di incidenza critici. Il modo più semplice per calcolare la polarizzazione di energia è di rappresentare ciascun angolo di osservazione come un vettore fisso, tracciato dal centro del campione fino al centro della pupilla di ingresso dello spettrometro. Viene creato un vettore per ciascuna lunghezza d'onda e ciascun angolo di osservazione, il cui modulo corrisponde alla quantità di energia misurata. La polarizzazione in questo modo si ricava semplicemente per somma vettoriale di tutti gli angoli di osservazione, per ciascuna lunghezza d'onda, ottenendo un vettore di polarizzazione per ogni lunghezza d'onda considerata. Questo processo, che prevede l'applicazione dell'ipotesi della Teoria del Mezzo Efficace, combinata con il calcolo delle somme vettoriali, viene da noi chiamato Analisi Numerica Digitale X-Rite, oppure xDNA™, e verrà descritta nel seguito in maggiore dettaglio.

xDNA

xDNA è un metodo per riassumere dati spettrali multiangolo in una rappresentazione spettrale bidimensionale o tridimensionale. xDNA è una somma vettoriale pesata delle direzioni di misurazione, con pesi scelti secondo i fattori di riflettanza per ciascuna direzione considerata. Il risultato di tale somma è uno spettro di punti in uno spazio 2D o 3D, un punto per ciascuna lunghezza d'onda misurata.

La somma vettoriale pesata viene inoltre scalata sulla lunghezza della somma vettoriale di un riflettore lambertiano bianco ideale, allo scopo di rendere i valori xDNA confrontabili con valori di riflettanza tipici. Il sistema di coordinate xDNA è composto dalla direzione speculare (asse z), della proiezione della direzione di illuminazione ortogonale alla direzione speculare (asse y), ed il prodotto vettoriale di queste due direzioni (asse x).

Una direzione di misurazione viene descritta utilizzando:

- L'angolo di illuminazione a partire dalla normale alla superficie;
- L'angolo aspeculare di rivelazione, e;
- L'angolo azimutale di rivelazione partendo dalla direzione di illuminazione.

Gli angoli sono contraddistinti dai simboli "as" e "az". Ad esempio, la misurazione con una direzione d'illuminazione di 45°, angolo aspeculare di rivelazione 25° e azimuth di rivelazione 90° viene indicato con 45as25az90. Le coordinate (x, y, z) della direzione di misurazione ψ as Φ az θ risultano quindi $(\sin(\Phi)*\sin(\theta), \sin(\Phi)*\cos(\theta), \cos(\Phi))$.

Esempio xDNA

La Tabella 1 mostra gli spettri e le corrispondenti coordinate xDNA per un campione misurato.

