

Università degli Studi di Milano

Scuola di Dottorato in Scienze morfologiche, fisiologiche e dello sport
Dipartimento di Morfologia Umana e Scienze Biomediche Città Studi
Corso di Dottorato in Scienze Morfologiche
BIO 16

Analisi tridimensionale della morfologia facciale con l'utilizzo della stereofotogrammetria.

Tesi di Dottorato di:

Alberto Rossetti

Matr. R08147

Tutor: Chiar.ma Prof.ssa Chiarella Sforza

Coordinatore: Chiar.ma Prof.ssa Laura Vizzotto

A.A. 2010-2011

Indice

Abstract.....	3
Introduzione.....	5
La stereofotogrammetria.....	7
Studio 1.....	14
Studio 2.....	21
Studio 3.....	35
Conclusioni.....	47
Bibliografia.....	49
Ringraziamenti.....	54

Abstract

Three-dimensional analysis of facial morphology using stereophotogrammetry.

The human face has been largely evaluated from the quantitative point of view in medical literature, using manual anthropometry, photography and radiography. The limits of these techniques are: long-time procedure in analogic data acquisition for manual anthropometry, bi-dimensionality for photography, invasivity for radiography.

Stereophotogrammetry promises to be a new, digital, three-dimensional, non invasive technique for evaluating the human face, in several medical fields, such as maxillofacial surgery, aesthetic surgery, orthodontics, prosthodontics, general dentistry.

The instrument is based on the binocular vision: two pairs of cameras, with known reciprocal distance and angulation, capture two different images of the same object, allowing its three-dimensional virtual reconstruction, using a dedicated software.

The current thesis proposes and evaluates three different applications of this technology: the first study proposes a new possibility in medical imaging, merging the superior dental arch with the 3D image of the face in a unique image. The procedure resulted accurate and reliable, with a relative error magnitude $<1.2\%$, in comparison with direct anthropometry. Applications are possible in the diagnosis and treatment of the dento-facial pathologies, in the monitoring of the orthodontic and orthopaedic therapies.

The second study investigates the morphological changes of the facial soft tissues, after dental additive modifications. A dental treatment was simulated by applying veneers with different thicknesses (1 and 2 mm) to the vestibular surfaces of the superior anterior teeth and the resulting new position of the facial tissues was compared with the baseline one. The highest amount of morphological response (from 0.4mm to 0.6mm) was concentrated in a central area around the upper and the lower lip, even using 1mm thickness. The study can help physicians to formulate more complete diagnosis and treatment planning, especially in the aesthetic field of dento-labial region.

The third study is an anthropometric and aesthetic-related research of human face proportions, including references to the golden ratio. Out of a population of 600 subjects, who underwent a stereophotogrammetric facial acquisition, two groups of 20 subjects were extracted and divided in “very attractive” and “not attractive” by a panel of 4 judges. 10 facial ratios were compared between the two groups, using an ANOVA test, in order to find differences based on gender and attractiveness. The values of the facial ratios were also compared to the golden ratio (1.618) using a paired t-test. No significant differences were found in any group. Only a few facial ratios have significant relationships with the golden ratio. Beyond the technical results, the study is an example of how much helpful stereophotogrammetry could be in anthropometric research.

In conclusion, stereophotogrammetry proved to be a reliable technique in several face-related medical fields. Its characteristics of high-quality imaging, three-dimensionality, non-invasive and easy-to-use procedure will ensure its wider diffusion and affordability in the future.

Introduzione

Il volto umano rappresenta il distretto corporeo più rappresentativo e caratterizzante dell'intera persona¹. Le principali funzioni dell'organismo, come la respirazione, l'alimentazione, la fonazione, i cinque sensi, devono necessariamente servirsi di questo distretto per potersi esprimere e funzionare al meglio. Attraverso di esso, inoltre, hanno luogo le azioni più importanti e peculiari di ogni essere umano: il riconoscimento, l'espressione mimica, la comunicazione sociale².

Analizzare quantitativamente un volto è una procedura che mettiamo in atto pressoché quotidianamente, spesso in maniera inconsapevole³. Ogni volta che ci guardiamo allo specchio, che riconosciamo una persona, che confrontiamo uno stesso volto in momenti e situazioni diverse, abbiamo già compiuto, seppur in maniera soggettiva ed empirica, una nostra "valutazione quantitativa".

In campo medico, molti specialisti compiono lo stesso tipo di misurazioni, utilizzando tecniche che, per la loro accuratezza e precisione, rispecchiano i necessari criteri scientifici⁴. In questo modo, chirurghi estetici, maxillo-facciali, otorinolaringoiatri, dentisti, chirurghi orali, ortodontisti possono sia documentare i casi clinici, sia confrontarli tra di loro, sia confrontare diverse immagini di uno stesso paziente, per esempio prima e dopo una determinata cura.

Fino al XIX secolo, questo lavoro veniva svolto direttamente in vivo, sul paziente, compiendo le misurazioni con l'utilizzo del calibro, o di strumenti ad esso simili o riconducibili.

In epoche più recenti sono state utilizzate fotografie e radiografie analogiche, che hanno permesso di separare il momento dell'acquisizione dell'immagine da quello della sua analisi. L'avvento della tecnologia digitale, sia in ambito fotografico, sia radiografico, ha poi consentito di acquisire, gestire, processare, analizzare e archiviare una grande quantità di immagini e quindi di dati, prima impensabile.

Oggi disponiamo di tecniche ancora più sofisticate, che hanno aggiunto ai traguardi precedenti la terza dimensione (3D).

Nel 2011, anno di stesura di questo lavoro, parlare di 3D significa parlare di attualità: dal cinema agli esami radiografici, dalla televisione alla fotografia, il 3D è effettivamente – e velocemente – entrato a far parte della nostra vita e in molti ambiti sembra essere solo l'inizio di una ulteriore evoluzione.

Parlare un linguaggio “tridimensionale” significa dopotutto avvicinarsi alla realtà: infatti le classiche fotografie e le radiografie che siamo abituati a vedere non sono altro che artifici bidimensionali, atti a rappresentare su un foglio, una pellicola o uno schermo, una realtà che è tridimensionale.

Da un altro punto di vista, parlare di “tridimensionale” ci riporta al passato, a quella stessa realtà che non poteva che essere indagata direttamente sul paziente, tridimensionale per natura, attraverso acquisizioni uniche ed analogiche.

Il risultato è sorprendente: nella misura in cui possiamo disporre di immagini tridimensionali, accurate e precise, ottenute attraverso metodiche non invasive e gestibili in maniera digitale, abbiamo dato corpo a quell’esperienza ultra secolare che da sempre anelava a risultati simili, ma a cui ha sempre dovuto rinunciare a causa dei limiti fisiologici che la storia tecnologica vi opponeva.

Il presente lavoro si propone di valutare tre possibili applicazioni di questa tecnologia tridimensionale allo studio della morfologia del viso, argomento caro a molti medici e a quasi tutti gli odontoiatri. In particolare, sarà proposta una nuova possibilità di imaging dento-faciale, sarà analizzata la reazione dei tessuti periorali ad una cura odontoiatrica simulata, sarà condotto uno studio antropometrico per analizzare le differenze tra volti attraenti e volti non attraenti.

La stereofotogrammetria

Definizione

La stereofotogrammetria è un metodo di rilevamento ottico basato sull'impiego di opportune coppie di fotogrammi relativi allo stesso oggetto, consentendone la ricostruzione tridimensionale.

Il principio che ne sta alla base è il medesimo della visione binoculare, o stereoscopia: grazie alla fusione di due diverse immagini provenienti da ciascun occhio, il nostro cervello è in grado di ricostruire l'immagine tridimensionale degli oggetti che sta osservando.

Per quanto ancora oggetto di studio, il metodo utilizzato dal nostro cervello per risalire alla posizione degli oggetti fa capo ai concetti di triangolazione: sfrutta cioè la proprietà dei triangoli di avere la somma degli angoli interni pari a 180° , per cui è possibile calcolare le distanze tra i vertici conoscendo gli angoli sottesi, o viceversa (**Fig. 1**).

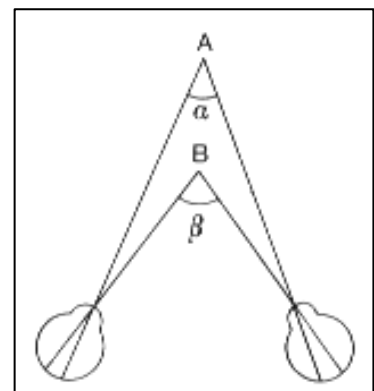


Figura 1: la stereoscopia è basata sulla triangolazione, avendo i bulbi oculari distanza fissa tra loro.

Cenni storici

La visione binoculare e la percezione tridimensionale della realtà che circonda l'uomo sono oggetto di interesse di diversi studiosi e artisti durante l'intero arco della storia dell'umanità. Tra i tanti a interessarsi a questo fenomeno ci sono Euclide e Leonardo da Vinci.

Con Euclide l'ottica viene per la prima volta strutturata in assiomi e teoremi: nella sua opera, *Ottica* e *Catoptrica*, sono contenuti elementi di prospettiva, lo studio della riflessione negli specchi piani e sferici e, per la prima volta, viene definito il concetto di "raggio visuale" come privo di struttura fisica. Il primo postulato dell'Ottica, relativo alla propagazione rettilinea dei raggi visuali emessi dall'occhio, costituisce il fondamento dell'ottica geometrica euclidea, ponendo sia il concetto di raggio come modo di propagazione della luce, sia il concetto di propagazione rettilinea. La natura di

tali assiomi tuttavia risulta fortemente condizionata dall'idea che la visione avvenga per raggi emessi dall'occhio. Questa assunzione rende assai complesso il problema di descrivere geometricamente una realtà che, pur essendo esterna all'osservatore, continua a essergli legata da quei «prolungamenti fisiologici» che sono i raggi visuali. D'altro lato, la definizione di raggio come ente matematico insieme all'idea che dall'occhio possa essere emesso un cono di raggi, con vertice nell'occhio stesso, considerato puntiforme, e base sull'oggetto, costituiscono di fatto una innovazione metodologica di gran rilievo che rende possibile l'estensione del *mos geometricus* all'ottica.

Ai tempi di Leonardo la comprensione dell'ottica era ancora aggrappata alle antiche convinzioni platoniche e aristoteliche che gli esseri umani percepissero l'universo perché l'occhio proiettava particelle che venivano poi nuovamente riflesse all'occhio. Fu grazie agli studi dello stesso Leonardo e di Leon Battista Alberti che s'introdusse il concetto di natura ondulatoria della luce e che questa provenisse dagli oggetti, anziché dirigersi.

Leonardo fu quasi certamente il primo a scrivere sulla visione stereoscopica e sul modo in cui gli occhi, in virtù del fatto di essere due, raccolgono informazioni riguardo a un oggetto. Egli capì anche che queste informazioni venivano poi trasmesse per essere interpretate dall'"anima", o da quella che oggi sappiamo essere la corteccia cerebrale, ossia la regione del cervello responsabile dell'elaborazione delle informazioni sensoriali in entrata.

La diffusione e l'interesse nei riguardi della visione stereoscopica si verificò intorno alla metà dell'800, quando sir Charles Wheatstone realizzò i primi esperimenti stereoscopici con coppie di disegni affiancati così da poter riprodurre due immagini leggermente differenti come quelle percepite dall'occhio umano. Per la visualizzazione di questi primi disegni "stereografici" inventò uno strumento costituito da specchi e prismi che propose di chiamare "stereoscopio" (Fig. 2).

La versione aggiornata dello stereoscopio, ad opera di David Brewster (1849), riscontrò un grande successo: si trattava di un "binocolino" dotato di lenti attraverso cui guardare una coppia di fotografie, realizzate con una fotocamera binoculare, poste all'altra estremità dell'apparecchio.

Nel XX secolo la stereoscopia si sviluppa in diverse direzioni: da un lato lo stereoscopio si serve di pellicole fotografiche e incontra evoluzioni commerciali, come giocattolo destinato all'infanzia (es. View-Master, Mattel-Fischer Price, 1997), dall'altro il cinema s'interessa sempre più a questa tecnologia e, passando per i primi film realizzati con cinepresa binoculare e impressione

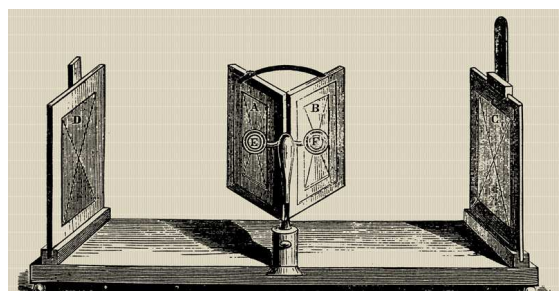


Figura 2: lo stereoscopio a specchi di Charles Wheatstone, 1838. Da: Wikipedia, 2011

sincronizzata su due rulli di pellicole degli anni 50, si arriva alle tecnologie attuali, come IMAX-3D (Mississauga, Ontario, Canada), che affiancano (doppio obiettivo) o alternano (singolo obiettivo) le visioni destinate all'occhio destro e sinistro.

Attualmente, in ambito scientifico, il campo d'applicazione principale dei principi della stereoscopia resta il rilievo topografico del territorio (aerofotogrammetria, fotografia aerea) ai fini cartografici e archeologici e, in ambito architettonico, il rilevamento delle coordinate spaziali degli edifici, esistenti o ricostruiti virtualmente.

In medicina le applicazioni della stereofotogrammetria incontrano sempre più interesse, dal momento in cui la merceologia di questi strumenti ha incontrato le necessità cliniche di molti specialisti. In molti ambiti, infatti, è indispensabile disporre di immagini il più possibile fedeli alla realtà: medicina e chirurgia plastica, ricostruttiva ed estetica⁵, chirurgia maxillo-facciale, odontoiatria e protesi dentale⁶, ortodonzia⁷ solo per citare le discipline attinenti all'area del volto. Le immagini svolgono un ruolo chiave a partire dalla diagnosi, dall'inquadramento nosologico, dalla comunicazione col paziente, per arrivare poi a documentare l'intero iter medico-chirurgico, in tutte le sue fasi, dall'intervento fino al follow-up. Una documentazione visuale efficace sarà sempre più utilizzata, in campo scientifico e comunicazionale, sia nel rapporto medico-paziente, sia nel rapporto dei medici tra loro.

*Tecnologie simili*⁸

Laser scanner

I laser scanner sono dispositivi capaci di emettere un impulso elettromagnetico (il laser) e di ricevere il segnale riflesso, misurando l'intervallo di tempo trascorso e quindi la distanza tra lo strumento ed il punto rilevato.

