

Il colore della sabbia: percezione, caratterizzazione e compatibilità nel ripascimento artificiale delle spiagge

Enzo Pranzini

Dipartimento di Scienze della Terra, Borgo Albizi, 28 - 50122 Firenze - epranzini@unifi.it

Riassunto

Il ripascimento artificiale, sempre più frequentemente utilizzato per la difesa dei litorali, può determinare modificazioni del colore delle spiagge con una sostanziale variazione di una delle principali caratteristiche del paesaggio costiero. Anche se in alcuni casi le trasformazioni sono state valutate positivamente dagli utilizzatori, molto spesso l'immissione di sedimenti di colore diverso ha innescato polemiche approdate alle aule giudiziarie.

La caratterizzazione cromatica delle sabbie e delle ghiaie non è semplice a causa della loro disomogeneità. In questo articolo, dopo aver illustrato alcuni concetti base sul colore, sulla sua percezione da parte dell'uomo e sulle procedure di misurazione, si analizzano vantaggi e svantaggi delle diverse tecniche colorimetriche. Lo spazio colore CIEL*a*b* risulta essere il più affidabile essendo quasi percettivamente uniforme e codificato da una organizzazione internazionale. Inoltre, esso consente una quantificazione esatta della distanza cromatica fra due campioni. Il sistema Munsell, efficace per il lavoro di campagna, non permette tale quantificazione. Comunque, per quest'ultimo è stata sviluppata una procedura che consente di ottenere la determinazione cromatica anche per la ghiaia.

Si è infine valutata, nello spazio CIEL*a*b*, la compatibilità cromatica fra sabbie native e sabbie di ripascimento in alcuni interventi realizzati in Italia negli ultimi anni. Le differenze cromatiche (ΔE^*ab) trovate per alcuni casi di studio giustificano il disappunto espresso da numerosi utilizzatori delle spiagge in questione.

Parole chiave: spiagge, sedimenti, colore, ripascimenti artificiali.

Abstract

*Artificial beach nourishment, which is increasingly being applied to shore protection projects, can significantly modify the original beach colour, therefore altering one of the most important coastal landscape components. Although in some cases stakeholders positively evaluated this change, frequently the use of sand of a different colour induced controversies which even resulted in court cases. Sand and gravel chromatic characterisation is a hard task due to their extremely low heterogeneity. This paper presents concepts on colour theory and perception, and describes some procedures that are suitable to such characterisation. CIEL*a*b* is the most reliable colour space, being perceptually uniform and codified by an international organisation; in addition, it allows for the quantification of the distance between colours of two samples. The Munsell system, suitable for field work, makes it difficult to perform such a quantification. However, a procedure has been developed for the latter which allows to characterise gravel colours. The chromatic compatibility between native and borrow sediments from recent Italian nourishment operations was then evaluated using CIEL*a*b* colour space. Chromatic differences (ΔE^*ab) justify stakeholders' disagreement with the realisation of some beach nourishments.*

Keywords: beaches, sediments, colour, beach fill.

Introduzione

Il colore della sabbia è uno degli aspetti caratterizzanti il paesaggio costiero ed uno degli elementi che più influenzano la scelta di una località di vacanza da parte dei bagnanti, tanto che molti autori lo includono fra i parametri per la valutazione della qualità delle spiagge (Williams e Morgan, 1995; Leatherman, 1997; Morgan, 1999). Questa caratteristica è determinata dai minerali e dai frammenti litici che costituiscono l'arenile, provenienti in gran parte dai bacini di alimentazione, ma anche dall'erosione delle falesie e dai sedimenti presenti sulla piattaforma, nonché dai bioclasti prodotti in mare. La fama e la fortuna di alcune località turistiche è sancita, fra l'altro, proprio dal colore delle proprie spiagge; basti pensare alla spiaggia rosa di Budelli (Sardegna) e a quella di Lignano Sabbiadoro, toponimo entrato in uso dopo che in un depliant turistico degli Alberghi Riuniti, del 1931, veniva scritto *Lignano dalla sabbia d'oro*, proprio per richiamare l'attenzione sul colore dell'arenile di questa località del litorale veneto.

Ma il colore della sabbia ha una valenza ecologica assai più ampia, andando a determinare le caratteristiche termiche della sabbia (Hays et al., 2001), così importanti per alcuni organismi che hanno lì il proprio habitat permanente o stagionale. La temperatura della sabbia, e quindi il colore, incide ad esempio sul successo riproduttivo dei limuli (Avisar, 2006) e delle tartarughe marine; per quest'ultime, attraverso il tempo di sviluppo delle uova, è influenzata anche la *sex ratio* (Dickerson et al., 2006).

Il colore della sabbia può essere identico a quello delle rocce retrostanti, ma talvolta ha caratteristiche cromatiche assai diverse, determinate da un bacino di alimentazione che differisce per litologia dalla fascia costiera; spiagge di colore diversissimo possono trovarsi vicine, quando non in adiacenza (Wiegel, 2006) e la stessa spiaggia può cambiare di colore nell'arco dell'anno con il flusso *cross-shore* di materiali a granulometria o a peso specifico diverso (Prakash et al., 2007).

Nonostante ciò, il colore di una spiaggia è una caratteristica ambientale che si ritiene di dover conservare negli interventi di ripascimento degli arenili, anche se indicazioni specifiche in merito si ritrovano solo in pochi documenti (es. Ewing L., California Coastal Commission, 1997).

Questo può contrastare con le "richieste" dei frequentatori, che attribuiscono alle sabbie più chiare una valenza maggiore di quella riservata, ad esempio, alle sabbie grigio scure (Grove, 2007; Pranzini et al., 2008).

D'altra parte, i sedimenti chiari sono preferibili per svariati motivi: conferiscono luminosità al paesaggio, fanno apparire più trasparenti le acque costiere, si riscaldano meno sotto il sole estivo e, perché no, garantiscono un'abbronzatura accelerata. E' tale l'esigenza di mantenere il colore chiaro delle spiagge che lo posseggono, che è stata valutata l'ipotesi di sottoporre a trattamento chimico la sabbia grigia presente al largo di Oahu (Hawaii) in modo da sbiancarla prima della sua utilizzazione per il ripascimento della spiaggia (Hampton et al., 2004).

Vi sono comunque casi in cui un colore più scuro, ma caratteristico, è stato gradito dai frequentatori, come dimostra l'intervento effettuato a Cala Gonone, in Sardegna (Pacini et al., 1999): una esile spiaggia carbonatica, inserita fra nere rocce basaltiche, è stata ampliata con ghiaietto di granito rosa ed oggi viaggia per tutto il mondo grazie alle nuove cartoline del paese (Fig. 1). Il progetto, unico fra gli interventi di difesa costiera, ha ricevuto il Premio Mediterraneo per il Paesaggio nel 2000 (PMP, 2001). D'altra parte il colore rosa è considerato altrettanto pregiato del bianco nei questionari di valutazione delle spiagge (Leatherman, 1998).

È vero però che nella gran parte dei casi l'alterazione del colore naturale non è stata gradita, tanto che di ripascimenti artificiali si parla sempre più frequentemente nelle aule dei tribunali. La spiaggia di Cavo, all'Isola d'Elba, alimentata con i materiali di risulta dell'attività estrattiva del ferro (Nordstrom et al., 2004), ha assunto una colorazione rossiccia per la gran quantità di ossidi presenti, che hanno anche reso torbide le acque marine antistanti. La presenza di cristalli di ematite che brillavano sulla spiaggia, e che venivano raccolti in grande quantità dai visitatori, non ha compensato il disagio

di chi si trovava a camminare scalzo sui sedimenti spigolosi e arroventati dal sole. L'ipotizzato danno ambientale, in particolare sulla antistante prateria di *Posidonia oceanica*, si è dimostrato inesistente, ma il Comune di Rio Marina e la Provincia di Livorno hanno fatto un nuovo progetto ricoprendo con ghiaia grigia la spiaggia appena ricostituita.



Figura 1 - Una cartolina raffigurante la nuova spiaggia di granito rosa inserita fra le nere rocce vulcaniche del litorale di Cala Gonone (Sardegna).

Il caso della spiaggia del Poetto (Cagliari) è ancor più emblematico di quanto il colore della sabbia stia a cuore ai frequentatori abituali: qui la vecchia spiaggia di sabbia fine, e bianca per l'elevata percentuale di quarzo, si era notevolmente ridotta per i prelievi da terra e da mare e per la perdita dovuta all'ablazione eolica. Nonostante ciò il ripascimento da mare, con sedimenti scuri, più grossolani e con una prevalenza di bioclasti, ha ferito la sensibilità ambientale dei cagliaritari, innescando una nuova procedura penale (Pranzini, 2009).

Più recente è il caso del ripascimento effettuato a Marina Palmense (Bisci et al., 2008) sempre con sedimenti dragati in mare. In questo caso la spiaggia naturale era costituita da sedimenti chiari, in prevalenza carbonatici, mentre la nuova sabbia è scura tanto che il contrasto cromatico è evidente anche sulle immagini riprese dallo spazio (Fig. 2).

