

Il nuovo concetto di rapporto d'ingrandimento equivalente in fotografia odontoiatrica

Pasquale Loiacono*

Le moderne fotocamere possono e devono essere considerati strumenti clinici, perché consentono una fine diagnosi estetica tramite l'analisi dell'anatomia ottica e la misurazione dei colori, risultando così indispensabili per l'odontoiatra moderno. Il rapporto d'ingrandimento è uno dei maggiori fattori di successo in fotografia odontoiatrica, perché consente la corretta composizione dell'immagine, considerata un documento scientifico a tutti gli effetti; ciò è talmente vero che la stessa disciplina è stata definita una tecnica specialistica "a priorità di rapporto d'ingrandimento". L'introduzione dei moderni sensori digitali a formato ridotto ha grandemente modificato questa materia, creando variabili che per la loro tecnicità possono creare incomprensioni e confusione, specie nella fase di scelta dell'attrezzatura fotografica. È necessario quindi introdurre nuovi concetti, che chiariscano l'argomento e soprattutto che consentano agli operatori di conoscere in anticipo le potenzialità in ingrandimento del proprio corredo fotografico. L'Autore ha così ideato il concetto di Rapporto d'Ingrandimento Equivalente e definito il Rapporto d'Ingrandimento Ottico, parametri che consentono di conoscere con precisione matematica le capacità ingrandenti di un determinato abbinamento fotocamera/obiettivo, permettendo così una scelta ragionata rispetto alle necessità dell'odontoiatra fotografo. Si può così giungere a una piena consapevolezza e controllo delle prestazioni delle fotocamere, che sempre più devono essere considerati veri e propri strumenti clinici di misurazione e analisi del colore e dell'anatomia ottica dentale.

Parole chiave: Sensori digitali, Ingrandimento, Rapporto e fattore d'ingrandimento, Rapporto d'Ingrandimento Equivalente - RIE, Full frame, APS-C, Rapporto d'Ingrandimento Ottico - RIO.

UTILITÀ E DEFINIZIONE DEL RAPPORTO D'INGRANDIMENTO

È ormai unanimemente riconosciuto come i sistemi ingrandenti in odontoiatria offrano numerosi vantaggi, sia diagnostici che operativi; sintetizzando si può affermare che l'ingrandimento permette di "fare meglio ciò che si vede e vedere meglio ciò che si fa".^{1,7}

L'analisi di un'immagine correttamente ingrandita permette di cogliere i più piccoli particolari del soggetto fotografato e ne consente, inoltre, lo studio per un tempo indefinito; spesso ciò che non è immediatamente percepibile a occhio nudo, diviene evidente in un'immagine ben realizzata (Figg. 1a,b).^{2-4,7,8}

Nell'ambito della fotografia odontoiatrica già da diversi anni si è avuta consapevolezza dell'importanza del corretto ingrandimento dell'immagine, tanto da poter affermare che la fotografia è una tecnica "a priorità di rapporto d'ingrandimento", a voler proporre un programma di

esposizione e inquadratura non fisicamente presente sulla fotocamera, ma virtuale perché insito nella mente dell'odontoiatra che fotografa.¹

Tradizionalmente, nel settore della fotografia a distanza ravvicinata o macrofotografia, alla quale appartiene anche la specialità odontoiatrica, è stato definito un parametro che quantificasse senza dubbi la capacità ingrandente del sistema fotocamera/obiettivo in uso e questo parametro è stato definito "Rapporto d'Ingrandimento" – R.I. Come la velocità massima espressa in Km/ora può essere un parametro per conoscere le prestazioni di un determinato autoveicolo, così il rapporto d'ingrandimento lo è per una fotocamera abbinata al suo obiettivo.

La classica definizione di rapporto d'ingrandimento in macrofotografia è la seguente: rapporto tra dimensioni (reali) dell'immagine del soggetto fotografato sul sensore e le dimensioni (reali) dello stesso soggetto.^{1,5,6}

Si deve subito notare che il rapporto d'ingrandimento è un concetto matematico cioè numerico, e in particolare che esprime, tramite una frazione matematica, il rapporto tra due misure o lunghezze reali. Si deve inoltre notare che gli attori di questo rapporto matematico sono necessariamente un soggetto fotografato (ovviamente), un sistema di lenti che ricomponga l'immagine del soggetto su un piano focale e un sensore col suo preciso formato.

Gli attori, cioè le variabili fisiche cioè hardware che ci interessano sono in particolare due: l'obiettivo e il formato

* Odontoiatra e fotografo scientifico.

