



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova

Dipartimento: DAUR, Dipartimento Architettura Urbanistica Rilevamento

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN : ingegneria industriale

INDIRIZZO: Progettazione Meccanica e Ingegneria Motociclistica

CICLO: XXI

**STUDIO DI METODOLOGIE INGEGNERISTICHE INTEGRATE
PER LA PROTOTIPAZIONE VIRTUALE:
APPLICAZIONI AL SETTORE INDUSTRIALE E BIOMEDICALE**

Direttore della Scuola : Ch.mo Prof. P. Bariani

Supervisore :Ch.mo Prof. G. Concheri

Dottorando : Marco Melison

...accese

l'interuttore sul muro

ci fu un breve flash splendente e poi

la lampadina sul soffitto si

fulminò.

...

C. Bukowski

indice

riassunto tesi

PhD thesis summary

introduzione e scopo della tesi

1 metodologie di ricostruzione tridimensionale del viso, morfometria secondo

V.F. Ferrario e struttura tetraedrica

1.1 metodologie di ricostruzione tridimensionale del viso

1.2 morfometria secondo V. F. Ferrario

1.3 struttura tetraedrica usata per il calcolo dei volumi

2 ricostruzione del viso mediante laser scanner

2.1 reverse engineering

2.2 generalità nelle fasi di data capture e pre-processing

2.3 data capture: processo eseguito

2.4 pre processing: processo eseguito

2.5 analisi dell'errore nella ricostruzione del modello facciale

2.6 costruzione per il posizionamento dei punti di cheek

3 integrazione del metodo secondo V.F. Ferrario e del metodo mediante laser scanner: analisi dei volumi

3.1 struttura tetraedrica e mesh

3.2 volume della mesh e struttura tetraedrica

3.3 calcolo del volume: struttura tetraedrica

3.4 calcolo del volume: mesh

4 comparazione tra l'analisi dei volumi ottenuti con il metodo secondo V.F.

Ferrario ed il metodo mediante laser scanner

4.1 valori dei volumi

4.2 struttura dell'analisi dei dati

4.3 risultati

5 conclusioni

appendice 1: protocollo di acquisizione

appendice 2: dati analisi errore ricostruzione modello facciale

appendice 3: calcolo volume tetraedri:implementazione

**appendice 4: applicazione del calcolo volumetrico estratto da mesh durante
terapia**

bibliografia

ringraziaMenti

riassunto tesi

titolo:

STUDIO DI METODOLOGIE INGEGNERISTICHE INTEGRATE PER LA PROTOTIPAZIONE VIRTUALE: APPLICAZIONI AL SETTORE INDUSTRIALE E BIOMEDICALE

Sede Amministrativa:

Università degli Studi di Padova

Dipartimento:

DAUR, Dipartimento Architettura Urbanistica Rilevamento

scuola di dottorato di ricerca in : ingegneria industriale

indirizzo: Progettazione Meccanica e Ingegneria Motociclistica

ciclo: XXI

Direttore della Scuola : Ch.mo Prof. P. Bariani

Supervisore : Ch.mo Prof. G. Concheri

Dottorando : Marco Melison

Lo scopo della tesi è mettere a punto un nuovo sistema di valutazione sistematica dei volumi e confrontarlo con il metodo dei tetraedri utilizzato in letteratura. In relazione al trasferimento di tecnologie e metodologie consolidate in campo industriale verso il settore biomedicale questa tesi fa riferimento alla chirurgia maxillo facciale, ambito in cui sono state introdotte ed opportunamente ottimizzate le metodologie utilizzate nel Reverse Engineering. Si sono scansionati i visi di 14 pazienti e si sono ricostruiti i relativi modelli virtuali. Poiché il chirurgo maxillo facciale esegue spostamenti di volume all'interno del viso, risulta di rilievo l'analisi della distribuzione dei volumi del viso in fase di diagnosi e controllo. In letteratura è disponibile un data base di dati volumetrici del viso valutati su un'ampia casistica, la metodologia usata per costruirlo fa uso di strutture tetraedriche che non consentono di valutare il dettaglio della morfologia del viso. La metodologia proposta nella tesi usa un modello virtuale del viso e utilizza dei piani per limitare la mesh nella zona posteriore e superiore laterale del viso; nella parte posteriore coerentemente rispetto al metodo che usa i tetraedri, ma lascia inalterata la parte anteriore del viso oggetto di indagine. Si è calcolato il volume del viso con entrambi i metodi. I due metodi risultano correlati ($r=0,989$ $p<,001$) inoltre il rapporto tra il volume calcolato con i tetraedri ed il volume calcolato con la tecnica proposta risulta di 0,86 (SD 0,02), pari ad una sottostima del 13,3% del metodo tetraedrico rispetto all'altro. Questo dato migliora una stima eseguita in letteratura che riporta un 19%. La concordanza tra i due metodi consente di utilizzare i dati contenuti nel data base di normalità. La metodologia proposta risulta, per costruzione, più precisa poiché non esegue nessuna discretizzazione del tessuto molle.

PhD thesis summary

Title:

INTEGRATED ENGINEERING METHODOLOGY APPLIED TO VIRTUAL PROTOTYPING:
INDUSTRIAL AND BIOMEDICAL APPLICATIONS.

University information:

Università degli Studi di Padova

DAUR, Dipartimento Architettura Urbanistica Rilevamento

Phd school: industrial engineer

Course of Phd school: mechanical design and motorcycle engineering

Ciclo: XXI

Phd school director : Ch.mo Prof. P. Bariani

Supervisor : Ch.mo Prof. G. Concheri

PhD student: Marco Melison

This thesis makes a new structured methodology to evaluate human face facial volume and compares these results with tetrahedra methodology (currently used in literature). Today some technologies and methodologies are moving from industrial field, where are widely used and consolidated, to biomedical field. This document analyses maxillo facial surgery with Reverse Engineering techniques, conveniently adjusted. Fourteen human faces are reconstructed to generate a virtual face model. Maxillo facial surgery moves volumes in the face therefore is very important to discover and analyse face volume distribution in clinical diagnosis to make an efficient therapy plane. In literature exists a complete human face volume database, this database use tetrahedra method, this method can't evaluate human face detail. The new methodology descibed in this thesis uses a virtual facial model and geometric plane to limit virtual facial model volume in the back region and in the front upper side region; in the back region it uses tetrahedra structure while in the front region uses virtual facial model reconstruction surface. Volume value is computed with both methods. The two values were significantly related ($r=0,989$ $p<,001$), moreover the ratio between volume computed with tetrahedra and volume computed with proposed methodology is 0,86 (SD 0,02) equal to 13,3% underestimated. This value improves estimated value quote in letterature, equal to 19%. The relating analisys allows to use literature database. Volumes is best obtained with virtual facial model processing because this method can value soft tissue face details.

scopo ed introduzione della tesi

Un'analisi medica scompone il problema in tre fasi: la prima fase è costituita dalla diagnosi, la seconda dalla pianificazione del piano di trattamento terapeutico, la terza dall'esecuzione e dal controllo di tale piano. La diagnosi, cioè il capire il problema da affrontare, è un elemento fondamentale al fine sia di risolvere il problema in modo corretto sia per rendere la terapia meno invasiva e gravosa per la qualità della vita del paziente.

Nel campo della chirurgia maxillo facciale uno degli elementi critici e fondamentali è rappresentato dalla redistribuzione dei volumi del viso. Risulta quindi determinate avere degli strumenti, in fase di diagnosi, che forniscano indicazioni sulla distribuzione dei volumi del viso, per impostare poi un trattamento terapeutico e un intervento mirato. È in questo quadro generale che diventa importante l'analisi e la selezione degli strumenti, delle tecnologie e delle metodologie note e consolidate in campo industriale per trasferirle nell'ambito della chirurgia maxillo facciale. Possedere un modello virtuale del viso costituisce un passo decisivo per poter eseguire non solo una diagnosi corretta ma anche per poter simulare una terapia ed i relativi risultati; parallelamente nel campo industriale è strategico disporre di modelli virtuali da elaborare per analizzare varie ipotesi di soluzione.

La presente tesi fa uso delle tecniche di reverse engineering, ampiamente utilizzato nell'industria, per ricavare un modello virtuale del viso. La diversità dell'ambito in cui queste tecniche vengono applicate richiede un'attenzione particolare al fine di ottimizzare il risultato nel settore di trasferimento. Dal modello virtuale vengono isolate e calcolate delle porzioni di volume che costituiscono un elemento chiave nella diagnosi. Il modello virtuale del viso risulta, inoltre, un elemento base per simulare interventi chirurgici, interfacciarsi con sistemi che consentono la guida robotizzata agli interventi chirurgici, la costruzione di placche occlusali di guida per la riposizione spaziale dei mascellari ostetomizzati.

