

Il nuovo concetto di anatomia ottica

• **Pasquale Loiacono**
Odontoiatra e fotografo scientifico

E È ormai opinione diffusa e consolidata che il ruolo della fotografia clinica non debba limitarsi alla semplice, pur fondamentale, funzione di documentazione, ma possa integrare efficacemente i processi diagnostici. Questo perché la medicina nasce dall'osservazione della realtà e dei fenomeni che essa ci offre, e in essa fondamentalmente consiste, e l'immagine fotografica è un efficacissimo mezzo per allenare la capacità d'osservazione e quindi di diagnosi. La fotografia è un mezzo diagnostico perché consente di comprimere e dilatare il tempo e lo spazio, e la finalità del presente lavoro è di mostrare come si possa valorizzare

ulteriormente questa funzione di analisi e diagnosi¹ (Figura 1). Nonostante la sempre maggiore diffusione del mezzo fotografico, siamo convinti che lo stesso non sempre sia utilizzato secondo criteri scientifici, anzi pensiamo che raramente si realizzi questa condizione nella pratica. Ciò avviene perché l'attuale approccio alla fotografia, così come la cultura del colore in Odontoiatria, è storicamente fondato su una concezione più artistica che scientifica. Alla luce delle attuali conoscenze, supportate da recenti pubblicazioni, crediamo sia quindi necessario rivedere l'approccio sia alla fotografia sia al fenomeno colore e al suo glossario, aspetti

gravemente e lungamente sottovalutati e misconosciuti²⁻⁵. Nel solco di questa necessaria evoluzione scientifica, è stata recentemente proposta una nuova filosofia operativa: la Fotografia Basata sulle Evidenze Scientifiche (Evidence Based Dentistry Photography - EBDP), che enfatizza il valore e la funzione diagnostica dell'immagine fotografica permettendo di utilizzare la fotocamera digitale come uno strumento di misurazione - di altissima precisione - dei dati colorimetrici²⁻⁴. Ma è necessario spingersi oltre: nel presente lavoro mostreremo come l'immagine fotografica possa divenire uno strumento ideale per la comprensione delle

Riassunto

Alla luce delle più attuali conoscenze, il ruolo della fotografia clinica non deve limitarsi alla funzione di documentazione, ma può integrare efficacemente i processi diagnostici perché consente di comprimere e dilatare il tempo e lo spazio. La finalità del presente lavoro è di mostrare come si possa valorizzare ulteriormente questa funzione di analisi e diagnosi. Non sempre il mezzo fotografico è utilizzato secondo criteri scientifici, perché l'attuale approccio alla fotografia, così come la cultura del colore in Odontoiatria, è storicamente fondato più su una concezione artistica che scientifica. Nel solco della necessaria evoluzione scientifica, è stata recentemente proposta una nuova filosofia operativa: la Fotografia Basata sulle Evidenze Scientifiche (Evidence Based Dentistry Photography) L'EBDP enfatizza la funzione diagnostica dell'immagine fotografica, permettendo di utilizzare la fotocamera digitale come uno strumento di misurazione di altissima precisione dei dati colorimetrici. Il presente lavoro mostra come l'immagine fotografica possa divenire uno strumento ideale per la comprensione delle caratteristiche anatomico-strutturali dei denti, e di come queste siano correlate al comportamento ottico della materia dentale. La stretta dipendenza tra questi due aspetti permette di formulare e definire un nuovo concetto: quello dell'"anatomia ottica" del dente. L'anatomia ottica spinge il clinico a focalizzare la propria attenzione non più sulla percezione del colore - fenomeno aleatorio, soggettivo e sfuggente - ma sulle caratteristiche della materia e della radiazione luminosa che quelle stesse percezioni hanno generato. È, in altri termini, un cambiamento radicale di prospettiva, dall'approccio percettivo-artistico tradizionale a quello scientifico-realistico più moderno. L'anatomia ottica è uno strumento pratico per comprendere le logiche e gestire le dinamiche di stratificazione dei restauri. Solo conoscendo la complessità ottico-strutturale del dente si può pensare di riprodurre, anche parzialmente, le caratteristiche strutturali nei restauri.

● **PAROLE CHIAVE:** anatomia ottica, fotografia digitale, stratificazione, EBDP, crepe dello smalto, diagnosi dei colori, opacità, traslucenza, proprietà ottiche intrinseche ed estrinseche.

Summary

The new concept of optical anatomy

In the light of recent studies, the role of clinical photography should not be confined to clinical documentation alone, but can effectively help the diagnostic process allowing for the compression and expansion of time and space. The aim of this work is to demonstrate how this function of analysis and diagnosis can be further enhanced. The medium of photography has not always been utilized according to scientific criteria, as the present approach, along with the culture of colour in dentistry, is historically grounded more on an artistic than a scientific basis. In the natural course of scientific evolution, a new operational philosophy has recently been put forward: Evidence Based Dentistry Photography. The EBDP highlights the diagnostic function of the photographic image, permitting the use of a digital camera as a high-precision instrument to measure colorimetric data. The present study shows how the photographic image can become an ideal tool in the understanding of the anatomical and structural characteristics of teeth, and how these are related to the optical behaviour of the tooth itself. The strict relationship between these two aspects allows for the formulation and definition of a new concept: the "optical anatomy" of the tooth. The optical anatomy induces the clinician to focus no longer on the perception of colour – being a chancy, subjective and fleeting phenomenon – but on the characteristics of the substance and the luminous radiation which have provoked those very perceptions. It is, in other words, a radical change of perspective, from the traditional, artistic and perceptive approach to a modern, realistic and scientific one. The optical anatomy is a practical instrument in understanding the logics and in dealing with the dynamics of the stratifications of restoration. Only by understanding the structural and optical complexity of the tooth, can we hope to reproduce – albeit in part – the structural characteristics of its restoration.

● **KEY WORDS:** anatomy optical, digital photography, layering, EBDP, enamel cracks, diagnosis of colours, opacity, translucency, intrinsic and extrinsic optical properties.



1. Un'immagine fornisce una vastissima serie d'informazioni sia funzionali che anatomiche ed estetiche: si noti la splendida cornice incisale dei due incisivi centrali dovuta alla traslucenza dello smalto in contrasto all'opacità della dentina. La fotografia allena alla "lettura delle immagini", fornendo preziose indicazioni al clinico e all'odontotecnico per la gestione della stratificazione dei materiali da restauro.

caratteristiche anatomico-strutturali dei denti e di come queste siano correlate al comportamento ottico della materia dentale. La stretta dipendenza tra questi due aspetti ci ha permesso di formulare e definire un nuovo concetto: quello dell'"anatomia ottica" del dente⁷⁻⁹.

Perché "anatomia ottica"? Il primo termine per enfatizzare il ruolo delle caratteristiche strutturali, appunto anatomiche, correlato al secondo per sottolineare il ruolo della radiazione luminosa nella genesi delle percezioni estetiche. La differenza con la tradizionale esposizione delle caratteristiche



2. A differenza degli incisivi della figura precedente, lo smalto di questi elementi è poco traslucido e presenta numerose aree e spot otticamente rilevanti per la maggiore chiarezza. Nella percezione complessiva dell'elemento assume importanza anche la crepa longitudinale dello smalto infiltrata.

ottiche basata sulle "dimensioni del colore" risiede quindi nell'importanza data all'interazione tra struttura dentale e radiazione luminosa, ben riconoscibili e analizzabili tramite l'immagine fotografica (Figura 2).

Nella sostanza, l'anatomia ottica costringe il clinico a focalizzare la propria attenzione non più sulla percezione del colore, fenomeno aleatorio soggettivo e sfuggente, ma sulle caratteristiche della materia e della radiazione luminosa che quelle stesse percezioni hanno generato.

È, in altri termini, un cambiamento radicale di prospettiva; da un approccio percettivo-artistico tradizionale a un altro scientifico-realistico moderno.

L'anatomia ottica non è un'astrazione teorica o un puro esercizio di stile, ma uno strumento pratico per analizzare l'anatomia dentale e comprendere le logiche, e quindi gestire le dinamiche, di stratificazione dei restauri. Solo conoscendo la complessità ottico-strutturale del dente si può pensare di riprodurre, anche parzialmente, le caratteristiche nei restauri³⁵.

Lo scopo del presente lavoro è di evidenziare le correlazioni tra fenomeni ottici e struttura dentale, e mostrare come l'immagine fotografica sia il mezzo ideale per esplorare e comprendere queste interazioni.

Materiali e metodi

Tutte le fotografie sono state eseguite con fotocamere reflex Nikon, modelli D90, D300 e D7100.

Gli obiettivi utilizzati sono stati il 105 mm e l'85 mm Micro Nikkor, i flash impiegati sono stati gli SB-R200 Nikon montati su staffa Spider e Scorpion e il Sigma EM-140 DG per Nikon (anulare). Sono stati inoltre utilizzati il sistema di polarizzazione incrociata Spider di Nital e i diffusori Prolite Bouncer (Figura 3).

Le impostazioni delle fotocamere sono quelle descritte nelle linee guida dell'Evidence Based Dentistry Photography: modalità di



3. Una fotocamera reflex performante e idonea alla moderna fotografia scientifica odontoiatrica: questo mezzo consente all'operatore di realizzare splendide immagini.

esposizione manuale con diaframma alla massima chiusura utile, bilanciamento del bianco pre-misurato e applicazione del profilo di fotocamera specifico, memorizzazione delle immagini on-camera in formato raw e sviluppo delle immagini in post-produzione tramite Lightroom (Adobe)^{2-4,14}.