Tabella 1. Dati relativi a 10 angoli spettrali, e relative coordinate xDNA

WL	45as-15az0	45as15az0	45as25az-90	45as25az0	45as25az90	45as45az0	45as60az-54.7	45as60az54.7	45as75az0	45as110az0	x	y	z
400	34.1	98.5	8.1	43.2	6.9	4.8	1.5	1.4	1.3	1	-0.08	5.62	24.89
410	28.6	75.9	5.4	40.9	4.8	6.5	1.5	1.4	1.5	1	-0.04	5.09	20.55
420	33.4	49.6	4	30.9	3.5	7.2	1.3	1.3	1.7	1	-0.03	3.52	16.28
430	49.1	31.3	3.5	21	3.2	6.6	1.1	1.1	1.8	1	-0.02	1.70	14.56
440	75.5	21.4	4.2	13.9	3.7	5.2	0.9	0.9	1.7	1	-0.03	-0.13	15.82
450	112.6	18.1	5.8	9.8	5.1	3.8	0.8	0.8	1.5	1	-0.04	-1.94	19.91
460	153.6	21.1	8.5	8.3	7.4	2.9	0.8	0.8	1.3	0.9	-0.06	-3.46	25.94
470	184.9	29.8	12.1	9	10.4	2.3	0.8	0.8	1.1	0.9	-0.10	-4.29	31.95
480	197	44.7	16	11.9	13.6	2	0.9	0.9	1	0.9	-0.14	-4.06	36.64
490	185.2	67.3	19.2	17.5	16.4	2.1	1	1	1	0.9	-0.16	-2.52	39.47
500	158.4	93.6	20.4	25.9	17.4	2.4	1.1	1.1	1.1	0.9	-0.17	-0.15	40.74
510	127.5	117.8	19.4	36.2	16.5	3.1	1.3	1.2	1.1	0.9	-0.17	2.43	40.98
520	99.4	132.8	17.1	46.6	14.5	4.2	1.5	1.4	1.2	0.9	-0.16	4.66	40.15
530	77.6	131.3	14.3	53.1	12.1	5.7	1.6	1.5	1.4	0.9	-0.13	5.91	37.46
540	60.6	119.5	11.6	54.3	9.8	7.1	1.6	1.5	1.5	0.9	-0.11	6.31	33.40
550	46.8	101.1	9.3	50.7	7.9	8.3	1.6	1.5	1.7	0.9	-0.09	6.08	28.41
560	37.4	82.6	7.5	44.1	6.4	8.7	1.4	1.4	1.9	0.9	-0.06	5.44	23.62
570	31.2	67	6.1	37	5.2	8.5	1.3	1.2	1.9	0.9	-0.06	4.67	19.58
580	27.8	53.8	5.1	30.5	4.4	7.7	1.1	1.1	1.8	0.9	-0.04	3.85	16.32
590	27	43.1	4.3	24.8	3.7	6.7	1	1	1.7	0.9	-0.03	3.07	13.85
600	29.2	34.8	3.8	20.2	3.3	5.8	0.9	0.9	1.6	0.9	-0.03	2.33	12.29
610	35.2	28.3	3.7	16.5	3.2	4.9	0.8	0.8	1.4	0.8	-0.03	1.55	11.65
620	44.9	23.8	3.7	13.7	3.3	4.2	0.7	0.7	1.3	0.8	-0.02	0.81	11.91
630	58.6	20.7	4.1	11.6	3.6	3.6	0.7	0.7	1.1	0.8	-0.03	0.02	13.05
640	76.1	18.4	4.8	9.8	4.2	3.1	0.7	0.7	1	0.8	-0.03	-0.83	14.90
650	98.5	18.5	6	8.8	5.2	2.7	0.7	0.7	1	0.8	-0.05	-1.70	17.93
660	124.1	20.2	7.5	8.4	6.6	2.4	0.7	0.7	0.9	0.8	-0.05	-2.59	21.73
670	150.6	24	9.5	8.7	8.3	2.2	0.7	0.7	0.9	0.8	-0.07	-3.38	26.12
680	175.1	29.6	11.7	9.6	10.2	2.1	0.8	0.8	0.9	0.9	-0.08	-3.97	30.62
690	194.4	37.5	14.1	11.3	12.2	2	0.8	0.8	0.9	0.9	-0.11	-4.28	34.88
700	213	47.5	17	13.7	14.6	2.1	0.9	0.9	0.9	0.9	-0.14	-4.42	39.54

Esempio xDNA

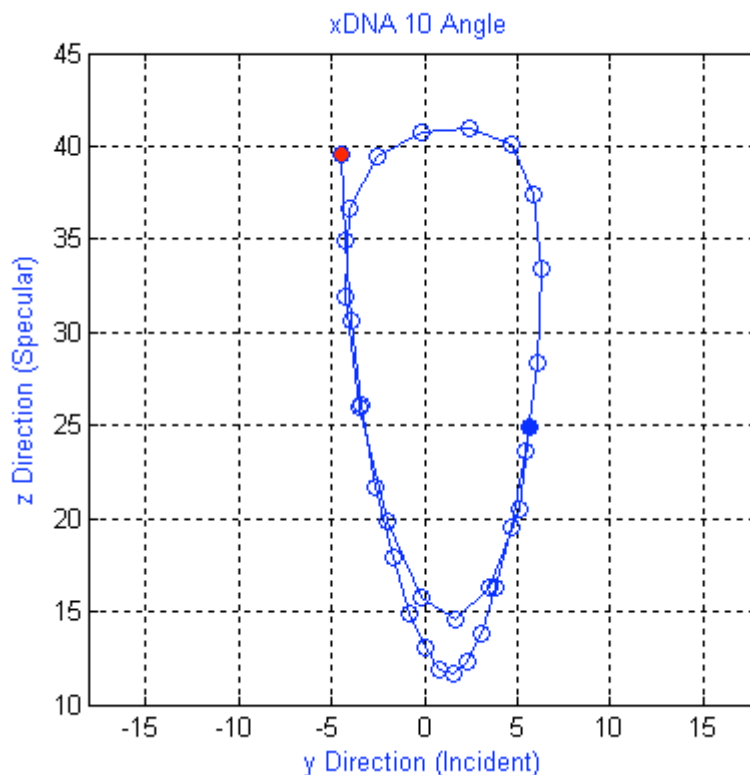
La Tabella 2 mostra le coordinate (x, y, z) delle direzioni di misurazione. Pesando queste coordinate con le riflettanze a 700 nm nell'esempio precedente, si ottiene $x = 17*(-0,42) + 14,6*(0,42) + 0,9*(-0,71) + 0,9*(0,71) = -1,01$, ed in modo analogo $y = -32,94$, e $z = 294,99$; dividendo per la lunghezza del vettore somma del riflettore perfetto bianco (7,46) si ottengono i valori riportati in Tabella 1.