La migliore forma dei tessuti molli che coprono lo scheletro e la dentatura è attualmente il focus della ricerca avanzata riguardo l'estetica facciale: una appropriata dimensione (size), configurazione (shape) e volume dei tessuti molli sono l'obiettivo di tutte le tecniche di modificazione facciale conosciute. Esiste un sostanziale accordo tra chirurghi maxillo-facciali, ortodontisti e chirurghi plastici circa l'opportunità di non sottrarre volume al viso ma al contrario incrementarlo quando ciò è possibile. Una corretta distribuzione dei volumi, quindi, è essenziale per un eccellente risultato estetico. Se l'obiettivo è chiaro non lo è altrettanto il metodo con il quale una anomalia di distribuzione dei volumi deve essere diagnosticata. È necessario infatti individuare la sede dell'anomalia, la sua natura (deficit o surplus), l'entità della deviazione dalla norma statistica e infine il disequilibrio di proporzione con le altre parti del viso: queste sono informazioni di grande aiuto alla decisione

clinica. E' necessario anche disporre di un sistema di valutazione accurata delle variazioni volumetriche del viso determinate dai vari tipi di interventi chirurgici per comprenderne gli effetti e utilizzarli in modo appropriato. Il maggiore contributo all'analisi dei volumi facciali è stato dato dall'analisi antropometrica tridimensionale mediante landmarks posizionati direttamente (in vivo) sulla superficie cutanea. La registrazione delle coordinate tridimensionali dei landmarks mediante uno scanner elettronico o elettromeccanico consente la costruzione di tetraedri costruiti nella zona facciale di cui si desidera misurare il volume. Tale metodica si è dimostrata efficace per descrivere la variabilità volumetrica dovuta alla crescita facciale, ad anomalie genetiche. L'analisi delle variazioni dei volumi facciali dovute alla chirurgia è stata introdotta più recentemente e si è dimostrata efficace nel descrivere le variazioni di volume determinate dalla chirurgia. Teoricamente il limite di questa metodica consiste nel fatto che i punti utilizzati per la descrizione della superficie sono limitati e quindi il volume misurato con i tetraedri è una approssimazione per difetto di quello reale compreso all'interno della superficie facciale. Questa supposizione richiede una verifica applicando l'analisi antropometrica per punti ad un 3D facial model della superficie facciale acquisito mediante sistemi di scansione. Infatti se si dispone di una mesh facciale è possibile applicare contemporaneamente il "tetrahedron formation method" con il "back-plane construction method" (metodo a piani di taglio). Il confronto tra le informazioni fornite dai due tipi di analisi è stato applicato finora solo a parti limitate del viso.

Bisogna chiarire il concetto di volume misurato mediante acquisizione delle superfici facciali: non è chiara in letteratura la distinzione semantica tra *soft-tissue* e *facial*. *Soft tissue volumetric data*: con questo termine deve essere inteso il volume dei tessuti molli compreso tra la superficie cutanea e la superficie dei tessuti di supporto, scheletrico e dentale. Quando invece si misurano i volumi mediante tetraedri oppure i volumi compresi all'interno della superficie facciale e dei piani di sezione posteriori che ne delimitano una porzione, più correttamente si dovrebbe dire *facial volumetric data* in quanto i volumi misurati si riferiscono a tutti i tessuti che compongono la faccia all'interno della porzione di spazio considerata.

Lo scopo di questo lavoro è quello di applicare in modo sistematico i due metodi al viso intero. Sarà testata l'affidabilità della metodica antropometrica di misurazione dei volumi facciali quando essa è applicata ad un 3D facial model. Saranno poi misurati i volumi facciali limitati dalla superficie dei tessuti molli e da alcuni piani posteriori e i risultati messi a confronto allo scopo di definirne correlazioni e differenze.

1 metodologie di ricostruzione tridimensionale del viso, morfometria secondo V.F. Ferrario e struttura tetraedrica

In questo capitolo viene riportata una revisione della letteratura sulle metodologie usate per la ricostruzione tridimensionale del viso e viene descritta la morfologia secondo V.F. Ferrario.

1.1 metodologie di ricostruzione tridimensionale del viso

In letteratura sono stati proposti numerosi metodi di ricostruzione e analisi tridimensionale del viso (19) .

Nella pratica clinica si pongono alcune condizioni per un uso routinario che sono:

- il costo biologico minimo o nullo
- una efficacia reale in funzione della accuratezza di previsione del risultato chirurgico

Le metodiche che hanno dimostrato efficacia clinica sono essenzialmente due: TC scan e i Structured Light Systems come quelli basati su scansione Laser e la combinazione dei due.

Per le metodiche che prevedono l'utilizzo del TC la limitazione principale consiste nella alta dose di radiazioni ionizzanti che il paziente deve assorbire prima e dopo il trattamento chirurgico.

La tecnologia basata su Structured Light Systems non presenta questa limitazione biologica ed etica. Si è dimostrata capace di riprodurre fedelmente il viso, consente di valutare le caratteristiche della geometria della superficie facciale e nelle applicazioni cliniche ha consentito di valutare con accuratezza le modificazioni della superficie del viso.

Avere a disposizione un modello virtuale del viso, con una affidabile rappresentazione dei tessuti molli, consente tre importanti applicazioni:

- un'analisi e una metodologia che consenta di individuare una serie di parametri che consentano una descrizione oggettiva:
 - della superficie del viso
 - del volume del viso
- un'analisi ed una metodologia che consenta di confrontare visi in seguito ad

una terapia o ad interventi chirurgici.

- La possibilità di eseguire delle simulazioni verosimili in funzione della cura e dell'intervento chirurgico

Le metodiche illustrate, in funzione degli scopi clinici descritti, presentano alcune limitazioni:

- la mancanza di informazioni sui tessuti di supporto. Recentemente è stata proposta una soluzione mediante la quale è possibile riprodurre e posizionare le arcate dentarie all'interno del modello del viso. E' possibile pertanto disporre di un modello parziale dei tessuti di supporto utilizzando una tecnica non invasiva.
- La critica fondamentale a tutti i metodi di previsione chirurgica è che non si basano su una effettiva misurazione del comportamento non lineare dei tessuti molli dopo chirurgia del viso.
- L'analisi della superficie del viso e della struttura volumetrica presenta metodologie che non utilizzano in modo completo strumenti avanzati che possono concorrere a un miglioramento e ampliamento delle analisi esistenti

Da questo emerge la necessità irrinunciabile di poter disporre di un campione di pazienti trattati sufficientemente ampio che consentano di elaborare tutte le informazioni tridimensionali utili per migliorare l'analisi geometrica dei volti integrando la letteratura esistente.

Nel documento proposto si andrà a descrivere la metodologia usata per la ricostruzione tridimensionale del volto e ad eseguire un'analisi volumetrica comparandola con la teoria consolidata in letteratura.

1.2 morfometria secondo V.F. Ferrario

La morfometria si definisce come lo studio quantitativo della variazione delle forme biologiche. La morfometria costituisce, perciò, il trattamento formale delle differenze geometriche tra forme biologiche. Tale formalismo deriva da un rapporto stretto e reciproco tra le metodologie numeriche e statistiche utilizzate e criteri biologici. Il formalismo procedurale è definito nella morfometria geometrica in modo tale che diviene possibile descrivere in modo ripetibile e oggettivo i cambiamenti di forma tra organismo ed organismo oppure all'interno dello stesso organismo che muta in conseguenza a crescita o modificazione terapeutica. In biologia la descrizione della variabilità della forma è necessaria per definire i processi evolutivi oppure inquadrare in modo sistematico gli appartenenti ad una categoria.

Le procedure morfometriche costituiscono una felice sintesi tra l'approccio biometrico di Karl Pearson, Sewall Wright e Fischer ("Morfometria Multivariata") alla possibilità di rappresentare la variabilità delle forme in modo grafico secondo le

intuizioni di D'Arcy Thompson³, "Morfometria Descrittiva", con le sue scoperte delle trasformazioni dovute alla prospettiva.

La morfometria della nuova sintesi è nata dal lavoro di una ristretta schiera di studiosi tra i quali i principali sono Fred Bookstein e Jim Rohlf sul finire degli anni 80. Per una analisi dei loro contributi si legga il testo citato in bibliografia. I lavori e gli studi di Virgilio Ferruccio Ferrario occupano una posizione originale nel panorama della morfometria geometrica vuoi per il campo particolare d'indagine, il volto umano, sia per le soluzioni tecniche adottate in termine di raccolta e di elaborazione dati. Seppur incompleta questa rassegna dei concetti utilizzati nelle sue ricerche danno un'idea delle analogie e delle differenze tra il suo metodo e quello della scuola americana.

Generalità sull'analisi della forma.

Il linguaggio della morfometria geometrica segue una metodologia ripetibile e risponde a due requisiti fondamentali:

1-*Omologia*. Le forme biologiche e dunque i caratteri che si prendono in esame per essere comparabili debbono necessariamente essere caratterizzate implicitamente da un criterio di omologia. In termini biometrici, l'omologia è da considerarsi come una funzione topografica (mapping), una corrispondenza di punti piuttosto che tra parti.

2-*Analisi Statistica Delle Differenze Geometriche Della Forma*. Lo studio delle differenze nella forma deve esser effettuato seguendo il formalismo che deriva dalla coniugazione delle proprietà geometriche che le forme biologiche hanno nello spazio con metodologie algebriche e statistiche esplicite.