La Fotografia Basata sulle Evidenze Scientifiche

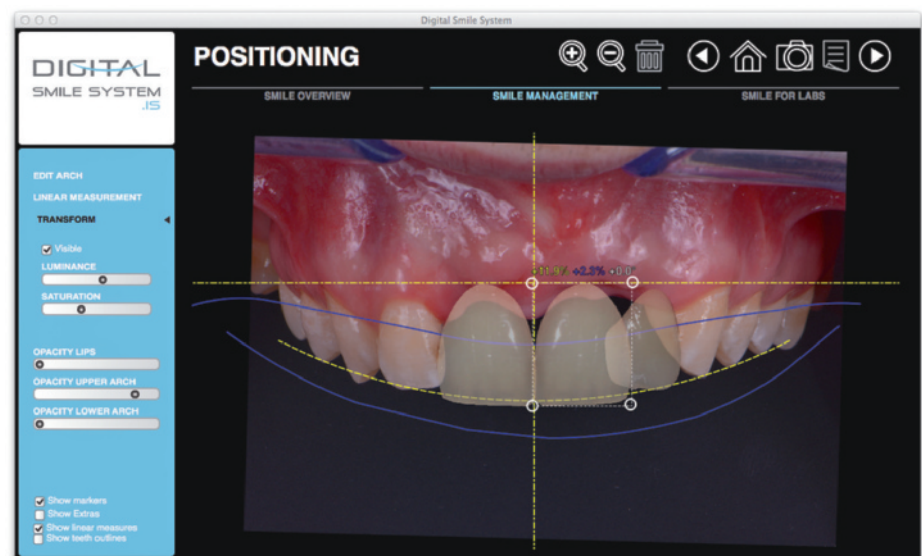
È stato già affermato che la fotografia è un mezzo diagnostico perché consente di comprimere e dilatare il tempo e lo spazio, ed è utile soffermarsi su questo concetto. Infatti, è esattamente dal valore e dalla funzione diagnostica della fotografia che scaturisce la necessità di utilizzare la stessa secondo parametri scientificamente validati, secondo un moderno approccio *evidence based*. Dilatare il tempo significa poter analizzare in momenti successivi, anche molto distanti, il documento visivo; allo stesso modo comprimere il tempo e lo spazio vuol dire poter inviare in tempo reale, grazie alle moderne tecnologie e alla rete internet, un documento a grandi distanze. La possibilità di dilatare lo spazio fa riferimento all'opportunità



4. Due incisivi centrali fotografati con illuminazione radente, per mettere in risalto la presenza delle crepe dello smalto e altre proprietà ottiche intrinseche; si notino gli spot chiari sul margine e le bande irregolari tra terzo medio e cervicale. Ogni dente ha una grande complessità ottica, che può essere svelata grazie all'ingrandimento e alla possibilità di visionare l'immagine per lungo tempo. Per questi motivi si può affermare che la fotografia dilata il tempo e lo spazio.

di ingrandire a piacimento l'immagine digitale per coglierne i minimi dettagli. È basandosi su queste considerazioni fondamentali che è stato definito il ruolo diagnostico della fotografia^{1,2} (Figura 4). A riprova della potenza del mezzo fotografico, si stanno diffondendo

numerose applicazioni digitali basate sulle immagini, come il Digital Smile System, che consentono di simulare e visualizzare in anticipo gli effetti di un piano di trattamento, orientando efficacemente il clinico^{10,11} (Figura 5). Nonostante la sempre maggiore



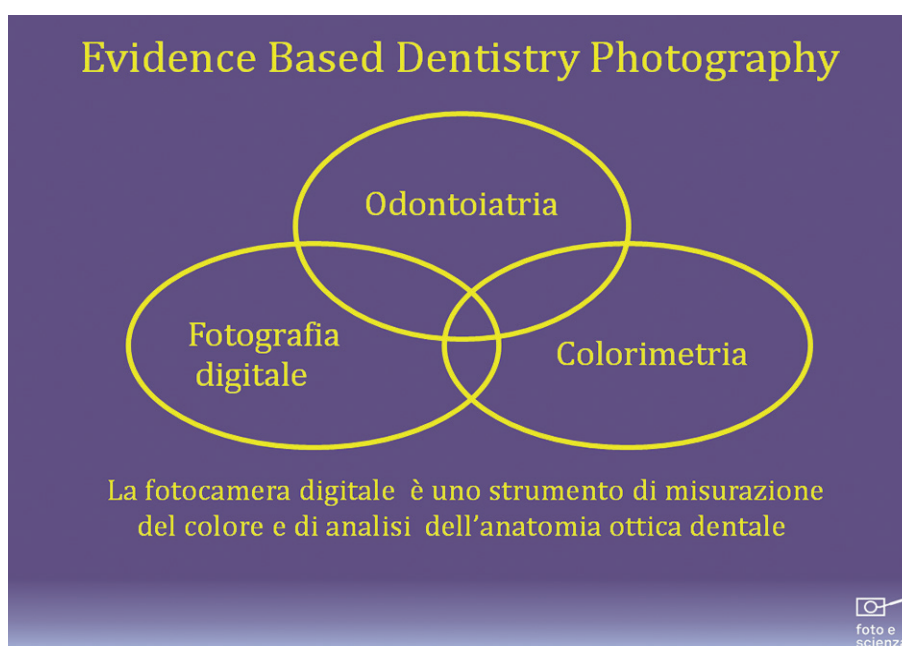
5. Un'immagine del Digital Smile System, un moderno e potente software per lo studio del piano di trattamento, la pre-visualizzazione dei risultati e la comunicazione con il paziente (per gentile concessione del Dr. Riccardo Stefani).

diffusione del mezzo fotografico in ambito odontoiatrico, pensiamo che lo stesso non sia sempre utilizzato secondo criteri strettamente scientifici, e che anzi sia più spesso vero il contrario. Ciò avviene perché ci si è sempre riferiti a una concezione più artistica che scientifica, sia nell'approccio alla fotografia sia al fenomeno colore. È inevitabile affrontare il tema del colore quando si tratta di fotografia - specie digitale - perché, come la fotografia, è generato dalla radiazione luminosa²⁻⁴.

Autorevoli Autori dichiaravano, non molti anni orsono, che in fotografia (per l'analisi del colore dei denti) non esistono procedure standardizzate o linee guida certificate¹² e ciò che vale per l'analisi del colore è ovviamente estensibile all'uso generale della fotografia digitale. Il nostro lavoro va esattamente nella direzione opposta: dimostrare che le procedure fotografiche possono essere standardizzate e soprattutto validate scientificamente. Per questi motivi recentemente sono state definite le regole generali e universali per l'acquisizione delle immagini e, più in generale, si è iniziato a riflettere sul ruolo e i limiti scientifici del mezzo fotografico¹.

Generalmente i lavori pubblicati sull'argomento della fotografia digitale non approfondiscono sufficientemente gli aspetti che rendono dignità scientifica alla stessa tecnica fotografica, anzi propongono soluzioni, a nostro parere, non idonee¹³. Insomma, è evidente la necessità di una revisione profonda della cultura odontoiatrica relativamente alla fotografia e al colore, revisione che si è concretizzata nell'elaborazione della EBDP, la Fotografia Basata sulle Evidenze Scientifiche (Evidence Based Dentistry Photography)^{2-4,14}.

Questa nuova concezione nasce dalla sintesi di concetti scientifici mutuati dalla colorimetria e dalla scienza della fotografia digitale, applicati in modo razionale, e soprattutto con semplicità e scorrevolezza, nella pratica clinica odontoiatrica. La formulazione dei protocolli EBDP è creata da



6. Le correlazioni e gli aspetti multidisciplinari della Evidence Based Dentistry Photography: l'utilizzo razionale della tecnica digitale consente di usare la fotocamera come mezzo di misurazione sia dei dati colorimetrici sia dell'anatomia ottica del dente.

un clinico per i clinici, coniugando il massimo della scientificità con la possibilità di attuare la tecnica con estrema facilità (Figura 6). Siamo convinti che una tecnica operativa che continui a generare ansia nell'utente per la complessità di gestione non sia una buona tecnica. Ovviamente esiste una curva di apprendimento, ma dev'essere mediamente rapida e gradevole per l'operatore: occorre fotografare sempre con piacere, ricordando che appare difficile e incomprensibile solo ciò che non si conosce e soprattutto ciò che non viene insegnato con efficacia. Oltre a coniugare scientificità e operatività semplificata, l'EBDP ha razionalizzato il glossario odontoiatrico del colore, rendendolo coerente con i più moderni criteri scientifici⁴.

L'anatomia ottica

Le percezioni estetiche si basano integralmente sull'impressione generata in un osservatore dalle complesse dinamiche originate dall'interazione tra radiazione luminosa e oggetto. Nel caso della dentatura, la luce interagisce sia con le caratteristiche superficiali, sia con la materia biologica

complessa di cui gli elementi dentari sono costituiti⁵⁻⁷.

Questa interazione, sfuggente e istantanea, genera fenomeni percettivi che da lungo tempo in Odontoiatria si cerca di analizzare e definire con precisione al fine di poterli riprodurre in ambito restaurativo. Spesso queste analisi e le successive conclusioni hanno generato equivoci o modi di pensare non coerenti con la colorimetria scientifica, che analizza appunto le problematiche legate all'estetica e alla percezione dei colori¹⁵⁻²⁰. Recentemente è stato proposto un nuovo glossario dei termini utilizzati per la descrizione del "fenomeno colore" in Odontoiatria, sottolineando come tale nuovo glossario presupponga una nuova cultura del colore, svincolata finalmente dagli antiquati schemi di Munsell e orientata piuttosto alla moderna cultura scientifica del colore. È giunto quindi il momento di abbandonare un approccio puramente artistico-percettivo, che ha portato a fuorvianti interpretazioni del fenomeno colore, per privilegiare un approccio realistico-scientifico, moderno e inclusivo delle altre discipline coinvolte nello

studio del fenomeno. La proposta di una "Fotografia Basata sull'Evidenza Scientifica" riflette appunto la necessità di utilizzare, nell'analisi e nella gestione clinica del "fenomeno colore", gli strumenti che altre discipline - colorimetria e fotografia digitale - possono offrire²⁴.