In tutti questi casi controversi, il colore dei nuovi materiali era più scuro di quello dei sedimenti naturali e non si sa se le critiche dei cittadini riguardino più la perdita di un colore "gradito" che non quella del colore "naturale". In un altro caso, sulla spiaggia di Ladispoli (Lazio), è stata versata sabbia più chiara di quella originaria e, anche se ciò non ha innescato vibranti proteste, alcune interviste hanno dimostrato che qui il gradimento per i sedimenti scuri è maggiore che altrove (Pranzini et al., 2008).

Trasformazioni analoghe hanno accompagnato anche alcuni ripascimenti effettuati all'estero, dove si sono importate sabbie di origine assai lontana. La spiaggia di St. George's Bay, a Malta, è stata alimentata con 5.000 m³ di sabbia proveniente dalla Giordania (Ebejer, 2004), mentre il colore giallo della spiaggia di Las Teresitas, inserita fra le rocce nere vulcaniche di Tenerife, ricorda ai turisti meno sprovveduti la provenienza sahariana della sua sabbia.

I casi citati, indipendentemente dalle valutazioni che se ne danno, dimostrano che negli anni passati l'aspetto relativo al colore delle sabbie è stato sottovalutato nella progettazione dei ripascimenti artificiali ed ancora oggi sul Coastal Engineering Manual (Gravens et al., 2002) si legge: *compatibility*

of borrow and native beach material is primarily based on grain size characteristics, and to a lesser extent on color. La richiesta che emerge da parte degli organismi italiani preposti alla tutela dell'ambiente, di caratterizzare i sedimenti naturali e di ripascimento anche dal punto di vista cromatico, non può quindi che trovare il più ampio consenso, anche se il vincolo di rispettare il colore di una spiaggia dovrebbe essere posto laddove questo ha un'oggettiva valenza paesaggistica od ecologica. In ogni caso ciò che viene chiesto è la valutazione della "compatibilità cromatica" fra i sedimenti naturali e quelli di ripascimento, senza che venga spiegato cosa si intende per compatibilità cromatica. Inoltre, questa norma sembrerebbe escludere a priori la possibilità di conferire alla nuova spiaggia un colore "migliore" di quello del vecchio arenile.



Figura 2 - Il litorale di Marina Palmense, in una immagine di Google Earth, in cui si vede la spiaggia scura derivante dal recente ripascimento inserita in un tratto di costa caratterizzato da sedimenti chiari. Il rettangolo grigio in alto è il deposito della sabbia stoccata a terra in attesa di essere utilizzata in altri interventi.

Nel presente lavoro non ci occuperemo degli aspetti estetici del colore della sabbia e delle preferenze dei bagnanti in merito a ciò (argomento trattato da Pranzini et al. 2008) e limiteremo l'analisi ai problemi tecnici inerenti la determinazione della compatibilità cromatica dei sedimenti. Alla difficoltà di stabilire il colore di una sostanza eterogenea come la sabbia, o peggio ancora la ghiaia, si unisce infatti quella di stabilire quando due colori diversi possano essere definiti simili; cosa che può significare "indistinguibili" per un osservatore, oppure "accettabili" secondo una valutazione soggettiva basata su fattori fisiologici, psicologici e culturali.

Percezione e determinazione del colore

La Colorimetria è una scienza esatta che si occupa della determinazione quantitativa del colore facendo riferimento alla percezione umana, definendo anche i sistemi di rappresentazione e le procedure di misurazione più idonee a tale fine.

La percezione umana dei colori è materia che riguarda la fisiologia, anch'essa scienza esatta nonostante che la nostra valutazione del colore rimanga qualitativa e la misura dell'intensità luminosa sia resa difficile proprio da quegli adattamenti dell'occhio che ci consentono di vedere in condizioni di

illuminazione estremamente diverse.

Ciò non riguarda solo la luminosità complessiva di un oggetto, ma anche l'intensità della radiazione nelle diverse lunghezze d'onda, cosa che rende arduo il definire un *range* di colori entro il quale le differenze cromatiche non siano percettibili da un osservatore.

L'occhio umano ha due tipi di recettori, i coni, meno sensibili ma specializzati nella visione cromatica, e i bastoncelli, più sensibili ma con scarsa risoluzione spettrale. Paghiamo quindi la possibilità di vedere all'alba o al crepuscolo, o comunque in condizioni di scarsa illuminazione, perdendo la percezione dei colori. Di giorno tre tipi di coni diversi raccolgono separatamente la radiazione elettromagnetica di lunghezza d'onda compresa fra 380 e 780 nm, anche se fuori dal range $400 \div 700$ nm la loro sensibilità è estremamente bassa. I coni *L* si attivano con le onde più lunghe, i coni *M* con quelle medie ed i coni *S* con quelle corte, sebbene vi sia una notevole sovrapposizione delle curve che descrivono il livello di attivazione dei tre coni in funzione della lunghezza d'onda, in particolare fra quella degli *L* e quella degli *M*. Le curve mostrano picchi di attivazione rispettivamente a 580, 540 e 440 nm e la sensibilità dei tre coni è diversa a parità di intensità luminosa (Fig. 3a).

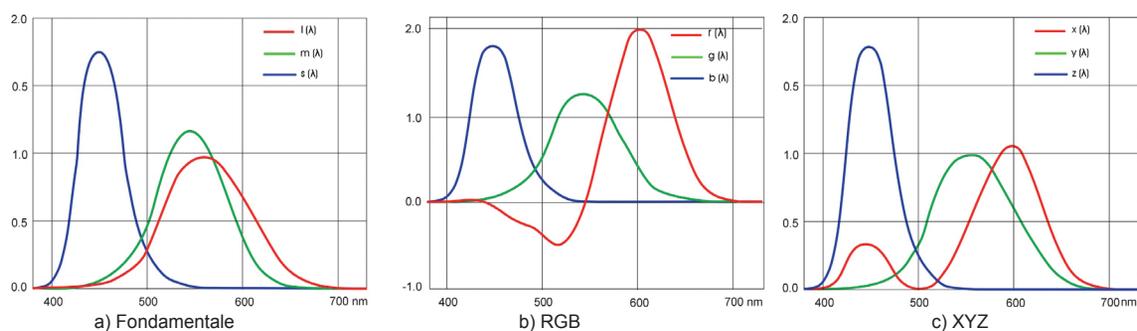


Figura 3 - Funzioni colorimetriche nei sistemi di riferimento Fondamentale, RGB (CIE 1931) e “immaginario” XYZ (CIE 1931).

I valori di tristimolo indicano la proporzionalità fra stimoli di diversa radianza spettrale e livello di attivazione dei coni, tanto che è possibile associare ad un colore una posizione nello spazio *LMS*, dove il valore di ciascuna delle tre coordinate (*L*, *M*, *S*) è dato dall'integrale delle funzioni colorimetriche (*color-matching function*) per λ compreso fra 380 e 780 nm. Queste funzioni vengono normalizzate in modo che uno stimolo di uguale energia determini l'uguaglianza $S = M = L = 1$. È evidente che valori identici di *L*, *M* ed *S* possono essere ottenuti con intensità e distribuzioni spettrali diverse, e quindi che più stimoli diversi possano generare la stessa percezione cromatica (metamerismo). Dato che le tre curve non erano conosciute con sufficiente accuratezza nel momento in cui venivano definiti gli standard colorimetrici, lo spazio colore *LMS* non è mai stato utilizzato nella pratica (Boscarol, 2007).

Nel 1931, sulla base di numerosi test di *color matching* (confronto visivo fra un determinato colore e quello generato dalla sovrapposizione di tre stimoli primari) la *Commission Internationale de l'Éclairage* (CIE) definì un *osservatore standard* e nuove funzioni di tristimolo “immaginarie” *RGB* (Fig. 3b) utilizzando come primarie luci monocromatiche di lunghezze d'onda pari a 700 (*R*), 546.1 (*G*) e 435.8 nm (*B*). Pur scegliendo opportunamente queste sorgenti primarie, non era comunque possibile ottenere con la loro sintesi additiva tutti i colori, ma per alcuni era necessario che uno dei tre primari venisse sottratto in quantità opportune (in modo artificioso aggiungendolo al colore di riferimento da uguagliare); inoltre, non tutti i colori percepiti dall'occhio potevano essere riprodotti in questo modo. Per rispettare la diversa sensibilità dei coni ai tre primari, le componenti tricromatiche furono definite attraverso le seguenti relazioni:

$$R = L_R \quad G = L_G/4,591 \quad B = L_B/0,060$$

in modo che per l'osservatore normale medio ogni miscuglio delle luci fondamentali nel quale R , G , B abbiano valori uguali, sia equivalente alla luce "bianca" convenzionale W (Feury e Mathieu, 1966).