Omologia

Il punto antropometrico:

1-indica

2-riassume

3-e localizza spazialmente

con coordinate xyz qualsivoglia struttura biologica, purchè la sua scelta sia congrua a questi tre fini.

Si tratta dunque di utilizzare un insieme di misurazioni in grado di rilevare diversità tra insiemi corrispondenti di punti matematici, a patto di aver assegnato in precedenza gli stessi nomi a tali insiemi (punta del naso, ala del naso ecc.). In tal modo si rende implicito in questa rappresentazione topologica il concetto di omologia biologica. (Ogni soggetto studiato possedendo gli stessi punti anatomici collocati approssimativamente nella stessa zona presenta una omologia biologica).

Mutuando l'approccio morfologico di Farkas, Ferrario ne accoglie i punti morfometrici e ne aggiunge di propri.



*Immagine 1.1: Descrizione dei punti antropometrici
(report interno del LAFAS, per gentile concessione del prof. V.F.Ferrario)*

Punti di repere impari e mediani.

1. **Trichion "tr"**: punto della fronte appartenente alla line mediana localizzato in corrispondenza dell'attaccatura dei capelli.
2. **Gabella "g"**: punto più prominente appartenente alla line mediana localizzato tra le due arcate sopraccigliari.
3. **Nasion "n"**: punto appartenente alla linea mediana localizzato al livello della radice del naso in corrispondenza della sutura nasofrontale. Si trova al di sopra della linea congiungente i due canti interni.
4. **Pronasale "prn"**: punto più prominente appartenente alla linea mediana localizzato al livello dell'apice del naso.
5. **Columella "c"**: punto della columella appartenente alla linea mediana localizzato all'altezza del limite anteriore delle narici.

6. **Subnasale “sn”**: punto più basso della columella appartenente alla linea mediana.
7. **Labiale superiore “ls”**: punto appartenente alla linea mediana localizzato al confine mucocutaneo del labbro superiore.
8. **Stomion “sto”**: punto immaginario localizzato al livello dell’intersezione tra la linea mediana e la fessura labiale orizzontale. Per la sua identificazione il soggetto deve mantenere le labbra in postura abituale.
9. **Labiale inferiore “li”**: punto appartenente alla linea mediana localizzato al livello del confine mucocutaneo del labbro inferiore.
10. **Sublabiale “sl”**: punto appartenente alla linea mediana localizzato al livello del solco mentolabiale.
11. **Pogonion “pg”**: punto più prominente del mento appartenente alla linea mediana.
12. **Gnathion “gn”**: punto più inferiore appartenente alla linea mediana localizzato sul margine inferiore del corpo della mandibola.

Punti di repere pari e simmetrici.

13. **Tragion “t”**: punto localizzato al livello dell’incisura del margine superiore del trago.
14. **Preaurale “pra”**: punto più anteriore dell’orecchio localizzato appena di fronte all’attacco.
15. **Superaurale “sa”**: punto più alto del margine libero dell’orecchio.
16. **Postaurale “pa”**: punto più posteriore del margine libero dell’orecchio.
17. **Subaurale “sba”**: punto più basso del margine libero del lobo dell’orecchio.
18. **Frontotemporale “ft”**: punto della fronte localizzato lateralmente all’elevazione della linea temporale. Esso corrisponde con approssimazione al punto terminale della coda del sopracciglio.
19. **Zygion “zy”**: punto più laterale dell’arcata zigomatica.
20. **Gonion “go”**: punto più laterale dell’angolo mandibolare.
21. **Incisura sovraorbitaria “is”**: punto localizzato al livello dell’incisura sovraorbitaria sul margine orbitario superiore.
22. **Exocanthion “ex”**: punto localizzato al livello della commissura esterna della fessura oculare.
23. **Orbitale “or”**: punto più basso localizzato sul margine inferiore dell’orbita.
24. **Endocanthion “en”**: punto localizzato al livello della commissura interna della fessura oculare.
25. **Malare (cheek) “chk”**: punto localizzato al livello dell’intersezione tra la congiungente “Tragion-Cresta Alare” e la congiungente “Exocanthion-Cheilion”. Per individuarlo servirsi dell’apposito archetto metallico con il quale si provoca sulla cute del soggetto un leggero arrossamento lineare.
26. **Cresta alare “ac”**: punto più laterale appartenente al contorno dell’ala del naso.
27. **Alare “al”**: punto più laterale appartenente al contorno dell’ala del naso.
28. **Terminare inferiore della narice “itn”**: punto più inferiore della narice.
29. **Terminale superiore della narice “stn”**: punto più superiore della narice.
30. **Crista Philtri “cph”**: punto appartenente al margine elevato del filtro localizzato

appena al di sopra del confine mucocutaneo.

È evidente che l'approccio che utilizza misurazioni di distanza, tra cui non vi è alcuna relazione spaziale, può seriamente inficiare l'identificazione di reali differenze di forma. L'approccio della morfometria geometrica al problema consiste nel rilevare i punti come coordinate cartesiane. Tali sistemi di coordinate, oltre ad offrire la possibilità di effettuare le ordinarie misure, possono essere traslati e sovrapposti l'uno sull'altro in modo da evidenziare in modo visivo ed immediato le differenze di forma. Inoltre, le coordinate stesse possono essere sottoposte ad una qualsiasi verifica statistica volta alla stima delle differenze.

Da quanto detto risulta intuitivo che la forma è un concetto generale che include due aspetti. Nella lingua inglese il problema è stato risolto includendo nella parola "form" sia "size" che "shape"; nella lingua italiana, M. Conti suggerisce di utilizzare i termini "dimensioni" e "configurazione" per identificare le due componenti della forma.

La misura della variabilità della forma del viso.

Procedura di raccolta dei dati.

La metodica è stata descritta in dettaglio dall'autore che l'ha messa a punto. Il soggetto in esame è collocato in una sedia con craniostato regolabile in altezza per adattarsi alle diverse caratteristiche somatiche. La testa è orientata con lo sguardo rivolto all'orizzonte, grossomodo corrispondente alla postura naturale del capo. Sul viso vengono localizzati 50 punti antropometrici mediante ispezione e palpazione e marcati con un liquido, eye-liner, a rapido asciugamento.

Le coordinate tridimensionali (x,y,z) dei landmarks facciali sono ottenute mediante un digitalizzatore tridimensionale elettromagnetico computerizzato (3Draw, Polhemus Inc., Colchester, VT). Il sistema ha una risoluzione-macchina di 0,005 mm di range e una accuratezza di 0.008 mm e il riferimento esterno è rappresentato da una piastra di acquisizione posta posteriormente alla testa del soggetto in esame e fissata alla poltrona. La riproducibilità dell'identificazione e della marcatura dei punti antropometrici, e della raccolta dei dati è stata valutata nel medesimo articolo.

La misura delle dimensioni (size) e della configurazione (shape).

L'analisi delle dimensioni è una procedura ben conosciuta che si avvale della comune matematica e della geometria Euclidea.

Dimensioni. (Size)

Possibili misure delle dimensioni.

1. Misura lineare del segmento compreso tra due punti.
2. Distanza: segmento di proiezione tra punto e segmento di riferimento.
3. Angoli: porzione di piano compresa fra tre punti.
4. Valutazione dell'asimmetria facciale.

Il piano sagittale mediano di simmetria facciale passa attraverso il punto nasion, ortogonale al piano che connette i due exocanthion (al nasion).

Il centro di gravità (CG) è calcolato dai punti pari e simmetrici endocanthion, orbitale superius, frontotemporale, zygion, ragion, nasal alar crest, cheilion an gonion landmarks. Il CG di destra viene traslato specularmente (mirrored) nel lato sinistro della faccia. Dal confronto tra i due centri di gravità delle emifacce si ricava il:

Lateral Facial Asymmetry (DFSI ; unit mm) definito come distanza tra il centro di gravità sinistro e il destro mirrorizzato. E' possibile anche determinare separatamente l'asimmetria delle strutture mediane mediante il cosiddetto coefficiente di asimmetria mediana.

Midline asymmetry: (DFS_m; unit mm) calcolato come distanza delle coordinate x dei punti impari mediani nasion, pronasale, subnasale, pogonion e menton.

Total asymmetry: è stata anche calcolata la somma delle due asimmetrie, laterale e mediana $DFS_t = DFSI + DFS_m$; unit mm) ed è stata espressa come percentuale DFS% rispetto alla distanza tra nasion-CG (media tra centro di gravità destro e sinistro).

5.Valutazione dei volumi facciali.

Volume facciale totale = volume di tutte le strutture facciali comprese dall'involucro cutaneo fino al piano quasi frontale che passa tra trichion, i tragi e gli angoli mandibolari.

Volume del terzo medio facciale (Mascella)= volume compreso tra il piano quasi orizzontale passante tra i tragi e gli evocanti e il piano che connette i punti cheilion e i tragi, approssimativamente al mascellare e la regione delle guance.