Nel presente lavoro si propone un nuovo concetto, una nuova modalità d'interpretazione dell'anatomia dentale, utilizzando la fotografia digitale come strumento d'indagine e di analisi strutturale, quindi come strumento diagnostico elettivo. La complessa interazione tra materia dentale e onde elettromagnetiche giustifica la necessità di racchiudere e organizzare - in modo sistematico - la conoscenza dei numerosi fenomeni ottici correlati alla percezione dell'estetica della dentatura, basata su una visione scientifica multidisciplinare.

È quindi ragionevole - diremmo necessario - introdurre il concetto di "anatomia ottica" del dente, intendendo con tale dizione la disciplina che studia l'insieme dei fenomeni ottici e dei correlati percettivi connessi al substrato materico che sono alla base dell'estetica dentale. Lo studio dell'anatomia ottica comprende quindi la conoscenza della struttura dentale macroscopica e microscopica, interna e superficiale, ma soprattutto le modalità con le quali questa stessa struttura interagisce con le onde elettromagnetiche. Crediamo che anche il colore possa appartenere, per la parte strettamente relativa all'interazione tra materia e radiazione luminosa, all'"anatomia ottica" e come tale già il tentativo di misurare il colore tramite un'immagine digitale è in realtà uno studio anatomico.

Le caratteristiche strutturali e superficiali del dente possono e devono essere analizzate tramite l'immagine fotografica secondo un metodo razionale e ripetibile. Lo scopo dell'anatomia ottica è duplice: specificare e identificare accuratamente i correlati percettivi, cioè le sensazioni estetiche suscitate nell'osservatore, e risalire dalla comprensione dei correlati percettivi alle



7. La complessità ottica dei denti è ben rappresentata in questi incisivi: bande chiare, aree a traslucenza differenziata, massima al margine incisale, micro- e macro-anatomia di superficie (perikymata od ondulazioni superficiali e lobi di sviluppo). Si noti come dall'immagine è anche evidenziabile l'anatomia gengivale, in particolare la superficie lucida della parte esterna solco gengivale, ben differenziabile dalla gengiva aderente con il tipico aspetto a buccia d'arancia.

caratteristiche anatomiche della struttura dentale. In altri termini, l'anatomia ottica considera le modalità con le quali l'anatomia strutturale influenza il comportamento ottico della radiazione e quindi i fenomeni percettivi⁹ (Figura 7). Così, quelle che tradizionalmente sono definite "proprietà

ottiche del dente" potranno essere analizzate e descritte in maniera più precisa e accurata, con riferimento alla struttura anatomica che le sostanzia. Sintetizzando, possiamo affermare che "l'anatomia ottica genera le percezioni" e che il colore nulla è se non la percezione dell'anatomia ottica (Figura 8).

Anatomia Ottica

Disciplina che studia le caratteristiche strutturali dei denti in correlazione alle dinamiche della radiazione luminosa

L'anatomia ottica genera la percezione dei colori nell'osservatore

La percezione dei colori dentali è un aspetto dell'anatomia ottica

8. L'anatomia ottica è lo studio delle correlazioni tra anatomia dentale e radiazione luminosa; così, anche il colore può essere considerato un aspetto dell'anatomia ottica.



9. In questa immagine si nota il grosso spot più chiaro sul centrale di sinistra e, in particolare, il margine ambrato oltre a diversi spot chiari più piccoli variamente presenti e rappresentati; molto evidenti le perikymata sul laterale di destra.

L'anatomia ottica guida quindi il clinico a focalizzare la propria attenzione sulle caratteristiche sia della materia sia della radiazione luminosa, che hanno generato nell'osservatore la percezione del colore, fenomeno aleatorio, soggettivo e sfuggente.

È, in altri termini, un cambiamento radicale di prospettiva: da un approccio percettivo-artistico tradizionale, che privilegia la percezione, a un altro scientifico-realistico moderno, che privilegia l'anatomia (Figure 29-30).

L'anatomia ottica, oggettiva e descrivibile, genera le percezioni dell'estetica e del colore, sempre soggettive e opinabili.

È quindi l'anatomia ottica il vero oggetto di studio dell'analisi del colore e la descrizione finale di questo tramite attributi percettivi (impropriamente "dimensioni") solo una convenzione necessaria.

Il concetto di anatomia ottica proposto si sposa così perfettamente, integrando e completando per la parte strutturale la filosofia della Fotografia Basata sull'Evidenza, che ha come fine la corretta documentazione del colore dentale.

Un esempio per chiarire appieno questo concetto può essere quello di pensare all'anatomia ottica e al colore come a un prodotto di pasticceria: è come se ci fossimo lungamente concentrati sulla descrizione dei sapori e degli aromi di una torta (il colore), mettendo in secondo piano gli ingredienti e le modalità con le quali questi stessi sono preparati.

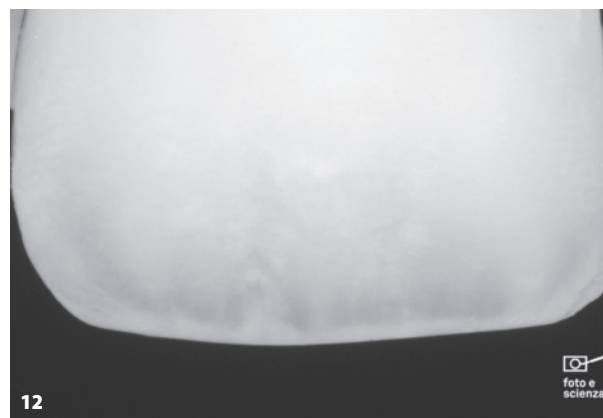
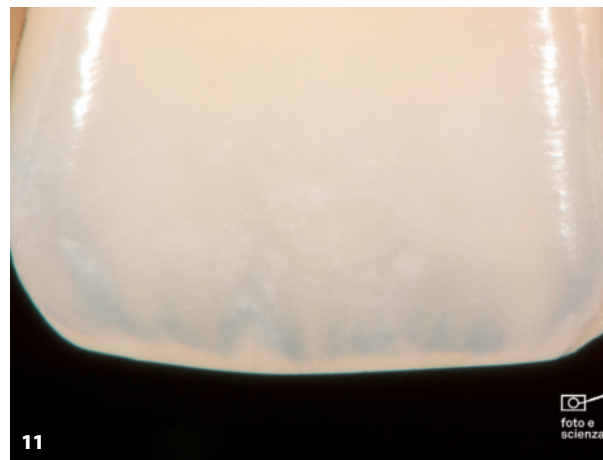
Il sapore di un dolce è esattamente una percezione e, come tale, sempre soggettiva, mentre gli ingredienti sono quantificabili e oggettivi e le modalità di preparazione note e riproducibili.

Seguendo questo esempio possiamo pensare all'anatomia ottica come allo studio degli ingredienti e delle modalità di organizzazione di questi stessi nel generare una percezione, appunto il colore.

Lo studio dell'anatomia ottica riguarda quindi sia le proprietà intrinseche - cioè interne - del volume dentario (opacità, traslucenza e fenomeni ottici conseguenti: diffrazione, rifrazione, diffusione, backscattering e fluorescenza), che quelle estrinseche, dovute cioè alla superficie (qualità e quantità di riflessione superficiale) (Figure 9-12).



10. Le crepe dello smalto, enamel cracks, si comportano come piani estesi di rifrazione, risultando otticamente rilevanti; la freccia mostra come la trasmissione della luce s'interrompa esattamente sul piano della crepa, facendo risultare la parte successiva del dente meno chiara.



11-12. Il medesimo margine incisale fotografato in tecnica tradizionale e a luce polarizzata incrociata: nella seconda immagine mancano i riflessi ed è più agevole visualizzare la differente traslucenza esistente tra smalto e dentina.