Indirizzo per la corrispondenza:

Pasquale Loiacono
Odontoiatra e fotografo scientifico
E-mail: pasqualeloiacono@alice.it
www.photoescienza.com

del sensore e questi due parametri sono quelli che dobbiamo imparare a correlare per comprendere appieno il significato del rapporto d'ingrandimento – R.I. (Fig. 5). Esiste una terza fondamentale variabile, funzionale, che sarà però esaminata più avanti.

La definizione di rapporto d'ingrandimento va attualizzata alla luce dei progressi tecnologici, nel senso che in presenza di un sensore a formato ridotto rispetto al tradizionale formato di sensore detto "standard" o "full frame" che misura 24 x 36 mm, il comportamento dello stesso obiettivo sembra variare grandemente. La domanda è quindi: di quanto e perché avviene questa variazione, e soprattutto come l'odontoiatra fotografo può utilizzare questa condizione a proprio vantaggio?

RAPPORTO O FATTORE D'INGRANDIMENTO?

Accade di veder utilizzati i due termini *fattore* e *rapporto d'ingrandimento* come sinonimi, ma ciò non è assolutamente corretto! Il rapporto d'ingrandimento è un parametro esclusivo della fotografia a distanza ravvicinata che nulla ha a che vedere con il fattore d'ingrandimento. Per comprendere: già la definizione di "fattore" lascia intendere come esso indichi un multiplo (infatti si indica con X nel senso "per", moltiplicazione) di una determinata immagine e che questo multiplo si riferisca a una immagine ricomposta attraverso un qualsiasi sistema ottico. Ma multiplo di cosa? La definizione di fattore d'ingrandimento ha bisogno di un parametro di riferimento, che sia, per così dire, il metro di paragone e questo metro è la visione umana normale. Possiamo così definire il fattore d'ingrandimento come "parametro che esprime la potenza di un sistema ottico riferita alla visione umana normale ed espressa tramite multipli della stessa" (Fig. 10).

Tutto ciò che noi vediamo a occhio nudo, senza alcun sistema di lenti ingrandenti, ha per definizione un fattore d'ingrandimento pari a "1" cioè 1X (Fig. 8).

Basandoci su questa definizione possiamo così com-

prendere il perché le capacità ingrandenti dei binocoli o dei microscopi si debbano esprimere tramite uno specifico "fattore d'ingrandimento" e così, in generale, tutti i sistemi ingrandenti (o rimpicciolenti) esprimono la propria potenza ingrandente tramite il simbolo "X" (Fig. 9).

È chiaro dunque che tra rapporto e fattore d'ingrandimento non esiste la seppur minima parentela, perché il primo riguarda sensori e obiettivi fotografici nell'ambito della fotografia a distanza ravvicinata, mentre il secondo genericamente la visione umana naturale o potenziata dai diversi sistemi ottici. D'ora in poi, trattando di fotografia, sarà opportuno quindi fare attenzione a non utilizzare i due termini come sinonimi.^{1,10}

RELAZIONE TRA LA LUNGHEZZA FOCALE E FATTORE D'INGRANDIMENTO: IL CONCETTO DI NORMALITÀ DEGLI OBIETTIVI

Per comprendere l'influenza del formato del sensore sul rapporto d'ingrandimento in macrofotografia, occorre spiegare alcune caratteristiche del comportamento degli obiettivi e in particolare il concetto di *normalità*. Si è già detto che il fattore d'ingrandimento è un parametro fondamentale per valutare "quanto" un sistema di lenti ingrandisce rispetto alla visione umana normale; poiché la visione umana fisiologica si distingue per un tipico angolo di campo visivo, cioè la regione dello spazio misurata in gradi percepita dall'occhio, è ovvio riportare questo parametro anche in fotografia, per meglio comprendere il comportamento degli obiettivi.

L'angolo di campo visivo, detto di "ripresa o inquadratura" quando riferito agli obiettivi, è strettamente legato al fattore d'ingrandimento: a causa delle leggi dell'ottica ogni diminuzione del primo comporta un aumento lineare del secondo; ciò vuol dire che restringendo l'angolo di ripresa aumenta l'ingrandimento finale dell'immagine. Se la visione normale dell'occhio umano ha un angolo di campo preciso e corri-



Fig. 1a,b Due immagini che mostrano una recessione da tartaro e la situazione dopo preparazione iniziale a 4 giorni; l'ingrandimento consente di apprezzare le potenzialità dei processi di guarigione.