Volume del terzo inferiore (Mandibola)= volume compreso tra il piano cheilion-tragi e il piano tra i gonion e il pogonion.

6.Valutazione delle aree facciali.

Sono le aree comprese nei triangoli compresi tra i punti.

La biometria clinica tra misura e rappresentazione.

L'analisi delle procedure morfometriche per landmarks, che interessa questo elaborato, verte sulle possibilità di utilizzo clinico. Non si tratta di verificare la congruenza tra necessità cliniche e l'utilità della biometria, cosa già ampiamente dimostrata da quasi cento anni di cefalometria e profilometria. Si tratta di identificare un eventuale progresso concettuale che le metodiche tridimensionali possono apportare in tal senso. Le finalità della biometria clinica sono diagnostiche e terapeutiche.

Necessità Diagnostiche.

Essenzialmente si tratta di identificare la variabilità della forma del viso di un caso in esame rispetto ad un campione dello stesso sesso, età e gruppo etnico. Naturalmente questo è possibile se si dispone di un campione di riferimento. Questo campione esiste ed è l'unico database di misure tridimensionali dei tessuti molli del viso esistente per la popolazione italiana, riferito a differenti fasce di età, per i due sessi. L'identificazione sistematica, struttura per struttura, della variazione individuale della forma del viso (shape and size) è consentito dall'utilizzo di questo database. E questo è uno strumento prezioso che deve entrare nell'uso clinico quotidiano al più presto.

Questa possibilità costituisce forse il maggiore contributo al progresso della morfometria clinica di Ferrario ed è utilizzabile con ogni sistematica di riproduzione tridimensionale del viso. Il secondo progresso raggiunto dalla morfometria è stato quello di poter separare nel giudizio della forma la componente della configurazione (Shape) da quello della dimensione (Size). Riguardo quest'ultimo aspetto è importante verificare se le procedure precedentemente descritte forniscono le informazioni fornite dalle altre metodiche presenti in letteratura.

Il limite maggiore di queste tecniche sofisticate era la bidimensionalità dell'indagine, oggi superata da algoritmi che ripetono queste procedure nelle tre dimensioni dello spazio.

La metodologia proposta da Ferrario essenzialmente procede con gli stessi concetti applicati all'indagine tridimensionale. Una differenza rimarcabile è rappresentata dalla soluzione originale della mesh come strumento di posizionamento standardizzato della testa e di ridimensionamento delle misure facciali. Infatti non sono i singoli punti a essere direttamente mossi scalando la loro distanza dal centroide del viso ma è l'intero graticcio a ridimensionarsi trascinando con se tutti i punti antropometrici. Questa soluzione è particolarmente adatta allo studio dei cambiamenti facciali nel periodo della crescita. La valutazione della testa è usualmente realizzata in una posizione standard che corrisponde grossomodo all'orizzontalità dello sguardo. Il riposizionamento e il cambiamento di scala a testa orientata consente la comparazione agevole di un singolo caso con se stesso in momenti diversi dello sviluppo facciale oppure con una testa ideale di riferimento per sesso, età e gruppo etnico di appartenenza.

Necessità Terapeutiche.

La terapia è un iter che si snoda in alcune tappe fondamentali. Le prime tappe sono di tipo decisionale ed è in questo momento che il clinico sente la necessità di un supporto alla decisione. La prima questione riguarda la formulazione del piano di trattamento (TP) che essenzialmente è un progetto di modificazione della forma del viso. Dove modificarla (Location), quanto (Size) e come (Shape) è una decisione da prendere in base a dati oggettivi desunti dalla diagnosi e in base a dati soggettivi relativi all'esperienza e alla capacità dell'operatore. La seconda questione riguarda la possibilità di verifica che il TP sia congruo con le necessità del paziente. Sistemi di chirurgia virtuale e di previsualizzazione sono strumenti agli albori e necessitano uno sforzo notevole sia tecnologico sia culturale. La terza questione riguarda la possibilità di ottenere un consenso informato dal paziente. Questa breve descrizione delle necessità cliniche pre terapia indicano chiaramente la necessità di una rappresentazione fedele del viso. Possiamo quindi concludere che accanto alla necessità di misura esiste una necessità di rappresentazione. Ad avviso del dot. Peretta la biometria tridimensionale, e in particolar modo quella che si definisce morfometria geometrica, ha aggiunto alla possibilità di misurare la forma anche la capacità di rappresentarla e questo è un progresso. E' evidente però che le caratteristiche di uno strumento vanno commisurate all'uso che se ne fa. La

rappresentazione per mesh può essere sufficiente per scopi di studio quando si desidera quantificare l'andamento di un qualsiasi aspetto biometrico ma non è adatta alla rappresentazione del viso a scopo clinico perché ne toglie la riconoscibilità. E questo aspetto è di primaria importanza sia per il chirurgo che per il paziente i quali fanno della riconoscibilità del viso lo strumento decisivo, l'uno per la decisione clinica e l'altro per il consenso informato. Per una efficace rappresentazione del viso occorrono altri strumenti quali la scansione laser, texturizzata con la foto del paziente stesso.

Limiti concettuali della metodica morfometrica nella valutazione dei cambiamenti dovuti alla chirurgia.

Quando un paziente viene operato le dimensioni del viso vengono alterate in modo significativo: ad esempio la verticalità del viso può essere ridotta anche di due centimetri. Per la stima della variazione di shape dell'intero viso la procedura di confronto prevede le tre tappe canoniche di: scalare, traslare e ruotare. La procedura di scala mediante mesh prevede di riconfigurare le dimensioni post chirurgiche rispetto alla faccia iniziale senza perdere le proporzioni reciproche della mesh in esame. Ciò, però, induce una variazione di dimensione sia della parte trattata sia della parte non trattata chirurgicamente e quindi l'introduzione di un errore nella valutazione della variazione di shape una volta confrontata per sovrapposizione. La procedura di scala globale del viso funziona ragionevolmente bene quando valuta le variazioni introdotte dalla crescita, condizione nella quale tutti i punti si muovono per effetto dello sviluppo facciale. Nella chirurgia, invece, solo parte del viso è modificata e quindi solo alcuni punti si muovono. La parte non modificata dovrebbe essere utilizzata come struttura di sovrapposizione.

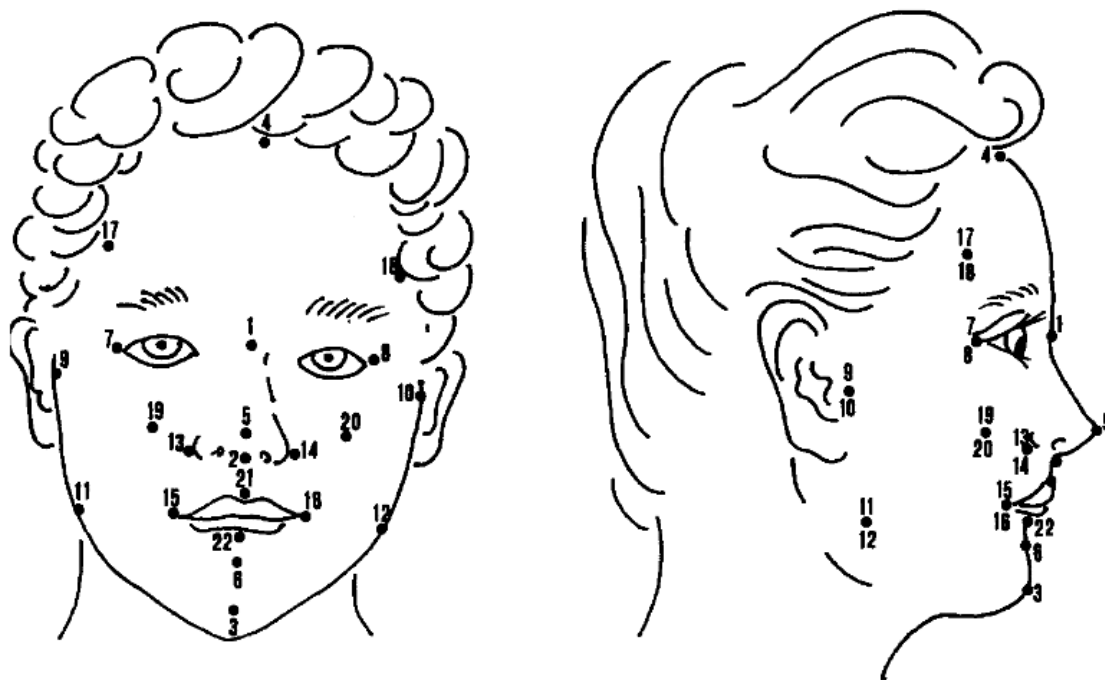
L'altro limite metodologico riscontrato nella biometria per punti è quello della determinazione del piano di simmetria. In sintesi possiamo dire che non è corretto utilizzare alcuna parte del viso come riferimento per la costruzione del piano dato che nel viso asimmetrico tutte le parti che lo compongono sono affette da asimmetria: orbite e orecchie comprese.