Le proprietà ottiche intrinseche principali e accessorie e le “dimensioni del colore”

Le proprietà ottiche intrinseche dei denti - dovute cioè alle caratteristiche interne della materia dentale e non alla sua superficie - dipendono essenzialmente dalle modalità con le quali avviene la percezione degli oggetti, definite genericamente “modi di apparire” del colore (*modes of color appearance*). La percezione del colore e dei corpi dipende infatti dalle caratteristiche fisiche dell'oggetto, dalla sua intima struttura, per cui la stessa percezione cambia se l'oggetto è opaco o traslucido o autoluminoso (sorgente luminosa)²¹⁻²⁴. Il dente naturale sano, in virtù della propria struttura, viene percepito in “modalità volume”, cioè con una profondità della massa dentaria dovuta alla traslucenza dello smalto e all'opacità della dentina che si fondono in innumerevoli e singolari gradazioni reciproche, anche differenti per zona anatomica. Ma oltre a queste due caratteristiche fondamentali ne esistono molte altre che concorrono al risultato percettivo finale³⁶ (Figura 13). Vista la complessità della materia, occorre un approccio ordinato e sistematico che possa fornire ai clinici strumenti semplificati di comprensione dell'anatomia ottica. Anzitutto una premessa fondamentale: la materia dentale non “ha colore”, ma dev'essere considerata un “colorante strutturale”, cioè una materia complessa in grado di modificare la luce bianca incidente, restituendo una radiazione luminosa “colorata”, quindi modificata nel suo spettro in modo da suscitare in un osservatore la percezione del colore⁵. Da quanto appena descritto discende che le proprietà ottiche sono un correlato dell'interazione luce/materia, rappresentano cioè una convenzione per riferirsi a due entità ben distinte: sostanza dentale e radiazione luminosa. Riteniamo che sia corretto e comodo mantenere la dizione di “proprietà ottiche”, sempre ricordando la natura bivalente e sintetica del termine. Poiché i due fondamentali fenomeni dell'anatomia ottica dei denti sono



13. La grande spazialità di questo gruppo incisale è esaltata dalla tecnica d'illuminazione indiretta con diffusori (bouncer). Si noti la complessità anatomica dei margini incisali, zona dove la dentina e lo smalto sfoccano reciprocamente creando suggestive dinamiche luminose.

l'opacità e la traslucenza, le definiamo come “proprietà ottiche intrinseche principali”. L'opacità e la traslucenza dei tessuti dentari interagendo realizzano nell'osservatore la fondamentale percezione della “chiarezza” del dente (qualità che Munsell definiva “valore”), ma anche della cromaticità - insieme cromatinta - del dente³⁶. Le caratteristiche combinate di opacità e traslucenza si manifestano nella dentatura di ogni singolo individuo in modo assolutamente specifico e singolare e possono essere più agevolmente evidenziate tramite l'utilizzo di sfondi neri, i cosiddetti contrastor. Questi accessori per la fotografia clinica offrono due vantaggi: permettono di isolare il dente dai colori di sfondo che interferiscono con la percezione delle traslucenze e della loro distribuzione e ne aumentano il contrasto e quindi la visibilità^{1,29}. Ma opacità e traslucenza non sono sufficienti a descrivere la complessità ottica percettiva del dente. Infatti l'opacità e la traslucenza di base sono rese ancora più articolate dalla presenza di zone a opacità o traslucenza differenziata, per diverso contenuto di organico o per diversa organizzazione spaziale molecolare della struttura, o ancora zone

variamente pigmentate. Tutte queste aree otticamente e percettivamente rilevanti si comprendono tradizionalmente nelle “caratterizzazioni”, termine generico per indicare una serie di cracks, zone opache lattescenti (intensivi) o maggiormente traslucide, aree o cracks infiltrati, bande orizzontali di varia forma e ampiezza, pigmentazioni^{19,20}. Tra le componenti otticamente attive, pensiamo si debbano annoverare quelle che consideriamo “perikymata interne”, cioè sottili linee più chiare, quasi lattescenti, ad andamento regolare orizzontale, visibili ad alto ingrandimento, simili alle bande orizzontali ma più regolari, diverse dalle tradizionali linee di accrescimento disposte sulla superficie dentale. Queste zone otticamente attive sono riscontrabili, secondo le nostre personali osservazioni su immagini fotografiche ingrandite, in una larghissima parte di elementi dentari esaminati, sia anteriori che posteriori. Le perikymata interne residuano anche in condizioni di elevata usura della superficie di smalto, suggerendo l'idea che siano disposte negli strati più interni dello smalto stesso. Le perikymata superficiali (letteralmente “ondulazioni”) sono l'espressione degli strati di accrescimento

Le perikymata interne, sebbene poco visibili a un'analisi superficiale, sono presenti molto frequentemente negli elementi dentari, come la fotografia ad ingrandimento dimostra. Partecipano efficacemente alla genesi dei fenomeni percettivi del dente.

14. Le perikymata interne sono osservabili ad alti ingrandimenti nella quasi totalità degli elementi dentari.

ciclici dello smalto e corrispondono a quelle che all'esame istologico si definiscono "strie di Retzius", rappresentandone la parte terminale superficiale. Spesso si usano queste espressioni,

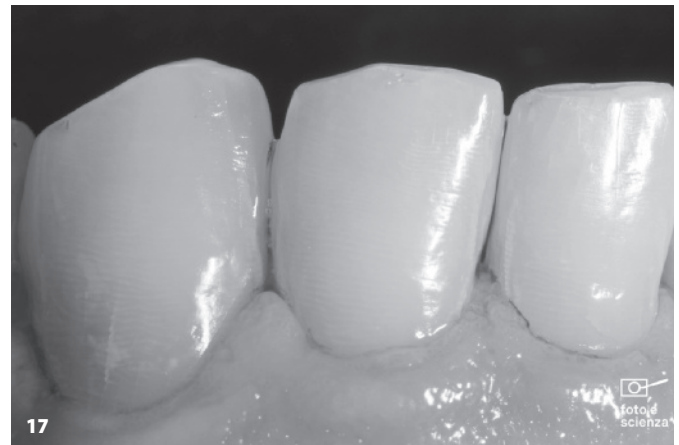
perikymata e strie di Retzius, come sinonimi, ma in realtà si riferiscono a elementi diversamente localizzati della stessa entità.

Le perikymata (ondulazioni superficiali)

rappresentano l'embricatura visibile in superficie degli strati di accrescimento ciclico dello smalto, rappresentate istologicamente, in sezioni del dente, dalle linee di Retzius. Le perikymata interne sono, secondo il nostro parere, l'equivalente ottico delle bande di Hunter-Schreger che sono state osservate, già da molti decenni, al microscopio in sezioni longitudinali dei denti. In origine si pensava rappresentassero l'alternanza di strati prismatici con diverso grado di mineralizzazione, ma attualmente si considerano invece come strati di decussazione dei fasci prismatici. Tale sovrapposizione incrociata è considerata come la risposta evolutiva all'esigenza di contrastare la formazione di crepe o fratture dello smalto, essendo una struttura incrociata a maggior resistenza meccanica, più presente nelle aree maggiormente sollecitate⁴³ (Figura 36). Quindi la presenza di bande chiare alternate in sezioni istologiche è un dato



15



17



16

15-17. In queste immagini ingrandite sono ben visibili le perikymata interne, linee orizzontali chiare e regolari, riscontrabili in una larghissima percentuale di denti. Pensiamo siano presenti in tutti gli elementi dentari, anche se non sempre facilmente evidenziabili, perché prodotto dell'azione degli ameloblasti.

acquisito da molto tempo, ma è interessante la possibilità di verificarne la presenza agevolmente tramite un'immagine fotografica di qualità. La dizione "perikymata interne" è intesa a distinguere gli aspetti istologici, ben conosciuti e condivisi, dagli aspetti percettivi dovuti alle caratteristiche strutturali. In altri termini, le perikymata interne rappresentano semplicemente i correlati percettivi degli strati di decussazione dei prismi dello smalto, rappresentati istologicamente dalle bande di Hunter-Schreger^{14,25,38-43} (Figure 14-17).



18. Questi due elementi centrali presentano particolari bande curve più chiare, oltre a numerosi spot, che evidenziano quanto possano essere complesse le proprietà ottiche intrinseche accessorie. La differenza tra bande e perikymata interne è che queste ultime sono più strette e hanno un andamento orizzontale più regolare. Questi elementi dentari non presentano uno smalto particolarmente traslucido, come si evince dall'assenza di una cornice incisale e di un margine meno opaco e quindi più chiaro.



20. Un gruppo incisale inferiore fotografato in tecnica CPP che permette di apprezzare l'elevato grado di fluorescenza dello smalto di questi elementi, specie se confrontato con il cemento radicolare. La maggiore fluorescenza è segno di una più elevata quota proteica di questo smalto, che normalmente è poco o niente fluorescente.



19. Un particolare ingrandito degli stessi elementi dentari della Figura 7; sono evidenti le perikymata od ondulazioni, oltre a un difetto della giunzione smalto-cemento rappresentato da una concavità che accoglie una speculare convessità del margine gengivale. Si noti ancora come l'immagine quasi permetta di visualizzare le componenti dell'ampiezza biologica.



21. In questa immagine di dente anziano sono evidenti le perikymata interne, riscontrabili, a un'attenta osservazione, in una percentuale altissima di denti.

Le pigmentazioni rappresentano zone di infiltrazione di sostanze, appunto pigmentate, presenti nel cavo orale o di derivazione batterica o, ancora, per degradazione e maturazione dei composti organici normalmente presenti nello smalto e nella

dentina. Come conseguenza obbligata dei ragionamenti sin qui svolti, preferiamo definire tutte le caratteristiche strutturali chiamate tradizionalmente "caratterizzazioni" con il termine più appropriato di "proprietà ottiche intrinseche accessorie", o

semplicemente "proprietà ottiche accessorie", ricordando sempre che rappresentano contemporaneamente materia e radiazione elettromagnetica.

Le proprietà ottiche intrinseche, principali e accessorie, sono la fondamentale matrice,



22. Esempio di proprietà intrinseche accessorie: due centrali con due enormi spot di chiarezza e saturazione differente.



24. Gli stessi incisivi della figura precedente fotografati con luce polarizzata incrociata: sono più evidenti le crepe longitudinali e gli spot e si percepisce meglio una certa traslucenza negli angoli di transizione, testimonianza della presenza dello smalto.



23. Due incisivi estremamente "dentinali": lo smalto è probabilmente in spessore ridotto ed estremamente opaco, ricco di spot più chiari che si alternano a spot meno chiari e più saturi.



25. Gli stessi incisivi delle figure precedenti fotografati con diffusori e illuminazione indiretta che esaltano la volumetria e la spazialità degli elementi dentali.

in sinergia alla radiazione luminosa, della percezione dell'estetica del colore e dei denti e l'immagine fotografica si dimostra un eccellente mezzo per visualizzarle (Figure 18-26).