Tabella 2. Coordinate (x, y, z) delle direzioni di misurazione

	45as-15az0	45as15az0	45as25az-90	45as25az0	45as25az90	45as45az0	45as60az-54.7	45as60az54.7	45as75az0	45as110az0
x	0.00	0.00	-0.42	0.00	0.42	0.00	-0.71	0.71	0.00	0.00
y	-0.26	0.26	0.00	0.42	0.00	0.71	0.50	0.50	0.97	0.94
z	0.97	0.97	0.91	0.91	0.91	0.71	0.50	0.50	0.26	-0.34

La Figura 1 è un grafico della proiezione (y, z) dell'xDNA dello stesso campione.

Figura 1. Grafico xDNA



Geometrie

La metodologia xDNA è applicabile a qualsiasi geometria multiangolo. La geometria richiesta per misurare una particolare classe di materiali dipende dalle proprietà fisiche dei campioni da misurare. Per esempio, i materiali diffusivi possono essere caratterizzati in modo preciso anche con un solo angolo di misurazione. Tradizionalmente si ritengono sufficienti tre angoli aspeculari positivi per caratterizzare rivestimenti con pigmenti metallici. Una misurazione adeguata di rivestimenti con pigmenti perlacci e ad effetto speciali richiedono la misura di angoli aggiuntivi rispetto alle tradizionali direzioni multiangolo.

Principi xDNA

Vi sono due principi fondamentali che riguardano lo spettro xDNA, un visivo ed uno strutturale.

- Principio visivo: Lo spettro xDNA rappresenta l'aspetto colore della superficie misurata.
- Principio strutturale: La forma dello spettro xDNA rappresenta le proprietà ottiche della superficie misurata.

Un altro modo di definire il principio strutturale è considerare il fatto che la forma degli spettri xDNA rappresenta la formulazione. Secondo questi principi, due campioni i cui spettri xDNA hanno la stessa forma ma posizione ed orientamento nello spazio differenti avranno un diverso aspetto colore, e la differenza nella posizione e nell'orientamento dei rispettivi spettri xDNA rappresenta le differenze di processo.

Trasformazioni xDNA

Le trasformazioni xDNA hanno vari scopi.

Tra questi:

- Distinguere le differenze di processo dalle differenze di formulazione;
- Monitorare la stabilità del processo;

- Controllare i cambiamenti al processo per compensare le normali variazioni nella formulazione del rivestimento.

La separazione tra processo e formulazione non è sempre netta e definita, ed è importante tenere presente che ciò che viene misurato è il risultato finale della relazione tra processo e formulazione. Per esempio, variazioni nella dimensione media del flake o della particella alterano un processo, anche se le impostazioni della macchina non cambiano. Inoltre, alcuni additivi usati nelle vernici per l'industria automobilistica, come ad esempio silicio a fumigazione, possono rendere più difficile distinguere tra variazioni di formulazione e variazioni di processo. La fumigazione del silicio è utilizzata per controllare l'orientamento dei flake metallici contenuti nel rivestimento. L'additivo di per sé è utilizzato in modo da risultare invisibile, e pertanto l'indice di rifrazione del silicio a fumigazione è molto vicino a quello dei solventi comuni. Il suo impatto sulla misurazione è invisibile, eccetto per quanto riguarda l'orientamento dei flake. Pertanto, il tecnico che confronta i profili xDNA di due campioni di una data vernice, può doversi trovare ad effettuare ulteriori analisi per capire se le differenze riscontrate nella misura sono dovute a variabili di processo quali la velocità di flusso e l'atomizzazione, oppure alla presenza di silicio in fumigazione.