Normalizzando i valori di R , G e B si ha che i *coefficienti tricromatici* r , g e b sono dati da:

$$r = R/(R+G+B) \quad g = G/(R+G+B) \quad b = B/(R+G+B)$$

da cui:

$$r + g + b = 1.$$

Conoscendo due dei tre coefficienti è quindi possibile ottenere il terzo, che è il complemento ad 1 della somma dei due. Ciò consente di rappresentare i colori su di un piano, essendo la terza coordinata determinata dalla luminanza totale del fascio.

Lo spazio RGB ha una grande importanza nelle applicazioni pratiche in quanto viene utilizzato in tutte le apparecchiature che producono immagini a colori (schermi televisivi, fotocamere digitali, ecc.), ma basandosi sull'uguagliamento metamerico dei colori, ogni produttore può adottare sistemi di riferimento diversi, e addirittura talvolta distorti, come è il sistema sRGB di Windows, in cui le terne R , G e B subiscono elevazioni a potenza distruggendo così la linearità dello spazio (Oleari, 2003). Alcuni colori generati da un monitor non possono venire riprodotti da un altro o da una stampante, oppure non vengono riconosciuti da uno scanner; inoltre, la gamma di colori che il nostro occhio percepisce è assai più ampia di quella delimitata da qualsiasi spazio RGB. Ecco perché, insieme alla non linearità del sistema, di cui parleremo in seguito, non è possibile fare determinazioni colorimetriche assolute utilizzando foto digitali.

In realtà, metodi di "determinazione" del colore che utilizzano camere digitali sono stati sviluppati e alcuni di questi utilizzano tecniche e *software* tipici del telerilevamento (Levi et al., 2005), ma non hanno trovato vasta utilizzazione, anche se le foto digitali possono aiutare in alcune procedure di "comparazione" fra diversi campioni.

Nel caso si intenda utilizzare il sistema RGB, si può fare ricorso ai colorimetri prodotti appositamente ed utilizzati in campo industriale e merceologico, che direttamente o indirettamente forniscono anche queste coordinate colore. Bisogna però chiarire che su di esse non possono venire definite norme o prescrizioni, proprio perché spesso le coordinate RGB che vengono misurate dipendono da numerose variabili non codificate.

Le coordinate RGB calcolate sulla base di 30 letture con un colorimetro di fascia bassa (PCE RGB-1002) con lettura a 10 bit sul campione centrale di Figura 4 risultano essere pari a 222-201-156 (st. dev. 17, 17, 14), che riportate a 8 bit assumono i valori di 56-50-39, con rapporti piuttosto costanti con la terna 178/164/143 misurata a monitor (3,18, 3,28 e 3,67), ma con luminosità decisamente inferiore a quella dell'immagine fotografica.

Ma il problema principale dei vari sistemi RGB è che non sono "perceptivamente uniformi": differenze costanti nei valori delle 3 coordinate non producono nell'osservatore differenze costanti di percezione cromatica nelle diverse parti dello spazio RGB.

Facendo sempre riferimento all'*osservatore standard* CIE 1931, furono definite anche nuove funzioni di corrispondenze colore, denominate X , Y e Z , legate alle R , G e B da relazioni lineari, ma le cui coordinate X , Y e Z assumono solo valori positivi.

Fra le infinite trasformazioni lineari possibili fra i primari R , G e B e i nuovi X , Y e Z se ne scelse una in cui il primario Y corrisponde alla risposta percettiva che il nostro occhio dà alla Luminosità, mentre le altre due forniscono la Cromaticità.



Figura 4 - Stima della omogeneità cromatica fra tre diversi campioni di sabbia utilizzata in un ripascimento profondo a Marina di Carrara. Unica foto scattata con i campioni e le scale cromatiche poste dietro ad un diffusore di luce solare (pannello di plexiglas bianco). L'immagine è stata poi sottoposta a stretch lineare in ciascuno dei canali RGB. E' stato quindi applicato un filtro "medio" alle tre aree rettangolari poste al centro di ciascun campione per generare il colore medio, le cui coordinate RGB sono riportate al centro. Le coordinate RGB hanno valore solo nell'ambito di un confronto all'interno dell'immagine stessa.

Le funzioni di *color matching* sono rappresentate in Figura 3c: *X* corrisponde approssimativamente al Magenta (con un picco a 600 nm, nel Rosso, ma con associato un picco secondario a 440 nm, ossia nel Blu); *Y* ha il picco a 521 nm (Giallo-Verde) e *Z* a 477 (Blu). Un colore viene così ad essere posizionato in uno spazio tridimensionale, non molto diverso dall'RGB e sempre basato sulla percezione dei coni *S*, *M* e *L*, ma nel quale la gamma di colori rappresentabili è estremamente più ampia e copre tutti i colori che il nostro occhio riesce a vedere e senza la necessità di inserire "stimoli negativi".

Anche in questo caso è possibile normalizzare i tre primari in modo che la loro somma sia sempre pari ad uno, al fine di rappresentarne una coppia su di un piano e derivare per differenza il terzo valore. L'intersezione del piano di massima Chiarezza con lo spazio XYZ contiene tutti i colori percettibili nella loro massima luminosità. Questi occupano una parte del piano X,Y che viene ad avere la forma di un ferro da stiro con un lato più incurvato dell'altro (Fig. 5), sul cui perimetro si trovano i colori spettrali con lunghezza d'onda crescente in senso orario, mentre sulla base rettilinea vi è una miscela che dal rosso puro porta al blu puro. Il diagramma delle Cromaticità ha delle caratteristiche particolari: a) mescolanze additive di due stimoli di colore diverso con pari luminosità producono una percezione cromatica che si trova sulla metà del segmento congiungente i due colori; b) la percezione cromatica fornita dalla mescolanza di tre colori diversi si colloca all'interno del triangolo che ha per vertice i tre colori.

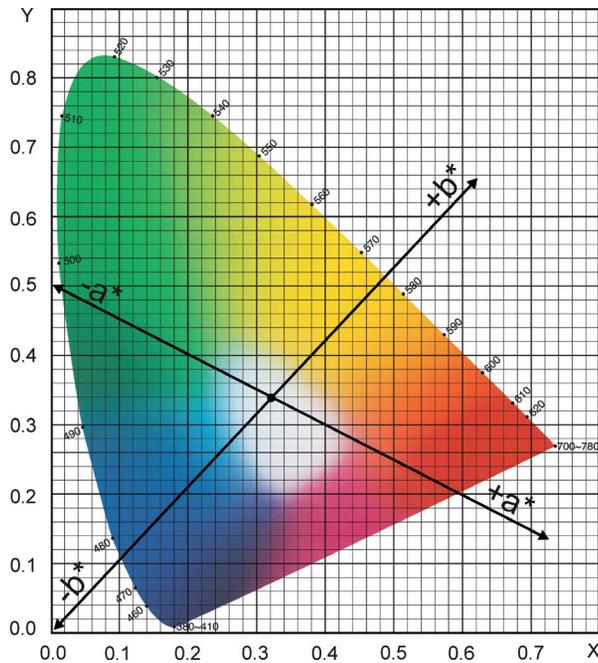


Figura 5 - Diagramma delle Cromaticità CIE 1964. Sono indicati anche gli assi a^* e b^* del sistema CIE L*a*b* 1976.

Un altro sistema colorimetrico frequentemente utilizzato nell'elaborazione delle immagini digitali è l'HSB (Hue, Saturation, Brightness; Fig. 6) che meglio si presta a descrivere i colori nel modo in cui noi li vediamo e a manipolarli secondo i nostri schemi mentali che, contrariamente al fatto che percepiamo in RGB, non si basano su tale sistema di coordinate; è per questo che molti professionisti del colore (fotografi, grafici pubblicitari, ecc.) utilizzano software di fotoritocco che consentono di lavorare in HSB. Rimane il fatto che anche questo sistema, derivando dall'RGB, non è percettivamente uniforme anche se si avvicina maggiormente a questa caratteristica.

Hue (Tinta) è il colore come generalmente lo descriviamo (rosso, giallo, verde, ciano, blu, magenta) e nello spazio HSB assume un valore angolare che determina la posizione del punto-colore su di una circonferenza. La Saturazione misura quanto un colore è diverso da un grigio di pari luminosità; i valori vanno dal grigio puro ($S = 0\%$) fino alla massima saturazione del colore puro ($S = 100\%$) ed è rappresentata dalla distanza del punto-colore dal centro del cerchio. La Brightness (Luminosità) esprime la posizione dei colori desaturati ($S = 0$) in una scala di grigi, con valori compresi fra 0 e 100; a 0 qualunque colore appare nero, mentre a 100 appare bianco. La sua rappresentazione avviene sull'asse ortogonale al cerchio che viene intersecato dal livello $L = 50$.

Lo spazio HSB ha la forma di un fuso che si restringe alle due estremità con la punta superiore bianca e quella inferiore nera. Sistemi analoghi sono l'HLS (Hue, Lightness, Saturation) e l'LCH (Lightness, Chroma, Hue).