Nel momento in cui si affronta il tema delle proprietà ottiche del dente, è ineludibile quindi affrontare anche gli aspetti legati al colore e, in particolare, a quelle che sono definite "dimensioni" del colore.

Dal punto di vista scientifico, le "dimensioni del colore" non esistono, ma sono solo

26. I medesimi incisivi delle figure precedenti fotografati a luce radente per esaltare la presenza delle crepe dello smalto. Ogni tecnica fotografica offre un piano di lettura dell'immagine e tutte hanno una specifica indicazione d'uso, risultando complementari.



un'antiquata convenzione, un'astrazione empirica e senza grande valore, diffusa prevalentemente nel settore odontoiatrico, che non trova alcun riscontro nella colorimetria ufficiale e nei suoi documenti²⁶. Questa convenzione si basa su lavori pubblicati in epoca lontana e mai rivisitati criticamente alla luce degli sviluppi della colorimetria moderna¹⁶⁻¹⁸.

La chiarezza, la croma, la tinta, le caratterizzazioni e le pigmentazioni non possono essere "dimensioni del colore" ma, come spiega l'anatomia ottica, sono caratteristiche della percezione (le prime tre) e proprietà strutturali intime della materia dentale (le seconde due), che interagiscono con la radiazione luminosa generando in un osservatore le percezioni estetiche. Come si può notare, il tradizionale approccio al fenomeno indica genericamente come "dimensioni del colore" entità assolutamente diverse e non omogenee, le une caratteristiche della percezione, le altre della materia. Sono le percezioni, e non il colore in sé, a dover essere analizzate tramite attributi detti appunto "percettivi", che gerarchicamente e in ordine di importanza sono: la chiarezza, la croma e la tinta. Quindi correttamente non esistono le dimensioni del colore, ma casomai le "dimensioni" della percezione.

L'insieme dei fenomeni ottici generati dall'interazione tra luce e materia determina nell'osservatore la percezione finale dell'estetica^{4,5,20,26,36} (Figura 27).

L'anatomia ottica, basandosi sulla colorimetria, sottolinea che il colore non è una proprietà della materia, ma solo un'idea nella mente dell'osservatore, restituendo così accuratezza e scientificità alla comprensione del fenomeno colore. Infatti l'attenzione dei clinici dev'essere rivolta preliminarmente allo studio e alla comprensione della materia dentale, che è oggettiva e analizzabile anche tramite un'immagine digitale, e solo successivamente al risultato percettivo,



27. I rapporti tra anatomia ottica e percezione: le dimensioni del colore sono un'astrazione antiquata e mai accettata dalla colorimetria ufficiale.

il colore, per sua natura sfuggente, aleatorio e soggettivo. Dobbiamo infine finalmente comprendere che il colore non può essere "preso" in alcun modo, perché semplicemente non esiste⁴!

La correlazione tra sostanza dentale e luce è però evidente: quella materia dentale, tramite le sue caratteristiche e interagendo con la radiazione luminosa, ha contribuito in maniera sostanziale a determinare la percezione nell'osservatore. Occorre spiegare precisamente l'affermazione che "il colore non esiste". La colorimetria insegna che la percezione del colore presuppone l'esistenza di tre attori: onde elettromagnetiche idonee, un oggetto e un osservatore, e mancando solo uno dei tre elementi non si può avere colore. Le onde elettromagnetiche (stimolo di colore) sono precisamente misurabili e oggettive, così come le risposte elettriche delle cellule fotosensibili della retina (sensazione di colore).

Il fatto per il quale si può affermare che il colore non esiste, perché non è misurabile

né oggettivo, è che a precise sensazioni e stimoli di colore possono corrispondere "percezioni di colore" completamente differenti, perché mediate dalla psicologia e dal vissuto emotivo dell'osservatore. Ecco perché il "fenomeno colore" è aleatorio, istantaneo e sfuggente: possiamo definire una certa lunghezza d'onda, e teoricamente la corrispondente risposta retinica, ma la percezione finale nell'osservatore è sempre approssimativa e soggettiva. Ecco dunque perché dobbiamo focalizzare l'attenzione sul substrato anatomico, che è oggettivo e analizzabile: la percezione finale del colore è generata, per la gran parte, dalle caratteristiche fisiche, anatomiche nel nostro caso, dell'oggetto.

In questa visione del fenomeno colore, propria dell'anatomia ottica, si scindono gli aspetti propriamente strutturali dai correlati percettivi conseguenti, ottenendo così una maggiore accuratezza e offrendo una migliore comprensione del fenomeno. Alla luce di queste considerazioni, pensiamo che la diagnosi dei colori e dell'estetica

La diagnosi dell'estetica e dei colori dentali

Prima fase: analisi dell'anatomia ottica

analisi delle proprietà ottiche intrinseche ed estrinseche

Seconda fase: analisi della percezione

valutazione degli attributi percettivi (chiarezza, croma, tinta)



dentale si debba svolgere ordinatamente in due fasi distinte ma integrate: analisi delle proprietà ottiche intrinseche ed estrinseche e, successivamente, valutazione degli attributi percettivi.

Questi sono i motivi per i quali si può affermare che si passa da un approccio percettivo-artistico tradizionale a un approccio scientifico-realistico più moderno: nel primo è centrale la percezione, mentre nel secondo l'anatomia ottica (Figure 28-30).

La fotografia digitale, secondo la nostra visione, è lo strumento fondamentale non solo per la diagnosi dei colori, ma anche per l'analisi dell'anatomia ottica dentale nelle sue diverse espressioni. La moderna fotografia scientifica si può avvalere di diverse geometrie e tecniche d'illuminazione, ciascuna con una propria specificità e indicazione. Si deve insomma comprendere che ogni tipo d'indagine fotografica ha un suo proprio piano di lettura della realtà¹⁴.

La fotografia con flash anulare è utile per la documentazione di base, specie nei settori posteriori, ma presenta limiti nella visualizzazione dei volumi dentari e nella diagnosi dei colori. La tecnica con flash

28. Le fasi razionali della diagnosi dell'estetica e dei colori dentali: in un primo momento si analizza l'anatomia ottica e solo dopo le percezioni da questa generate.

gemellari posti a 45° è ideale per la diagnosi dei colori e molto utile nell'analisi della struttura e della superficie dentaria. La tecnica di fotografia a luce polarizzata incrociata (CPP-Cross Polarized Photography)⁸ è utilissima per l'analisi della struttura dentaria, con particolare riferimento alle diverse caratteristiche di fluorescenza dei differenti tessuti. Le tecniche a luce indiretta permettono un'efficace visualizzazione dei volumi dentari, risultando poco utili per la comprensione delle caratteristiche strutturali dei denti (Figure 23-26). L'anatomia ottica può essere interpretata in modo bidirezionale: l'analisi della struttura dentaria può spiegare il comportamento della radiazione luminosa, ma allo stesso modo e in senso inverso lo studio del comportamento della radiazione luminosa può svelare particolari significativi della struttura e di aree di particolare interesse e significato clinico, come l'interfaccia smalto-dentina^{27,28}.

Approccio artistico percettivo

Centralità della percezione



- Dimensioni del colore
- Caratterizzazioni
- Presa del colore



29. Nella visione tradizionale il clinico focalizza l'attenzione sul "fenomeno colore", ovvero sulla percezione e sulle caratteristiche del fenomeno, cercando di isolarne e capirne i tratti fondamentali, ovvero di "prenderli" nel senso latino di "capio", afferrare. Il linguaggio è testimone di questo atteggiamento culturale: "prendo il colore", le "dimensioni del colore", "il colore del dente", ma purtroppo il colore non esiste, essendo solo un'idea sfuggente nella mente dell'osservatore.

Approccio scientifico realistico

Centralità dell'anatomia e della radiazione luminosa

- Proprietà ottiche intrinseche ed estrinseche
- Fotocamera digitale come strumento di analisi e misurazione
 - Diagnosi dei colori



30. L'approccio scientifico al fenomeno colore dev'essere diverso, rivolto alla comprensione della struttura che interagendo con la radiazione luminosa evoca una percezione nell'osservatore. L'attenzione quindi non più rivolta alla percezione ma alla sostanza delle cose, utilizzando la fotocamera digitale in modo scientifico e razionale.

32. Incisivi centrali con le consuete crepe dello smalto: si noti come questi piani di diffrazione modificano grandemente la dinamica della luce.

31. Il valore ottico delle crepe dello smalto.

Le crepe o cracks dello smalto

Un esempio di applicazione dei concetti di anatomia ottica è offerto dalla possibilità di comprendere, da un punto di vista ottico, il fenomeno delle crepe dello smalto o "enamel cracks", per l'importanza che lo stesso riveste nel modificare il comportamento della luce all'interno del dente. Lo smalto dentario è la sostanza più dura del corpo umano, e questa durezza comporta una ridotta elasticità e quindi un conseguente grado di fragilità. La fragilità è causa della possibile formazione di crepe e fratture di tipo coesivo, similmente a quanto accade nei materiali rocciosi che sono soggetti alla formazione di faglie. La resistenza alla frattura (*fracture toughness*) è misurata tramite un parametro, il K_{ic}, che rappresenta graficamente e correla intensità dello stress e probabilità che una crepa all'interno di un materiale si trasformi in frattura. Il K_{ic} è minore negli strati esterni dello smalto, che presentano quindi una inferiore resistenza alla frattura, e soprattutto nello smalto anziano a causa del ridotto contenuto di matrice organica interprismatica³⁰⁻³².