L'effetto delle impostazioni delle apparecchiature di applicazione è, naturalmente, specifico per ciascuna particolare apparecchiatura. Per questo motivo, anche se due campioni hanno spettri xDNA con la stessa forma, e pertanto possono essere classificati come diversi dal punto di vista del processo, non esiste un criterio puramente ottico che consenta di valutare se tale differenza è dovuta ad impostazioni diverse sulla stessa apparecchiatura, all'uso di diverse apparecchiature di applicazione, ad additivi che hanno modificato l'orientamento dei flake, a differenze di umidità, oppure ancora ad altre condizioni che influiscono sul processo di applicazione.

Traslazione, rotazione e scalatura

Per determinare l'equivalenza delle forme degli spettri xDNA, X-Rite utilizza operazioni lineari di traslazione, rotazione, e scalatura. Tutte le operazioni di trasformazione sono effettuate in relazione ad uno standard. Il vettore di traslazione, la matrice di rotazione, ed il fattore di scala, sono calcolati insieme, utilizzando l'algoritmo Procrustes per calcolare una trasformazione ai minimi quadrati dello spettro xDNA del campione trasformato nello spettro xDNA standard. Per poter effettuare il confronto con lo standard, i risultati intermedi delle operazioni di traslazione e rotazione sono inoltre centrati per traslazione sul centro dello standard.

La traslazione di uno spettro xDNA è lo spostamento 3D standard rispetto allo standard per tutte le lunghezze d'onda. La norma della traslazione viene indicata con xT , ed i singoli componenti sono indicati con xTx , xTy e xTz . La traslazione di uno spettro xDNA che effettua la sua centratura sul centro dello standard viene indicata con $xDNA_t$. Il contributo dominante alle differenze di traslazione tra due campioni con ricetta equivalente indica una differenza di processo. Per esempio, variazioni nel flusso e nell'atomizzazione in un processo di verniciatura cambiano la dimensione e l'energia cinetica delle gocce che aderiscono al campione, ed il modo con cui esse aderiscono.

La rotazione $xDNA_r$ dello spettro traslato con le prime due rotazioni, viene indicata con $xDNA_a$. La rotazione è tipicamente una caratteristica che è accoppiata sia a variazioni di processo che nella distribuzione della ricetta. Per esempio, un tecnico può osservare una differenza di rotazione del processo di verniciatura, dovuta ad una variazione nel processo che dà come risultato una diversa distribuzione nella dimensione delle particelle in una ricetta, oppure una variazione di dimensione e/o orientamento delle particelle che aderiscono al campione.

La rotazione viene riportata decomposta in tre rotazioni eseguite nel seguente ordine:

1. Una rotazione nel piano xy (azimuth xR)
2. Una rotazione nel piano xz (colatitudine xR)
3. Una rotazione nel piano yz (allineamento xA)

Il risultato della scalatura dello spettro $xDNA_a$ è indicato con $xDNAs$.

Non è sempre ovvio quale tra i valori dello spettro allineato $xDNA_a$ o dello spettro scalato $xDNAs$ sia più significativo nel rappresentare differenze di formulazione. In alcune situazioni, due campioni che differiscono solo per le condizioni del processo presentano differenze significative nei loro spettri allineati $xDNA_a$, pertanto è necessario esaminare gli spettri scalati $xDNAs$ per determinare se la differenza tra campioni è una differenza effettivamente dovuta al processo, e non una differenza di formulazione. D'altra parte, non sono infrequenti casi in cui si ha un valore $xDNAs$ molto piccolo per campioni con differenze di formulazione rilevanti, per esempio nei grigi diffusivi.

Continuando con l'analogia biologica, si può pensare alla relazione tra lo spettro xDNA non trasformato, e lo spettro $xDNAs$ scalato come simile alla relazione tra il fenotipo ed il genotipo di un essere vivente. Proprio come il fenotipo di un organismo vivente non è il risultato solamente della sua struttura genetica, ma anche dell'interazione con l'ambiente in cui vive, l'xDNA di una superficie è il risultato sia del materiale sottostante, caratterizzato dal valore di $xDNAs$, e della sua interazione con l'ambiente, rappresentato dalle condizioni del processo applicativo.

segue ...