Un altro limite metodologico riscontrato è la necessità di avere una corretta e affidabile mappatura dei tessuti molli per poter valutare in modo affidabile la corretta strategia d'azione.

1.3 struttura tetraedrica usata per il calcolo dei volumi

Il centro di interesse dell'elaborato proposto è nel calcolo dei volumi, in questa sezione viene quindi presentato l'approccio usato da V.F.Ferrario per il calcolo dei volumi. Per questa sezione si fa riferimento all'articolo "A computerized non-invasive method for the assesment of human facial volume" Ferrario et al., Journal of Cranio Maxillo-Facial Surgery 1995 (23), 280-286.

In sintesi il metodo proposto consiste nel riavere sul viso una serie di tetraedri aventi come vertici i punti antropometrici riportati. Tale struttura tetraedrica viene suddivisa in tre regioni principali: superiore, media ed inferiore più una quarta regione nella zona del naso.



Median points (on the mid-sagittal plane)

1 Soft tissue nasion	N'	4 Trichion	Tri
2 Subnasale	Sn	5 Pronasale	Pn
3 Soft tissue pogonion	Pg'	6 Soft tissue B' point	B'
21 Upper lip	UL	22 Lower lip	LL

Right side

- 7 Can_r
- 9 Tr_r
- 11 Go'_r
- 13 Ala_r
- 15 Com_r
- 17 FT_r
- 19 CK_r

Lateral points

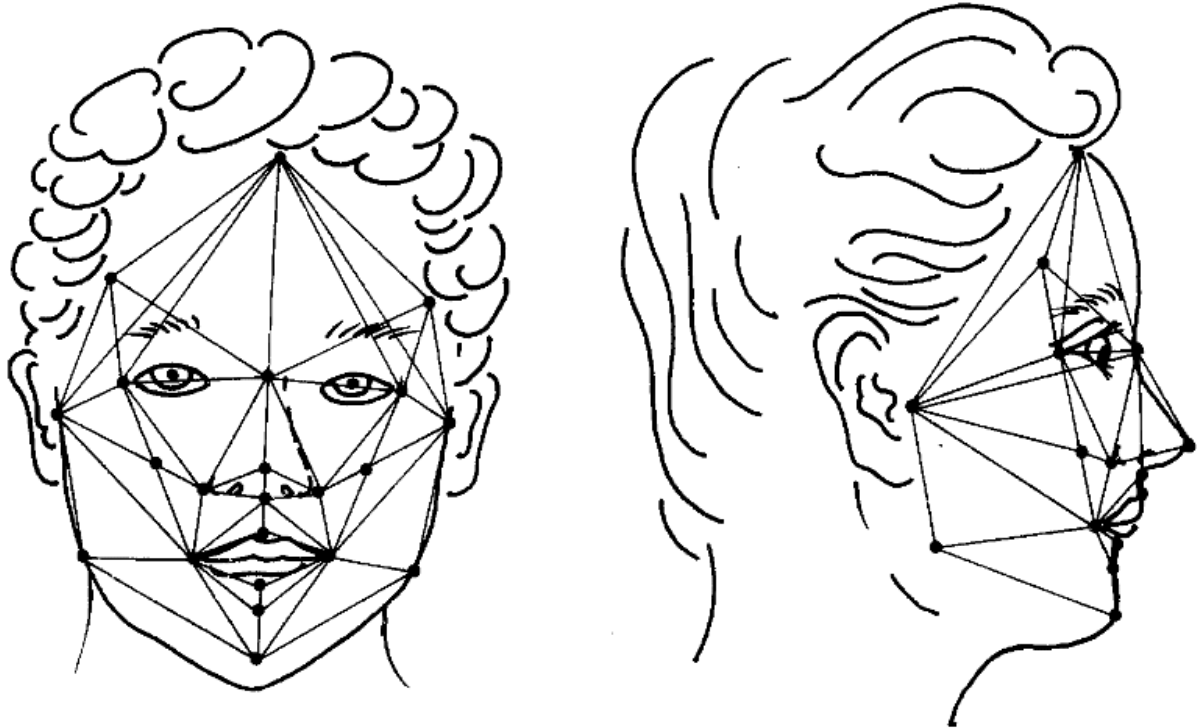
- Eye lateral canthus
- Tragus
- Soft tissue gonion
- Nasal ala
- Labial Commissura
- Fronto-temporal
- Cheek

Left side

- Can_l 8
- Tr_l 10
- Go'_l 12
- Ala_l 14
- Com_l 16
- Ft_l 18
- Ck_l 20

Immagine 1.2: L'immagine riporta il posizionamento dei punti antropometrici

Struttura tetraedrica:



definizione dei tetraedri:

Volume	Tetrahedron		Reference	Approximated anatomical region/space	
	Apex	Base			
1. Facial upper third	Tri	N'-Can _r -Tr _r	4 1-7-9	Right side	
	Tri	N'-Tr _r -Tr _l	4 1-9-10	Centre	
	Tri	N'-Can _r -Tr _l	4 1-8-9	Left side	
	FT _r	N'-Tri-Can _r	17 1-4-7	Right frontal	
	FT _l	N'-Tri-Can _l	18 1-4-8	Left frontal	
	FT _r	Tri-Can _r -Tr _r	17 4-7-9	Right lateral	
	FT _l	Tri-Can _l -Tr _l	18 4-8-10	Left lateral	
	2. Facial middle third	Ala _r	N'-Can _r -Com _r	13 1-7-15	Right cheek
		Ala _l	N'-Can _l -Com _l	14 1-8-16	Left cheek
		FT _r	Can _r -Tr _r -Com _r	17 7-9-15	Right cheek superficial
FT _l		Can _l -Tr _l -Com _l	18 8-10-16	Left cheek superficial	
Sn		N'-Ala _r -Com _r	2 1-13-15	Right premaxilla	
Sn		N'-Com _r -Com _l	2 1-15-16	Middle premaxilla	
Sn		N'-Ala _l -Com _l	2 1-14-16	Left premaxilla	
Tr _m		N'-Tr _r -Com _r	23 1-9-15	Right maxilla	
Tr _m		N'-Tr _l -Com _l	23 1-10-16	Left maxilla	
Tr _m		N'-Com _r -Com _l	23 1-15-16	Nasal cavity	
Can _r		N'-Com _r -Tr _r	7 1-15-9	Right zygomata base	
Can _l		N'-Com _l -Tr _l	8 1-16-10	Left zygomata base	
Ch _r		Can _r -Ala _r -Com _r	19 7-13-9	Right zygomata superficial	
Ch _l		Can _l -Ala _l -Com _l	20 8-14-10	Left zygomata superficial	
3. Facial lower third	UL	Sn-Com _r -Com _l	21 2-9-10	Upper lip	
	Tr _m	Tr _r -Go _r '-Com _r	23 9-11-15	Right infratemporal fossa	
	Tr _m	Tr _l -Go _l '-Com _l	23 10-12-16	Left infratemporal fossa	
	Tr _m	Pg'-Go _r '-Com _r	23 3-11-15	Right oral cavity	
	Tr _m	Pg'-Go _l '-Go _l '	23 3-11-12	Middle oral cavity	
	Tr _m	Pg'-Go _l '-Com _l	23 3-12-16	Left oral cavity	
	Tr _m	Pg'-Com _r -Com _l	23 3-15-16	Chin base-tongue	
	B' _r	Pg'-Com _r -Com _l	6 3-15-16	Chin superficial	
	LL	B'-Com _r -Com _l	22 6-15-16	Lower lip	
	4. Nose	Ala _r	N'-Pn-Sn	13 1-5-2	Right side
Ala _l		N'-Pn-Sn	14 1-5-2	Left side	

Immagine 1.3: L'immagine riporta la costruzione della struttura tetraedrica.

la procedura di calcolo descritta è stata implementata, i risultati sono disponibili nel capitolo 2.

2 ricostruzione del viso mediante laser scanner

In questo capitolo viene descritta la procedura usata per ricavare una mesh completa dal viso reale del paziente.

La riproduzione del viso mediante scansione laser è la metodica che meglio soddisfa le necessità di riproduzione dei tessuti molli del viso. Il primo risultato di eccellenza offerto da questa metodica è la capacità di rappresentazione realistica del volto. Il viso è ricostruito a partire da una nuvola di punti triangolati da un apposito algoritmo. Si forma in questo modo una mesh che approssima la superficie con una elevata precisione. Questa mesh può essere texturizzata dall'immagine del paziente restituendo una straordinaria verosimiglianza fotografica del volto. Il secondo risultato di eccellenza offerto dalla metodica è la possibilità di elaborare geometricamente e matematicamente i dati in modo da estrarre misure lineari, di angoli, di superfici, di volume, di curvatura dell'intera mesh o di una sua parte.

2.1 reverse engineering

Con il termine *Reverse Engineering* si intendono tutte le operazioni e le relative tecnologie e metodologie che sono necessarie per passare da un modello fisico (reale) ad un modello virtuale che riproduce il modello reale stesso.