Le crepe dello smalto o "enamel cracks" essendo planari secondo diverse inclinazioni, sono un potente agente di rifrazione ottica e quindi influenzano grandemente la percezione estetica della dentatura.



Le crepe sono otticamente importanti perché - essendo planari, del tutto simili alle faglie geologiche - generano un esteso piano di rifrazione della luce che modifica grandemente le dinamiche della radiazione luminosa all'interno del dente e quindi la sua stessa percezione (Figure 31-34). Le crepe dello smalto sono attori fondamentali dei processi di diffusione della radiazione luminosa all'interno del volume

dentario e la loro importanza nella genesi della percezione estetica finale dev'essere opportunamente considerata¹⁴ (Figure 35-36). Il fatto che le caratteristiche anatomiche quali crepe o perikymata interne non vengano consapevolmente percepite da un osservatore non inficia assolutamente il fatto che le stesse possano produrre i loro effetti sulla percezione complessiva. È risaputo infatti come la maggior parte della percezione e della comunicazione



33. Gli incisivi della figura precedente a maggiore ingrandimento, dove sono maggiormente evidenti le perikymata interne e lo spot più chiaro sul margine dell'incisivo di sinistra.



35. La fotografia a luce polarizzata incrociata evidenzia le moltissime crepe dello smalto presenti in questo paziente. Come si potrebbe negare la profonda influenza che queste aree anatomiche otticamente attive hanno sulla percezione finale?

avvenga a livello subliminale, e che anzi questo sia il canale più potente e rilevante per la formazione dell'esperienza.

La dinamica della luce all'interno del volume dentario: l'opalescenza

Nel paragrafo precedente ci siamo soffermati sugli aspetti anatomici e strutturali dell'anatomia ottica ed è ora opportuno osservare sinteticamente cosa accade dal punto di vista della radiazione luminosa. Accanto al tradizionale concetto ottico-fisico di riflettanza - percentuale di radiazione riflessa in rapporto a quella incidente - esistono tre fenomeni altrettanto importanti e correlati: l'assorbanza, la trasmittanza e la fluorescenza. Queste proprietà ottico/fisiche sono alla base dell'estetica e del modo di apparire degli elementi dentari: la percezione finale del dente è il risultato della variabilità di questi processi. La trasmittanza è la componente di energia luminosa che attraversa il mezzo ed emerge oltre la superficie di uscita, mentre l'assorbanza è quella quota di energia radiante che rimane intrappolata nel mezzo e dà luogo ai fenomeni di diffusione interna detti



34. Una bellissima immagine che mostra, specie sull'incisivo laterale, le interferenze ottiche tra crepe dello smalto e perikymata interne.

di *scattering*. La fluorescenza consiste nell'assorbimento da parte del dente di radiazione non visibile e nella successiva trasformazione ed emissione della radiazione trasformata in luce visibile. La fluorescenza è importante perché aumenta il grado di chiarezza degli elementi dentari. I fenomeni di *scattering* o diffusione sono dovuti ai processi di diffrazione e interferenza che i raggi luminosi subiscono nell'attraversare i diversi

tessuti dentali, processi che sono anche alla base dei fenomeni comunemente detti di *opalescenza* dello smalto dentario. In realtà non è corretto parlare di opalescenza dei denti perché questo fenomeno può avvenire solo in presenza di una particolare configurazione chimico-fisica e spaziale della struttura, assolutamente non presente nello smalto. In particolare, nell'opale - minerale amorfo costituito da silice idrata ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) -



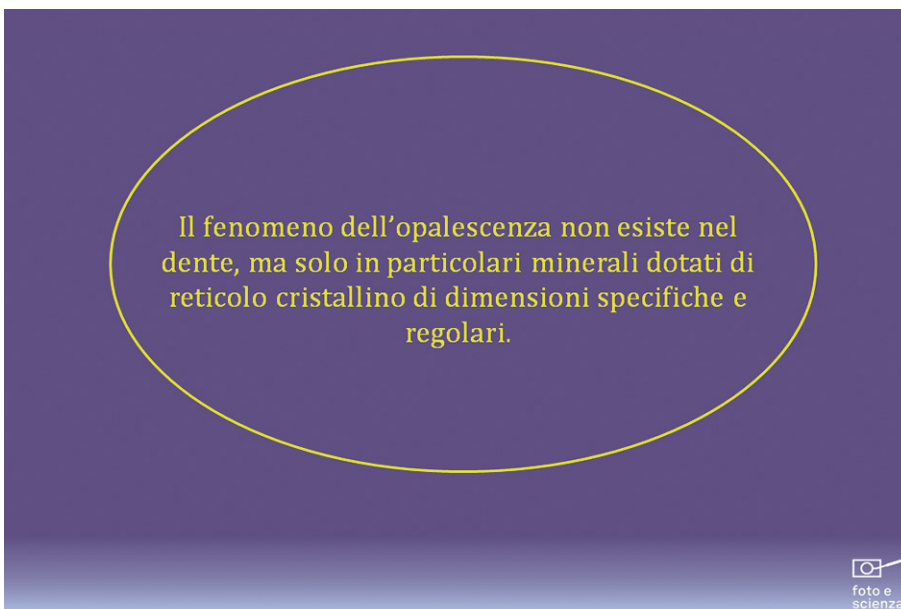
36. Un'altra immagine che mostra le interferenze ottiche tra crepe dello smalto e perikymata interne.

si ha una disposizione regolare di sferette di silice delle dimensioni di circa 200 nm. Queste sfere formano un reticolo cristallino che produce fenomeni d'interferenza e diffrazione disordinata della radiazione luminosa, con la formazione di colori che oscillano dal bianco latte al trasparente, ma anche verde, rosso, giallo e tantissime altre sfumature cangianti secondo l'angolo di osservazione.

Nel dente naturale ovviamente non si può riscontrare la gamma dei colori tipici dell'opalescenza, poiché manca il reticolo cristallino che dona all'opale le sue proprietà ottiche, ma si possono rilevare

comunque suggestivi effetti di interferenza e diffrazione della luce, costituiti per lo più dalla presenza di onde lunghe arancione a maggior potere di penetrazione. Succede in sintesi ciò che avviene nell'atmosfera al tramonto: la particolare angolazione della sorgente luminosa permette alle sole onde di lunghezza maggiore di penetrare nell'atmosfera e di rendersi evidenti all'osservatore.

Così, come è stato scritto a proposito del colore che non è una proprietà della materia, anche in questo caso si può affermare che il dente non "è opalescente",



37. L'opalescenza è una proprietà di alcuni minerali a base di silicio e non dei denti.



38. L'evidenziazione ottenuta con illuminazione indiretta dei fenomeni di diffrazione e interferenza sui margini incisali.



39. Una suggestiva immagine del bordo incisale di un laterale, illuminato indirettamente per accentuare i fenomeni ottici di diffrazione.



40. Gli stessi incisivi della figura precedente con un'angolazione leggermente diversa che ha modificato le dinamiche luminose: l'angolo dell'incisivo laterale appare meno luminoso di quanto non sia nell'immagine precedente.

per la semplice ragione che strutturalmente non lo potrebbe essere! È invece corretto affermare che la struttura dentale, per la sua complessità, produce sotto alcuni angoli d'illuminazione e di visione effetti di diffusione e diffrazione della radiazione luminosa simili all'opalescenza^{5,14} (Figure 37-40).



41. La fotografia con luce polarizzata incrociata elimina i riflessi e cambia profondamente le dinamiche luminose e quindi percettive. Quest'immagine permette di apprezzare molto bene le caratteristiche ottiche intrinseche principali e accessorie di questi due centrali.



42. In questi due centrali la presenza di spot e aree più chiare dello smalto suggerisce un'estrema complessità dell'anatomia ottica e quindi della percezione finale degli elementi. Tutta questa complessità non può e non deve essere racchiusa negli angusti concetti delle "dimensioni del colore", ma analizzata e compresa attraverso una corretta documentazione fotografica. Si noti la minore fluorescenza di questi elementi dentari, testimoniata dalla minore chiarezza complessiva dei denti rispetto a quelli della figura precedente.

La tecnica CPP

Recentemente è stato chiarito il ruolo della fotografia a luce polarizzata incrociata o CPP (Cross Polarized Photography) per la diagnosi strutturale, cioè per la discriminazione fine tra strutture opache e traslucite, quindi per evidenziare le differenze ottiche tra smalto e dentina⁸. Questa tecnica è utile soprattutto per valutare il grado di fluorescenza dei denti; ovviamente l'operatore non ha la possibilità di scegliere materiali da restauro più o meno fluorescenti, ma è importante sapere che un elevato grado di fluorescenza contribuisce ad aumentare la chiarezza complessiva del dente⁸ (Figure 41-43). Anche con questa tecnica si possono utilizzare i contrastori, ed è evidente come questo tipo di fotografia sia un valido ausilio per l'analisi e quindi per lo studio dell'anatomia ottica dell'elemento dentario. È stato scritto che tramite la polarizzazione incrociata il dente "s'illumina dal suo interno", e questo è ciò che esattamente accade, aumentando così considerevolmente le possibilità di esplorare la materia dentale.