Viene prodotta una nuvola di punti, che rimane limitata dalla finestra di scansione dello strumento che lascia in ombra una parte dell'oggetto. Nel caso in cui l'oggetto non sia stato scansionato completamente bisognerà quindi effettuare altre scansioni le quali devono comprendere dei punti in comune con una sovrapposizione del 30% circa. Successivamente le singole scansioni vengono allineate in un'unica nuvola di punti secondo un determinato sistema di riferimento.

Il laser scanning rimane un'ottima tecnologia in tutti i settori in cui gli oggetti da scansione sono rigidi e immobili, come in archeologia, architettura, nei beni culturali e nel settore dentale (modelli in gesso). Nel caso di soggetti viventi, si aggiunge il problema del movimento, anche involontario (es. respirazione). La seppur minima differenza di forma tra due acquisizioni consecutive, infatti,

comprometterebbe la procedura di allineamento, con conseguenze sulla precisione e accuratezza del risultato finale.

Risonanza magnetica

La Risonanza Magnetica Nucleare (RMN) è una tecnica di indagine sulla materia, basata sulla misura della precessione dello spin di protoni o di altri nuclei dotati di momento magnetico, quando sono sottoposti ad un campo magnetico.

In campo medico è utilizzata per l'indagine diagnostica a carico dei tessuti molli, dei quali è in grado di fornire una discriminazione tra i diversi tessuti non apprezzabile con altre tecniche di diagnostica per immagini non distruttiva.

La RMN non impiega radiazioni ionizzanti, ma solo un forte campo magnetico, per cui è considerata non invasiva, ma non può essere utilizzata in pazienti con pacemaker o clip vascolari, o in donne in gravidanza. Inoltre, le immagini sono fortemente disturbate in caso di presenza di metalli, fatto assai frequente in campo odontoiatrico e cranio-facciale.

Un'ulteriore limitazione è legata alla posizione del soggetto: la posizione supina, propria della RMN, provoca uno spostamento dei tessuti molli, che sul viso si traduce in chiare modificazioni di forma⁹.

I costi dell'apparecchiatura e la sua non trasportabilità limitano molto il suo utilizzo routinario in campo ambulatoriale e di ricerca antropometrica.

Digitalizzatori a contatto

Alcuni strumenti utilizzano il contatto diretto con l'oggetto per ottenerne una ricostruzione virtuale tridimensionale, sfruttando principi diversi.

In campo antropometrico sono stati utilizzati digitalizzatori elettromagnetici¹⁰ ed elettromeccanici¹¹.

I primi sono dotati di due stazioni: un'emittente (tavoletta) e una ricevente (stilo), collegate ad un hardware specifico interfacciato ad un PC. Il principio di funzionamento si basa sull'emissione di un campo elettromagnetico in grado di fornire le coordinate tridimensionali della stazione ricevente, che viene posizionata punto per punto sulla superficie da analizzare. Per quanto la precisione di questi sistemi sia



Figura 3: digitalizzatore elettro-magnetico a contatto¹⁰

molto elevata, essi richiedono una procedura d'acquisizione piuttosto laboriosa, a parità di dati ottenuti (coordinate di singoli punti), per cui vengono sempre meno utilizzati. In virtù della loro precisione, svolgono ancora un'efficace funzione di verifica di altri metodi più evoluti.

I digitalizzatori elettro-meccanici sono invece costituiti da un braccio articolato, dotato di snodi a livello dei quali sono posizionati dei magneti che rilevano posizione e angolazione del nodo stesso, in modo da poter risalire alla posizione tridimensionale della punta dello strumento (**Fig. 4**). Questa, una volta posizionata sulla superficie da digitalizzare, viene fatta scorrere lungo tutta la superficie,



Figura 4: digitalizzatore elettro-meccanico a contatto¹¹

andando a disegnare un vero e proprio reticolo, più o meno fitto a seconda delle esigenze del caso.

In generale, tutti i digitalizzatori a contatto hanno lo svantaggio di richiedere la manualità di un operatore addestrato allo scopo. Inoltre, rilevando una superficie per mezzo di linee, se non addirittura di singoli punti, non consentono una ricostruzione tridimensionale completa di un'intera superficie, ma solo la sua schematizzazione per mezzo di punti (o linee) di repere, la scelta dei quali è subordinata a sua volta alla decisione di un operatore.

Infine, il contatto con l'oggetto rende la procedura applicabile preferibilmente alle superfici rigide e non sui tessuti molli, che più facilmente possono subire compressione e quindi produrre artefatti.

La presenza di importanti artefatti di movimento limita poi l'uso degli strumenti, nel caso di soggetti viventi, all'indagine di un set molto limitato di punti di repere.

Lo strumento

L'attrezzatura utilizzata per le nostre ricerche consiste in un "unicum" hardware/software, appositamente studiato per ricostruzioni ottiche tridimensionali del volto umano o di altre sue parti.

L'applicazione principale è il campo della medicina estetica, in cui la necessità di documentare in 3 dimensioni i cambiamenti morfologici del corpo umano assume grande importanza.

Come già anticipato, il principio di funzionamento è del tutto simile a quello della visione stereoscopica, per cui, a livello hardware, troviamo due distinte attrezzature fotografiche collocate a distanza nota e con angolazione fissa.

A differenza degli occhi umani, collocati tra loro ad una distanza di circa 6 cm, i due corpi ottici si trovano a circa 1 metro di distanza tra loro, dal momento che sono studiati per la ripresa e l'acquisizione di oggetti della dimensione di alcuni centimetri alla distanza di pochi decimetri, garantendo in questo modo una visione ottimale anche nei settori laterali dell'oggetto da riprendere. Ciascun corpo ottico alloggia 3 fotocamere, di cui due in bianco e nero e una a colori ed un flash, in modo da evitare la formazione di ombre (**Fig. 5**).

Le fotocamere in bianco e nero sono dedicate alla rilevazione della morfologia vera e propria della superficie, sottoforma di mesh triangolari, mentre la fotocamera a colori serve a riempire la trama ottenuta, utilizzando i colori reali.



Figura 5: la strumentazione utilizzata per le acquisizioni stereo fotogrammetriche: Vectra 3D (Canfield Scientific, Fairfield, NJ). Da: Vectra User Guide 2008, Canfield Scientific.

Il risultato è un'immagine tridimensionale della superficie acquisita, di spessore puntiforme ed estremamente fedele nelle dimensioni, proporzioni e colori, alla realtà^{12,13}.

Il file ottenuto è gestibile in maniera informatizzata, permettendo l'archiviazione, la modifica, l'analisi, il confronto con altre immagini.

La procedura di acquisizione è estremamente semplice e veloce e consente, qualora necessario, anche una rapida successione di acquisizioni consecutive di pazienti diversi.

Prima di ogni sessione di lavoro, è necessario procedere alla calibratura del software: questa avviene eseguendo due acquisizioni consecutive e in posizioni differenti di una stessa tavoletta appositamente marcata con punti e linee di dimensioni e distanze reciproche note (**Figg. 6 e 7**).

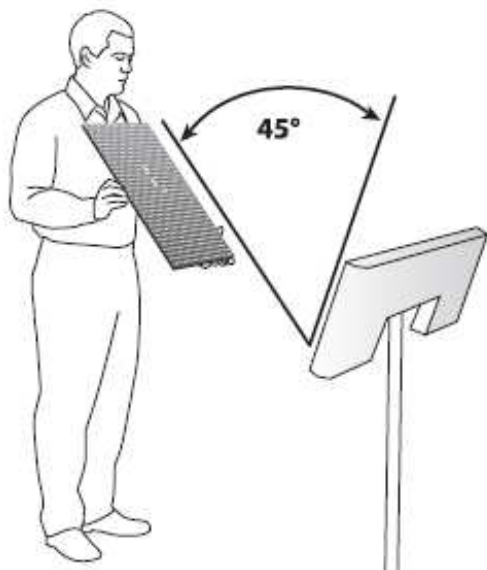


Figura 7: procedura di calibrazione: prima fase (da: Vectra User Guide, 2008, Canfield Scientific, Fairfield, NJ).

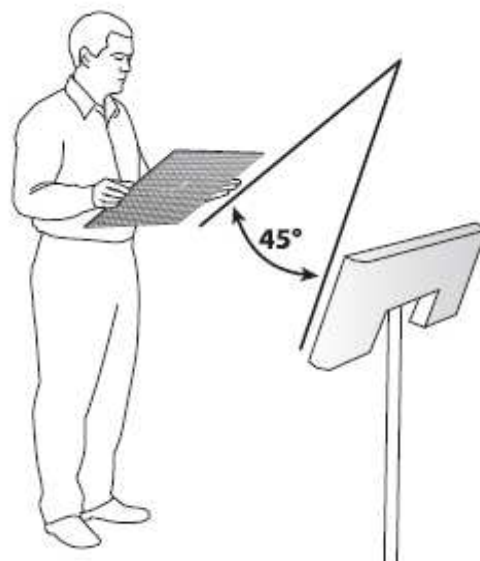


Figura 6: procedura di calibrazione: seconda fase.

Il software riconosce e ricostruisce i segni impressi sulla tavoletta, in modo da ottenere una calibrazione basata su entrambe le immagini.

In caso di spostamento accidentale della macchina, la procedura va ripetuta per permetterne la ricalibrazione.

Il dispositivo è facilmente installabile all'interno di una normale stanza ed il suo relativo ingombro ne rende possibile l'eventuale trasporto.

Studio 1:

Inserimento virtuale dell'arcata dentale superiore in un'immagine facciale 3D.

Introduzione e scopo dello studio

Le valutazioni antropometriche che studiano la morfologia del volto offrono un valido supporto diagnostico in numerosi campi medici. In particolare, in ambito estetico, maxillo-facciale, odontoiatrico e ortodontico, sono sempre più impiegate le ricostruzioni tridimensionali del volto, per dare al clinico la possibilità di migliorare il proprio lavoro, sia in ambito diagnostico sia terapeutico.

Diversi metodi non invasivi come il laser scanner, la risonanza magnetica, i digitalizzatori a contatto sono stati impiegati per questo scopo, ma su tutti la stereofotogrammetria ha mostrato i migliori risultati in termini di accuratezza, precisione e facilità d'uso.¹⁴

In ambito dentale le ricostruzioni digitali tridimensionali delle arcate dentarie sono già attualmente impiegate, nei laboratori odontotecnici, per la realizzazione di protesi dentarie con tecniche CAD-CAM.

L'associazione tra il modello dentale digitale e le immagini 3D del viso potrebbe consentire al clinico di analizzare le relazioni tra tessuti molli e arcate dentarie, evitando il più possibile il ricorso ai raggi X.

Rangel et al.¹⁵ hanno recentemente proposto l'integrazione di un modello dentale digitale in un'immagine 3D del viso. Il metodo esposto, pur risultando affidabile, necessita di ulteriori approfondimenti per verificare accuratezza e precisione della corrispondenza tra le due immagini. Obiettivo di questo studio è l'elaborazione e la convalida di un metodo di sovrapposizione tra l'immagine digitale del volto ottenuta con stereofotogrammetria e l'immagine, anch'essa digitalizzata, del modello dentale corrispondente.

Il risultato sarà un'unica immagine, la cui precisione, accuratezza e quindi corrispondenza alla realtà, ci occuperemo di verificare.

Materiali e metodi

Sono stati selezionati 11 soggetti, 4 maschi e 7 femmine, di età compresa tra 20 e 31 anni, in buono stato di salute generale, senza storia pregressa di traumi cranio facciali, privi di anomalie facciali congenite, con dentatura completa in entrambe le arcate.

Per ogni soggetto è stato ottenuto il modello in gesso (Elite model, Zhermack Spa, Badia Polesine, Italy) dell'arcata mascellare, previa impronta con idrocolloide irreversibile (Tropicalgin, Zhermack Spa). Utilizzando un laser scanner del commercio (D100, Imetric 3D, Courgenay, Switzerland), il modello in gesso è stato digitalizzato e il file così ottenuto è stato importato nel software di stereofotogrammetria.

La morfologia facciale dei tessuti molli è stata acquisita attraverso il sistema di stereofotogrammetria tridimensionale (Vectra 3D, Canfield Scientific, Fairfield, NJ).

Prima di ogni acquisizione, sono stati contrassegnati direttamente sulla faccia dei soggetti 3 punti di repere sui tessuti molli (N, Nasion; Ftr, Frontotemporale right; Ftl, frontotemporale left), utilizzando un eye-liner nero.

Per ogni soggetto sono state eseguite 2 immagini tridimensionali: la prima a bocca chiusa, con gli elementi dentari in massima intercuspidação, la seconda a bocca aperta, con l'uso di retrattori labiali, per esporre la superficie vestibolare degli elementi dentari superiori anteriori.

Il processo di "matching" tra immagine dentale e facciale ha necessitato dei seguenti passaggi (**Fig. 8**):

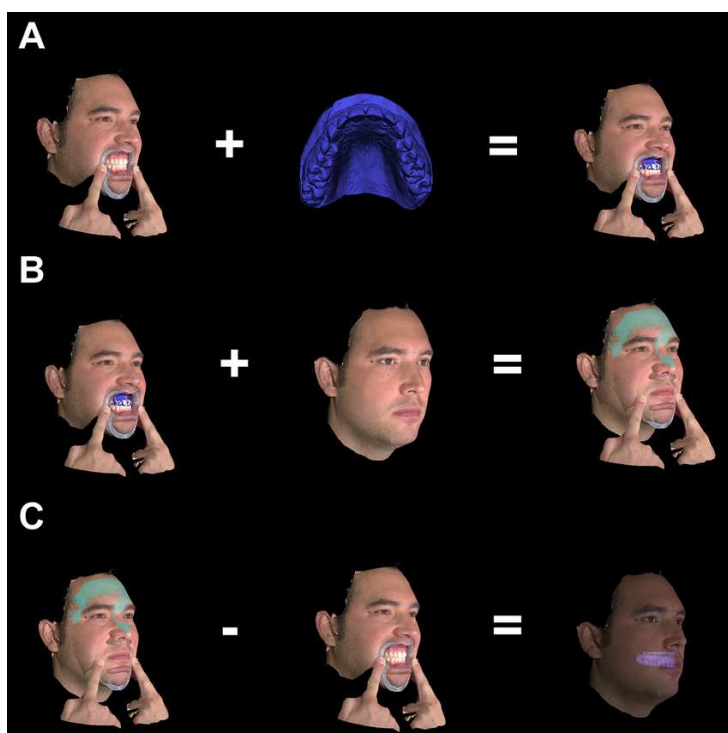


Figura 8: i tre passaggi della sovrapposizione tra immagine facciale e immagine dentale²¹

1. il modello digitale dell'arcata dentaria superiore è stato sovrapposto all'immagine facciale a bocca aperta, utilizzando come riferimento per l'accoppiamento i tre punti di repere dentali anteriori (I, Interincisivo; Pr, premolar right; Pl, Premolar left)
2. l'immagine a bocca chiusa è stata sovrapposta a quella a bocca aperta, utilizzando come



Figura 9: l'immagine finale, che riproduce denti e faccia nella loro disposizione spaziale reciproca²¹.

riferimento per l'accoppiamento i tre punti di repere N, Ftr, Ftl.