Il problema è che anche questi sistemi non rispettano la progressività con la quale il nostro occhio, o meglio il nostro cervello, percepisce le differenze cromatiche; non sono quindi percettivamente uniformi. La CIE, sempre partendo dallo spazio XYZ, cercò di sviluppare nuovi spazi colore percettivamente uniformi. Nel 1960 fu proposto un diagramma di Cromaticità u, v con una espansione del settore rosso e compressione di quello verde, per tenere conto della diversa capacità di discriminazione dell'occhio in questi colori. Nel 1976 il diagramma u, v venne modificato moltiplicando per 1.5 il valore di v , estendendo quindi il passaggio dal blu al verde. Anche l'asse Y, nel quale si riporta la luminosità, venne riscaldato per farlo corrispondere alle differenze di percezione dell'occhio alla luminosità e denominato L^* : lo spazio CIE LUV 1976 è quasi-percettivamente uniforme.

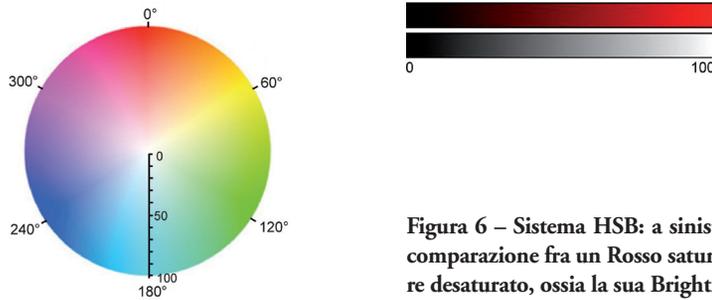


Figura 6 – Sistema HSB: a sinistra il piano HS e in alto l'esempio della comparazione fra un Rosso saturo con diversa Brightness e lo stesso colore desaturato, ossia la sua Brightness.

Negli anni '60 Edwald Hering osservò che non vi sono blu giallastri o gialli bluastri, così come non vi sono verdi rossastri o rossi verdastri. Pensò così che nel tragitto fra l'occhio e il cervello i tre stimoli primari vengano trasformati in tre diverse percezioni, una di luminosità (*chiaro-scuro*) e due legate a coppie di colori opposti: *rosso-verde* e *blu-giallo*. Questa Teoria di Hering portò alla definizione di un secondo sistema CIE quasi-percettivamente uniforme e basato su due nuovi assi a^*, b^{*1} tracciati sul diagramma delle Cromaticità in modo che intersechino la linea dei colori spettrali proprio in corrispondenza di quattro colori opposti (Fig. 5). La posizione che assumono su di essi i vari punti colore deriva da una trasformazione delle coordinate x ed y che portano a^* e b^* ad assumere valori compresi fra ± 200 . Nella posizione $a^* = b^* = 0$ viene intersecato l'asse della Chiarezza (L^*), definito nello stesso modo visto per il sistema CIELUV, e sul quale si trovano i colori acromatici (dal bianco, ai vari grigi, fino al nero).

I valori positivi di a vanno verso il rosso, mentre quelli negativi verso il verde; parimenti, valori positivi di b esprimono colori che vanno verso il giallo e quelli negativi colori che portano al blu.

Il sistema CIEL*a*b* (Fig. 7) è quello che oggi viene più frequentemente utilizzato per la misura del colore, ed in particolare per la determinazione della differenza fra due colori, che corrisponde alla distanza euclidea fra le loro coordinate:

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

La non completa uniformità del sistema richiede alcune correzioni che sono oggetto di costante sviluppo (Oleari, 2008).

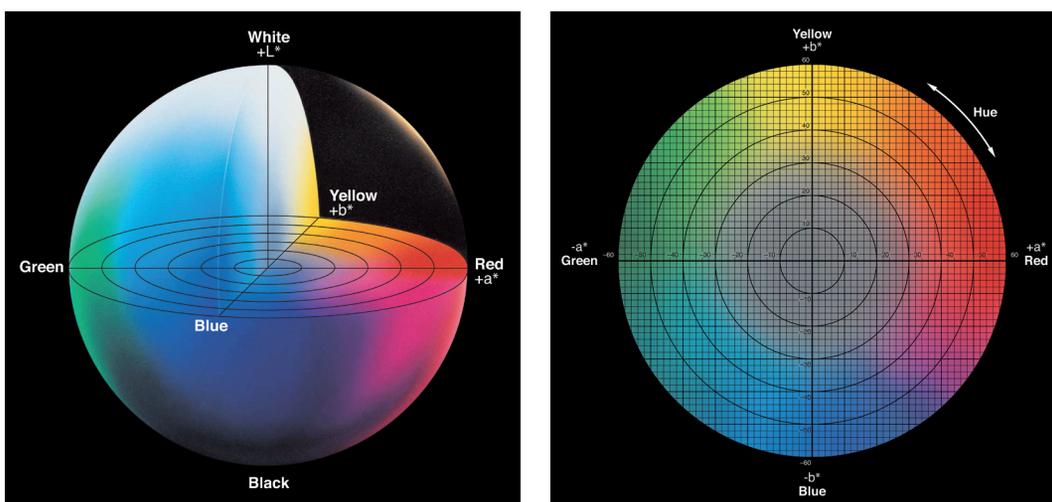


Figura 7 - Lo spazio CIEL*a*b* e il diagramma di Cromaticità a^*, b^* .

¹ Gli asterischi sono parte integrante del nome del sistema ed indicano la non linearità delle coordinate, oltre che distinguere questo sistema dal Lab, introdotto da Hunter nel 1948 e derivante, anch'esso, dallo spazio CIE 1931 XYZ.

Tutti questi sistemi, dallo HSB al CIEL*a*b*, vanno nella direzione che già nel 1898 aveva intrapreso Alber Henry Munsell, un insegnante di disegno che, nel 1905, pubblicò *A Color Notation*, un atlante in cui i colori venivano posti in una sequenza “razionale” (*perceptually uniform color space*). Il sistema ideato da Munsell, successivamente modificato per correggere alcuni ovvi errori nel posizionamento di alcuni colori (Malacara, 2002) e chiamato ora *Munsell Renotation System*, ha avuto un immenso successo ed è stato adottato, fra l'altro, per la descrizione del colore dei suoli (*Munsell Soil Color Charts*). Ad esso fa riferimento, ad esempio, la California Coastal Commission (1997) per la determinazione del colore delle sabbie native e di ripascimento; caratterizzazioni su tale sistema vengono da poco richieste anche in Italia da alcune Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale (es. ARPAT).

Anche questo sistema, analogamente a quelli precedentemente descritti, fa riferimento al modo con il quale vengono denominati i colori nel linguaggio comune, indicando un colore dominante (Hue), una luminosità (Value) e una saturazione (Chroma) (Fig. 8).

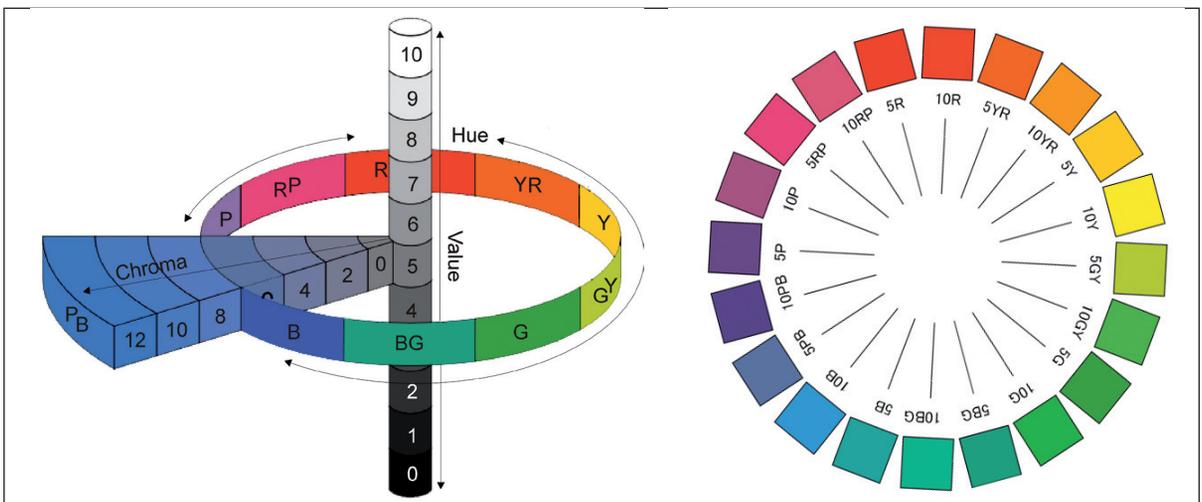


Figura 8 - Il sistema colorimetrico Munsell (a sinistra) e la posizione delle Tinte (Hue) sulla circonferenza (a destra).

Teoricamente lo spazio è cilindrico, con l'asse verticale corrispondente alla sensazione di Luminosità fornita da un colore, con in alto il Bianco (Value 10), al centro il Grigio (Value 5) e in basso il Nero (Value 0). Come abbiamo già detto, la nostra percezione della luminosità non segue in modo lineare le variazioni di intensità luminosa e Munsell cercò di scalare i livelli di Value in modo opportuno, con una progressione che si colloca fra la radice quadrata e la radice cubica della riflettività, tanto che una Value di 5 corrisponde ad una riflettanza di 0.2.