Traslazione, rotazione e scalatura

continua

Quando si considerano le trasformazioni xDNA, occorre tenere presente sia gli spettri trasformati, che i parametri utilizzati per la trasformazione. I valori colorimetrici attualmente in uso con misurazioni multiangolari comprendono i valori L^*a^*b per angolo, ed il Flop Index, che è una misura della variazione di luminosità relativa tra gli angoli speculare prossimo e riflessivo prossimo. I parametri xT, xA e xS sono tutti legati alla differenza di riflettanza ai vari angoli, ma forniscono punti di vista diversi della situazione, rispetto al Flop Index.

In una situazione ipotetica, sarebbe possibile ridurre il Flop Index di un rivestimento contenente flake metallici applicandolo con condizioni più asciutte, oppure utilizzando un flake più fine nel rivestimento. Variazioni di questo tipo si riflettono più probabilmente nei valori di xT, xA, e xS, piuttosto che nel Flop Index.

Ciò non significa che il Flop Index non sia utile. Le misurazioni multiangolo sono utili quando si osservano materiali le cui riflettanze multi-angolo hanno dimensioni multiple. Non esiste un valore solo che possa catturare tutte le informazioni di interesse in situazioni come queste. Tenere presente che la ragione per cui si utilizzano indici o altri valori singoli come la formula di differenza colore, è che la loro semplicità e la quantità di informazioni che forniscono compensano le informazioni che si perdono quando si considera il valore singolo.

Formule di differenza

Distinguiamo tra formule di differenza che generalizzano le funzioni colorimetriche, e formule di differenza rispetto ai dati delle coordinate xDNA. Vanno inoltre considerate le formule che utilizzano direttamente i dati di riflettanza, e le applicazioni di tutte queste formule a dati xDNA trasformati spazialmente.

La formula DF

Esattamente come si derivano dati colorimetrici dai dati spettrali utilizzando funzioni di pesatura dell'illuminante e dell'osservatore, funzioni CIELAB, DE , DE_{94} , DE_{2000} , ed altre funzioni di pesatura, è possibile derivare dati colorimetrici dagli spettri 3D xDNA. Tra i possibili approcci per generalizzare le formule di differenza colore agli spettri a più dimensioni, vi sono i seguenti:

1. Calcolare i dati colorimetrici quali XYZ, $L^*a^*b^*$, e formule di differenza su ciascuno dei piani x, y, e z. Combinare le formule di differenza calcolate sui diversi piani come la radice quadrata della somma dei quadrati delle formule di differenza dei singoli piani.
2. Calcolare i dati XYZ su ciascuno dei piani x, y e z. Utilizzare questi valori come componenti x, y, e z di vettori dati valorizzati X, Y, e Z, e calcolare la norma dei vettori tridimensionali X, Y, e Z. Calcolare ora L^*a^*b e i dati di differenza colore utilizzando le norme monodimensionali di X, Y, e Z.