Figg. 2a-g (a) L'ingrandimento permette di cogliere la fine trama delle perikymata interne, considerate proprietà intrinseche accessorie dell'anatomia ottica. (b) Un gradevole aspetto di salute parodontale, nell'immagine si può cogliere il passaggio tra gengiva aderente e margine gengivale. (c) L'ingrandimento permette di cogliere la ricchezza dei lobi e dei solchi di sviluppo, considerate proprietà estrinseche verticali dell'anatomia ottica. (d,e) Un'immagine ingrandita ha una capacità narrativa che la visione istantanea non può avere, e quindi rende possibile analizzare con precisione quella che è stata definita l'"Anatomia ottica" dei denti: crepe dello smalto, zone a traslucenza differenziata, volumi dentari, micro e macro-anatomia superficiale. (f,g) Come si può notare da queste immagini, l'aumento del rapporto d'ingrandimento consente un'analisi sempre più precisa dei particolari dell'anatomia ottica dentale e dello stato dei tessuti parodontali.



Figg. 3,4 La differenza tra queste due immagini risiede esclusivamente nel diverso rapporto d'ingrandimento e quella a destra più ingrandita è assolutamente più corretta ai fini della documentazione clinica.

Rapporto di ingrandimento

*dimensioni (reali)
dell'immagine del soggetto sul
sensore*

*dimensioni (reali) del soggetto
fotografato*

Utilità del Rapporto di Ingrandimento

*Il rapporto d'ingrandimento è
un parametro per valutare le
capacità ingrandenti di un
sistema ottica/fotocamera.*

Figg. 5,6

I fattori che determinano il rapporto d'ingrandimento

*Caratteristiche
dell'obiettivo*

*Formato del
sensore*

La lunghezza focale è la caratteristica fondamentale dei sistemi ottici e degli obiettivi perché specifica l'angolo di campo di ripresa o visivo, cioè la regione dello spazio, misurata in gradi, percepita dall'occhio (anche l'organo della visione ha una sua propria lunghezza focale) o da un determinato obiettivo (Fig. 11).

A ogni multiplo della lunghezza focale corrisponde un multiplo del fattore d'ingrandimento, così, per esempio, quadruplicare la lunghezza focale produce un fattore d'ingrandimento 4X e così di seguito. Vale anche il contrario, per cui dimezzare la lunghezza focale significa introdurre un fattore d'ingrandimento di 0,5X che produrrà un'immagine con dimensioni dimezzate rispetto alla visione naturale. Quindi: diminuendo la lunghezza focale si aumenta l'angolo di campo visivo percepito e si diminuisce il fattore d'ingrandimento; aumentando la lunghezza focale diminuisce l'angolo di campo e per ciò stesso aumenta il fattore d'ingrandimento, cioè le dimensioni dell'oggetto percepite dall'osservatore; si verifica, per così dire, un ritaglio della scena inquadrata (effetto cropping), cioè se ne comprende nell'immagine una porzione minore, che per ciò stesso apparirà più ingrandita.

Tra le diverse lunghezze focali degli obiettivi ne esiste una precisa che restituisce un'immagine sovrapponibile a quella percepita dalla visione umana fisiologica e l'obiet-

Fig. 7

spondente all'unità (fattore di ingrandimento 1X), un obiettivo che offre un angolo di inquadratura dimezzato rispetto alla visione umana normale, restituirà un fattore d'ingrandimento doppio rispetto alla stessa (2X).^{1,2,5,6}

La caratteristica fisica degli obiettivi che determina l'angolo di ripresa è la "lunghezza focale", cioè la distanza tra il centro ottico della lente e il piano focale dove si ricompongono i raggi luminosi per creare l'immagine.



Utilità del Rapporto di Ingrandimento

Il rapporto d'ingrandimento è un parametro per valutare le capacità ingrandenti di un sistema ottica/fotocamera.

La lunghezza focale degli obiettivi

La lunghezza focale degli obiettivi determina l'angolo di ripresa e quindi l'ingrandimento finale dell'immagine.

Fig. 11

Relazione tra lunghezza focale e angolo di ripresa.