La Tinta (Hue) è ciò che genericamente definiamo Colore e viene ad assumere una coordinata polare con le 5 Hue principali Porpora (P), Blu (B), Verde (G), Giallo (Y), Rosso (R), poste ad intervalli regolari, suddivisi ulteriormente a generare 5 combinazioni (PB, BG, GY, YR, RP) divise poi in 10 sottoclassi. Procedendo verso il centro del cerchio si va verso l'asse della luminosità (Value) ed i colori saturi diventano progressivamente grigi; questa coordinata è definita Chroma o Saturazione. Lo spazio HVC effettivamente occupato dai colori Munsell non è cilindrico, sia perché alcuni colori forti, come il Rosso e il Blu, raggiungono la saturazione ad alti valori di Chroma, mentre altri, come il Giallo e il Verde, la raggiungono non lontano dall'asse verticale dei grigi, sia perché spostandosi verso le estremità dell'asse della Value (Bianco e Nero) si riducono, fino ad azzerarsi, i valori di Chroma. La precisione con la quale può essere caratterizzato visivamente un colore con il sistema Munsell è stimata in 0.5 Hue, 0.1 Value e 0.4 Chroma (ASTM D1535).

Sebbene il sistema sviluppato da Munsell ben si adatti al modo con il quale percepiamo i colori e cerchi di compensare la non linearità della risposta del nostro occhio alle variazioni cromatiche (vorrebbe quindi essere un sistema percettivamente uniforme), non consente una facile identificazione dei colori equidistanti da uno di partenza.

Una volta definito il sistema colorimetrico di riferimento, rimangono da stabilire le condizioni di illuminazione della sabbia sotto le quali eseguire le misure, dato che ciascun oggetto colorato ha una riflettività specifica per ogni lunghezza d'onda e l'energia in arrivo al sensore o all'occhio dipenderà non solo da essa (il dato di nostro interesse), ma anche dall'intensità luminosa della sorgente in quella lunghezza d'onda. Il problema si presenta particolarmente complesso quando la determinazione avviene per via comparativa, come nel caso di utilizzazione delle Tavole Munsell. Per i sistemi CIE, l'evoluzione della determinazione degli spazi colore è andata di pari passo con quella della definizione di sorgenti luminose standard (illuminanti), fra le quali la D65 (CIE, 1965) è la più indicata per il nostro caso, simulando l'illuminazione solare con temperatura di emissione pari a 6504 K e cielo sereno, ossia le condizioni più frequenti ed omogenee di illuminazione e nelle quali anche il nostro occhio percepisce meglio le variazioni di cromaticità e di luminosità. Assai simile è l'Illuminante C (temperatura colore 6774 K), che taglia però le lunghezze d'onda dell'ultravioletto, ma che viene utilizzato nel sistema Munsell. L'Illuminante A (temperatura colore 2856 K) con uno spettro prodotto da una lampada ad incandescenza, e quindi con tonalità rosse, non è utilizzabile per la determinazione del colore di oggetti che stanno all'aperto; cosa che ci suggerisce di non effettuare comparazioni con le Tavole Munsell nel chiuso del nostro laboratorio illuminato, in genere, da simili lampade.

La caratterizzazione colorimetrica dei sedimenti

Indipendentemente dal sistema scelto per rappresentare e confrontare le coordinate colorimetriche dei sedimenti da analizzare, rimane il problema relativo alla misura diretta o indiretta dei tre valori che identificano il colore di ogni campione.

Il primo problema che si pone riguarda il fatto che i sedimenti presentano una rugosità intrinseca, data dalla loro granulometria, che non può essere eliminata spianando la superficie da misurare. Studi effettuati sui materiali chimicamente omogenei indicano che la riflettività cala rapidamente all'aumentare delle dimensioni dei granuli (Stoner e Baumgardner, 1980). Ciò significa che una sabbia ed una ghiaia della stessa composizione mineralogica vengono ad avere un'albedo diversa e la sabbia apparirà più chiara della corrispondente ghiaia.

Inoltre, questo fenomeno non si presenta con la stessa intensità per tutti i colori, ma per le componenti dello spettro elettromagnetico a lunghezza d'onda maggiore la stessa superficie sarà più liscia di quanto non lo sia per le lunghezze d'onda minori.

Oltre a ciò, la superficie di una spiaggia, in particolare se costituita da ghiaia, non è lambertiana, ossia non mantiene la stessa riflettività nelle diverse lunghezze d'onda al variare dell'angolo di illuminazione e di osservazione. Ciò diventa ancor più grave in quanto la misura o il confronto viene generalmente fatto con visione zenitale. Se l'illuminazione non è coassiale, cosa tecnicamente impossibile, nel campo di vista appaiono le ombre dei granuli, tanto più estese quanto più angolata è la posizione della sorgente luminosa.

Misure fatte in condizioni di illuminazione naturale si portano dietro il problema dello scattering atmosferico: per la luce blu abbiamo una illuminazione diffusa dal cielo, e quindi una riduzione delle ombre, mentre nel verde ed ancor più nel rosso la luce proviene direttamente dal Sole e genera ombre blu, mentre la superficie illuminata riceve una radiazione con una prevalenza della componente rossa.

I colorimetri professionali hanno una sorgente luminosa interna che, tramite una calibratura su di un pannello "bianco", viene a simulare l'Illuminante richiesto, in genere il C e il D65.

In alcuni strumenti la sorgente luminosa è costituita da due led posti lateralmente, mentre il sensore guarda la scena dall'alto. Ciò dovrebbe ridurre i problemi legati alla rugosità, ma i singoli granuli possono disporre le proprie superfici in modo da riflettere o meno la luce incidente verso il sensore. Strumenti più precisi forniscono un'illuminazione che proviene in modo uniforme da tutte le direzioni, consentendo determinazioni assai più accurate.

Ai fini della caratterizzazione colorimetrica dei sedimenti di spiaggia il problema appare marginale, dato che l'effetto della rugosità si ripercuote anche sul colore percepito da un osservatore, il quale vedrà colori leggermente diversi osservando la spiaggia secondo angoli diversi rispetto alla direzione del Sole. Rimane comunque il problema che la finestra del sensore deve aderire alla superficie da misurare, in modo da evitare l'ingresso della luce dell'ambiente. Con sabbie grossolane, granuli e ghiaia questo non è facile e si consiglia quindi di effettuare le misure in una stanza buia, anche se i colorimetri professionali forniscono un'illuminazione di intensità talmente superiore a quella dell'ambiente da rendere il problema esclusivamente teorico. Affondare lo strumento nella sabbia comporta che essa entra nella finestra e, nel caso in cui questa sia di dimensioni ridotte, va a formare una collinetta modificando sostanzialmente la geometria del sistema sorgente-superficie-sensore, fino ad avere la sommità nera di un cono illuminato lateralmente. Si rende quindi necessario operare con strumenti di grande apertura in modo da rendere ininfluenti le variazioni della superficie che si verificano sui bordi, che comunque spesso sono esclusi dal campo di misura. Anche in questi casi è però opportuno non affondare lo strumento nella sabbia, per mantenere costanti le distanze sorgente-superficie e superficie-sensore; in alternativa il paraluce può essere dotato di un vetro (ovviamente con caratteristiche speciali) che consente di affondare la testa dello strumento nella sabbia garantendo la costanza della geometria del sistema.

Nella determinazione del colore con le Tavole Munsell (Fig. 9) il problema è più grave, dato che la comparazione non può essere fatta altro che con luce laterale, essendo l'operatore posto davanti alla tavola e al campione. La percezione del colore sarà quindi analoga a quella di un osservatore che si rechi sulla spiaggia quando il Sole è lontano dallo zenit. La sabbia appare più scura di quanto non risulti a chi vi si reca d'estate nelle ore centrali della giornata.

Questo problema può essere in parte risolto ponendo dei pannelli diffusori, necessariamente bianchi, sul lato opposto al Sole in modo che ne riflettano la luce sul campione.

Le Tavole Munsell hanno in genere una finestra di circa un centimetro e in questo campo di osservazione si vengono a trovare tanti più granuli quanto più piccole sono le loro dimensioni. Nel campo delle sabbie molto fini, fini e medie ($0.063 \div 0.50$ mm) l'occhio media automaticamente i vari contributi e la determinazione è relativamente semplice, ma per le sabbie grossolane e molto grossolane ($0.5 \div 2.0$ mm), nonché per i granuli, i singoli granelli vengono percepiti indipendentemente e l'integrazione diventa più difficile. All'aumentare delle dimensioni il numero ridotto di granuli osservabili attraverso la finestra comincia a non essere significativo e confronti fatti in punti diversi possono portare a colori differenti. Il problema è assai più grave quando si devono caratterizzare delle ghiaie ($2 \div 64$ mm) dato che vengono ad avere dimensioni comparabili con quelle della finestra, tanto che si può essere nelle condizioni di dover determinare un granulo per volta e non è ovviamente possibile fare poi una media fra i colori ottenuti.