Per modello virtuale si intende un modello presente all'interno di un computer, come descritto nel seguito questo modello può essere costituito da una nuvola di punti, una mesh oppure da un set di superfici.

Le fasi generali del processo di Reverse Engineering sono le seguenti:

- data capture
- pre processing
- segmentation curve e surface fitting
- cad model creation

Per gli scopi e il raggiungimento degli obiettivi di questa ricerca le elaborazioni eseguite sui dati tridimensionali sono state concluse al secondo passaggio in quanto non aveva senso procedere con l'elaborazione delle superfici e tanto meno sulla creazione di un modello CAD.

REVERSE ENGINEERING

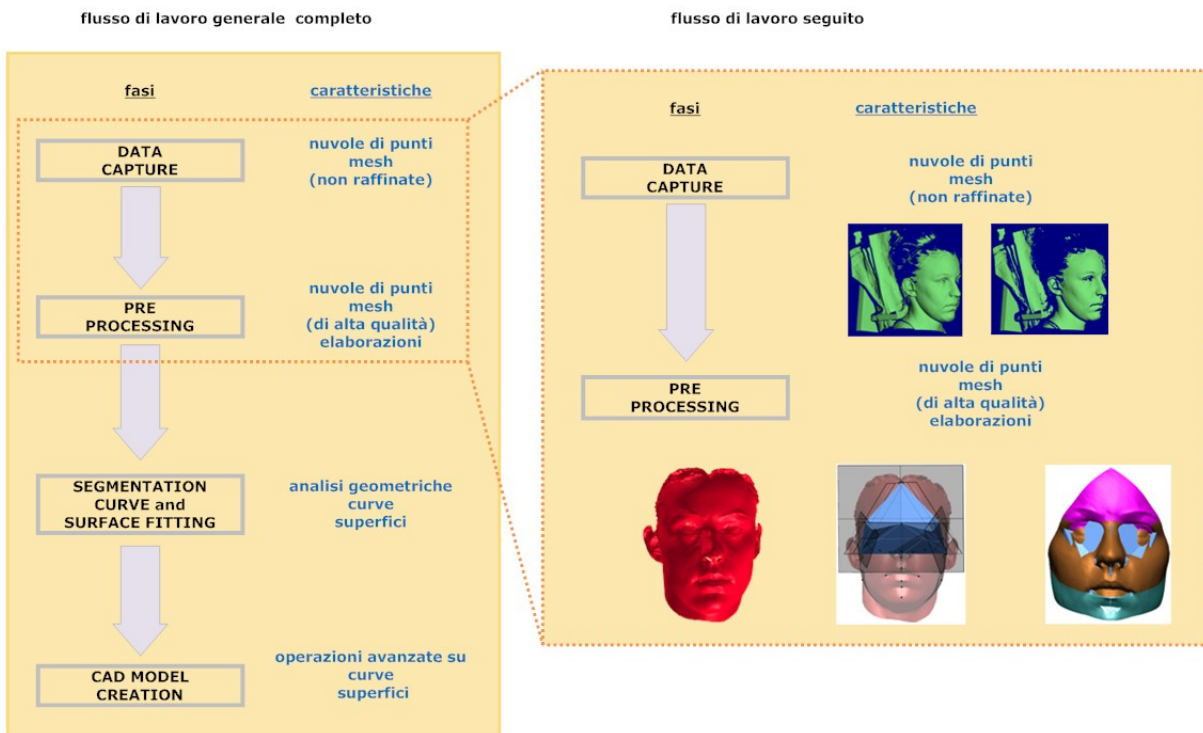
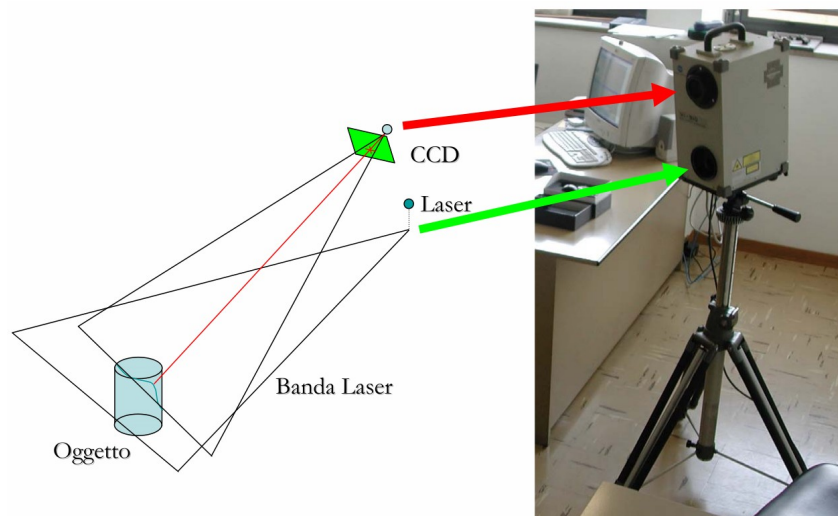


Immagine 2.1: L'immagine illustra come le operazioni eseguite nell'elaborato si collocano all'interno di un processo generale di reverse engineering. Il processo viene suddiviso in fasi e vengono evidenziate le caratteristiche di ogni fase.

2.2 generalità nelle fasi di data capture e pre-processing

data capture

Per questo studio è stato utilizzato uno Scanner Laser Konica Minolta VI 910. Tale dispositivo funziona secondo il principio della triangolarizzazione. Un fascio di luce ad alta energia (luce laser) viene proiettato con un determinato angolo sulla superficie di interesse. Un elemento fotosensibile (CCD) rileva luce riflessa dalla superficie. Noti l'angolo e le distanze, si possono determinare le posizioni dei punti della superficie. L'accuratezza dell'acquisizione dipende dalla risoluzione dell'elemento fotosensibile e dalla distanza tra la superficie e lo scanner.



Konica Minolta Vivid 910

Immagine: Laser scanner Konica Monolta Vivid 910, principio di funzionamento

Pre processing

Il sistema di pre processing può essere diviso in due fasi distinte ma fortemente dipendenti e intercomunicanti le une con le altre. Tali fasi sono strutturalmente divise in fase punti e fase mesh.

Punti.

Lo scanner rileva essenzialmente punti tridimensionali. Tali punti possono essere elaborati senza che venga costruita una struttura di triangoli e quindi si generi una mesh. Generalmente vengono eseguite operazioni di pulizia del rumore e di riduzione del numero di punti.

Triangolazione.

I punti derivanti dalla fase di elaborazione descritta precedentemente o direttamente dalla scansione vengono triangolarizzati cioè vengono collegati tra loro tramite dei segmenti che comporranno gli spigoli dei triangoli

nuvola di punti e mesh

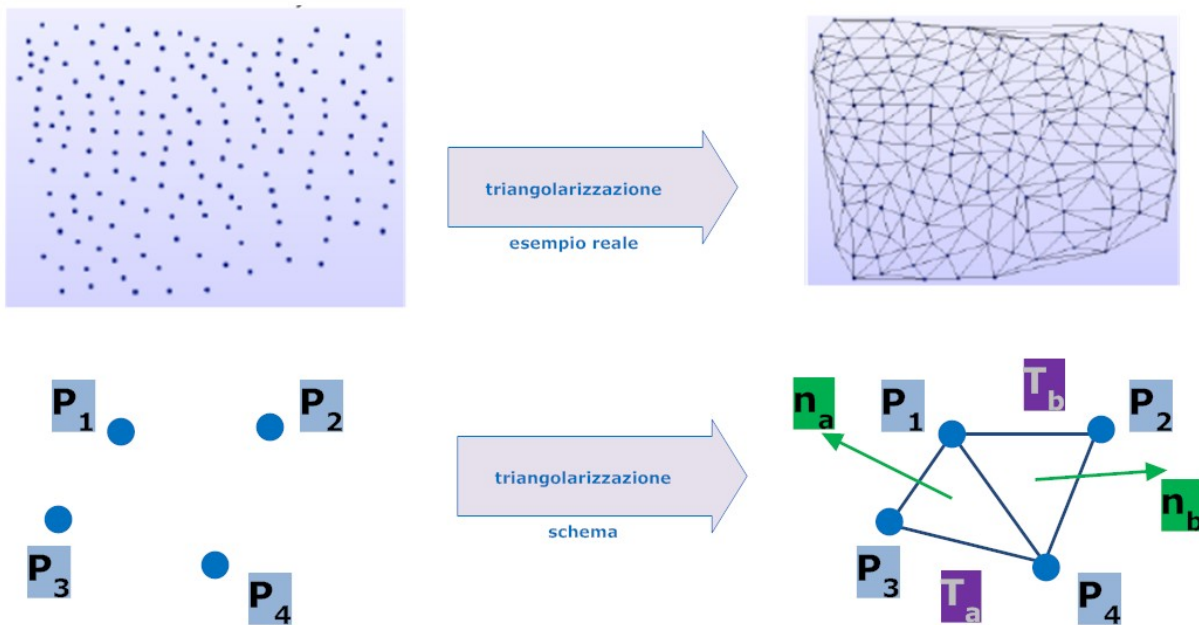


Immagine 2.2: passaggio da nuvola di punti a mesh, nello schema viene evidenziato il maggior numero di informazioni geometricamente disponibili nelle mesh.

in questa sezione queste operazioni vengono descritte in modo sommario perchè verranno approfondite nel paragrafo appositamente dedicato all'applicazione facciale descritto successivamente.