*L'angolo di ripresa di un obiettivo è inversamente proporzionale alla sua lunghezza focale.
Quindi le focali lunghe ingrandiscono e le corte rimpiccioliscono.*

Fig. 12

tivo di questa determinata lunghezza focale è detto "normale", intendendo così che restituisce un'immagine con fattore di ingrandimento 1X, esattamente come la visione oculare. La normalità dell'obiettivo è un concetto fondamentale per comprendere il perché i sensori a formato ridotto introducono una importante variabile nel rapporto d'ingrandimento in fotografia. La condizione di normalità si verifica quando la misura della diagonale del sensore in uso corrisponde all'incirca alla lunghezza focale: in questo caso l'obiettivo offre un'immagine corrispondente alla visione oculare normale e per questo motivo si definisce

"obiettivo normale o standard per quel determinato formato di sensore". Nel caso del sensore standard in formato 24 x 36 mm, il formato FX di Nikon, la misura della diagonale è di circa 44 mm, per cui l'obiettivo normale corrisponde all'incirca a questa misura, per approssimazione 50 mm, e questo è esattamente il motivo per il quale questa focale si dice "normale" per il sensore standard. Ogni formato di sensore riconosce quindi un proprio obiettivo normale, che ha una lunghezza focale simile alla misura della diagonale del sensore; ciò vuol dire che un obiettivo è normale per uno specifico sensore, mentre per un altro



Fig. 13 Una scena ripresa con una focale di 50 mm e un sensore di formato FX 24 x 36. Il fattore d'ingrandimento è 1X perché questo angolo di campo corrisponde all'incirca a quello della visione normale.



Fig. 14 La stessa scena ripresa con una focale di 100 mm e un sensore di formato FX 24 x 36. L'angolo di campo risulta circa la metà di quello della visione normale e il fattore d'ingrandimento in questo caso è 2X, cioè si ottiene un ingrandimento doppio rispetto all'immagine precedente.



Fig. 15 La stessa scena ripresa con una focale di 200 mm e un sensore di formato FX 24 x 36. L'angolo di campo si dimezza ulteriormente e il fattore d'ingrandimento in questo caso è 4X, cioè si ottiene un ingrandimento doppio rispetto all'immagine precedente e quadruplo rispetto alla visione normale.

di formato diverso può comportarsi come tele o come grandangolo a seconda del formato del sensore stesso.

La normalità di un obiettivo è quindi una caratteristica dipendente dal rapporto tra la lunghezza focale e la misura della diagonale del sensore in uso e non intrinsecamente dall'obiettivo stesso; non esiste un obiettivo che si possa considerare normale in assoluto per tutti i formati di sensore, ma ogni formato di sensore riconoscerà un proprio obiettivo normale. Così, per esempio, l'obiettivo normale per un sensore formato DX di misura 16 x 24 avrà una lunghezza focale di 28 mm, valore approssimato alla misura della diagonale che è 28,3 mm; quindi la stessa ottica $f = 50$ mm, normale per un sensore formato FX di misura 24 x 36, equivale a un teleobiettivo se abbinata a un sensore formato 16 x 24.^{1,2}

La normalità degli obiettivi

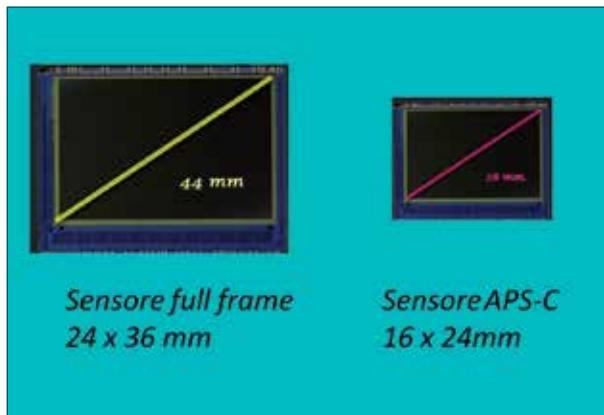
Un obiettivo si dice «normale» quando restituisce un'immagine corrispondente alla visione naturale.

Ogni formato di sensore riconosce un proprio obiettivo normale.

Fig. 16

I SENSORI A FORMATO RIDOTTO, L'EQUIVALENZA DELLA FOCALE È IL FATTORE DI MOLTIPLICAZIONE

Una volta chiarito il concetto di normalità dell'obiettivo, si può analizzare la situazione dal punto di vista del sensore e di ciò che avviene nell'abbinamento con un obiettivo di determinata lunghezza focale. Per decenni nel mondo della fotografia il formato di riferimento dei sensori è stato il cosiddetto formato Leica o 135 mm, corrispondente a un sensore avente lati 24 x 36 mm, ma negli ultimi anni si sono enormemente diffusi sensori di dimensioni minori di vario formato. Dobbiamo comprendere due fatti fondamentali: per il principio della normalità appena esposto, il comportamento di un obiettivo di determinata lunghezza focale va sempre riferito al sensore col quale lo stesso obiettivo è abbinato e che la classificazione usuale delle focali è sempre riferita per convenzione al sensore standard, corrispondente al sensore a pieno formato (full frame) di 24 x 36 mm.⁵

**Fig. 17**

La normalità e i sensori a formato ridotto.