3. l'immagine a bocca aperta è stata rimossa dal file, ottenendo così l'immagine finale, con il modello dentale digitale inserito tridimensionalmente nell'immagine facciale a bocca chiusa (**Fig. 9**).

La sovrapposizione delle superfici è stata ottenuta con due tecniche consecutive: è stato eseguito un iniziale avvicinamento delle superfici da sovrapporre, utilizzando i 3 punti di repere comuni.

In seguito, la procedura è stata affinata, utilizzando la funzione "register surface" del software Vectra.

Per verificare l'accuratezza dell'immagine finale, le stesse 3 coordinate facciali (N, Ftr, Ftl) e le 3 coordinate dentali (I, Pr, Pl) sono state ottenute da ciascun soggetto utilizzando un digitalizzatore elettromagnetico tridimensionale (3Draw, polhemus, Colchester, Vt), avente risoluzione nota di 0,0005 cm per centimetro¹⁰.

Sono state calcolate 7 misurazioni lineari, partendo dalle coordinate tridimensionali e calcolando le distanze in base ai principi della geometria euclidea (**Fig. 10**).

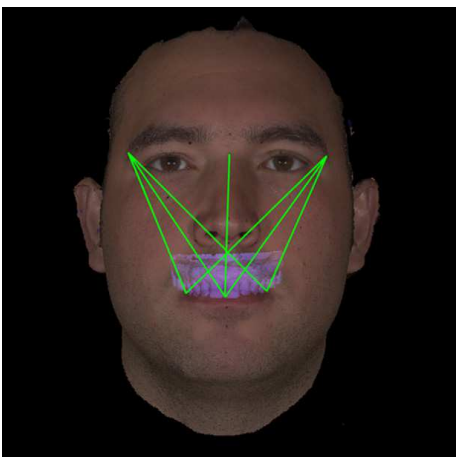


Figura 10: distanze lineari tra i landmark dentali e i landmark facciali nella ricostruzione virtuale²¹.

Le stesse misurazioni sono state ottenute dall'immagine tridimensionale finale ottenuta col Vectra, utilizzando le funzioni del software.

Per verificare la ripetibilità della procedura, gli accoppiamenti sono stati eseguiti due volte e così pure il calcolo delle stesse distanze.

Un'ulteriore conferma della precisione della procedura è stata ottenuta selezionando un'area della superficie facciale a bocca chiusa, comprendente la fronte, le tempie e il naso e calcolando la distanza sulla rispettiva immagine a bocca

aperta: idealmente, tale area non dovrebbe subire variazioni.

Analisi statistica

Tra le distanze ottenute in vivo e sulla riproduzione virtuale è stato condotto il test di Wilcoxon, al fine di scoprire eventuali errori sistematici. Valori di $P < 0.05$ sono stati considerati significativi.

Per quantificare la precisione del nostro protocollo, sono stati calcolati: la differenza media assoluta (Mean absolute difference, MAD), l'errore tecnico della misura (Technical error of Measurement, TEM) e l'errore relativo (Relative Error Magnitude, REM).

MAD è la media delle differenze assolute tra i valori di due set di misure; TEM, o errore di Dahlberg, è stato impiegato per quantificare l'errore casuale; REM è stato ottenuto dividendo il MAD calcolato per la media di quella variabile e moltiplicando il risultato per 100: esso rappresenta una stima della dimensione dell'errore proporzionato alla grandezza della misurazione.

Risultati

Media e deviazione standard delle misurazioni in vivo e virtuali sono riportate in **tabella 1**.

Distance	in vivo (mm)		virtual (mm)		MAD	TEM	REM	Wtest
	mean	SD	mean	SD	mm	mm	%	Pvalue
Ftr-Pr	86.9	6.5	87	6.1	0.8	0.7	0.9	0.66
Ftr-Pl	106.7	4.1	106.9	3.4	1.1	1	1	0.53
N-I	85.8	19.9	86.3	20.1	0.7	0.6	0.9	0.051
Ftl-Pl	87.4	5.4	87.8	5.5	0.9	0.7	1.1	0.29
Ftl-Pr	106	3.6	107	3.7	1.2	1	1.1	0.03*
Ftr-I	101.9	5.8	102.1	5.1	0.9	0.8	0.9	0.59
Ftl-I	100.8	5.9	101.8	5.9	1.2	1	1.2	0.03*

* $p < 0.05$

Tabella 1: differenze tra le distanze in vivo e sulla riproduzione virtuale.

Sono state riscontrate differenze significative in due distanze (Ftl-Pr e Ftl-I), con valori di $P < 0.05$ dal test di Wilcoxon. In tutti i casi, la differenza media assoluta è stata uguale o inferiore a 1.2mm.

I valori del TEM si collocano tra 0.6 e 1mm, mentre quelli del REM (stima dell'errore in proporzione alla grandezza della misura) tra lo 0.9 e l'1.2%.

In **tabella 2** è riportata l'analisi statistica di ripetibilità delle procedure di “matching”: nessuna differenza significativa risulta emergere tra gli stessi “matching” ripetuti. I valori di MAD e TEM risultano inferiori a 0.6mm.

distance	first match		second match		MAD	TEM	P
	mean	SD	mean	SD			
Ftr-Pr	88.26	5.32	88.27	5.31	0.26	0.21	0.81
Ftr-Pl	106.83	4.49	106.89	4.64	0.53	0.46	0.86
N-l	98.05	25.01	97.92	24.89	0.31	0.25	0.31
Ftl-Pl	88.24	5.04	88.33	5.35	0.58	0.52	0.86
Ftl-Pr	106.67	3.98	106.74	4.21	0.33	0.27	0.77
Ftr-l	102.43	5.37	102.42	5.16	0.19	0.18	0.59
Ftl-l	102.11	6.41	101.99	6.35	0.28	0.24	0.41

Tabella 2: Ripetibilità della procedura di matching. Tutti i valori sono espressi in mm.

La procedura si è dimostrata anche accurata: le distanze tra le superfici selezionate sulla fronte delle due immagini accoppiate “bocca aperta” e “bocca chiusa” ammontano ad una media di 0.4 mm, con valori che spaziano da 0.04 e 1.1 mm (**Tabella 3**).

Subject	Average distance (mm)	SD
1	0.35	0.14
2	0.04	0.16
3	0.46	0.22
4	0.1	0.07
5	0.19	0.16
6	1.1	0.2
7	0.16	0.17
8	0.6	0.15
9	0.42	0.32
10	0.36	0.09
11	0.58	0.2
Mean	0.40	0.17

Tabella 3: distanze medie tra le due superfici dopo le procedure di matching.

Discussione

Diverse situazioni dismorfiche a livello cranio-facciale, che riguardano anche le relazioni dento-facciali, possono essere indagate attraverso una combinazione di valutazioni dei tessuti duri e molli. In molte applicazioni cliniche la riproduzione virtuale della morfologia facciale può essere d'aiuto al clinico durante la diagnosi e la pianificazione dei trattamenti.

Attualmente, la radiologia permette la riproduzione tridimensionale contemporanea di denti e tessuti molli facciali, utilizzando però radiazioni ionizzanti. I medici devono perciò considerare di volta in volta il rapporto costi/benefici biologici per ottenere un'immagine dento-facciale. Per questi motivi la ricerca si sta orientando verso una riduzione progressiva dell'esposizione ai raggi X, soprattutto nei confronti dei pazienti pediatrici.

Nel presente lavoro è stato definito e valutato un protocollo completamente non invasivo; le immagini sono state sovrapposte con errori molto bassi, nell'ordine di 0.4mm, in accordo con quanto descritto in precedenza (Rangel et al.¹⁵) in letteratura.

La procedura si è dimostrata affidabile, anche considerando i movimenti fisiologici della muscolatura mimica della fronte e i piccoli spostamenti della testa, che avvengono tra un'acquisizione e l'altra. Il test di ripetibilità dimostra la buona gestione dell'immagine tridimensionale, con TEM e MAD inferiori a 0.6mm e assenza di errori sistematici.

Il confronto con la procedura in vivo è soddisfacente, almeno per quanto riguarda la posizione dei primi 4 elementi dentari di ogni emiarcata. Sebbene due misure (Ftl-Pr e Ftl-I) siano significativamente diverse, i relativi TEM e MAD hanno valori sempre inferiori a 1.0 e 1.2 mm rispettivamente, con REM inferiore a 1.2%. Si tratta di errori che si collocano in un intervallo accettabile in un contesto clinico e antropometrico.

La precisione della procedura ed i risultati ottenuti possono essere imputati alla precisione del software, che consente un'ottima definizione della superficie acquisita e che facilita l'individuazione dei landmark.

Il principale ostacolo tecnico è stato riscontrato a livello della superficie degli elementi dentari che, apparendo molto lucida a causa della traslucenza dello smalto e del biofilm di saliva, non permetteva una ricostruzione virtuale soddisfacente. Particolare attenzione è stata quindi posta ad asciugare la superficie dentale, in modo da rendere più opaca e otticamente leggibile questa superficie.

Ulteriori approfondimenti saranno necessari per migliorare il protocollo, soprattutto nel senso di una sua semplificazione, in modo da renderlo utilizzabile nella pratica medica di tutti i giorni.

Inoltre, si renderebbe necessario indagare la posizione dell'intera arcata dentaria, compresi i molari, per i quali l'errore di posizione è più facile. Ci siamo soffermati per il momento solo sugli incisivi e sui premolari, in quanto le procedure di verifica della posizione ottenuta, essendo in vivo e a contatto (digitalizzatore elettromagnetico), non consentivano una individuazione sicura dei punti più posteriori.

Un' ulteriore possibilità di completamento dello studio è rappresentato dall'inserimento nell'immagine facciale anche dell'arcata inferiore, mandibolare.

Infine, l'applicabilità di questa procedura negli studi medici è per ora fortemente limitata dal costo necessario per l'acquisto delle attrezzature, ma è alquanto probabile che in futuro l'accessibilità a questo tipo di strumenti sia maggiore.

Conclusioni

Creare un'unica immagine tridimensionale che comprenda tessuti molli facciali e arcata dentale mascellare è possibile e può fornire una buona visualizzazione e quantificazione delle relazioni dento-facciali, almeno per quanto riguarda i primi 4 elementi di ogni arcata.

Il metodo può trovare applicazione nella diagnosi e nel trattamento delle patologie del distretto dento-facciale, nella monitorizzazione dei progressi ortodontici e ortopedici, attraverso acquisizioni non invasive.

L'assenza di radiazioni ionizzanti e l'utilizzo di immagini tridimensionali costituiscono probabilmente i principali vantaggi di questa tecnica.

Studio 2:

Simulazione dell'effetto di modificazioni dentali sui tessuti molli facciali.

Introduzione e scopo dello studio

Nell'uomo, la regione orale e peri-orale riveste un ruolo strategico nella percezione estetica dell'intero volto¹⁶.

Gran parte della cosmetica, sia di oggi, sia dei tempi più antichi, si è occupata della valorizzazione di questo distretto, soprattutto nelle donne. In medicina diversi trattamenti sono praticati da dentisti e chirurghi plastici, allo scopo di dare ai propri pazienti un sorriso migliore e un aspetto più attraente alle loro labbra.

Gli stessi pazienti richiedono sempre più spesso denti bianchi e ben conformati, e labbra carnose e dall'aspetto giovane. La posizione dei denti anteriori e i tessuti orali e periorali sono reciprocamente legati da un punto di vista morfologico e partecipano entrambi al risultato estetico dell'intera faccia¹⁷. Le labbra sono sostenute dai denti sottostanti, i cui cambiamenti di posizione influiscono sulla morfologia delle labbra stesse.

La letteratura precedente si è occupata della relazione tra la variazione di posizione dei denti anteriori e del corrispondente spostamento delle labbra, in campo ortodontico¹⁸ e protesico¹⁹, utilizzando radiografie latero-laterali bi-dimensionali, o fotografie del volto, sempre bi-dimensionali.

Il presente lavoro si propone di indagare la risposta morfologica delle labbra ad un trattamento dentale simulato, utilizzando un nuovo metodo digitale, tridimensionale e non invasivo.

La migliore comprensione dell'influenza del supporto dentale sulle labbra può fornire al medico un valido strumento per la diagnosi, la pianificazione e la terapia. Quantificando il contributo delle singole strutture orali, il medico può così modulare il suo trattamento agendo, o meno, su ognuna di queste strutture, a seconda del risultato da raggiungere.

Materiali e metodi

20 soggetti (10 femmine e 10 maschi) sono stati selezionati e inclusi nello studio.

I criteri d'inclusione sono stati: - Età anagrafica tra 18 e 50 anni

- Assenza di trattamento ortodontico in corso
- Non essere portatori di protesi mobile
- Presenza, in bocca, di tutti gli elementi dentari anteriori, fino al primo premolare
- Non essere in gravidanza per le pazienti di sesso femminile
- Non portare barba e/o baffi, dal momento che interferiscono con le procedure di stereofotogrammetria, per i soggetti maschi.

Per simulare un trattamento odontoiatrico, di tipo ortodontico o protesico, sono stati realizzati degli spessori da apporre sulle superfici vestibolari degli elementi dentari superiori.

In questo modo è stato possibile standardizzare quello che accade quando si interviene sulla morfologia dentaria del settore estetico, ad esempio durante una vestibolarizzazione del gruppo incisivo superiore in ambito ortodontico, oppure durante una ricopertura protesica additiva dei medesimi elementi.

Ad ogni paziente sono state rilevate le impronte delle arcate dentarie superiori, utilizzando un idrocolloide irreversibile (Tropicalgin, Zhermack Spa, Badia Polesine, RO, Italy) e sono stati sviluppati i relativi modelli utilizzando un gesso di tipo 3 (Elite Model, Zhermack Spa, Badia Polesine, RO, Italy).

Sono stati in seguito realizzati due tipi di faccette per ogni soggetto, aventi spessori di 1mm e 2mm, utilizzando una resina diretta calcinabile (Duralay, Reliance Dental Mfg., Co., 5805 W. 117th Place, P.O.).

I diversi spessori simulano trattamenti odontoiatrici di diversa entità: lo spessore da 1mm, in particolare, più facilmente imita terapie ortodontiche nel paziente adulto o di protesi fissa, mentre lo spessore da 2mm terapie di protesi mobile o di ortodonzia pediatrica.