Per superare questo problema abbiamo sviluppato un metodo semplice ma efficace che consiste in un contafile, con distanza focale di 4 cm, posto sulla pagina delle Tavole Munsell in corrispondenza della finestra che ci interessa usare. Il tutto poggia su di una struttura che consente di posizionare il campione di ghiaia su di un vassoio posto alla distanza di un metro, in modo da vederlo completamente sfocato attraverso la lente. In questo modo si vede il colore medio di una superficie di circa 300 cm^2 , entro la quale cade un numero sufficiente di granuli per fornire un risultato significativo (Fig. 10).



Figura 9 - Tavola Munsell 2.5Y sovrapposta alla sabbia della spiaggia di Marina di Carrara, che dalla comparazione viene ad avere una notazione di 2.5Y 7/2.5 (N.B.: i colori nella figura non rispettano la realtà).

La stessa struttura consente di fotografare la tavola e, sullo sfondo, attraverso la finestra il campione sfocato, avendo l'accortezza di usare la massima apertura per avere la minima profondità di campo, cosa facilmente ottenibile anche con un obiettivo macro o una lente addizionale (Fig. 10).



Figura 10 - Ghiaia con granuli di dimensioni comprese fra 0.3 e 20 mm (a sinistra) e lo stesso campione fotografato da 1 m di distanza con interposta una Tavola Munsell usata come piano di messa a fuoco.

Sulla compatibilità cromatica di alcune sabbie utilizzate per il ripascimento dei litorali in Italia

Al fine di porre le basi per una più ampia discussione sul concetto di “compatibilità cromatica” sono state analizzate sabbie di ripascimento utilizzate in alcuni interventi effettuati in Italia e il loro colore confrontato con quello dei sedimenti nativi (Figura 11). In alcuni casi non è stato possibile avere un campione del materiale originario o di quello versato e si è supplito a questa carenza prelevando, nel primo caso, un campione su di un tratto di litorale adiacente e sopraflutto, nella speranza di una contaminazione minima, nel secondo campionando la spiaggia dopo il ripascimento, anche se è possibile che vi sia stato un modesto rimescolamento fra i due sedimenti. In ogni caso ciò che importa è quantificare le differenze fra i due materiali e nel caso di contaminazioni le differenze cromatiche vengono sottostimate.

La determinazione del colore nello spazio CIEL*a*b* (D65) è stata effettuata con un colorimetro Konica Minolta CR-410 le cui caratteristiche sono riportate in Tabella 1. Le coordinate CIEL*a*b* delle coppie di campioni (Tab. 2) sono state quindi rappresentate sia con i loro valori assoluti (Figura 12 col. sinistra) che nelle loro differenze (Figura 12, col. destra). In Tabella 2 è riportata anche la notazione Munsell misurata direttamente con lo stesso strumento, ma utilizzando l'Illuminante C.

Tabella 1 - Caratteristiche tecniche del colorimetro Minolta Konica Cr-410.

Illuminazione/Visualizzazione	Diffusa/Angolo 0°	Ripetibilità	Dev. St entro ΔE^*ab 0,07
Rilevatore	6 Fotocellule al Silicio	Accordo interstrumentale	ΔE^*ab : entro 0,8
Sorgente luminosa	Lampada pulsata allo Xeno	Osservatore	Osservatore standard CIE 2°
Area di misura/illuminazione	Ø 50 mm / Ø 53 mm	Ripetibilità	Dev. St entro ΔE^*ab 0,07



Figura 11- Sabbia naturale e di ripascimento dei quattro interventi presi in considerazione. Unica foto scattata con i campioni e le scale cromatiche poste dietro ad un diffusore di luce solare (pannello di plexiglas bianco). L'immagine è stata poi sottoposta a stiramento lineare in ciascuno dei canali RGB. (N.B.: i colori a stampa non rispecchiano quelli naturali).

Tabella 2 - Notazioni Munsell e coordinate CIEL*a*b* dei campioni di sabbie naturali e di ripascimento. Le ultime quattro colonne indicano le differenze cromatiche nei tre assi e assolute.

		Munsell	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab} (D65)$
Marina Palmense	Nativo	0.8 Y 5.6 /2.1	58.05	3.43	14.24	-5.85	-3.20	-8.69	10.95
	Rip.	4.9 Y 5.1 /0.8	52.21	0.23	5.56				
Marina di Carrara	Nativo	3.0 Y 4.6 /1.2	48.01	0.72	8.44	7.30	-0.02	2.31	7.66
	Rip.	4.3 Y 5.4 /1.5	55.31	0.70	10.75				
Ladispoli	Nativo	4.3 Y 3.0 /0.7	29.75	0.76	5.00	10.31	-0.11	2.57	10.63
	Rip.	5.0 Y 3.9 /1.0	40.06	0.65	7.56				
Poetto	Nativo	3.3 Y 5.4 /0.9	67.38	1.65	10.00	-11.89	-0.76	-3.81	12.51
	Rip.	0.8 Y 6.6 /1.4	55.49	0.88	6.19				

Il ripascimento della spiaggia di Marina di Carrara (Toscana)

Il ripascimento della spiaggia di Marina di Carrara è stato effettuato fra il 2006 e il 2007 utilizzando 71.000 m³ di sabbia proveniente da una cava fuori alveo nella pianura padana (Brescello). La sabbia è stata stesa prevalentemente sulla spiaggia emersa su di un fronte di circa 300 m, e il flusso sedimentario diretto verso sud ha determinato una riduzione della spiaggia di progetto e la crescita dei settori posti sottoflutto, ma la parte alta della spiaggia mantiene ancora in superficie i sedimenti versati (Ferri et al., 2008).

La sabbia naturale e quella di ripascimento hanno caratteristiche cromatiche leggermente diverse, come appare dai dati di Tabella 2 e di Figura 12, ma solo coloro che frequentano assiduamente la spiaggia ed hanno seguito i lavori, come gli operatori balneari, hanno notato la differenza descrivendo la nuova sabbia come più gialla di quella originale, mentre la gran parte degli ospiti estivi non si è accorta del cambiamento (Pranzini et al., 2008).

Ricordando che la precisione con la quale può essere determinato il colore con il sistema Munsell è di circa 0,5 Hue, 0,1 Value e 0,4 Chroma, si conferma che le due sabbie sono visivamente diverse.

Nel sistema CIEL*a*b* una distanza cromatica (ΔE^*_{ab}) pari ad 1 non è apprezzabile da un osservatore, ΔE^*_{ab} compresa fra 1 e 3 è apprezzabile, in particolare con confronto diretto, mentre per valori di $\Delta E^*_{ab} > 3$ i colori sono percepiti come decisamente diversi. Nel nostro caso il valore di ΔE^*_{ab} è pari a 7.66 e quindi la sabbia di ripascimento risulta effettivamente diversa da quella naturale. La differenza è sostanziale in termini di Chiarezza (+7.30), è praticamente uguale sull'asse *a* (Rosso - Magenta) (-0.02) e risulta sensibilmente più spostato verso il giallo nell'asse *b* (Verde - Giallo) (+2.31). Ciò conferma la percezione avuta dagli operatori locali, ma pone non pochi problemi circa la capacità di "ricordare" i colori, evidentemente assai meno spiccata rispetto a quella della discriminazione, dato che gli ospiti estivi non hanno notato differenze.

Fra i 4 casi esaminati, questo è quello che ha determinato la variazione cromatica minore, seppure rilevante, ma spostando il colore verso il giallo ed aumentando la Chiarezza, ha prodotto una spiaggia che, secondo le indagini di gradimento condotte da Pranzini et al. (2008), dovrebbe essere più apprezzata dai bagnanti.

Il ripascimento della spiaggia del Poetto (Cagliari)

La spiaggia del Poetto, come abbiamo visto, è stata oggetto, nel 2002, di un ripascimento con sedimenti dragati in mare sulla piattaforma antistante per un volume di circa 385.000 m³. I sedimenti erano costituiti da una consistente frazione di bioclasti grigi ed avevano all'interno anche elementi di granulometria maggiore di quella naturale della spiaggia, anche se l'erosione del litorale aveva determinato un progressivo arricchimento selettivo di ciottoli e ghiaia provenienti non solo da strati inferiori, ma anche da materiale di risulta da demolizioni "scambiato" con la sabbia bianca quarzosa negli anni della ricostruzione post-bellica di Cagliari (Pranzini, 2009).

La determinazione colorimetrica del materiale originario non è stata possibile in quanto, al momento del campionamento della spiaggia, era già stato effettuato il ripascimento. Si è quindi prelevato un campione sulla duna presente al margine della zona d'intervento, il cui colore dovrebbe essere quello della componente sabbiosa che era prevalente sulla spiaggia del Poetto prima del ripascimento. Il materiale riportato risulta avere un colore decisamente diverso da quello originario ($\Delta E^*_{ab} = 12.51$), ma questa differenza è dovuta essenzialmente alla minore luminosità ($\Delta L^* = -11.89$) e secondariamente ad uno spostamento verso il blu lungo l'asse b ($\Delta b^* = -3.81$), mentre sull'asse rosso-verde la differenza è minima ($\Delta a^* = -0.70$).