Il concetto di normalità degli obiettivi spiega perché varia il comportamento degli obiettivi in presenza di un sensore a formato ridotto.

Fig. 18

Fig. 19 Un'immagine con il classico rapporto d'ingrandimento 1:1.



Figg. 20,21 Queste due immagini hanno un rapporto d'ingrandimento di 1,5:1.

In presenza di sensori a formato ridotto, per il principio della normalità, il comportamento di un obiettivo progettato e costruito per il formato standard varia radicalmente, e ciò avviene perché la stessa immagine ricomposta dalle lenti sul piano focale potrà essere contenuta completamente o solo parzialmente sul sensore, in dipendenza delle dimensioni del sensore stesso: più il sensore presenta piccole dimensioni, più l'immagine sarà parziale, con elisione delle parti periferiche e il risultato finale sarà un ingrandimento della stessa immagine – effetto tele. All'opposto su un sensore di grandi dimensioni: la stessa immagine non riuscirà a riempire completamen-

te il sensore e per ciò stesso apparirà più piccola- effetto grandangolo.

Insomma, i sensori di formato ridotto, in virtù del principio della normalità, hanno introdotto una vera e propria rivoluzione in ambito fotografico, ed è stato necessario trovare parametri per districarsi e poter valutare velocemente i comportamenti dei tradizionali obiettivi abbinati ai nuovi sensori. È stato così introdotto il concetto di "lunghezza focale equivalente", per comprendere subito il comportamento di un certo obiettivo quando è abbinato a un sensore di formato diverso da quello standard 24 x 36 mm; l'espressione "lunghezza focale equivalente" ci



Fig.22

informa immediatamente del comportamento dell'obiettivo riferendolo al formato standard. Per agevolare il calcolo della lunghezza focale equivalente viene fornito sempre il cosiddetto "fattore di moltiplicazione", che è un parametro specifico di ogni formato di sensore; per il formato DX – 16 x 24 mm – il fattore di moltiplicazione è 1,5X, il che vuol dire che l'obiettivo micro 105 mm Vr Nikon abbinato a un sensore DX si comporta come avesse una lunghezza di 155 mm (infatti si ha $105 \times 1,5 = 155$ mm); ciò comporta un minore angolo di campo e quindi un maggiore ingrandimento dell'immagine. Il fattore di moltiplicazione è dichiarato dal fabbricante e l'utente dovrebbe sempre conoscerne il valore per comprendere quale lunghezza focale equivalente offra il proprio sistema ottica/fotocamera nel caso utilizzi un sensore di formato diverso da quello standard FX (Fig. 22).^{2,5,6,10}

UN NUOVO PARAMETRO: IL RAPPORTO D'INGRANDIMENTO OTTICO-RIO

Può avvenire che un utente componga il proprio kit fotografico senza avere una ben chiara consapevolezza delle reali potenzialità degli strumenti e ciò avviene in particolare perché le caratteristiche tecniche non sempre sono di facile comprensione per un operatore non esperto. Ecco perché è necessario spiegare come alcuni concetti che possono aiutare l'utente a valutare quali attrezzi acquistare per le proprie specifiche finalità.

Abbiamo già visto come gli attori fisici principali del rapporto d'ingrandimento siano due: l'obiettivo e un sensore di specifico formato; dell'importanza del formato del sensore e della lunghezza focale si è già discusso, analizziamo ora un'altra variabile, questa volta funzionale, che ha un'enorme influenza sul rapporto d'ingrandimento. L'ingrandimento finale dell'immagine, a parità di sensore e obiettivo, è dovuto alla distanza di ripresa, cioè alla distanza tra fotocamera e soggetto; è ovvio che minore è la distanza e maggiore sarà l'ingrandimento; tutti abbiamo esperienza che è istintivo avvicinarsi a un oggetto per vederlo ingrandito (Fig. 23). La distanza di ripresa è estremamente variabile, trovando un limite solamen-