Le faccette sono realizzate in modo da ricoprire l'intera superficie vestibolare dei sei elementi dentari superiori, da canino a canino, come mostrato nelle **Figg. 11 e 12**.



Figura 11: faccette in resina, visione vestibolare



Figura 12: faccette in resina, visione oclusale

Il dispositivo, una volta collocato in bocca, deve rimanere ben saldo e a contatto con le superfici dentali.

Prima di ogni acquisizione, sono stati contrassegnati sui volti dei pazienti, tramite un eye-liner liquido nero, i punti di reperi antropometrici facciali, seguendo i criteri di riferimento internazionali in materia²⁰. Sono stati tralasciati solo i punti di reperi auricolari, essendo difficilmente riproducibili con la stereofotogrammetria e non essendo coinvolti nello studio in oggetto.

Su ogni soggetto sono state effettuate tre scansioni facciali con la stereofotogrammetria:

- 1a foto, "baseline": il soggetto non indossa alcuna faccetta
- 2a foto, "1mm": il soggetto indossa la faccetta avente spessore 1mm
- 3a foto, "2mm": il soggetto indossa la faccetta avente spessore 2mm

Ad ogni acquisizione, è stato chiesto al soggetto di essere rilassato, di evitare contrazioni dei muscoli mimici e di tenere le arcate dentarie in posizione di massima intercuspidação.

Le tre immagini sono state sovrapposte tra di loro, utilizzando un metodo già testato in precedenza²¹. È stata tenuta come superficie di riferimento l'immagine "baseline", alla quale sono state sovrapposte le altre due immagini.

Il principio di tale metodo consiste nell'appaiare nella maniera più precisa possibile le parti non variabili di due superfici, per evidenziare così la parte variabile. Per questo, infatti, i landmark e le aree utilizzati per il matching sono tutti collocati a livello della fronte, delle tempie e della parte superiore del naso dei pazienti. Al contrario, labbra e regione periorale rimangono volutamente fuori dalle procedure di appaiamento, proprio per estrarre l'informazione che le riguarda.

Analisi dei dati

I cambiamenti di forma delle labbra in base agli spessori inseriti sono stati misurati con due diverse modalità:

- analisi del dislocamento spaziale di precisi landmark facciali con/senza spessori
- analisi di distanze lineari tra precise superfici facciali con/senza spessori.

Nel primo caso sono stati individuati i seguenti nove landmark cutanei sulle tre immagini di ciascun soggetto: Sn, Ls, Li, Sl, Pg, Chr, Chl, Cphr, Cphl (**Fig. 13**).

Per ciascuno di essi sulla superficie "baseline" è stata calcolata la distanza lineare con il corrispettivo landmark sulla superficie "1mm" e cosippure per quello sulla superficie "2mm".

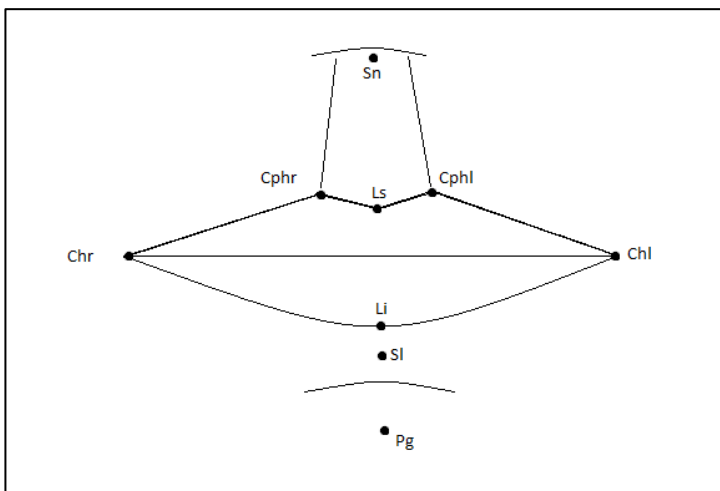


Figura 13: i punti di repera labiali e perilabiali utilizzati nello studio

I dati ottenuti sono stati inseriti in un foglio di lavoro Excel, ottenendo un totale di 9 (landmark) x 20 (soggetti) x 2 (spessori) = 360 valori. Il t-test è stato applicato per valutare la differenza tra l'utilizzo dello spessore 1mm e quello 2mm.

Nel secondo caso sono state selezionate le aree di pertinenza del labbro superiore (**Fig. 14**) e del labbro inferiore (**Fig. 15**) e, attraverso una specifica funzione del software, calcolate le distanze tra la superficie "baseline" e la superficie "1mm" e "2mm", limitatamente a queste superfici.

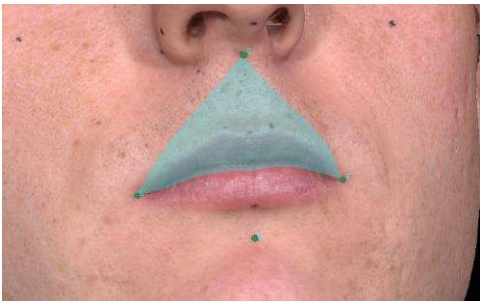


Figura 14: individuazione dell'area del labbro superiore. I vertici sono Chr, Chl, Sn

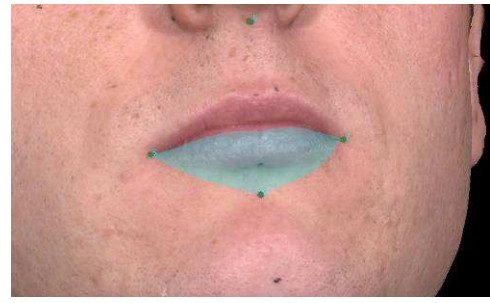


Figura 15: individuazione dell'area del labbro inferiore. I vertici sono Chr, Chl, Sl

Per ogni spessore (1mm e 2mm) sono stati calcolati, rispetto alla superficie “baseline”:

- distanza minima
- distanza massima
- root mean square
- media
- deviazione standard

Il *t-test* è stato applicato per valutare la differenza nell'utilizzo dei due diversi spessori.

Il software infine, consentendo una colorazione diversa della superficie in base alla distanza con la superficie di riferimento, ha permesso di ottenere una visualizzazione 3D delle aree selezionate, evidenziando in questo modo le zone di maggiore sporgenza o di eventuale riduzione del volume.

Ripetibilità della procedura

È stato condotto uno studio per testare la ripetibilità della procedura, sia per quantificare possibili errori dovuti al tempo intercorso tra un'acquisizione e la successiva, sia per individuare possibili errori dovuti alla realizzazione, comunque artigianale, delle faccette in resina.

Le doppie acquisizioni a cui sono stati sottoposti riguardano, per la prima indagine, un intervallo di tempo di 30 minuti tra la prima e la seconda acquisizione; per la seconda indagine, la collocazione di due faccette distinte, entrambe appositamente replicate per ciascun paziente.

Per praticità d'indagine, considereremo solo gli spessori delle faccette di 2mm.

Attraverso l'esecuzione di test t per valori appaiati, sarà valutata l'eventuale significatività di questi fattori e quantificato il loro ruolo nell'indagine complessiva.

Risultati

L'analisi del dislocamento spaziale di ciascun landmark ha previsto il calcolo della media e della deviazione standard separatamente per le due tipologie di faccette.

Sono stati così ottenuti i valori riportati nella **Figura 16**.

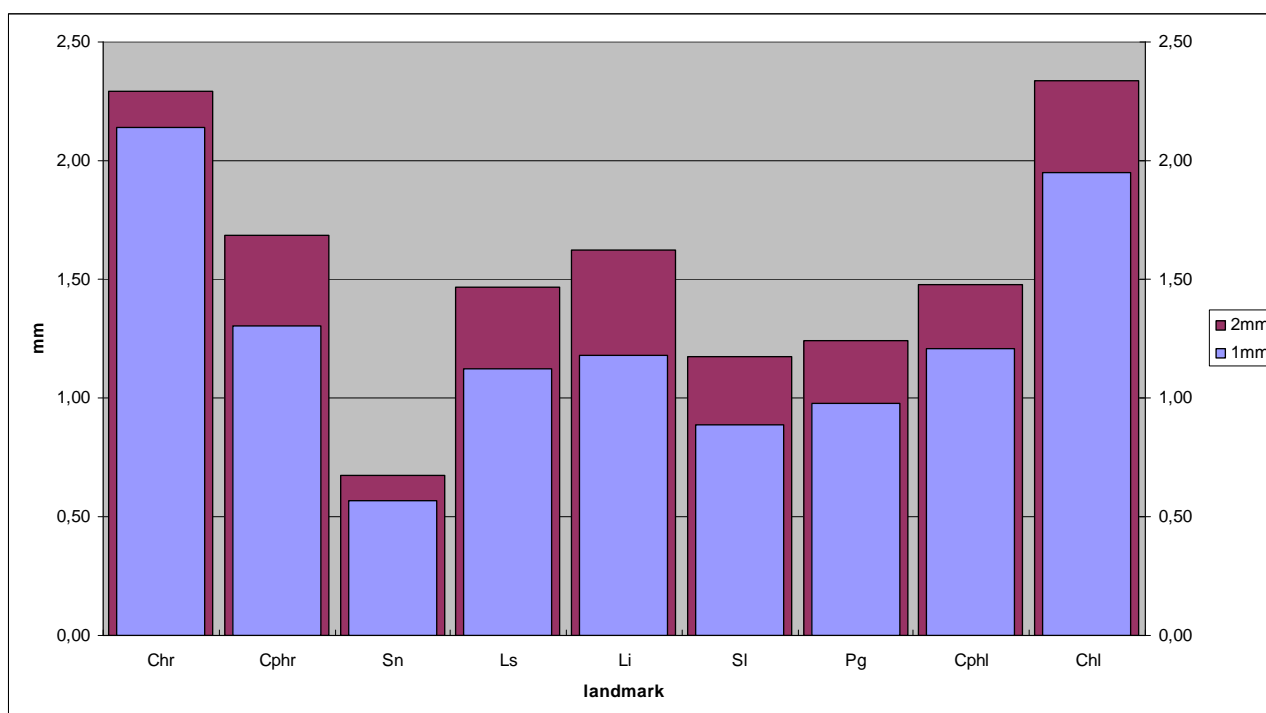


Figura 16: valori medi della dislocazione spaziale dei diversi landmark labiali con i due spessori utilizzati. Sequenza: da destra a sinistra e da craniale a caudale.

Il test t per valori appaiati ha permesso di evidenziare le differenze legate all'utilizzo di spessori diversi, come mostrato in **Tabella 4**:

Tabella 4: test t per valori appaiati per evidenziare le differenze legate all'utilizzo di spessori diversi. Tutti i valori sono in mm.

landmark	1mm		2mm		comparison		
	mean	SD	mean	SD	difference	P value	
Chr	2.14	1.29	2.29	1.3	0.15	0.607	
Cphr	1.3	1.15	1.68	1.31	0.38	0.032	<0.05
Sn	0.57	0.49	0.68	0.53	0.11	0.206	
Ls	1.13	0.73	1.47	0.57	0.34	0.013	<0.05
Li	1.18	0.72	1.62	0.82	0.44	0.004	<0.01
Sl	0.89	0.61	1.17	0.55	0.28	0.038	<0.05
Pg	0.98	0.48	1.24	0.69	0.26	0.080	
Cphl	1.21	0.89	1.48	0.73	0.27	0.048	<0.05
Chl	1.95	1.34	2.34	1.42	0.39	0.260	

Risultano particolarmente significativi gli spostamenti dei landmark situati sulle sporgenze centrali delle labbra (Cph, Ls, Li, Sl), mentre sembrano risentire meno dei diversi spessori i landmark perilabiali (Ch, Sn, Pg).

L'analisi delle distanze tra le superfici è basata sulla capacità del software impiegato (Vectra-3D; Canfield Scientific, Inc., Fairfield, NJ, USA) di misurare automaticamente le distanze medie tra le superfici selezionate.

Nelle **Figg. 17 e 18** sono riportate le immagini relative agli aumenti di volume labiale dopo apposizione degli spessori realizzati appositamente per questo studio.



Figura 17: risultato visuale della distanza tra una superficie con spessore e la superficie baseline di riferimento sottostante. In verde le aree in cui la distanza è 0, in gradazioni di blu le aree fino a 1,5mm

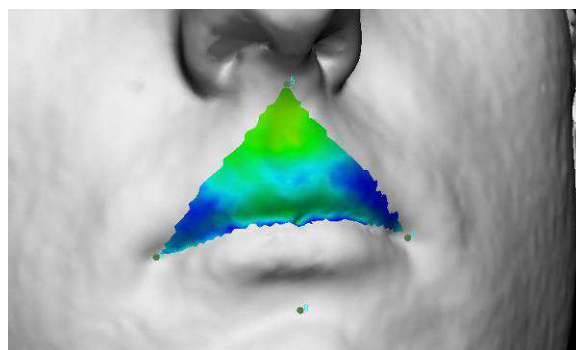


Figura 18: area del labbro superiore selezionata e colorata in base alla distanza con la superficie "baseline" sottostante.

La scala dei valori e dei colori è personalizzabile e permette quindi di adattarsi alle necessità. Per indagini morfometriche a carico delle labbra, in cui i cambiamenti pre/post trattamento sono nell'ordine del millimetro, per evidenziare al meglio le aree oggetto di cambiamento abbiamo utilizzato scale da -1mm a +1,5mm.