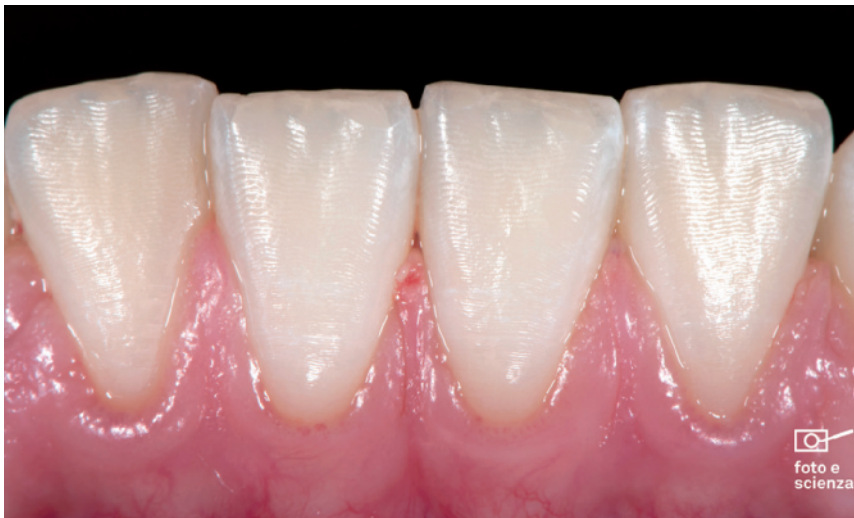


43. La fotografia in tecnica CPP consente di comprendere bene come l'incisura al margine dell'incisivo di sinistra sia congenita, avvenuta in epoca di formazione dello smalto e non secondaria a trauma. La chiarezza di questi denti è abbastanza limitata a causa della ridotta fluorescenza probabilmente dovuta agli spessori più elevati di smalto.

La fotografia a luce polarizzata incrociata non è una novità nel settore odontoiatrico, ma è nuova l'idea che sia utile come strumento dell'anatomia ottica, per effettuare cioè la diagnosi strutturale fine e non solo per gli aspetti legati al colore.

In altri termini, la tecnica CPP rappresenta un'altra opportunità di studio dell'anatomia ottica⁸.

In questa modalità di fotografia si perdono le informazioni sulla micro-anatomia di superficie, poiché sono veicolate dalla luce



44. L'immagine mostra la ricchezza e la complessità della micro-anatomia di superficie di questi incisivi inferiori.



46. Una fotografia che evidenzia la presenza sugli incisivi centrali dei tre lobi delimitati dalle due docce di sviluppo.



45. In quest'immagine sono ben evidenti sia la micro- che la macro-anatomia di superficie. La prima ha uno sviluppo prevalentemente orizzontale, mentre la seconda caratterizza l'elemento dentario in senso longitudinale o appunto verticale.



47. Una particolare prospettiva che permette di apprezzare sia la micro- che la macro-anatomia di superficie.

riflessa che viene intercettata ed estinta dai filtri. In sintesi, la tecnica CPP permette di isolare ed evidenziare accuratamente le caratteristiche di opacità, traslucenza e fluorescenza dell'elemento dentario, affiancando in quest'analisi la tecnica fotografica tradizionale.

Le proprietà ottiche estrinseche: micro- e macro-anatomia di superficie

Le caratteristiche anatomiche della

superficie dentale creano quelle comunemente definite come proprietà ottiche estrinseche; la superficie di un dente giovane sano è estremamente complessa: fini rilievi che delimitano depressioni orizzontali (perikymata o linee di accrescimento) e lobi di sviluppo che fondendosi creano concavità e convessità in senso verticale (Figure 44-49).

In letteratura tradizionalmente ci si riferisce a queste caratteristiche anatomiche con i termini di micro- e macro-tessitura di

superficie o di micro- e macro-geografia di superficie³³⁻³⁴, ma non siamo d'accordo con queste definizioni.

Infatti, da un punto di vista strettamente lessicale il concetto di "tessitura" presuppone una trama e un ordito che ovviamente non sono presenti nello smalto dentario, che anzi non è neanche un tessuto biologico in senso stretto, ma il prodotto degli ameloblasti.

Il termine "geografia" appartiene alla scienza dello studio della terra e appare quindi



48. Immagine a luce indiretta che mostra la potenza ottica delle proprietà di superficie.

inadatto se applicato allo studio di un organo biologico qual è il dente. Ci appare molto più pertinente il vocabolo "anatomia", preceduto dal prefisso micro- e macro-, per distinguere le caratteristiche della superficie dell'elemento dentario.

Preferiamo quindi, per correttezza concettuale e lessicale, definire l'insieme di queste caratteristiche come *micro- e macro-anatomia* di superficie, a sviluppo prevalentemente orizzontale - perikymata - o verticale, rappresentata da lobi e docce di sviluppo (Figure 50-51).

La transizione tra le diverse concavità/convessità è complessa e singolare, riducendosi con il progredire del tempo e dell'usura^{33,34,36}.

Le caratteristiche di superficie modificano sostanzialmente il comportamento della luce, in particolare influenzano la qualità e la quantità di riflettanza, ma anche le caratteristiche dei processi di diffrazione all'interno della struttura dentale.

Infatti una superficie complessa e irregolare ha due effetti: produce una

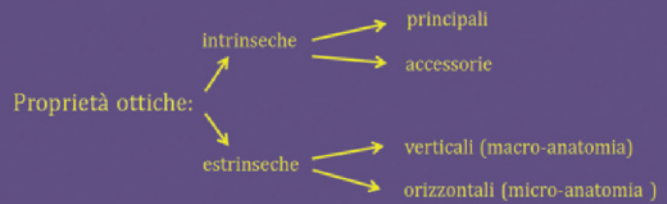


49. Micro- e macro-anatomia non sono categorie assolute e rigide: questo incisivo centrale presenta una superficie complessa intermedia tra l'una e l'altra.

maggiore quota di riflessione diffusa a scapito di quella speculare e aumenta in quantità assoluta la percentuale di riflettanza. Le caratteristiche di superficie modificano però anche le proprietà di trasmittanza e assorbanza, alterando e rendendo irregolari i tragitti dei raggi luminosi all'interno del dente¹.

Anatomia ottica

Analisi dell'interazione tra l'anatomia strutturale e la radiazione luminosa

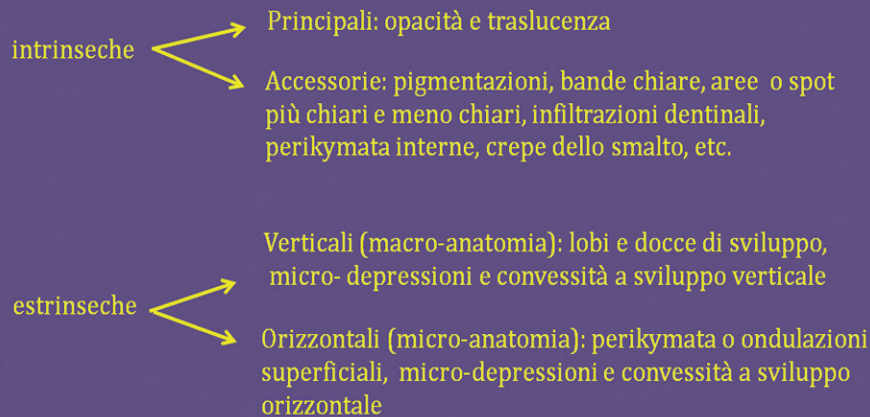


50. Una sinossi dell'anatomia ottica del dente rappresentata attraverso le proprietà ottiche. Le consideriamo divisibili in intrinseche ed estrinseche. Le prime sono a loro volta distinguibili in principali e accessorie, le seconde in verticali (macro-anatomia) e orizzontali (micro-anatomia).

L'analisi dei volumi dentari

L'immagine fotografica può rivelarsi estremamente utile per la comprensione e la visualizzazione dei volumi dentari, che risulta un utile allenamento per familiarizzare con questi aspetti anatomici che si rivelano fondamentali nelle fasi di sviluppo del restauro.

Le proprietà ottiche



51. Le proprietà ottiche nel dettaglio.

Per sfruttare queste opportunità occorre variare le consuete prospettive d'inquadratura, che normalmente si basano su una condizione che abbiamo definito di "coordinata zero".

Per la visualizzazione dei volumi si deve ricorrere a prospettive laterali, ma soprattutto ad accessori che illuminino in modo indiretto la dentatura. Infatti la geometria d'illuminazione diretta, sia con flash anulare che gemellare, impoverisce grandemente la spazialità delle immagini, rendendo la luce più "dura".

Per esaltare la spazialità delle immagini è necessario utilizzare una geometria d'illuminazione indiretta, che rifletta cioè su una superficie la luce della sorgente flash prima che questa arrivi all'oggetto, ammorbidendola attraverso l'ampliamento delle dimensioni della sorgente luminosa. Non si confonda però: ogni tecnica ha svantaggi e vantaggi, e la migliore soluzione per la diagnosi dei colori resta l'illuminazione diretta con flash gemellari, che realizza una

geometria d'illuminazione sperimentata e accettata dalla colorimetria ufficiale¹⁴ (Figure 52-54).

La forma e i volumi del dente sono oggettivi, stabili e misurabili, non variando sostanzialmente nelle diverse condizioni di osservazione, ma la percezione del colore è sfuggente e soggettiva ed estremamente condizionata dal contesto d'osservazione, dall'angolo d'illuminazione e dalla temperatura della luce.

Ecco perché nella diagnosi estetica il ruolo del "colore" è importante ma non determinante quanto la forma complessiva dell'elemento dentario. In realtà non ci appare corretto stabilire una gerarchia d'importanza, perché è vero che "il colore è l'anima della forma"³⁷, ma è altrettanto vero che la forma, i volumi e la materia di cui il dente è costituito offrono sostanza e quindi ragion d'essere al colore. È quindi dall'interazione tra materia, nelle sue peculiari forme e volumi, e radiazione luminosa che si genera la percezione finale in un osservatore, e stabilire cosa sia più importante o avvenga prima appare poco utile ai fini pratici.