Fra i quattro casi studiati è quello che presenta la maggiore distanza cromatica fra il sedimento naturale, se rappresentabile dalla duna, e quello di ripascimento. È una distanza che non è stata accettata dai tradizionali fruitori di questo litorale, prevalentemente abitanti di Cagliari che utilizzano questa come una spiaggia urbana, non tanto per la diversa Cromaticità quanto per la minore Chiarezza.

E' comunque doveroso segnalare che le obiezioni dei frequentatori hanno riguardato anche le dimensioni dei sedimenti, qui non prese in considerazione, ma che potrebbero avere fatto aumentare il rifiuto di questo intervento nella sua globalità.

Il ripascimento della spiaggia di Marina Palmense (Marche)

Il ripascimento della spiaggia di Marina Palmense (Bisci et al., 2008) è stato effettuato nel 2007 con sedimenti dragati in una cava marina data in concessione, caso unico in Italia, ad una società privata, la Arenaria srl. Una prima fase di dragaggio ha comportato lo stoccaggio a terra di 500.000 m³ di sabbia (Fig. 2) di cui 30.000 m³ sono stati subito utilizzati per il ripascimento di circa 320 m di spiaggia posta 550 m a sud del sito di stoccaggio. In questo caso la spiaggia naturale era costituita da sedimenti grossolani chiari, in prevalenza carbonatici, mentre la nuova sabbia è fine e scura, derivando da antichi depositi del Po oggi sommersi al centro dell'Adriatico (Paltrinieri, 2007); il contrasto cromatico è evidente anche sulle immagini di Google Earth (Fig. 2).

Le dimensioni ridotte dei nuovi sedimenti hanno favorito un loro rapido allontanamento dalla spiaggia emersa, ma i materiali scuri con livelli conchiliari formano ancora un terrazzo nella parte più interna della spiaggia.

Anche in questo caso il nuovo colore ha trovato non pochi oppositori, nonostante che la spiaggia originaria non avesse quelle caratteristiche di qualità riscontrate al Poetto. Il confronto dei nuovi sedimenti con la frazione sabbiosa originaria mostra una differenza (ΔE^*_{ab}) pari a 10.95, e quindi leggermente inferiore a quella registrata al Poetto, ma in questo caso a fronte di una Chiarezza non molto minore ($\Delta L^* = -5.85$) vi sono le coordinate cromatiche diverse, con $\Delta a^* = -3.20$ e $\Delta b^* = -8.69$; le nuove sabbie sono quindi un po' più scure e con tonalità tendenti al ciano rispetto ai sedimenti originari.

Il ripascimento della spiaggia di Ladispoli (Lazio)

Il litorale di Ladispoli è alimentato naturalmente dai corsi d'acqua che drenano le vulcaniti laziali ed è quindi caratterizzato da una colorazione tendente al nero. L'erosione a cui era soggetto da decenni ha imposto la realizzazione di opere di difesa e di un ripascimento artificiale effettuato nel 2003 con 485.000 m³ di sabbia (De Angelis e Venzi, 2006). I sedimenti utilizzati provengono dalla cava sottomarina di Anzio, già sfruttata per altri interventi che hanno trovato il consenso dei vari soggetti interessati, come ad esempio ad Ostia, dove la colorazione più chiara rispetto alla sabbia naturale è stata apprezzata. A Ladispoli questo colore contrasta maggiormente con quello naturale e lo "sbiancamento" della spiaggia non è stato gradito da una consistente parte (21%) dei tradizionali frequentatori (De Angelis e Venzi, 2008).

Per questa spiaggia non avevamo a disposizione né un campione del sedimento nativo, né uno di quello di ripascimento; il primo è stato sostituito con uno prelevato 1 km sopraflutto alla zona di versamento, mentre il secondo è rappresentato dalla sabbia ancora presente nella parte alta del profilo di spiaggia.

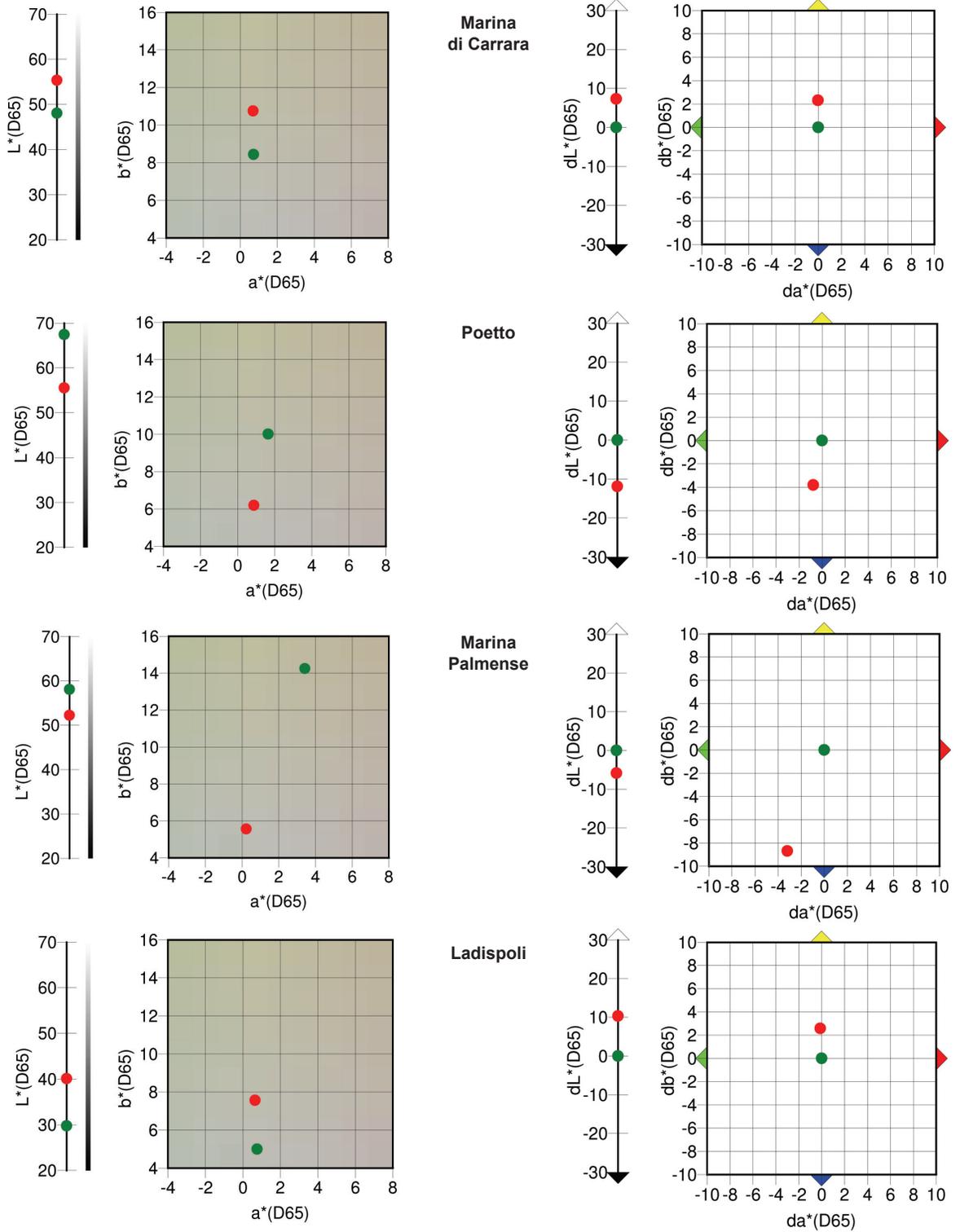


Figura 12a - Chiarezza e Cromaticità dei sedimenti nativi (verde) e di quelli di ripascimento (rosso). Il colore dello sfondo del grafico a^*b^* è quello reale nello spazio CIEL $^*a^*b^*$, salvo le modifiche dovute alla stampa. Illuminante D65.

Figura 12b - Differenza in L^* e in a^*b^* fra il campione dei sedimenti nativi e quello dei materiali di ripascimento. Illuminante D65.

È probabile che il campione nativo abbia ricevuto piccole quantità del materiale versato e che quello di ripascimento sia stato contaminato da qualche granulo della spiaggia originaria. Si ha ragione quindi di credere che le differenze da noi calcolate siano leggermente inferiori a quelle che separavano i due materiali puri. Nonostante ciò, la differenza cromatica è effettivamente importante ($\Delta E^*_{ab} = 10.63$) ed anche in questo caso attribuibile principalmente alla Chiarezza, anche se questa ha assunto un valore maggiore. In termini di Cromaticità vi è stato solamente un leggero incremento della colorazione gialla ($\Delta a^* = -0.11$; $\Delta b^* = +2.57$).