Il calcolo delle distanze medie riportate con i diversi spessori e relative al labbro superiore e inferiore sono visualizzabili nella **Fig. 19**:

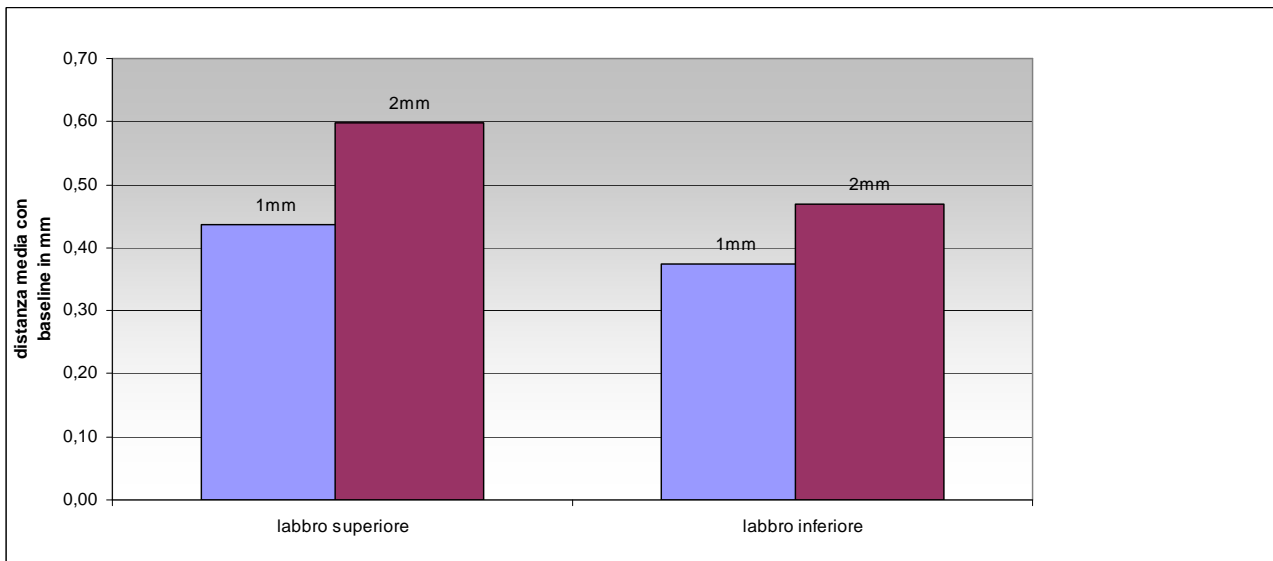


Figura 19: distanze medie tra le superfici con spessori e la superficie baseline

La differenza legata al diverso spessore interposto tra denti e labbra è stata indagata col test t per valori appaiati (**tabella 5**):

Tabella 5: valori medi di distanza tra superficie baseline e superfici spessorate e relative significatività a spessori diversi. Valori espressi in mm.

soggetto	labbro sup		labbro inf	
	1mm	2mm	1mm	2mm
1	0.37	0.72	0.19	0.68
2	0.05	0.06	0.69	0.64
3	0.76	1.23	0.26	-0.51
4	0.15	0.2	0.3	0.31
5	-0.42	0.11	0.4	0.44
6	0.51	0.68	0.62	0.86
7	1.34	1.15	1.15	1.07
8	0.73	0.92	0.77	0.62
9	0.3	0.17	-0.36	0.49
10	-0.57	-0.03	-0.52	-0.51
11	1.52	1.13	0.1	-0.09
12	1.34	1.15	1.15	1.07
13	0.73	0.22	0.77	0.62
14	-0.19	0.13	-0.3	-0.09
15	0.09	0.85	0.08	0.77
16	0.64	1.15	1.13	1.27
17	0.4	0.53	0.43	0.78
18	0.04	0.05	-0.05	0.16
19	0.7	1.16	0.36	0.63
20	0.25	0.41	0.33	0.25
mean	0.44	0.60	0.38	0.47
sd	0.56	0.46	0.48	0.49
P value	0.04		0.22	
	<0.05		>0.05	
	statistically significant treatment changes			

Si ottiene una significatività nell'utilizzo dei diversi spessori appena sufficiente per il labbro superiore, mentre per il labbro inferiore non risulta alcuna differenza statisticamente significativa. Evidentemente la maggior quota di aumento di volume nei tessuti viene ottenuta grazie al primo millimetro di spessore sottostante. L'ulteriore aumento di questo spessore viene ad essere "assorbito" dai tessuti che, aumentando comunque di volume, non lo fanno in maniera statisticamente significativa.

Questo risultato è particolarmente valido per il labbro inferiore, in cui – ricordiamolo – non vi è lo spessore inserito sottostante.

Ulteriore conferma di questo risultato possiamo ottenerla mettendo in proporzione lo spostamento medio ottenuto dai due diversi spessori, con lo spostamento teorico atteso, cioè 1mm e 2mm.

In questo caso (**Fig. 20**) otteniamo valori più efficaci per quanto riguarda lo spessore da 1mm, mentre risultano più contenuti gli aumenti di volume relativo con gli spessori da 2mm:

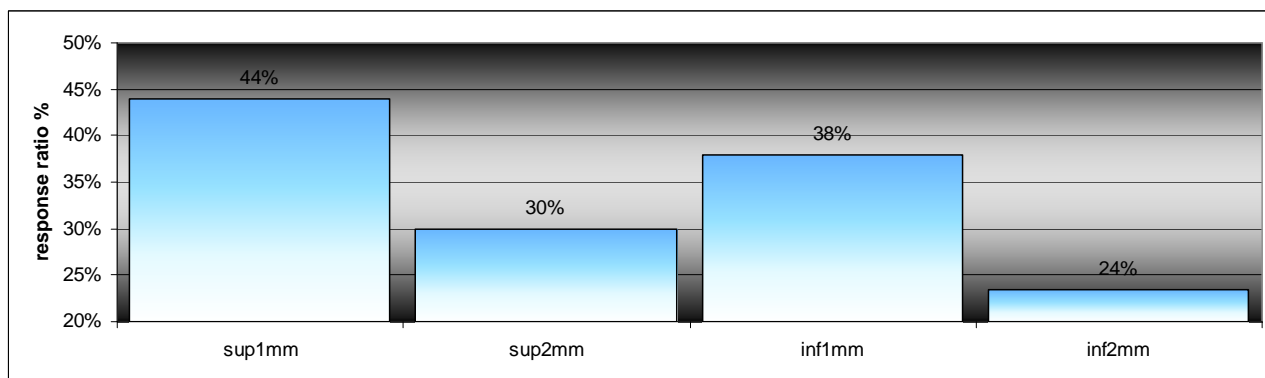


Figura 20: percentuale di risposta dei tessuti a spessori diversi: rapporto tra valore reale / valore atteso

Ripetibilità

I risultati relativi alle indagini sulla ripetibilità della procedura sono esposti nella **tabella 6**:

Tabella 6: *t* test sulla ripetibilità, utilizzando faccette diverse e intervalli di 30' tra due acquisizioni. Tutti i valori sono in mm.

FACCETTE DIVERSE (A-B) 2MM				DIFFERENZE PRE-POST (30 MIN) 2MM				
		mean	SD	<i>t</i> -test A-B		mean	SD	<i>t</i> -test pre-post
Sn	A	0.31	0.19	0.56	Sn	pre	0.31	0.19
	B	0.26	0.11			post	0.47	0.38
Ls	A	1.58	0.65	0.46	Ls	pre	1.58	0.65
	B	1.43	0.78			post	1.37	0.49
Li	A	1.94	0.56	0.64	Li	pre	1.94	0.56
	B	1.85	0.62			post	2.14	0.27
Sl	A	1.12	1	0.98	Sl	pre	1.12	1
	B	1.13	0.63			post	1.23	0.95
Pg	A	1.59	1.26	0.71	Pg	pre	1.59	1.26
	B	1.49	0.69			post	1.45	1.21
Chr	A	2.55	0.83	0.50	Chr	pre	2.55	0.83
	B	2.42	1.24			post	2.8	1.52
Chr	A	2.6	0.99	0.60	Chr	pre	2.6	0.99
	B	2.44	1.59			post	3.22	1.25
Cphr	A	1.31	0.48	0.22	Cphr	pre	1.31	0.48
	B	1.12	0.62			post	1.22	0.49
Cphl	A	1.35	0.62	0.69	Cphl	pre	1.35	0.62
	B	1.3	0.59			post	1.54	0.41

In nessun caso si sono trovate differenze statisticamente significative, sia sostituendo le faccette con repliche analoghe, sia separando temporalmente le acquisizioni di 30 minuti.

Discussione

La posizione dei denti anteriori appare influenzare la forma esterna delle labbra.

Il rapporto morfologico che lega queste due strutture è quantificabile grazie ad una analisi tridimensionale dei volumi coinvolti; in particolare, sono state valutate le variazioni sia di punti sia di superfici.

La valutazione del dislocamento dei punti (Landmark) ha portato a risultati molto simmetrici tra l'emifaccia destra e sinistra. Tale risultato è ovviamente molto dipendente dalla morfologia facciale preesistente: in questo studio sono stati valutati solo soggetti sani e senza alterazioni morfologiche o funzionali^{16,33}. Nel caso di pazienti dismorfici, i risultati potranno essere diversi^{5,7,11,18}.

Ad eccezione dei Landmark Chr e Chl, che mostrano dislocamenti molto elevati, tutti i restanti Landmark mostrano incrementi proporzionati allo spessore interposto. In particolare, Cphr, Cphl, Ls e Li sembrano risentire maggiormente dei cambiamenti di spessore sottostante (valori medi tra 1 e 1,7mm).

I valori molto elevati dei due Ch (valori intorno ai 2mm) possono essere spiegati con una sovrastima della rilevazione stereofotogrammetrica in zone particolarmente strette e profonde, come appunto gli angoli della bocca. Trattandosi, infatti, di una rilevazione ottica, il metodo stereo fotogrammetrico risulta molto preciso ed accurato in zone ben visibili, ma perde accuratezza in zone otticamente non raggiungibili. Inoltre, la stessa collocazione del Landmark da parte dell'operatore risulta meno agevole in queste zone. Aumentando, anche di poco, il volume delle labbra, il Landmark otterrebbe una lettura ottica che lo colloca più in superficie, essendo diventata più "leggibile" l'area in cui si trova^{4,12,13}.

Indagando le differenze che incontriamo utilizzando spessori diversi, abbiamo potuto valutare la risposta dei tessuti a gradi diversi di spessore interposto. Possiamo cioè vedere quali aree rispondono meglio e in maniera dipendente dallo spessore inserito o, al contrario, aree relativamente poco responsive e indipendenti dagli spessori inseriti.

Il test t per valori appaiati ha mostrato come ci sia un'area, che collochiamo al centro delle labbra, molto suscettibile ai cambiamenti di spessore e un'altra area, collocata alla periferia della precedente, in cui questi cambiamenti sono molto più smorzati, tanto da essere statisticamente non significativi (**Fig. 21**).

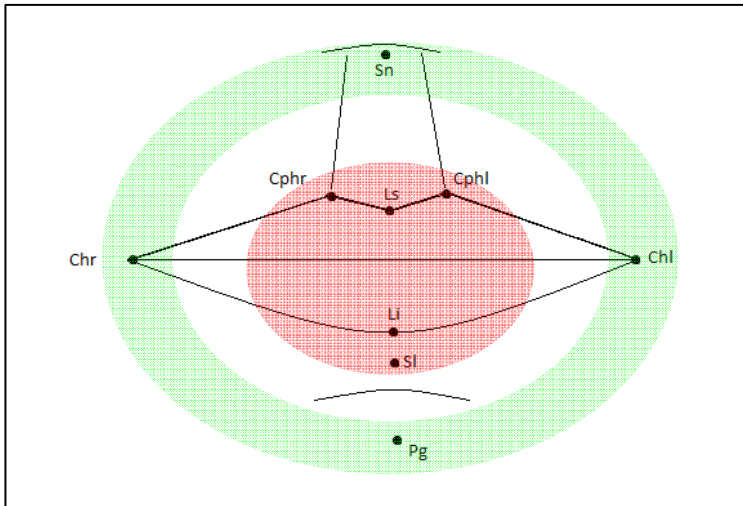


Figura 21: in rosso: area molto dipendente dallo spessore sottostante; in verde: area in cui la dipendenza con lo spessore sottostante non è statisticamente significativa.

Anche in questo caso, la scelta del campione ha sicuramente condizionato il risultato: non è scontato che il comportamento dei tessuti in un campione di soggetti più anziani sia sovrapponibile a quello dei soggetti, relativamente giovani, inclusi in questo studio^{22,23}.

La valutazione delle superfici ha consentito una quantificazione globale dell'impatto morfologico degli spessori utilizzati sulle labbra.

La selezione delle aree da sottoporre ad indagine (area "labbro superiore" e area "labbro inferiore") si è resa necessaria per limitare al massimo tutte le aree poco significative, che costituendo il presupposto per le procedure di matching sopra descritte, hanno distanza con la superficie di riferimento prossima allo zero.

I valori ottenuti rappresentano, per ogni soggetto, la distanza media tra la superficie spessorata (1 mm o 2mm) e la superficie di riferimento, limitatamente all'area selezionata (labbro superiore o inferiore). I risultati sono coerenti con gli spessori utilizzati, vale a dire che risultano valori medi inferiori al millimetro per lo spessore 1mm e inferiori a 2mm per lo spessore 2mm.

Occasionalmente si riscontrano valori negativi, non sporadici nella loro distribuzione, ma piuttosto su soggetti con valori globali già bassi. Questo dato rimane comunque, dal punto di vista quantitativo, all'interno dell'errore standard legato alle procedure di rilevazione stereofotogrammetrica^{24,29}.

Pur ottenendo valori medi più alti con lo spessore da 2mm, questi risultano significativi solo per quanto riguarda il labbro superiore. Evidentemente lo spessore, una volta inserito, provoca, nel millimetro iniziale, la maggior quota di spostamento delle labbra. Successivamente, con l'aumentare dello spessore ed arrivando a 2mm, pur aumentando di volume, questo aumento non è più statisticamente significativo. I tessuti iniziano ad "assorbire" lo spessore inserito e reagiscono in

maniera sempre più “smorzata”. Verosimilmente interviene anche la distensione dei tessuti labiali, che comporta una contestuale diminuzione del loro spessore.

Confrontando questi risultati con i valori teorici attesi, cioè 1mm e 2mm, questa differenza appare ancora più evidente: in media, la “risposta tissutale” allo spessore 1mm è intorno al 40%, mentre è inferiore al 30% per lo spessore 2mm (**Fig. 20**).

Un ultimo dato interessante riguarda il labbro inferiore: pur non avendo alcuno spessore inserito al di sotto, questo aumenta comunque di volume e sembra seguire in maniera direttamente proporzionale gli spostamenti del labbro superiore. Perde di significatività solo quando si valuta la differenza di risposta tra 1 e 2mm, analisi in cui il labbro superiore è risultato comunque appena significativo ($P=0.04$).

Conclusioni

Il metodo esposto permette una valutazione quantitativa della morfologia labiale e peri-labiale in risposta ai cambiamenti della morfologia dentale.

A differenza dei metodi descritti dalla letteratura, permette la valutazione tridimensionale dei volumi analizzati, con la possibilità di visualizzare i cambiamenti morfologici intercorsi.

Inoltre, essendo un metodo ottico e non radiografico, ha un’invasività sul paziente pressoché nulla e permette così di poter essere ripetuto anche più volte sullo stesso paziente, per esempio prima e dopo un trattamento. La gestione digitale dei dati ottenuti consente inoltre l’archiviazione, l’analisi, il trasferimento, l’eventuale riutilizzo degli stessi, anche in un secondo momento.