Ecco perché l'anatomia ottica, analizzando



52. Un'immagine ottenuta con diffusori e illuminazione indiretta che permette di apprezzare la tridimensionalità e la plasticità dei volumi dentari.



53. L'immagine ottenuta con illuminazione indiretta che mette in evidenza i volumi dentari, la macro-anatomia della superficie dentale ma anche la consistenza dei margini gengivali. Si noti anche come la crepa sull'aspetto distale dell'incisivo centrale di destra influenzi la trasmissione della luce, rendendo più scura la parte palatale dell'elemento.



54. Un'altra immagine ottenuta con diffusori e illuminazione indiretta che permette di apprezzare la tridimensionalità e la plasticità dei volumi dentari. In questa dentatura si apprezzano, inoltre, molti fattori dell'anatomia ottica: crepe dello smalto, spot chiari, grande opacità della dentina.

contemporaneamente la struttura dentale e le sue proprietà ottiche estrinseche e intrinseche, la forma e i volumi dentari fornisce al clinico e al laboratorio odontotecnico un importante strumento per la gestione della

stratificazione dei restauri diretti e indiretti.

Conclusioni

È necessaria una revisione critica dell'approccio culturale prevalente degli

odontoiatri al fenomeno "colore" e al mezzo fotografico.

L'analisi consapevole e meditata delle immagini fotografiche sembra rappresentare un potente mezzo di comprensione dell'anatomia dentale e delle sue interazioni con la radiazione luminosa, tanto da poter parlare di "anatomia ottica". La filosofia operativa proposta, rigorosamente "evidence based", permette di utilizzare la fotocamera digitale non solo per la misurazione e la documentazione del colore, ma anche per lo studio approfondito dell'anatomia dentale. Il concetto di anatomia ottica proposto si sposa così perfettamente, integrando e completando per la parte strutturale la filosofia della Fotografia Basata sull'Evidenza, che ha come fine la corretta documentazione del colore dentale. Si auspica un'approfondita riflessione della Comunità Scientifica sui temi proposti e sulle soluzioni adottate, che sembrano offrire, nel merito e nel metodo, risposte moderne alla crescente domanda di scientificità che accompagna la diffusione dello strumento fotografico per usi clinici.

Muovendo dai dati della letteratura, anche non strettamente relativa all'Odontoiatria, e coniugando le evidenze scientifiche con la conoscenza della fotografia pensiamo di aver proposto un interessante nuovo approccio allo studio dell'estetica dentaria. L'anatomia ottica è un moderno strumento di analisi che può avere una grande rilevanza clinica, orientando e allenando alla comprensione delle dinamiche di stratificazione e modellazione dei restauri.

© RIPRODUZIONE RISERVATA

Corrispondenza

Pasquale Loiacono
Via degli Orti, 21
89861 Tropea
pasqualeloiacono@alice.it
www.fotoescienza.it

bibliografia

1. Loiacono P, Pascoletti L. *Photography in Dentistry*. Chicago: Quintessence Publishing 2012.
2. Loiacono P. La fotografia digitale per la diagnosi dei colori in odontoiatria estetica. Parte prima. *Quint Intern* 2012 (28);3:93-113.
3. Loiacono P, Molina B. La fotografia digitale per la diagnosi dei colori in odontoiatria estetica. Parte seconda. *Quint Intern* 2012 (28);4:83-101.
4. Loiacono P. La fotografia digitale per la diagnosi dei colori in odontoiatria estetica: il glossario del colore. Parte terza. *Quint Intern* 2013 (29);1:9-26.
5. Oleari C. *Misurare il colore: fisiologia della visione a colori*. Milano: Hoepli 2008.
6. Vaarkamp J, ten Bosch JJ, Verdonchot EH. Propagation of light through human dental enamel and dentine. *Caries Res* 1995;29(1):8-13.
7. ten Bosch JJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J Dent Res* 1995 Jan;74(1):374-80.
8. Loiacono P. Ruolo della fotografia a luce polarizzata in odontoiatria: aspetti fisici e clinici. *Quint Intern* 2013(29);2:59-73.
9. Bazos P, Magne P. Bio-emulation: Biomimetically emulating nature utilizing a histo-anatomic approach; structural analysis. *Eur J Esthet Dent* 2011 Spring;6(1):8-19.
10. McLaren EA, Garber DA, Figueira J. The photoshop smile design technique (part 1): digital dental photography. *Compend Contin Educ Dent* 2013 Nov-Dec;34(10):772-9.
11. Stefani R, et al. L'impiego delle tecnologie digitali nella diagnosi protesica e nella realizzazione della protesi. *Il Dentista Moderno* 2012;10:46-75.
12. Chu SJ. *Fundamentals of Color*. Chicago: Quintessence Publishing 2004.
13. Devigus A. La fotografia dentale digitale. *Il Dentista Moderno* 2010;9:76-86.
14. Loiacono P. Le Nuove Evidenze Scientifiche in Fotografia, Cultura del Colore e Workflow Digitale in odontoiatria. Milano: Quintessenza Internazionale 2014 (in stampa).
15. Lombardi RE. *The principles of visual perception and their clinical application to denture esthetics*. J Prosthet Dent 1973;29:358-82.
16. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part I. The three dimensional nature of color. 1973. *J Prosthet Dent* 2001 Nov;86(5):453-7.
17. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color. 1973. *J Prosthet Dent* 2001 Nov;86(5):458-64.
18. Clark EB. *The Clark Tooth Color System, part I & II*. *The Dental Magazine and Oral Topics* 1933;50:139-152,249-58.
19. Muia P. *The four dimensional tooth color sistem*. Chicago: Quintessence Publishing 1982.
20. Vanini L, Mangani F. *The five colour dimensions of the teeth: a new way of determination and communication of the colour in composite resin restorations*. *Practical Periodontology and Aesthetic Dentistry* 2001;1(13):19-26.
21. <http://www.cis.rit.edu/fairchild/PDFs/AppearanceLec.pdf>.
22. Malacara D. *Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications*. Society of Photo Optical 2011.
23. Hunt RWG, Pointer MR. *Measuring Colour*. The Wiley-IS&T Series in Imaging Science and Technology 2011.
24. Ohta N, Robertson AA. *Colorimetry: fundamentals and applications*. Wiley 2006.
25. Bocaeye E, Humphrey LT, Hillson S. Technical note: a new three-dimensional technique for high resolution quantitative recording of perikymata. *Am J Phys Anthropol* 2010 Mar;141(3):498-503.
26. CIE Publication n. 15. *Colorimetry*, 3rd ed. Wien, Austria: CIE 2004.
27. Cloitre T, Panayotov IV, Tassery H, Gergely C, Levallois B, Cuisinier FJ. Multiphoton imaging of the dentine-enamel junction. *J Biophotonics* 2013 Apr;6(4):330-7.
28. Sun CW, Hsieh YS, Ho YC, Jiang CP, Chuang CC, Lee SY. Characterization of tooth structure and the dentin-enamel zone based on the Stokes-Mueller calculation. *J Biomed Opt* 2012 Nov;17(11):116026.
29. Bayindir F, Gozalo-Diaz D, Kim-Pusateri S, Wee AG. Incisal translucency of vital natural unrestored teeth: a clinical study. *J Esthet Restor Dent* 2012 Oct;24(5):335-43.
30. Zheng Q, Xu H, Song F, Zhang L, Zhou X, Shao Y, Huang D. Spatial distribution of the human enamel fracture toughness with aging. *J Mech Behav Biomed Mater* 2013 Oct;26:148-54.
31. Arsecularatne JA, Hoffman M. On the wear mechanism of human dental enamel. *J Mech Behav Biomed Mater* 2010 May;3(4):347-56.
32. Bechtle S, Habelitz S, Klocke A, Fett T, Schneider GA. The fracture behaviour of dental enamel. *Biomaterials* 2010 Jan;31(2):375-84.
33. Magne P, Belserr U. Bonded porcelain restorations in the anterior dentition, a biomimetic approach. Quintessence Publishing 2002.
34. Fradeani M. *Prosthetic treatment: a systematic approach to esthetic, biologic, and functional Integration Volume 2*. Chicago: Quintessence Publishing 2008.
35. Manauta J, Layers SA. *An atlas of composite resin stratification*. Chicago: Quintessence Publishing 2012.
36. Vanini L. *Il restauro conservativo dei denti anteriori*. Viterbo: ACME 2003.
37. Spina G. *Il colore è anatomia*. Brescia: Teamwork Media, 2010.
38. Avery JK, Chiego D Junior. *Essentials of oral pathology and embryology: a clinical approach*. 3rd edition. St. Louis, Missouri: Mosby, Inc. 2006;93,97-105,227.
39. *Mosby's Dental Dictionary*. 2nd edition. St. Louis Missouri, Mosby, Inc. 2008:209-17.
40. Nanci A. *Ten Cate's Oral Histology: development, structure, and function*. 7th edition. St. Louis Missouri: Mosby, Inc. 2008:143-6.
41. Summitt JB, Robbins WJ, Hilton TJ, Schwartz RS, dos Santos J. *Fundamental of operative dentistry: a contemporary approach*. 3rd edition. Hanover Park, Illinois: Quintessence Publishing 2006:8.
42. Ross MH, Pawlina W. *Istologia. Testo e Atlante con elementi di biologia cellulare e molecolare*. Milano: Casa Editrice Ambrosiana, 1a edizione 2010.
43. Lynch CD, O'Sullivan VR, Dockery P, McGillycuddy CT, Sloan AJ, Hunter-Schreger. Band patterns in human tooth enamel. *J Anat* 2010 Aug;217(2):106-15.