La struttura topologica creata dopo la triangolarizzazione è molto potente in quanto fornisce un maggior numero di informazioni geometriche sulla ricostruzione, è inoltre più difficile da gestire in quanto può contenere alcuni errori sulla struttura dei triangoli, questi errori vanno opportunamente rimossi usando appositi filtri. Triangoli che rientrano in queste categorie sono triangoli degeneri, triangoli intersecanti, triangoli con posizione ambigua nella struttura della mesh.

Un secondo gruppo di funzioni va ad agire sulla forma dei triangoli per evitare di avere triangoli stirati o deformati in modo anomalo.

Un terzo gruppo di funzioni esegue una filtratura, una pulizia della mesh dal rumore, ed un affinamento (lisciatura, chiusura dei fori, affinamenti topologici).

Esistono poi delle funzioni speciali che consentono l'allineamento di due viste posizionate nello spazio casualmente, tali funzioni utilizzano delle zone di sovrapposizione (marker o zone di mesh) che minimizzano la distanza tra due o più mesh e consentono una ricostruzione del modello acquisito, al termine di questa fase le viste verranno fuse per comporre un'unica mesh.

Possiamo, sempre nel pre processing, eseguire una serie di operazioni di elaborazione del dato tridimensionale come analisi di distanza, taglio della mesh secondo piani stabiliti, valutazione dei volumi, analisi di curvatura. Queste ed altre operazioni concettualmente simili fanno uso di geometria di riferimento e di analisi sulla mesh e non sono da confondersi con il surface fitting propriamente detto, fase che non viene affrontata perchè non utile ai fini di questo elaborato.

2.3 data capture: processo eseguito

la fase di data capture è importante perchè consente di avere a disposizione un insieme di dati che rappresenti in modo accurato la geometria da acquisire. Si veda in appendice un estratto del protocollo completo che descrive nel dettaglio la fase di raccolta dati.

2.4 pre-processing: processo eseguito

le funzioni presentate in modo descrittivo nel paragrafo precedente vengono di seguito illustrate applicate alla ricostruzione di un volto.

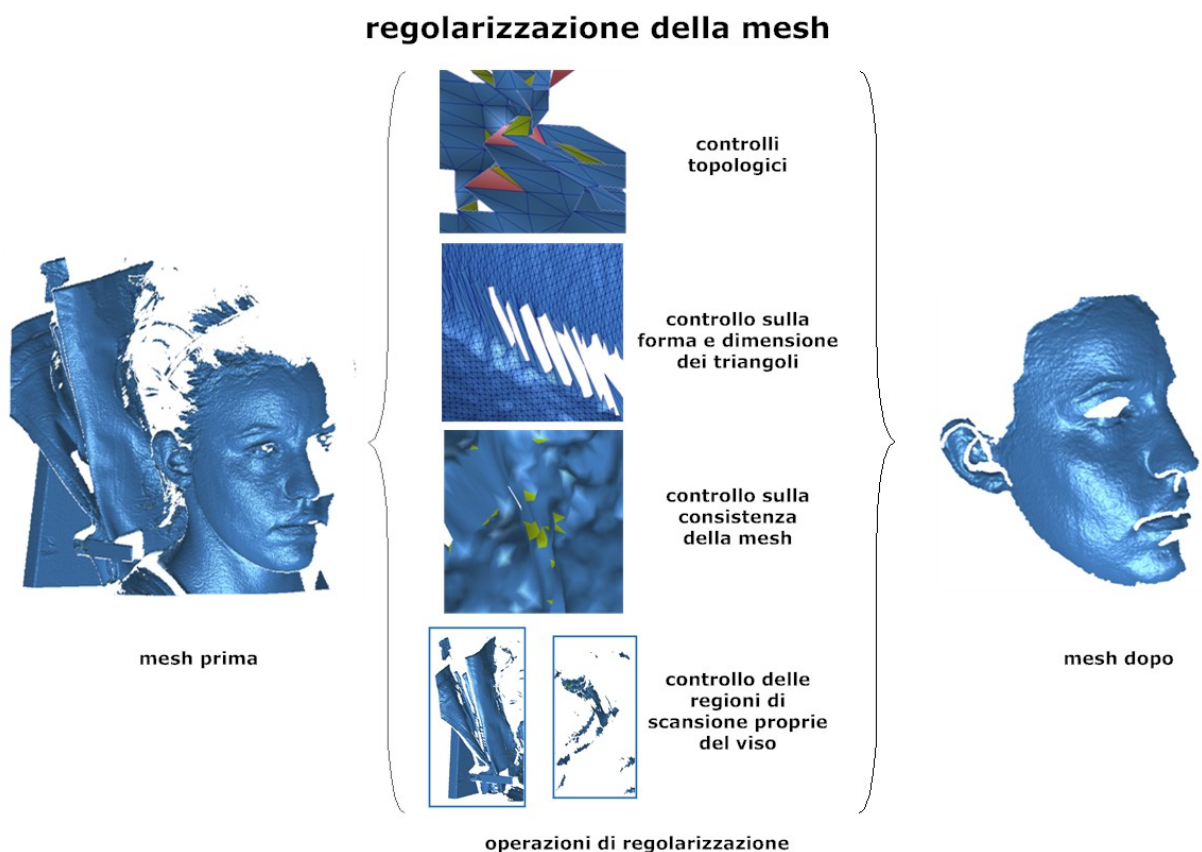


Immagine 2.3: regolarizzazione della mesh

Per regolarizzare la mesh vengono applicate le seguenti operazioni:

queste operazioni vengono applicate ad ogni singola mesh

controlli topologici: questi controlli è bene applicarli dopo operazioni che agiscono strutturalmente sulla mesh poiché selezionano e consentono di eliminare triangoli che presentano instabilità topologica (facce anormali per esempio).

Se mantenuti questi triangoli possono creare problemi nell'elaborazione generando risultati anomali dopo l'applicazione di determinate funzioni oppure non consentendo l'applicazione di altre funzioni.

controllo sulla forma e dimensione dei triangoli: questi controlli operano sulla metrica della mesh e consentono di eliminare triangoli troppo grandi o deformi. I triangoli deformi vengono generati durante la scansione nelle zone in cui la superficie di scansione e la strip laser si discostano significativamente dall'ortogonalità, questo deriva dal principio di funzionamento dello scanner utilizzato.

controllo sulla consistenza della mesh: questi controlli vengono utilizzati per garantire che la distribuzione delle normali e l'angolo compreso tra due triangoli adiacenti sia omogeneo e di valori coerenti sia con la superficie digitalizzata sia con lo scanner utilizzato.

controllo delle regioni di scansione proprie del viso: questi controlli sono usati per eliminare dalla vista in lavorazione tutte le zone che non servono alla ricostruzione, tipicamente queste zone sono i capelli, i bordi irregolari delle viste, le parti di supporto (sedia, cuscini,...).