Il livello di precisione e di accuratezza ormai raggiunto da queste tecnologie di imaging, oltre a collocare la stereofotogrammetria come indagine di prima scelta nelle ricerche antropometriche del volto, consentirà a queste metodiche di trovare sempre più spazio nella pratica medica quotidiana, andando a costituire un vero e proprio strumento di diagnosi, documentazione clinica e simulazione terapeutica altamente affidabile.

E’ facile immaginare l’affiancamento che potranno svolgere ulteriori software di imaging medicale, operanti a partire dalla stessa piattaforma tridimensionale, nell’attività quotidiana di dentisti e chirurghi plastici, che dovranno prevedere come – e in quale misura - il loro trattamento andrà ad inserirsi nel contesto morfo-funzionale dei loro pazienti.

Studio 3:

Ruolo della proporzione aurea nella valutazione estetica del volto

Introduzione e scopo dello studio

Il tentativo di ridurre a formula matematica, di semplificare attraverso proporzioni geometriche i concetti assoluti di bellezza e di equilibrio delle forme, sono tanto antichi quanto la stessa civiltà umana. I cosiddetti “canoni estetici” sono stati sempre ricercati, teorizzati, analizzati, applicati e poi ancora confutati e ridiscussi, all’interno di ciascuna disciplina dello scibile.

Il corpo umano è stato il crocevia di innumerevoli punti di vista in merito alle proporzioni delle sue diverse parti, destando l’interesse di anatomici, scienziati, medici, ma anche di artisti ed esteti. Il viso, in particolare, rappresenta la parte più espressiva del corpo umano, sede del riconoscimento e della valutazione visiva^{1,25}

Già nel 1509 Luca Pacioli pubblica, nel suo “De Divina Proportione”, illustrato da Leonardo da Vinci, i primi canoni sulle proporzioni del volto, facendo ampio riferimento alla sezione aurea come esempio di armonia ed equilibrio tra le diverse parti (**Fig. 22**).

Teorizzata a partire dalle civiltà classiche, la sezione aurea, cioè quel rapporto dimensionale tra due grandezze per cui la più piccola sta alla più grande come la più grande sta alla somma di entrambe, è stata applicata in diversi campi, tra cui l’architettura e l’arte. Anche l’analisi di alcune strutture naturali, appartenenti al mondo minerale e vegetale, ha dimostrato come tale rapporto sia stato applicato dalla Natura stessa prima ancora che dall’Uomo.

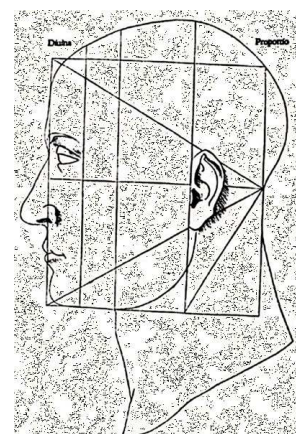


Figura 22: illustrazione tratta dal “De Divina proportione”, di Luca Pacioli, 1509

In letteratura medica diversi studi si sono occupati di stabilire, ciascuno all’interno di precise popolazioni, se esistessero rapporti matematici, o aurei, tra diverse misurazioni del corpo umano e

del volto, utilizzando strumenti che richiedono contatto fisico (es. calibro, metro) o fotografie bidimensionali^{26,27}.

Scopo del presente lavoro è dimostrare se esiste, anche nel campo della morfometria facciale, uno o più rapporti aurei tra diverse misurazioni del volto umano. Per compiere le nostre misurazioni, ci avvarremo della stereofotogrammetria tridimensionale, che ha dimostrato essere il golden standard in campo antropometrico del volto²⁸. Indagheremo inoltre se questo rapporto aureo è più rappresentato in soggetti considerati più armonici, proporzionati, quindi più attraenti, rispetto a soggetti giudicati meno attraenti.

Materiali e metodi

Scelta del campione

Il campione utilizzato per questo studio è stato estrapolato da una popolazione di circa 600 soggetti, sottoposti nel corso degli ultimi 2 anni ad almeno 1 acquisizione stereofotogrammetrica presso il nostro Dipartimento.

Una prima selezione è stata effettuata stabilendo i seguenti criteri di inclusione:

- età compresa tra 19 e 35 anni
- razza caucasica
- assenza di trattamenti chirurgici, sia recenti, sia pregressi, a carico della faccia
- assenza di importanti traumi pregressi del volto tali da pregiudicarne la simmetria o le proporzioni
- assenza di trattamenti odontoiatrici ortodontici in corso
- presenza di tutti gli elementi dentari anteriori, da premolare a premolare, sia superiormente, sia inferiormente
- assenza di barba e baffi per i pazienti maschi, che pregiudicano l'acquisizione stereofotogrammetrica.

Sono stati così individuati 400 soggetti.

Una seconda selezione ha visto all'opera una Giuria di Valutazione, che ha portato il campione a 60 soggetti, 30 maschi e 30 femmine.

Giuria di Valutazione (EJ)

Al fine di selezionare, all'interno della popolazione disponibile, gli individui che presentano una maggiore o minore attrattività estetica del volto, è stata compiuta una selezione ad opera di una giuria di 4 elementi così composta:

- 2 elementi di sesso maschile (1 odontoiatra e 1 studente universitario)
- 2 elementi di sesso femminile (1 odontoiatra e 1 studentessa universitaria).

I giudici hanno assegnato ad ognuno dei 400 pazienti, già scremati dalla prima selezione, un giudizio estetico espresso sottoforma di voto, da 0 a 10, corrispondente al livello di attrattività estetica del volto (0: volto per nulla attraente, 10: volto molto attraente).

Sono stati considerati "molto attraenti" (VA) i soggetti con punteggio ≥ 7 , mentre sono stati considerati "poco attraenti" (NA) i soggetti con punteggio ≤ 3 .

Al fine di rendere numericamente omogenei i gruppi e procedere con un'analisi statistica il più possibile equilibrata, sono stati scelti, mediante sorteggio, 15 soggetti per ciascun gruppo.

Sono stati selezionati perciò in tutto 60 soggetti: 15 maschi VA, 15 maschi NA, 15 femmine VA, 15 femmine NA.

L'immagine facciale

I punti di repere, secondo una tecnica già utilizzata²¹, sono stati contrassegnati direttamente sulla faccia del paziente prima della rilevazione fotografica: in questo modo si facilita l'acquisizione dei punti che necessitano di palpazione e si evita la loro discutibile acquisizione su una superficie digitale. Tali punti fanno riferimento, in allineamento con i lavori che ci hanno preceduto²⁰, ai reperi tradizionali dell'antropometria facciale.

Inserendosi nel lungo filone di letteratura scientifica che fa riferimento ai canoni di bellezza del volto^{29,30,31}, il presente studio ne ha appreso alcuni spunti, che includono la scelta dei singoli punti di repere da sottoporre ad analisi.

Accanto ai reperi tradizionali, da cui si ottengono le misurazioni verticali relative del terzo superiore, medio ed inferiore della faccia (Tr, Me, N, Sn, St), abbiamo anche analizzato sia misure

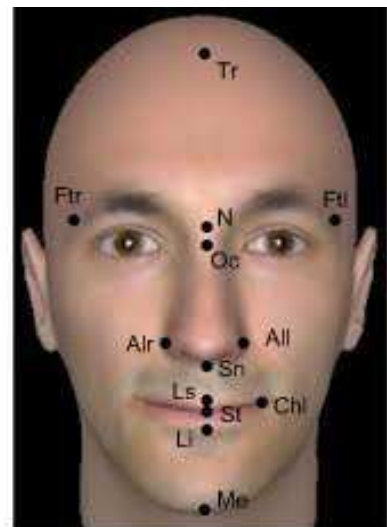


Figura 23: i landmark considerati nel presente studio: Tr: Trichion, N: Nasion, Oc: Oculare, Sn: Subnasale, Ls: Labialis Superior, St: Stomion, Li: Labialis Inferior, Me: Menton, Ft: Frontotemporal, Ch: Cheilion

orizzontali (FTr, FTI), sia misure che fanno riferimento alla posizione degli occhi (Tr-Oc, Oc-Me, Oc-St), sia misure che riguardano in particolare le proporzioni del naso (Alr-All) e della bocca (Chr-Chl) (**Fig. 23**).

I reperi presi in considerazione appartengono all'antropometria classica del volto, ufficialmente riconosciuta a livello scientifico e che fa riferimento alle pubblicazioni di Farkas²⁰.

Il punto "oculare" (Oc), in particolare, di derivazione più artistica che scientifica, è stato ottenuto attraverso l'intersezione della linea bipupillare con l'asse sagittale dalla testa, sulla superficie cutanea del paziente in NHP.

Analisi dei dati

Per ogni paziente sono state effettuate le seguenti misurazioni:

distanza	significato
Tr-Me	altezza della faccia
Tr-Sn	terzo superiore della faccia
N-Me	terzo medio della faccia
Sn-Me	terzo inferiore della faccia
St-Me	distanza bocca-mento
N-Sn	altezza naso
Ftr-Ftl	larghezza della faccia
Tr-Oc	distanza fronte-occhi
Oc-Me	distanza occhi-mento
Oc-St	distanza occhi-bocca
Alr-All	larghezza naso
St-Ch	larghezza emibocca
Ls-Li	altezza bocca

ed ottenuti i seguenti rapporti tra le distanze così ottenute:

R1	Tr-Me/Tr-Sn	H totale della faccia / terzo sup. della faccia
R2	Tr-Me/N-Me	H totale della faccia / terzo medio della faccia
R3	Tr-Sn/Sn-Me	Terzo superiore della faccia / terzo inferiore della faccia
R4	Sn-Me/St-Me	Terzo inferiore della faccia / distanza bocca-mento
R5	N-Sn/St-Me	H naso / distanza bocca-mento
R6	Tr-Me/Ftr-Ftl	H totale della faccia / larghezza della faccia
R7	Oc-Me/Tr-Oc	Distanza occhi-mento / distanza fronte-occhi
R8	Oc-St/St-Me	Distanza occhi-bocca / distanza bocca-mento
R9	N-Sn/Alr-All	H naso / larghezza naso
R10	St-Ch/Ls-Li	Larghezza emibocca / h bocca

L'analisi dei dati consisterà nel verificare se i fattori "sesso" e "attrattività" hanno influenza sulle variabili di interesse R1-R10. A tale scopo verrà utilizzata, per ognuno dei 10 rapporti, un'ANOVA a 2 vie, facendo variare ogni volta la variabile di risposta di interesse.

Successivamente, si verificherà se i dati, per indicatore, sono statisticamente diversi dal rapporto aureo 1.618. Si adotterà per questo un test t per valori appaiati. Sarà considerato significativo un valore di probabilità ≤ 0.05 .

Risultati

I dati sono stati inseriti nel software Minitab.

Prima di condurre i test ANOVA, è stato necessario procedere con le verifiche di normalità dei dati e di omoschedasticità delle varianze.

A scopo esemplificativo, le verifiche relative al solo indicatore R1 sono visibili nelle **Figg. 24, 25 e 26**:

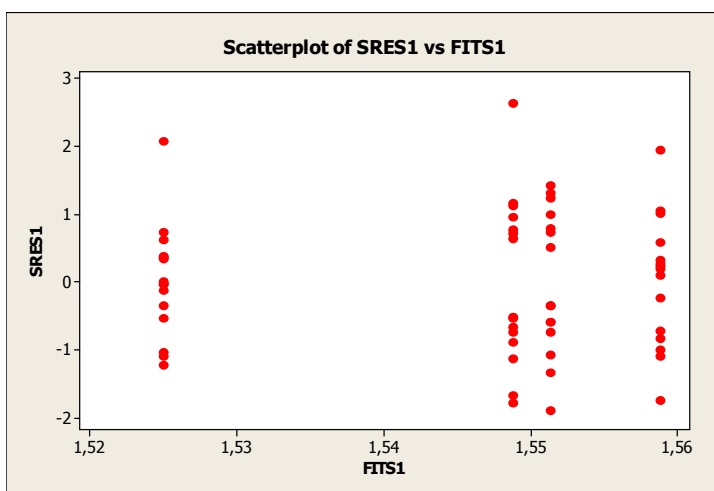


Figura 24: diagramma di dispersione dei residui. I valori si dispongono uniformemente intorno allo zero: ipotesi rispettate

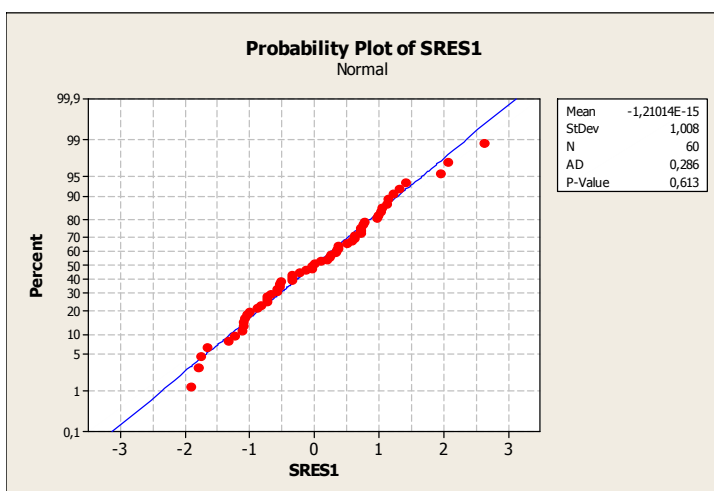


Figura 25: analisi di normalità dei residui. I valori si dispongono in maniera lineare: ipotesi rispettate.

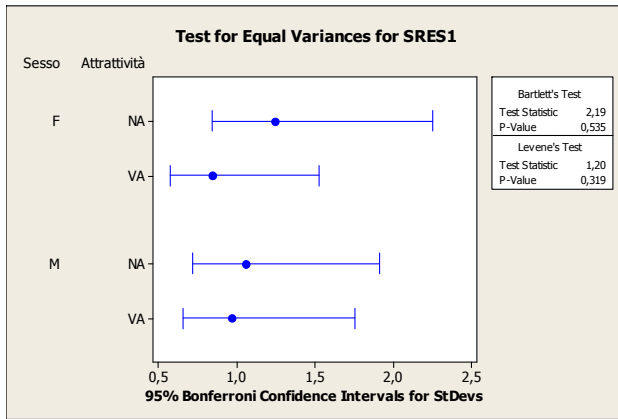


Figura 26: test di omoschedasticità dei residui: ipotesi rispettate.

Le ipotesi sono risultate rispettate per tutti i 10 rapporti facciali analizzati.