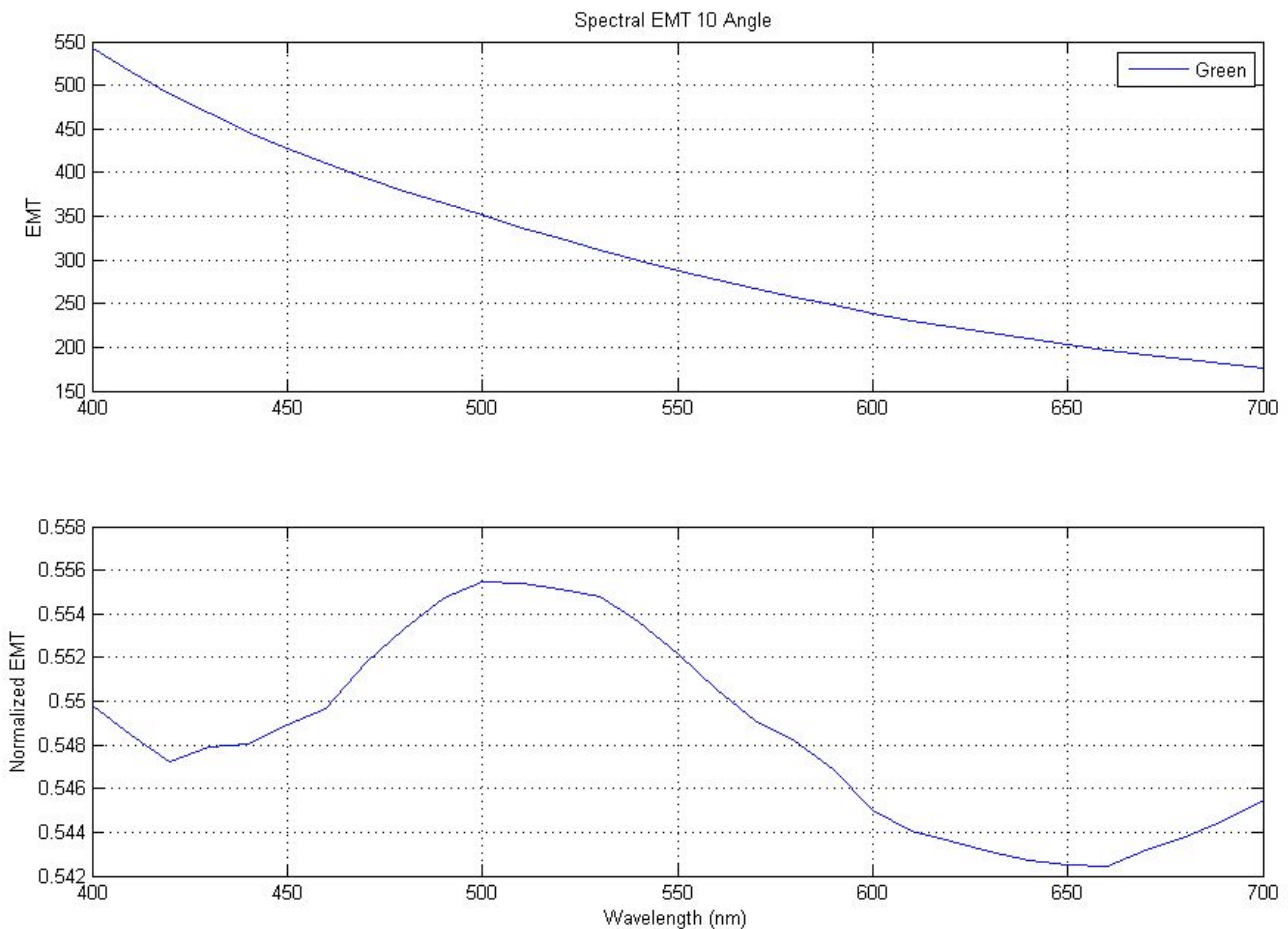
Utilizziamo la notazione DF per la formula di differenza colore calcolata generalizzato il normale Delta E usando l'approccio 1.

Poiché le funzioni colorimetriche sono state costruite per approssimare la percezione dell'occhio umano delle differenze colore, non sono solitamente la metrica ideale da applicare agli spettri trasformati xDNA, quali xDNA_t, xDNA_a, e xDNA_s. Inoltre, gli approcci sopra descritti per generalizzare la formula di differenza funzionano sia su spettri trasformati e che su xDNA non trasformati.

L'applicazione del Delta E ai vari spettri trasformati viene indicata con DF_t, DF_a, e DF_s, corrispondenti alle indicazioni dello spettro.