te nella minima distanza di messa a fuoco, che rappresenta un ostacolo fisico/ottico insormontabile, mentre la massima distanza non esiste tant'è vero che si parla di messa a fuoco all'infinito. La minima distanza di messa a fuoco di un obiettivo coincide con la massima capacità ingrandente dell'obiettivo stesso, per cui possiamo assumere che questa condizione sia il parametro fondamentale per esprimere le capacità prestative in ingrandimento di un obiettivo. Infatti sugli obiettivi macro spesso si trova il limitatore della minima distanza di messa a fuoco, cioè un dispositivo che aumenta la distanza minima di messa a fuoco impedendo il massimo avvicinamento al soggetto, cosa che si traduce in una diminuzione dell'ingrandimento dell'immagine.

La capacità ingrandente di un obiettivo è correlata alla minima distanza di messa a fuoco dello stesso obiettivo, ed è da considerarsi una condizione oggettiva e stabile perché legata alla fisica ottica e quindi alle modalità costruttive dello stesso obiettivo. Poiché questa è una condizione oggettiva, certa ed intrinseca di ciascun obiettivo, l'Autore ha proposto di definire questo parametro come "Rapporto d'Ingrandimento Ottico" – RIO. Il RIO è un parametro certo perché legato alle caratteristiche costruttive di ogni singolo obiettivo macro e coincide con la condizione di minima distanza di messa a fuoco, ovvero di massimo ingrandimento ottenibile; nel caso del 105 mm micro Vr Nikon, il RIO di 1:1 è ottenuto alla minima distanza di messa a fuoco di 314 mm e questi parametri sono invariabili. Rapporto d'Ingrandimento Ottico di 1:1 significa che l'obiettivo è in grado di restituire sul piano focale un'immagine di un soggetto ripreso alla minima distanza di messa a fuoco con le identiche misure lineari reali del soggetto inquadrato, così come stabilito dal concetto generale di rapporto d'ingrandimento (Fig. 5).

Ora, per comprendere il significato generale del rapporto d'ingrandimento in macrofotografia è fondamentale ricordare come il RIO sia un dato certo perché riferito all'ingrandimento ottenuto alla minima distanza di messa a fuoco. È ovvio che variando la distanza di ripresa varierà di conseguenza anche il rapporto d'ingrandimento ottico fornito dall'obiettivo, anzi si potrebbe ammettere che esistano innumerevoli rapporti d'ingrandimento ottico, tanti quanti le singole distanze di ripresa, ma per necessità di comprensione è necessario, quando si parla di RIO, riferirsi esclusivamente a quello ottenuto alla mi-

I fattori determinano l'ingrandimento dell'immagine:

Lunghezza focale

Distanza dal soggetto

Fig. 23

Rapporto di Ingrandimento Ottico RIO

Massimo ingrandimento fornito ottico dall'obiettivo alla minima distanza di messa a fuoco.

È un parametro invariabile dovuto alle caratteristiche costruttive.

Fig. 24



Rapporto di Ingrandimento equivalente RIE

Massimo rapporto di ingrandimento fornito dall'abbinamento di obiettivo di determinata lunghezza focale con un sensore di formato ridotto.

Fig. 26

Calcolo del RIE

$$\text{RIE} = \text{FM} \times \text{RIO}$$

RIE = rapporto d'ingrandimento equivalente

FM = fattore di moltiplicazione del sensore

RIO = rapporto d'ingrandimento ottico

Fig. 27

DAL RAPPORTO D'INGRANDIMENTO OTTICO AL RAPPORTO D'INGRANDIMENTO EQUIVALENTE

Riassumendo i concetti fondamentali sin qui espressi: si è chiarita la definizione e il significato del rapporto d'ingrandimento in fotografia a distanza ravvicinata, ma anche come i sensori a formato ridotto costringano a introdurre il concetto di lunghezza focale equivalente, espresso anche attraverso il fattore di moltiplicazione del sensore. È stato

nima distanza di messa a fuoco e ripresa, che essendo certo e ripetibile si presta a essere un parametro di riferimento.