Abbiamo potuto così eseguire un'ANOVA, considerando i fattori “sesso” e “attrattività”, sia da soli, sia in combinazione tra loro:

Tabella 7: analisi della varianza fattoriale a 2 vie; 1;56 gradi di libertà per tutti i fattori e l'interazione

		sex	attractiveness	sex&attractiveness
R1	F	1.71	0.34	1.26
	P	0.197	0.56	0.266
R2	F	0.06	0.01	3.16
	P	0.805	0.938	0.081
R3	F	3.33	0.88	2.32
	P	0.073	0.352	0.133
R4	F	0.49	0.00	0.13
	P	0.488	0.986	0.717
R5	F	3.28	0.40	0.02
	P	0.075	0.529	0.880
R6	F	0.86	3.06	0.77
	P	0.358	0.086	0.385
R7	F	0.87	0.79	0.59
	P	0.354	0.377	0.447
R8	F	3.96	0.31	0.01
	P	0.052	0.582	0.939
R9	F	1.94	0.07	0.01
	P	0.169	0.791	0.930
R10	F	0.02	0.34	0.47
	P	0.891	0.560	0.494

Non risultano significatività particolari per alcun indicatore analizzato.

In altre parole, ne' il sesso, ne' l'attrattività sembrano influire sui rapporti facciali analizzati.

L'unico indicatore blandamente significativo (R8, con $p=0,052$ per il fattore "sesso") è anche quello che ha presentato i valori più estremi in sede di rilevazione: 1,91 – 2,46 – 1,73 a fronte di una media di valori di 1,40.

Procedendo con l'eliminazione di questi 3 dati estremi, otteniamo i valori di R8 sotto riportati:

R8 corretto (Oc-St/St-Me: distanza occhi-bocca rispetto alla distanza bocca-mento)

	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Sesso	1	0,05152	0,05326	0,05326	4,66	0,035
Attrattività	1	0,05521	0,05528	0,05528	4,84	0,032
Sesso*Attrattività	1	0,00011	0,00011	0,00011	0,01	0,923
Error	53	0,60558	0,60558	0,01143		
Total	56	0,71241				

S = 0,106892 R-Sq = 15,00% R-Sq(adj) = 10,19%

che stavolta mostrano una debole significatività sia per il sesso sia per l'attrattività.

L'indagine sul rapporto aureo è stata condotta alla ricerca di eventuali differenze statisticamente significative tra i valori dei 10 rapporti e il valore aureo $\Phi = 1,618$, applicando un test t per valori appaiati.

I risultati così ottenuti sono mostrati nella tabella 8:

Tabella 8: t-test tra i valori dei rapporti facciali e il rapporto aureo 1,618

One-Sample T: R1; R2; R3; R4; R5; R6; R7; R8; R9; R10

Test of $\mu = 1,618$ vs not = 1,618

Variable	N	Mean	SD	SE Mean	T	P
R1	60	1,54598	0,05406	0,00698	-10,32	0,000
R2	60	1,50287	0,06295	0,00813	-14,17	0,000
R3	60	1,6975	0,1594	0,0206	3,86	0,000
R4	60	1,43816	0,07005	0,00904	-19,89	0,000
R5	60	1,1288	0,1206	0,0156	-31,41	0,000
R6	60	1,5751	0,1028	0,0133	-3,23	0,002
R7	60	1,6032	0,1791	0,0231	-0,64	0,524
R8	60	1,4050	0,1957	0,0253	-8,43	0,000
R9	60	1,6316	0,1886	0,0243	0,56	0,579
R10	60	1,6462	0,3010	0,0389	0,72	0,471

Come si può osservare, 7 indicatori su 10 risultano statisticamente differenti dal valore ipotetico di 1,618. Al contrario, 3 indicatori (R7, R9, R10), non mostrano differenze significative.

In altre parole, non vi è evidenza statistica per rifiutare l'ipotesi che per gli indicatori R7, R9 e R10 la media sia eguale alla sezione aurea.

Discussione

Gran parte delle ricerche sullo stesso tema pubblicate in letteratura si è avvalsa di fotografie bidimensionali³², oppure di radiografie³³, o ancora di tecniche di antropometria diretta²⁶. La maggioranza di queste ricerche è concorde nell'affermare una debole correlazione nei rapporti facciali tra maschi e femmine e tra individui attraenti e non, variabile a seconda dei landmark presi in esame²², del piano facciale scelto²⁶ (es. frontale o laterale), del campione analizzato²⁹. La tecnica utilizzata in questo studio è tridimensionale e consente il calcolo delle distanze tra due punti della faccia tenendo conto della loro naturale giacenza su piani diversi.

Analisi 3D della morfologia facciale in soggetti più o meno attraenti sono state effettuate da Farkas²⁰, da Ferrario et al.³⁴ e da Sforza et al.^{35,36,37,38}. I ricercatori hanno analizzato diverse caratteristiche facciali (distanze, angoli, volumi, aree e rapporti), permettendo di definire alcuni parametri tipici per età e sesso. In nessun caso, si sono indagate le relazioni tra dimensioni facciali e rapporto aureo.

L'analisi dei dati porta a concludere, in maniera alquanto evidente, che né il sesso, né il grado di "attrattività" del volto abbiano una qualche relazione con i rapporti facciali presi in esame. Anche l'unico aspetto di significatività, mostrato dal rapporto R8, emerge solo dopo l'eliminazione dei valori estremi, per di più in maniera piuttosto debole.

I risultati ottenuti si collocano quindi sostanzialmente in accordo con buona parte della letteratura precedente^{12,39,40}, accentuando semmai il carattere di indifferenza di alcuni rapporti facciali nei confronti del dimorfismo sessuale o "estetico".

Meno categorici, ma comunque allineati, i risultati di Mommaerts e Moerrenhout⁴¹, che esprimono in percentuale i rapporti facciali relativi al terzo inferiore rispetto all'altezza totale della faccia e li

quantificano in un 45% (femmine) rispetto ad un 48% (maschi), valori simili al 50% e 50%, ottenuti analizzando i volti delle statue dell'antichità classica).

Parimenti, in campo ortodontico, dove oltre ai rapporti tra distanze si indagano anche gli angoli, sembrano simili le conclusioni: Kiekens et al.³¹ (2008), indagando sia su rapporti, sia su angoli, concludono trovando “bassa relazione” con l'estetica facciale in un campione di adolescenti.

La visualizzazione (**Figure 27 e 28**) in un grafico a radar dei dati ottenuti può aiutare, anche a colpo d'occhio, a notare la sostanziale sovrapposizione, distinta per sessi, dei soggetti più o meno attraenti:

Figura 27: visualizzazione dei valori dei 10 rapporti esaminati: femmine attraenti vs. femmine non attraenti

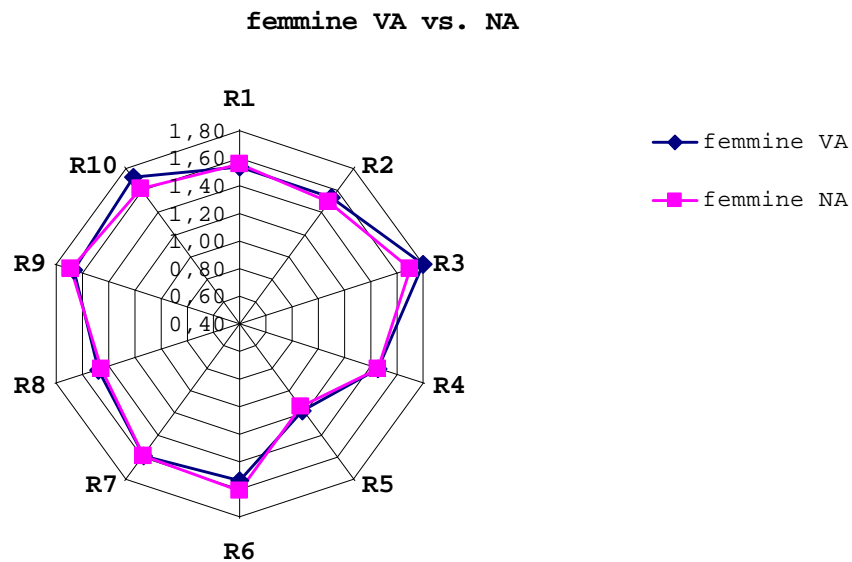
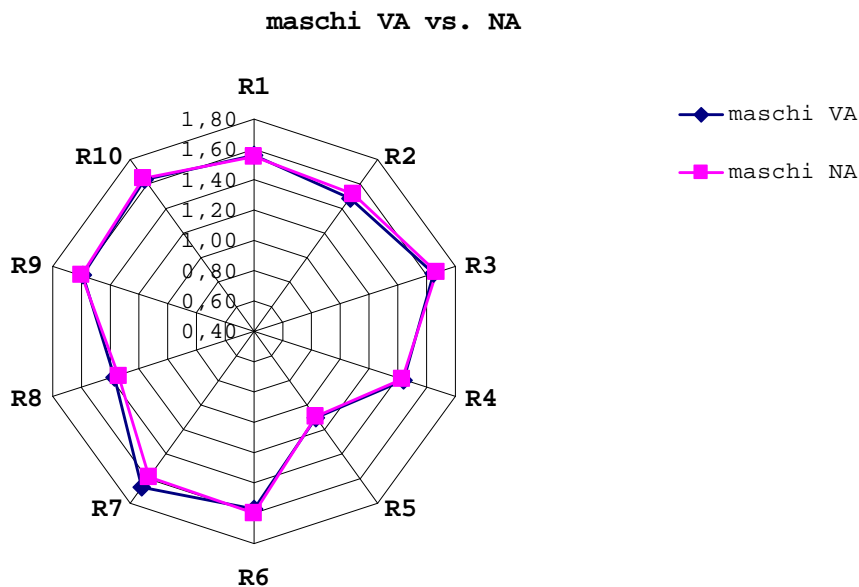


Figura 28: visualizzazione dei valori dei 10 rapporti esaminati: maschi attraenti vs. maschi non attraenti



Gli stessi grafici visualizzano anche come molti rapporti facciali (R1, R2, R6, R7, R9, R10) effettivamente si avvicinino al rapporto aureo, pur sapendo, dai test t effettuati, che solo 3 di questi rapporti risultano veramente “aurei”.

Quasi inaspettatamente, due di questi rapporti non riguardano la faccia in toto, ma due strutture in essa inserite: R9 è il rapporto tra altezza e larghezza del naso, R10 è il rapporto tra larghezza dell’emibocca e altezza della bocca.

Da due strutture, una sostanzialmente cartilaginea (naso) e una costituita da soli tessuti molli (bocca) ci si sarebbe aspettati il massimo della variabilità, anche nelle proporzioni inter-paziente. Al contrario, sembrano mantenere le stesse proporzionalità, più di altri indicatori presenti, per esempio, sui tessuti duri. Su questo punto la letteratura è meno concorde, soprattutto perché, proprio sulle morfologie di naso e bocca, ci sono, più che altrove, molte variabili razziali di cui bisogna tenere conto⁴².

L’ultimo rapporto aureo, R7 (occhi-mento/fronte-occhi), è emblematico, dal momento che è storicamente stato segnalato sia dai classici, sia nel mondo artistico rinascimentale²⁵.

È il punto che, sostanzialmente, colloca la linea degli occhi esattamente ad una distanza “aurea” dalla fronte e dal mento. Ritrovarlo in un contesto scientifico rende giustizia ai canoni estetici storici e artistici da cui proviene.

Purtroppo non si può dire lo stesso per i rimanenti rapporti, che di aureo hanno solo una vicinanza numerica, ma non significativa statisticamente.

Conclusioni

Per quanto affascinante sarebbe trovare una formula, una “perfetta proporzione”, in grado di infondere automaticamente a chi la possiede la qualità della gradevolezza estetica, ancora una volta dobbiamo ammettere di essere molto lontani dall’averla trovata.

Nonostante i risultati di questo studio vadano più verso la disillusione che verso l’accreditamento di alcune di queste formule, ci sono indubbiamente molti aspetti del tutto innovativi che riguardano soprattutto i metodi impiegati.

L’utilizzo della tecnica tridimensionale con la stereofotogrammetria ha permesso di raccogliere una grande quantità di dati: i pazienti oggetto dello studio sono stati 60, ma sono stati selezionati a partire da circa 600 presenti in banca dati. Con un “filtraggio” del 90% dalla popolazione di partenza, abbiamo ottenuto un campione molto rappresentativo, impensabile da realizzarsi agevolmente con altre metodiche.

A differenza delle principali fonti bibliografiche sull’argomento, che hanno impiegato tecniche bidimensionali (foto e radio grafie), oggi disponiamo di queste tecniche tridimensionali, la cui affidabilità è paragonabile alle misurazioni in vivo, risultando nel contempo molto più agevoli nella rilevazione, gestione, archiviazione e richiamo dei dati.

Inoltre, a differenza delle radiografie, non abbiamo il problema delle radiazioni ionizzanti e le acquisizioni sono del tutto innocue per i pazienti.

C’è da aspettarsi, negli anni a venire, un sempre maggior impiego di queste tecniche, non solo in campo antropometrico, ma anche in campo clinico.

Non è da escludere che, incrementando i parametri presi in considerazione in questo studio (es. numero di indicatori, numero di giudici nella giuria, confronto tra razze diverse, ecc), aumentando cioè la potenza del test, si arrivi a conclusioni ancora più certe. Con il metodo appena indicato questa strada risulterebbe, a maggior ragione, più percorribile.

Conclusioni

Con ogni probabilità, il volto umano rappresenta, dal punto di vista morfologico, una delle forme in assoluto più complesse da descrivere quantitativamente: il susseguirsi continuo di concavità e convessità, la presenza di flessi, docce, picchi, cavità, sottosquadri, sono solo alcune delle principali caratterizzazioni squisitamente anatomiche che si possono analizzare nel tentativo di descriverne la superficie.

A rendere difficoltoso, o quantomeno instabile anche il miglior risultato descrittivo, c'è da considerare l'estrema variabilità nel tempo di questa forma, inesorabilmente destinata a mutare, sotto l'influsso ora della muscolatura mimica, ora della postura della testa, ora della posizione della mandibola, oppure di un semplice battito di palpebre.

Misurare un volto significa quindi conoscere e di conseguenza tenere conto del maggior numero possibile di variabili che intervengono durante le acquisizioni, momenti unici e istantanei in un flusso di continui movimenti e adattamenti morfologici.

Le grandi quantità di dati raccolti con le acquisizioni stereo fotogrammetriche servono non solo per la descrizione in termini assoluti della morfologia del volto, ma anche per i confronti tra un'acquisizione e l'altra⁴³. In questo modo diventa possibile far emergere dettagli che a misurazioni più semplici, eseguite cioè utilizzando singoli punti di repere, o dati bidimensionali, sfuggono.

Le possibilità offerte dalla tecnologia stereofotogrammetrica sono molteplici e, pur concentrando la nostra attenzione allo studio morfologico del volto, abbiamo trovato applicazioni in ambiti diversificati^{13,21,22,23,44,45,46,47,48}.