EMT

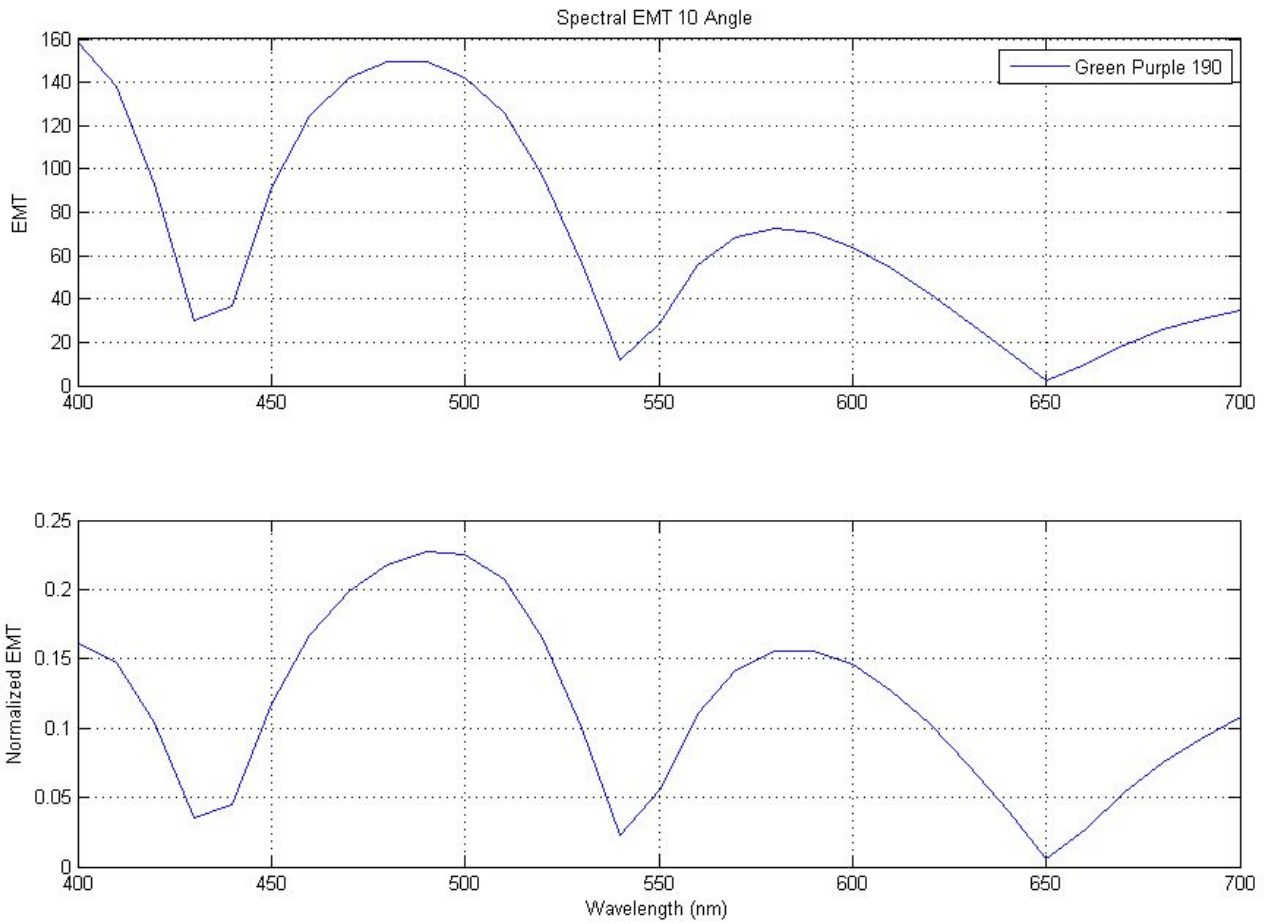
In assenza di un vincolo di opacità ed utilizzando i principi della Teoria del Mezzo Efficace, è possibile rappresentare un rivestimento o un materiale complesso come un singolo materiale omogeneo, con una costante dielettrica specifica, che ha particolari caratteristiche dispersive. Dato che l'indice rifrattivo ottico complesso (potere di deviazione + assorbimento) è proporzionale alla costante dielettrica, è possibile riformulare i risultati in modo proporzionale all'indice di rifrazione, e generare una curva di dispersione. Di seguito viene mostrato un semplice rivestimento omogeneo assorbente.