Il RIO di un obiettivo, per concludere, informa sulle proporzioni dell'immagine che l'obiettivo restituisce su un piano focale, così nel caso di una focale con RIO 1:1 possiamo immediatamente comprendere che l'obiettivo alla minima distanza di messa a fuoco restituisce su un piano focale un'immagine di dimensioni esattamente uguali al soggetto inquadrato. Tutto ciò che avviene successivamente è l'ingrandimento ottenuto nell'immagine finale è in relazione al formato del sensore, che è il secondo parametro fondamentale per comprendere il concetto di rapporto d'ingrandimento.^{2,10}



Fig. 28



Fig. 29 Ecco una dimostrazione di come un sensore di formato ridotto abbinato al medesimo obiettivo fornisca un maggiore ingrandimento. Il fattore di moltiplicazione del sensore moltiplicato per il rapporto d'ingrandimento ottico permette di ottenere il rapporto d'ingrandimento equivalente.

chiarito il concetto di rapporto d'ingrandimento ottico, parametro invariabile degli obiettivi ed è stato anche detto che tale parametro concorre insieme al formato del sensore all'ingrandimento finale dell'immagine. A questo punto sorge spontaneo un quesito: se e come è possibile correlare in modo preciso il RIO al formato del sensore in uso per arrivare a stabilire il rapporto d'ingrandimento reale offerto da una specifica combinazione fotocamera/focale? Per fornire una risposta a tale quesito occorre procedere con razionalità e metodo, utilizzando e correlando tutti i concetti sin qui espressi.

Innegabilmente i sensori a formato ridotto inducono un ingrandimento dell'immagine, tanto da giustificare i concetti di equivalenza della focale e fattore di moltiplicazione del sensore. Altrettanto indiscutibilmente le capacità ingrandenti di un obiettivo macro sono certe e conoscibili attraverso il RIO. Qual è allora la formula che può correlare con precisione matematica questi parametri per conoscere il rapporto d'ingrandimento reale offerto da una fotocamera? La formula che l'Autore propone, per uniformità col concetto di lunghezza focale equivalente, formula che sintetizza e indica matematicamente il risultato della sinergia tra un qualsiasi formato di sensore e un qualsiasi obiettivo macro, e che permette quindi di ricavare quello che è stato definito "Rapporto d'Ingrandimento Equivalente", è la seguente:

$$\text{RIE} = \text{RIO} \times \text{FM}$$

Dove RIE sta ovviamente per Rapporto d'Ingrandimento Equivalente, RIO per Rapporto d'Ingrandimento Ottico e FM per Fattore di Moltiplicazione del sensore (Figg. 26,27).

Facciamo un esempio pratico: l'85 mm Vr micro Nikon ha un RIO di 1:1 e abbinato alla D810 in formato FX (full frame) che per definizione è il formato di sensore standard e quindi ha fattore di moltiplicazione pari a 1X, realizza un rapporto d'ingrandimento di 1:1. Avviene quindi che con il sensore

standard il rapporto d'ingrandimento massimo coincide con quello ottico dell'obiettivo (Fig. 28).

Se il medesimo 85 mm Vr micro Nikon venisse abbinato alla D7100 (formato sensore DX) che ha un FM di 1,5X, otterremmo un sistema obiettivo/fotocamera che ha un RIE di $(1:1 \times 1,5) = 1,5:1$, superiore del 50% a quello offerto dallo stesso obiettivo abbinato a un sensore FX, un aumento del potere di magnificazione assolutamente rilevante e di grande utilità nella clinica.

Selezionando la modalità crop del sensore DX della D7100, che comporta un FM di 2X, il RIE diventa di 2:1, il doppio di quello concesso dal sensore FX abbinato al 105 mm Vr micro Nikon (Fig. 30).

La stessa formula è applicabile a qualsiasi fotocamera, anche alle compatte. La Coolpix P7700 ha un FM di 4,7X e le sue lenti un RIO di 1:6, che diventano 1:5 con la lente addizionale close-up da +4. Il RIE della P7700 è quindi: $(1:5 \times 4,7) / 0,93:1$, quasi identico a quello offerto dal sensore FX con il 105 micro (Fig. 31).

Cosa avverrebbe se utilizzassimo un obiettivo con RIO 1:2 su una D7100 in formato DX? Il RIE sarebbe di $(1:2 \times 1,5) / 0,75:1$; nel caso fosse selezionata la modalità crop del sensore $(1:2 \times 2)$ si otterebbe in un RIE di 1:1.

Come si può notare questa formula è applicabile conoscendo solo il RIO dell'obiettivo, facilmente rilevabile suo corpo dell'obiettivo e il FM del sensore, specificato nelle caratteristiche tecniche.

La formula del Rapporto d'Ingrandimento equivalente permette quindi di comprendere immediatamente le capacità ingrandenti di qualsiasi combinazione fotocamera/obiettivo, introducendo così un termine di paragone e confronto certo, cosa sempre auspicabile in un ambito scientifico qual è quello della fotografia odontoiatrica.