Il primo studio ha mostrato l'utilizzo della tecnica come una nuova forma di *imaging* medicale, applicabile a molte specialità mediche e odontoiatriche. Un'*imaging* destinato, se non proprio a rivoluzionare, perlomeno a rivedere, tutto un sistema di diagnosi, documentazione clinica e follow up basato su supporti bidimensionali.

Il medico, che fino ad oggi esegue fotografie bidimensionali per diagnosticare, documentare i propri casi, relazionarsi con i pazienti e con i colleghi, molto probabilmente in un prossimo futuro avrà a disposizione la possibilità di fare le stesse cose in 3 dimensioni, con la medesima semplicità d'uso.

In particolare, l'inserimento in un'unica immagine dell'arcata dentaria e della faccia del paziente, apre nuove possibilità in campo ortodontico e ortognatico. La diagnosi e il trattamento delle

discrepanze intermascellari, delle alterazioni dento-facciali non può che giovare di un supporto digitale, tridimensionale e soprattutto non invasivo.

Il secondo studio, indagando i rapporti morfologici reciproci tra denti e tessuti molli periorali, ha mostrato come la stereofotogrammetria possa essere d'aiuto per il confronto di due acquisizioni molto simili tra loro. Non solo la sovrapposizione tra due acquisizioni è possibile, ma, opportunamente impostata, è in grado di far emergere anche minime differenze di forma e volume, difficilmente indagabili con qualsiasi altro metodo. Lo studio offre diversi spunti d'interesse, soprattutto nel campo della medicina estetica, da sempre interessata alle variazioni morfologiche di piccola entità: basti pensare ai filler labiali o periorali, utilizzati per rendere più carnose le labbra o distendere le rughe del volto. In questo modo diventa possibile confrontare scientificamente il pre con il post cura, discriminando anche il diverso contributo morfologico dei tessuti duri da quello dei tessuti molli nei confronti del risultato finale.

Il terzo ed ultimo lavoro torna invece agli aspetti più classicamente antropometrici dello studio della morfologia facciale. Al di là dei risultati tecnici ottenuti, è servito a dimostrare come la stereofotogrammetria trovi applicazione e, anzi, maggior successo, in un campo in cui sono sempre state utilizzate tecniche puntiformi e bidimensionali. L'approccio tridimensionale, unito allo studio delle superfici, anziché dei singoli punti, permette di affrontare in maniera completa e più rispondente alla realtà le tematiche morfologiche e, soprattutto, di percezione estetica.

Nel complesso, possiamo affermare che la stereofotogrammetria si è dimostrata essere non solo una tecnica accurata e precisa, ma anche il probabile inizio di una serie di innovazioni destinate a rivoluzionare, nel giro di pochi anni, il campo della documentazione scientifica e medica.

Il relativo ritardo che sta avendo il campo medico nell'impiego routinario e diffuso della stereofotogrammetria, rispetto ad altri settori (rilievo topografico, cinema, televisione), è probabilmente predittivo della sua futura maggior applicazione.

Anche i costi economici necessari per dotarsi di un'apparecchiatura per uso scientifico sono diminuiti in questi ultimi anni e c'è da aspettarsi una naturale ulteriore riduzione nel prossimo futuro.

Infine, è doveroso sottolineare che, a differenza delle indagini radiografiche, la stereofotogrammetria è un'indagine ottica e, di conseguenza, assolutamente priva di radiazioni ionizzanti e non invasiva. Questo aspetto, sul quale oggi l'attenzione di medici e pazienti è sempre ai massimi livelli, soprattutto per quanto riguarda i pazienti pediatrici, costituisce senz'altro una valida e tranquillizzante caratteristica.

Bibliografia

-
- ¹ Borah GL, Rankin MK. Appearance is a function of the face. *Plast Reconstr Surg.* 2010;125(3):873-8.
- ² Smeets D, Claes P, Vandermeulen D, Clement JG. Objective 3D face recognition: evolution, approaches and challenges. *Forensic Sci Int.* 2010;201(1-3):125-32.
- ³ Grill-Spector K, Knouf N, Kanwisher N. The fusiform face area subserves face perception, not generic within-category identification. *Nat Neurosci.* 2004;7(5):555-62.
- ⁴ Fourie Z, Damstra J, Gerrits PO, Ren Y. Evaluation of anthropometric accuracy and reliability using different three-dimensional scanning systems. *Forensic Sci Int.* 2011;15:207(1-3):127-34.
- ⁵ Van Loon B, van Heerbeek N, Maal TJ, Borstlap WA, Ingels KJ, Schols JG, Bergé SJ. Postoperative volume increase of facial soft tissue after percutaneous versus endonasal osteotomy technique in rhinoplasty using 3D stereophotogrammetry. *Rhinology.* 2011;49(1):121-6.
- ⁶ Panossian AJ, Block MS. Evaluation of the smile: facial and dental considerations. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010;68(3):547-54.
- ⁷ Hodges A, Rossouw PE, Campbell PM, Boley JC, Alexander RA, Buschang PH. Prediction of lip response to four first premolar extractions in white female adolescents and adults. *Angle Orthod.* 2009;79(3):413-421
- ⁸ Germec-Cakan D, Canter HI, Nur B, Arun T. Comparison of facial soft tissue measurements on three-dimensional images and models obtained with different methods. *J Craniofac Surg.* 2010;21(5):1393-9.

-
- ⁹ See MS, Roberts C, Nduka C. Age- and gravity-related changes in facial morphology: 3-dimensional analysis of facial morphology in mother-daughter pairs. *J Oral Maxillo Fac Surg.* 2008;66(7):1410-6.
- ¹⁰ Sforza C, Ferrario VF. Three-dimensional analysis of facial morphology: growth, development and aging of the orolabial region. *Ital J Anat Embryol.* 2010;115(1-2):141-5.
- ¹¹ Ferrario VF, Dellavia C, Serrao G, Sforza C. Soft tissue facial angles in Down's syndrome subjects: a three-dimensional non-invasive study. *Eur J Orthod.* 2005;27(4):355-62.
- ¹² Heike CL, Upson K, Stuhaug E, Weinberg SM. 3D digital stereophotogrammetry: a practical guide to facial image acquisition. *Head Face Med.* 2010;28:6-18.
- ¹³ De Menezes M, Rosati R, Ferrario VF, Sforza C. Accuracy and reproducibility of a 3-dimensional stereophotogrammetric imaging system. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010;68(9):2129-35.
- ¹⁴ Wong JY, Oh AK, Ohta E, Hunt AT, Rogers GF, Mulliken JB, Deutsch CK. Validity and reliability of craniofacial anthropometric measurement of 3D digital photogrammetric images. *Cleft Palate Craniofac J.* 2008;45(3):232-9.
- ¹⁵ Rangel FA, Maal TJ, Berge´ SJ, van Vlijmen JC, PlooiJ JM, Schutyser F. Integration of digital dental casts in 3-dimensional facial photographs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:820-6.
- ¹⁶ Ferrario VF, Sforza C, Schmitz JH, Ciusa V, Dellavia C. Digitized three-dimensional analysis of normal dento-labial relationships. *Prog Orthod* 2001;2:14-21.
- ¹⁷ Sarver DM. The importance of incisor positioning in the esthetic smile: the smile arch. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;120:98-111.
- ¹⁸ Tadic N, Woods MG. Maxillary premolar extraction in class II treatment. *Angle Orthodontist,* 2007;77(5):808-816.
- ¹⁹ Fanibunda KB, Allcock GC, Thomason JM. Changes in the facial profile following insertion of complete dentures. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2002;10(4):143-9.

-
- ²⁰ Farkas L. G. Anthropometry of the head and face. Second Edition, Raven Press, 2000
- ²¹ Rosati R, De Menezes M, Rossetti A, Sforza C, Ferrario VF. Digital dental cast placement in 3D full face reconstruction: a technical evaluation. *Am J Orthod and Dentofacial Orthop*, 2010;138(1):84-88.
- ²² De Menezes M, Rosati R, Baga I, Mapelli A, Sforza C. Three-dimensional analysis of labial morphology: effect of sex and age. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2011;40(8):856-61.
- ²³ Sforza C, Grandi G, Binelli M, Dolci C, De Menezes M, Ferrario VF. Age- and sex-related changes in three-dimensional lip morphology. *Forensic Sci Int*. 2010;15(1-3):182-200.
- ²⁴ Winder RJ, Darvann TA, McKnight W, Magee JDM, Ramsay-Baggs P. Technical validation of the Di3D stereophotogrammetry surface imaging system. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2008;46:33-37.
- ²⁵ Vegter F, Hage JJ Clinical anthropometry and canons of the face in historical perspective. *Plast Reconstr Surg*. 2000;106(5):1090-6.
- ²⁶ Mizumoto Y, Deguchi T Sr, Fong KW Assessment of facial golden proportions among young japanese women. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2009;136(2):168-74.
- ²⁷ Kiekens RM, Kuijpers-Jagtman AM, van 't Hof MA, van 't Hof BE, Maltha JC. Putative golden proportions as predictors of facial esthetics in adolescents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008;134(4):480-3.
- ²⁸ Weinberg SM, Scott NM, Neiswanger K, Brandon CA, Marazita, ML. Digital three-dimensional photogrammetry: evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system. *Cleft Palate–Craniofac J*. 2004;41(5):507-518.
- ²⁹ Mane DR, Kale AD, Bhai MB, Hallikerimath S. Anthropometric and anthroposcopic analysis of different shapes of faces in group of Indian population: a pilot study. *J Forensic Leg Med*. 2010;17(8):421-5.

-
- ³⁰ Hönn M, Gözl G. The Ideal of Facial Beauty: A Review. *J Orofac Orthop.* 2007;68(1):6-16.
- ³¹ Kiekens RM, Kuijpers-Jagtman AM, Van't Hofc MA, Van't Hofd BE, Straatman H, Malthaf JC. Facial esthetics in adolescents and its relationship to "ideal" ratios and angles. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2008;133:188.e1-188.e8.
- ³² Jahanbin A, Basafa M, Alizadeh Y. Evaluation of the Divine Proportion in the facial profile of young females. *Indian J Dent Res.* 2008;19(4):292-6.
- ³³ Ghoddousi H, Edler R, Haers P, Wertheim D, Greenhill D. Comparison of three methods of facial measurement. *Int. J. Oral Maxillofac Surg.* 2007; 36: 250–258.
- ³⁴ Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE, Tartaglia G. Facial morphometry of television actresses compared with normal women. *J Oral Maxillofac Surg* 1995;53:1008-1014.
- ³⁵ Sforza C, Laino A, D'Alessio R, Grandi G, Tartaglia GM, Ferrario VF. Soft-Tissue Facial Characteristics of Attractive and Normal Adolescent Boys and Girls. *Angle Orthodontist* 2008;78(5):17-23.
- ³⁶ Sforza C, Laino A, D'Alessio R, Grandi G, Catti F, Ferrario VF. Three-dimensional facial morphometry of attractive adolescent boys and girls. *Prog Orthod* 2007;8(2):268-81.
- ³⁷ Sforza C, Laino A, D'Alessio R, Grandi G, Binelli M, Ferrario VF. Soft-tissue facial characteristics of attractive Italian women as compared to normal women. *Angle Orthod* 2009;79:17–23.
- ³⁸ Sforza C, Laino A, D'Alessio R, Grandi G, Dellavia C, Tartaglia GM, Ferrario VF. Three-dimensional facial morphometry of attractive Italian women. *Prog orto* 2007;8(2):282-93.
- ³⁹ Sforza C, Laino A, D'Alessio R, Dellavia C, Grandi G, Ferrario VF. Three-dimensional Facial Morphometry of Attractive Children and Normal Children in the Deciduous and Early Mixed Dentition. *Angle Orthodontist* 2007;77(6):1025-33.

-
- ⁴⁰ Sforza C, Laino A, Grandi G, Pisoni L, Ferrario VF. Three-dimensional facial asymmetry in attractive and normal people from childhood to young adulthood. *Symmetry* 2010;2:1925-44.
- ⁴¹ Mommaerts MY, Moerenhout BAMML. Ideal proportions in full face front view, contemporary versus antique. *J Cranio-Maxillo-Fac Surg.* 2011;39:107-10.
- ⁴² Sforza C, Elamin F, Rosati R, Lucchini MA, Tommasi DG, Ferrario VF. Three-dimensional assessment of nose and lip morphology in North Sudanese subjects with Down syndrome. *Angle Orthod.* 2011;81(1):107-14.
- ⁴³ Sforza C. Analisi tridimensionale non invasiva della crescita cranio facciale in dentizione decidua e mista precoce. Relazione a Convegno, Ortognatodonzia Italiana 2006;13:1-10.
- ⁴⁴ Rossetti A, Rosati R, Huanca Ghislanzoni LT, Tartaglia G, Lanza GC, Dolci C. A 3D non invasive assessment of the position of the occlusal plane. *Italian journal of anatomy and embryology* 2011;116:155-155.
- ⁴⁵ De Menezes M, Rossetti A, Bettoni AM, Lanza GC, Lodetti G, Sforza C. Simulation of the effect of dental modifications on facial soft tissues: a 3D stereophotogrammetric study. *Italian Journal of Anatomy and Embryology.* 2010;115(1/2):47-47.
- ⁴⁶ De Menezes M, Rosati R, Rossetti A, Lucchini M, Sforza C. Preliminary study for three-dimensional matching of digital dental casts and stereophotogrammetric acquisitions. In: *Medicalis: International congress for medical students and young doctors.* Cluj-Napoca 2009.
- ⁴⁷ De Menezes M, Rosati R, Rossetti A, Tommasi DG, Sforza C. Estudo preliminar na associação tridimensional de modelos dentais digitais e imagens 3D da face em stereofotogrametria. *Brazilian oral research* 2009;23(1):278-278.
- ⁴⁸ Sforza C, De Menezes M, Rosati R, Lucchini M, Baga I, Rossetti A. Validation of a 3d stereophotogrammetric imaging system for measuring facial soft tissues of healthy subjects. *Italian journal of anatomy and embryology* 2009(1)199-199.

Ringraziamenti

Dedico il presente lavoro

alle mie donne: Maria, Ginevra e alla sua sorellina, che è -ancora per poco- nel pancione di Maria.

Ringrazio

I miei genitori, per il loro esempio e sostegno ininterrotto.

Ringrazio

I colleghi Riccardo Rosati e Marcio De Menezes,
alla cui proficua collaborazione professionale si è affiancata, in questi tre anni,
stima e amicizia personale.

Un grazie particolare

alla Prof.ssa Chiarella Sforza,
per me valido esempio di operosità, rigore scientifico, chiarezza
e umanità.