Il rifiuto di questo intervento, nonostante che il colore chiaro risulti essere più gradito da parte dei frequentatori delle spiagge (Pranzini et al., 2008), trova una sua giustificazione nella volontà degli abitanti locali e dei frequentatori abituali di tutelare il patrimonio naturale della loro costa.

Conclusioni

La determinazione del colore dei sedimenti di spiaggia comporta non pochi problemi teorici e pratici, ed ancor più complessa è la definizione di criteri sulla base sui quali certificare la compatibilità cromatica fra sedimenti naturali e sedimenti di ripascimento.

Lo spazio colore RGB, sebbene sia di facile utilizzazione, non consente valutazioni oggettive e standardizzate, anche se è idoneo a mostrare qualitativamente le differenze fra i vari campioni, sempre che la misura venga effettuata con la stessa metodologia. Non è comunque possibile quantificare le differenze cromatiche effettive e correlare queste con quelle percepite dall'occhio umano.

Anche il sistema Munsell è di semplice utilizzazione e rispetta la progressività con la quale percepiamo le differenze cromatiche. Ciò che rimane difficile è misurare queste differenze, elemento determinante per esprimerle in modo oggettivo e per definire le specifiche da applicare in progetti di ripascimento dei litorali.

Lo spazio CIEL*a*b* è uno spazio quasi-uniforme definito dalla CIE e, insieme alla scelta di un Illuminante opportuno, è codificato tanto da garantire un'esatta e oggettiva determinazione del colore. Contemporaneamente è possibile misurare la differenza cromatica con un singolo valore numerico (ΔE^*_{ab}), come è possibile rilevare le differenze nelle diverse componenti di Chiarezza (ΔL^*) e di Cromaticità (Δa^* e Δb^*).

I casi analizzati non sono ancora sufficienti a consentire di stabilire dei valori di differenza cromatica (ΔE^*_{ab}) complessiva o di differenza lungo i singoli assi (ΔL^* , Δa^* , Δb^*) oltre i quali una spiaggia perde il suo colore naturale. Rimarrà comunque sempre aperto il problema se questa perdita sia accettabile nel caso in cui il nuovo colore trovi un maggiore gradimento da parte delle popolazioni locali o dei turisti estivi.

Ringraziamenti

Le analisi colorimetriche e le relative elaborazioni grafiche sono state effettuate dal Dr. Giovanni Vitale.

Bibliografia

- ASTM D1535: *Standard Test Method for Specifying Color by the Munsell System*, <http://www.astm.org>.
- Avissar N.G. (2006) - *Modelling potential impacts of beach replenishment on Horseshoe Crab nesting habitat suitability*. Coastal Management, 34: 427-441.
- Bisci C., Cantalamessa G. Baleani C. (2008) - *Considerazioni sull'utilizzo delle sabbie dragate al largo di Civitanova Marche (Adriatico centrale) per il ripascimento delle spiagge*. Atti del Convegno "Costa, Prevenire, Programmare, Pianificare" Studi e ricerche, n. 9. Autorità di Bacino della Basilicata, pp. 333-342.
- Boscarol M. (2007) - *Colorimetria*. www.boscarol.com. 35 pp.
- Bowers S.A. e Hanks R.J. (1965) - *Reflection of radiant energy from soil*. Soil. Sci., 100: 130-138.
- De Angelis G. e Venzi L. (2006) - *Coast protection from erosion: a socio-economical analysis of beach nourishment (the case of Ladispoli beach)*. 2nd Int. Conf. on the Management of Coastal Recreational Resources, Gozo, Malta 25-27 Oct. 2006, pp. 1-14.

- De Angelis G. e Venzi L. (2008) - *Un tentativo d'inserimento degli aspetti estetici nello studio di fattibilità delle difese marine dall'erosione*. Agribusiness Paesaggio & Ambiente, 11 (1): 68-77.
- Dickerson D.D., Smith J., Wolters M., Theriot C., Reine K.J. e Dolan J. (2006) - *A review of beach nourishment impacts on marine turtles*. Shore & Beach, 75 (1): 49-55.
- Ebejer J. (2004) - *Creating a sandy beach in St. George's Bay – a new experience for Malta*. 1st Int. Conf. on the Management of Coastal Resources, Malta, Oct. 2004, 161-167 pp.
- Ewing L. (1997) - *Shoreline protection and beach nourishment projects*. Procedural Guidance Document: Monitoring. California Coastal Commission. <http://www.coastal.ca.gov/pdg/pdg-mon-html>.
- Ferri S., Pelliccia F., Pranzini E., Rizzo M. e Vitale G. (2008) - *Prima risposta della spiaggia di Marina di Carrara ad un ripascimento artificiale non protetto*. Studi costieri, 15: 57-72.
- Fleury P e Mathieu J.P. (1966) - *La Luce. Emissione, assorbimento, propagazione. Fisica generale e sperimentale, Vol. 5*, Zanichelli, Bologna, 568 pp.
- Grassman (1853) - *Zur Theorie der Farbenmischung*, Poggendorf Ann. Physik Chem., 89: 69-84.
- Gravens M.B., Emersole B.A., Walton T.L., Wise R.A. (2002) - *Beach Fill Design*. In: Coastal Engineering Manual, Parte 5 Ed.: Donald L. Ward, Cap. 4, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 109 pp.
- Grove S.H. (2007) - *Physical aspects of Southern California beaches and how people perceive them: considerations for beach nourishment planning*. Shore & Beach, 75: 11-21.
- Hampton M.A., Blay C.T. e Murray C.J. (2004) - *Carbonate sediment deposits on the Reef front around Oahu, Hawaii*. Mar. Georesources and Geotechnology, 22: 65-102.
- Hays G.C., Ashworth J.S., Barnsley M.J., Broderick A.C., Emery D.R., Godley B.J., Henwood A., Jones E.L. (2001) - *The importance of sand albedo for the thermal conditions on sea turtle nesting beaches*. Oikos, 93: 87-94.
- Leatherman S.P. (1997) - *Beach rating: A methodological approach*. Journal of Coastal Research, 13: 253-258.
- Leatherman S.P. (1998) - *America's Best Beaches*. Laboratory of Coastal Research & International Hurricane Center, Florida Int. University, Miami, 112 pp.
- Levin N., Ben-Dor E., Singer A. (2005) - *A digital camera as a tool to measure colour indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments*. Int. Journ. Remote sensing, 26: 5475-5492.
- Malacara Daniel (2002) - *Color vision and colorimetry. Theory and applications*. SPIE Press, Washington, USA, 165 pp.
- Morgan R. (1999) - *Preferences and priorities of recreational beach users in Wales, U.K.* Journal of Coastal Research, 15: 653-667.
- Mulders M.A. (1987) - *Data on interaction of short wave radiation with natural objects*. In Remote sensing in soil science, Dev. in soil science series, 15: 55-91.
- Nordstrom K.F., Jackson N.L. e Pranzini E. (2004) - *Beach sediment alteration by natural processes and human action: Elba Island, Italy*. Ann. Ass. Am. Geogr., 94: 794-806.
- Oleari C. (2003) - *Introduzione alla colorimetria*. Rivista trimestrale Disegno e Design Digitale, 2: (6) 33-47.
- Oleari C. (2008) - *Colorimetria*. In ;isurare il colore, a cura di C. Oleari, Hoepli, Milano, 139-245 pp.
- Pacini M., Pranzini E. e Siritto G. (1999) - *La ricostruzione delle spiagge di Cala Gonone*. Studi costieri, 1: 43-55.
- Paltrinieri D. (2007) - *Nuove fonti di approvvigionamento di sabbia*. Bollettino AIOM, 36: 17-21.
- PMP (2001) - *Prix Méditerranéen du Paysage 2000*. Artes Gráficas, ISBN: 84-8095-273-3, pp. 146.
- Prakash T.N., Black K.P., Mathew J., Kurian N.P., Thomas K.V., Hameed T.S.S., Vinod M.V. e Rajith K. (2007) - *Nearshore and beach sedimentary dynamics in a placer-dominated coast, southwest India*. Journal of Coastal Research, 23: 1391-1398.
- Pranzini E. (2009) - *Protection studies at two recreational beaches: Poetto and Cala Gonone beaches, Sardinia, Italy*. In: Beach Management, Allan Williams and Anton Micallef Eds., Earthscan publishers, in stampa.

- Pranzini E., Simonetti D. e Vitale G. (2008) - *Il colore della sabbia: indagine sul gradimento dei frequentatori di spiagge naturali e di spiagge oggetto di ripascimento artificiale*. Studi Costieri, 15: 109-120.
- Stoner E.R. e Baumgardner M.F. (1980) - *Characteristic variations in reflectance of surface soils*. Soil. Sci. Soc. Am. Journ., 44: 572-574.
- Wiegel R.L. (2006) - *Waimea River mouth to Kekaha beach, Kauai, Hawaii: two distinctive natural sands*. Shore & Beach, 74 (4): 25-32.
- Williams A.T. e Morgan R. (1995) - *Beach awards and Rating systems*. Shore & Beach; 63: (4) 29-33.

Manoscritto ricevuto il 3/11/2008, accettato il 12/12/2008.