Per visualizzare immediatamente l'impatto che i diversi rapporti d'ingrandimenti hanno sull'immagine finale l'Autore propone tre immagini cliniche dello stesso soggetto, dove si può apprezzare come il maggiore ingrandimento permet-

**Fig. 30**

Fig. 31 In questa figura si comprende bene la correlazione tra RIO, FM e RIE: l'immagine sul sensore della Coolpix P 7700 si forma con una proporzione di 1/5 delle dimensioni del soggetto inquadrato, perché il RIO (con lente close-up +4diottrie) è appunto di 1:5. Sul sensore si forma quindi un'immagine di dimensioni molto minori del soggetto inquadrato, ma per l'effetto del fattore di moltiplicazione del formato del sensore l'immagine finale ha un rapporto d'ingrandimento equivalente di quasi 1:1, per la precisione 0.93:1, rapporto d'ingrandimento sovrapponibile a quello ottenuto con un sensore in formato FX abbinato al 105 mm macro Nikkor.

ta un'analisi molto più approfondita degli elementi dentali e dell'anatomia ottica. Ogni rapporto d'ingrandimento, così come ogni geometria d'illuminazione, offre uno specifico piano di lettura dell'immagine, e l'odontoiatra deve essere in grado di scegliere consapevolmente l'ingrandimento più adatto alle proprie esigenze narrative (Figg. 37-39).¹⁰

CONCLUSIONI

Il rapporto d'ingrandimento è uno dei maggiori fattori di successo in fotografia odontoiatrica, perché consente la corretta composizione dell'immagine,^{1,2,7} ma spesso i diversi fattori che contribuiscono a definire questo parametro non sono abbastanza noti. Poiché le moderne fotocamere possono essere considerate veri e propri strumenti di analisi e misurazione dell'anatomia ottica e dei colori, quindi strumenti clinici, è necessario stabilire criteri certi per il loro utilizzo. I nuovi parametri di Rap-



Figg. 32-34 Tre immagini a rapporto d'ingrandimento crescente: dal 1:1 all'intermedio 1.5:1 e al 2:1. Si noti l'enorme differenza tra le diverse immagini, e di come a maggiore ingrandimento si possano cogliere maggiori particolari dell'anatomia ottica.



Figg. 35-38 Una serie d'immagini a rapporto d'ingrandimento 1:2, 1:1, 1,5:1 e 2:1.

porto d'Ingrandimento Equivalente e Rapporto d'Ingrandimento Ottico, consentono di conoscere con precisione matematica le capacità ingrandenti di un determinato abbinamento fotocamera/obiettivo, permettendo così una scelta consapevole rispetto alle necessità dell'odontoiatra fotografo, e un uso sempre più preciso e scientifico della fotografia odontoiatrica.^{3,4,10}

BIBLIOGRAFIA

1. Loiacono P, Pascoletti L. *Fotografare in odontoiatria: teoria e tecnica per la moderna documentazione*. Milano, Quintessenza Internazionale, 2010.
2. Loiacono P. *Le Nuove Evidenze Scientifiche in Fotografia, Cultura del Colore e Workflow Digitale in Odontoiatria*. Milano, Quintessenza Internazionale, 2015, in press.
3. Loiacono P. La fotografia digitale per la diagnosi dei colori in odontoiatria estetica. Parte prima; *Quint. Intern.* 2012(28);3:93-113.
4. Loiacono P, Molina B. La fotografia digitale per la diagnosi dei colori in odontoiatria estetica. Parte seconda. *Quint. Intern.* 2012(28);4:83-101.
5. Farini A. *Ottica fotografica*, Istituto Nazionale di Ottica Applicata-CNR.
6. Smith WJ. *Modern Optical Engineering: The Design of Optical Systems*, Fourth Edition, McGraw-Hill Companies, New York, 2008.
7. Loiacono P. Il nuovo concetto di Anatomia Ottica. *Il dentista Moderno* 2014;10: 44-82.
8. Devigus A. La fotografia dentale digitale. *Il dentista Moderno* 2010; 9:76-86.
9. Loiacono P. Tre semplici regole. *Il dentista moderno* 2015;5:148-150.
10. Loiacono P. Ruolo della fotografia a luce polarizzata in odontoiatria: aspetti fisici e clinici. *Quint. Intern.* 2013(29);2:59-73.