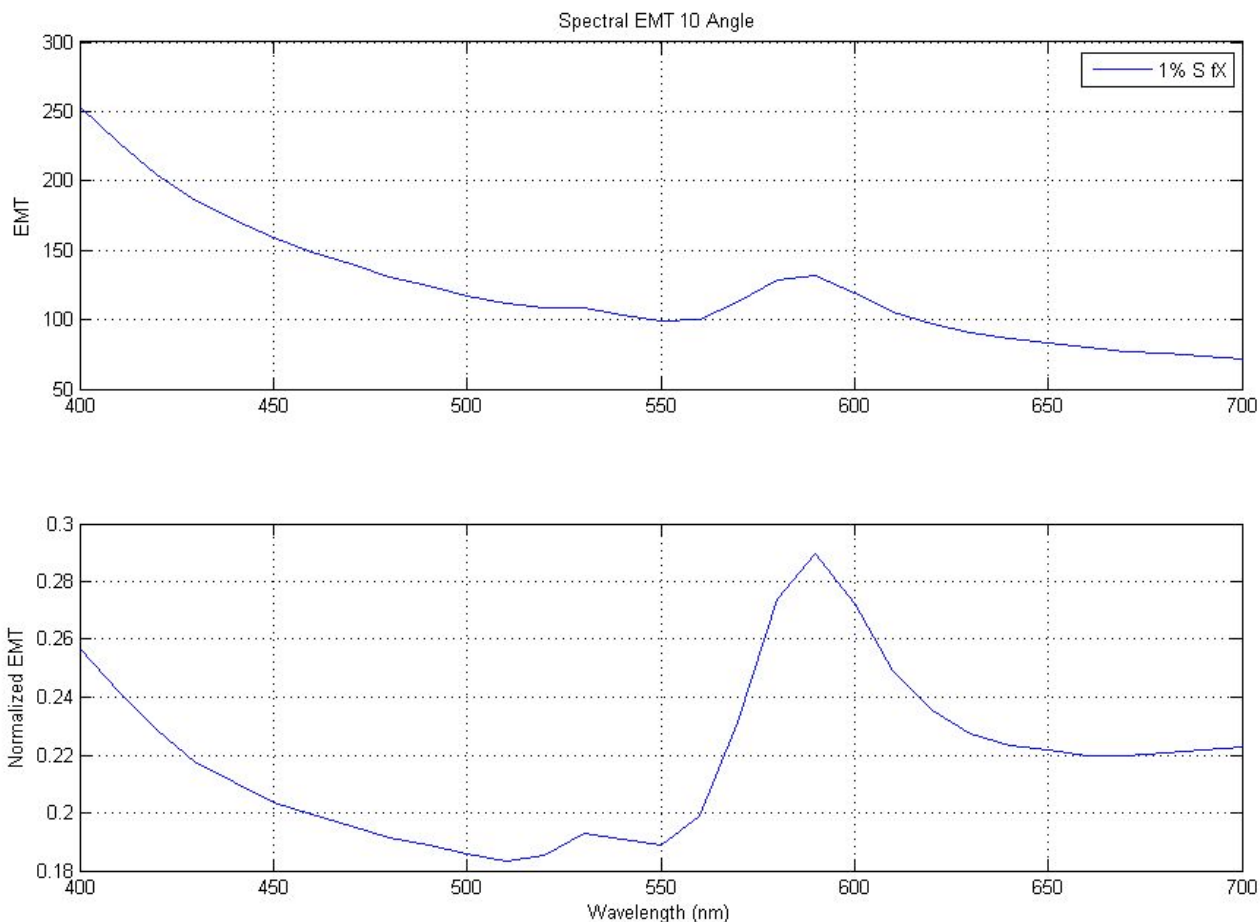
Questo è utile per la rilevazione di alcuni tipi di pigmenti, o di variazioni di concentrazione dei pigmenti, o di altri additivi. Nel caso di pigmenti assorbenti, la "Potenza Ottica" del pigmento può essere messa direttamente in relazione con la dimensione della particella, dato che l'assorbimento è direttamente correlato alla lunghezza del cammino libero medio dell'interazione di dispersione e all'area totale della superficie, ottenendo in tal modo un modello EMT più "dispersivo". L'equazione viene calcolata come:

$$\langle \text{EMT}_{ba} \rangle = (16\pi^2 / \lambda^4) \cos^2 \theta_i \Phi_{ba}(\varphi_s) R_a(\theta_i)$$

Per materiali più complessi come i pigmenti per effetti speciali, vi è una interferenza luminosa che causa uno “sbilanciamento di impedenza”, e le curve di dispersione prendono l’aspetto seguente:



Per un rivestimento che contiene una miscela sia di pigmenti di assorbimento che di effetti speciali, l'EMT è una combinazione dei due, la cui forma dipende dal peso assegnato ai due materiali:



Oppure, nel nostro caso, si calcola prima la norma proiettata sul piano x-y e la norma del vettore della riflettanza misurata. Si calcola poi la direzione del coseno lungo l'asse z della norma e sul piano x-y. L'EMT viene calcolata moltiplicando i Coseni Direzionali per $\frac{16 \pi^2}{4}$, per ciascuna lunghezza d'onda.

Colorimetria per angolo

Proprio come nella colorimetria tradizionale o con lo spettrofotometro multiangolo MA68 originale, talvolta è utile confrontare valori colorimetrici, come ad esempio L^*a^*b , tra angoli.

In questo caso, il confronto degli angoli fuori piano può rivelare aspetti associati con le differenze di aspetto sotto altre condizioni potenziali di illuminazione.