allineamento delle mesh

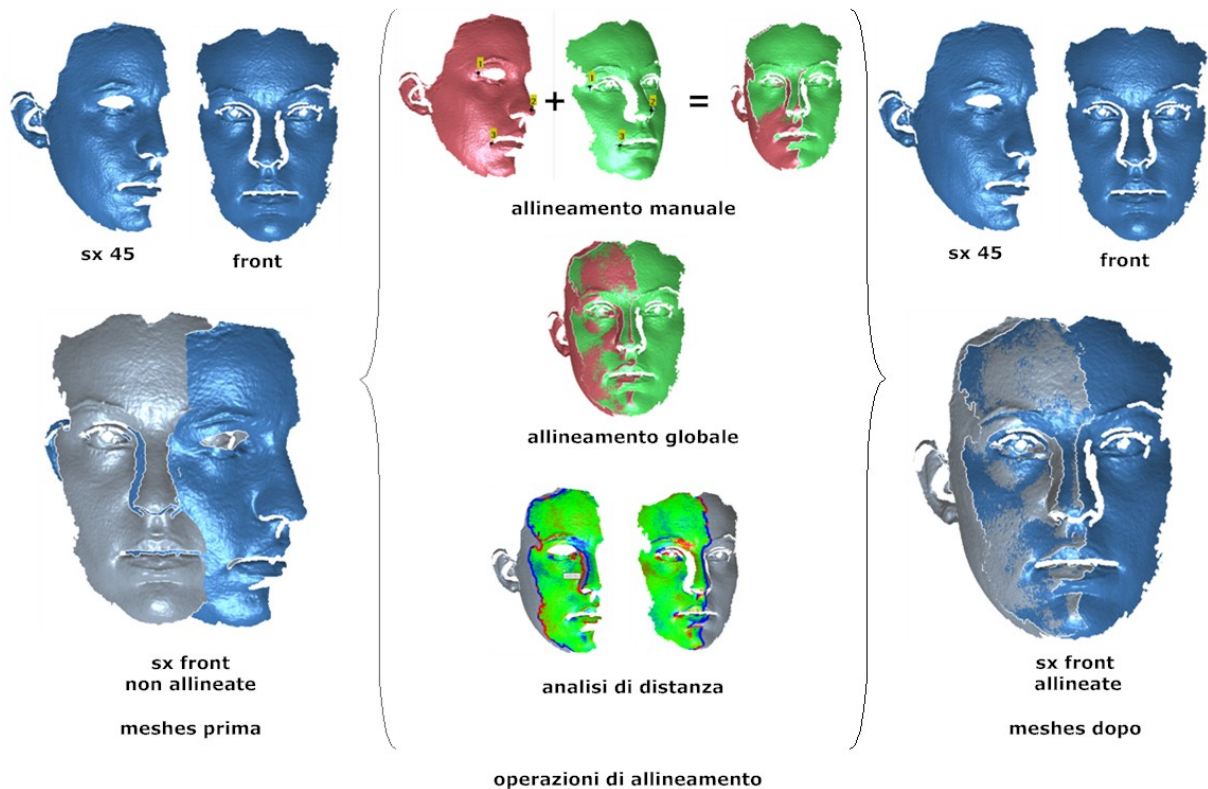


Immagine 2.4: allineamento delle mesh

Per allineare le meshes vengono applicate le seguenti operazioni:

è fondamentale allineare le meshes dopo aver regolarizzato le singole mesh al fine di non usare durante l'allineamento punti poco significativi.

allineamento manuale: le meshes in uscita dallo scanner sono fortemente disallineate, è opportuno eseguire un pre allineamento manuale identificando tre coppie di punti pseudo omologhe che consentano un'identificazione di orientamento.

allineamento globale: a differenza dell'allineamento manuale l'allineamento globale usa le porzioni comuni di mesh per posizionare reciprocamente le mesh in modo corretto, minimizzando la distanza tra le mesh nella zona di sovrapposizione. Questa operazione può coinvolgere anche più meshes, si veda quanto descritto in seguito.

analisi di distanza: questa funzione consente di visualizzare la distanza tra le due mesh allineate e quindi di identificare i punti che più si discostano. Si vedano le operazioni descritte successivamente per un uso costruttivo dell'analisi di distanza al fine di ottenere un modello corretto.

mesh completa, flusso di lavoro

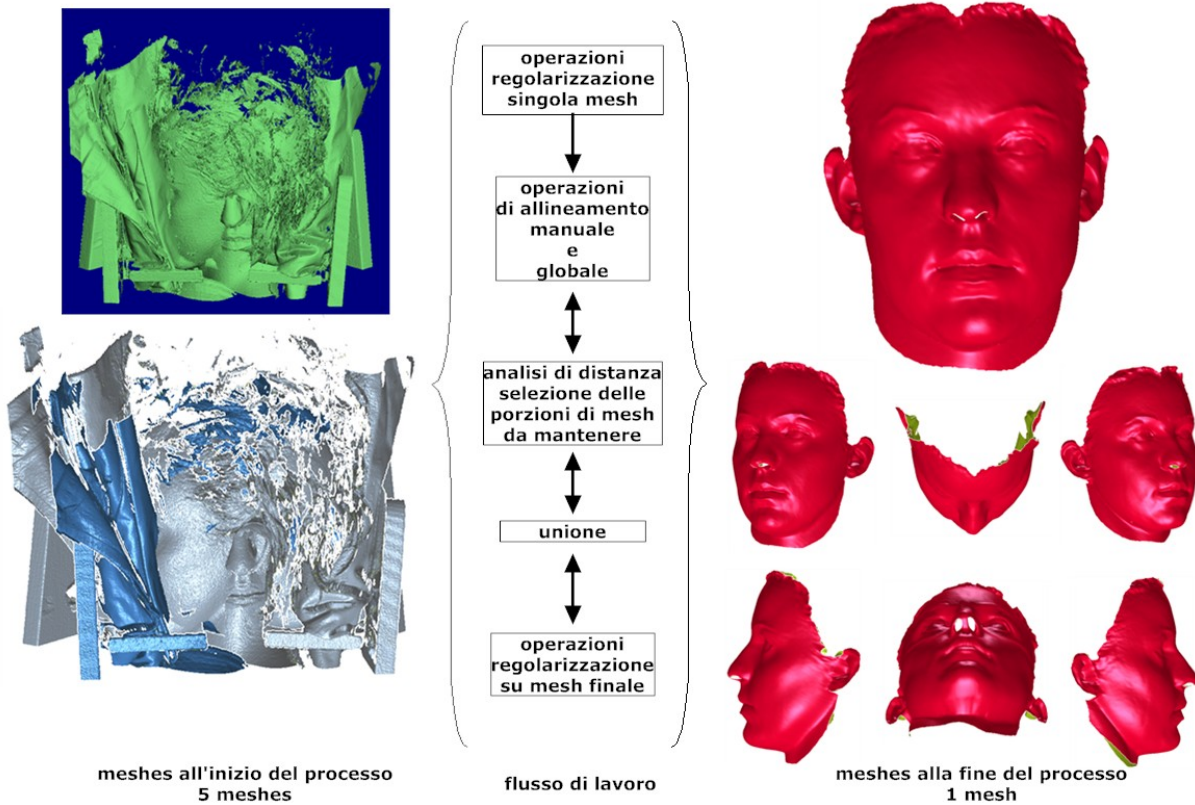


Immagine 2.5: flusso di lavoro completo per ottenere un modello virtuale del viso completo

Nello schema riportato sopra vengono descritte tutte le operazioni eseguite per ottenere un modello finale completo. È interessante osservare la direzione delle frecce che identificano il flusso di lavoro poiché, dopo le operazioni di regolarizzazione sulle singole mesh il flusso diventa bi-direzionale in quanto il passaggio alla fase successiva viene confermato solo quando i dati hanno raggiunto una buona qualità, in caso contrario vanno riprocessati. In questo processo, per eliminare le zone poco affidabili, assume fondamentale importanza sia l'analisi di distanza tra due mesh sia l'individuare quale mesh ha migliore qualità e va mantenuta.

2.5 analisi dell'errore nella ricostruzione del modello facciale.

In questa sezione vengono discusse le seguenti tematiche:

- la valutazione dell'accuratezza della riproduzione del viso mediante scansione laser.
- L'errore eseguito nella ricostruzione del modello tramite il processo descritto.

la valutazione dell'accuratezza della riproduzione del viso mediante scansione laser.

La precisione della riproduzione facciale mediante scansione laser e ricostruzione RE è stata valutata confrontando la corrispondenza di alcune misure rilevabili con questo sistema rispetto alle stesse misure rilevabili con altri due sistemi di misura ad errore noto e presi come riferimento.

A questo scopo sono state utilizzate cinque maschere facciali in gesso ottenute mediante impronta con siliconi e armatura in filo metallico, colatura in gesso e pulizia della superficie. Sulle maschere così ottenute sono stati marcati con un pennarello nero a punta extrasottile 14 landmarks: Nasion, Exocanthion, Endocanthion, Pronasale, Cresta alare, subnasale, labbro superiore, labbro inferiore, pogonion.

Le maschere sono state fissate in modo rigido ad un supporto metallico indeformabile.

Oltre alle coordinate spaziali dei punti segnati su ogni maschera è stato scansionato un set di punti sul piano della piastra e su un parallelepipedo fissato al supporto allo scopo di fornire un sistema di assi di riferimento mediante il quale rototraslare e sovrapporre i tre set di punti ricavati dai tre sistemi di rilevamento. Il sistema Zeiss è stato assunto come sistema di riferimento in quanto la precisione di identificazione e di misura delle coordinate spaziali di punti e dell'ordine dei micron. Lo scarto spaziale tra le coordinate dei punti rilevate con il sistema Laser Minolta da quelle rilevate con lo Zeiss è stato assunto come errore della ricostruzione facciale intrinseco alla metodica.

sistema di posizionamento

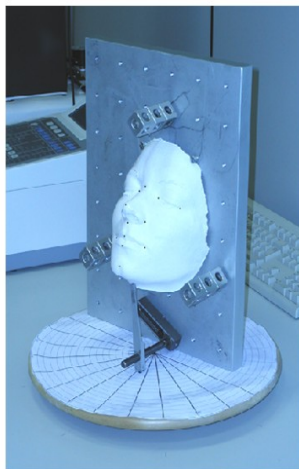


Immagine 2.6: sistema di posizionamento maschere

SCANNER LASER KONICA-MINOLTA VIVID 910.

Le maschere, con relativi marker, sono state scansionate con l'apparecchiatura Laser Konica-Minolta Vivid utilizzata per questo studio e la maschera è stata ricostruita con la procedura di RE precedentemente descritta: diverse viste sono state riallineate e fuse in un'unica shell texturizzata. La texture contiene i marker facciali utilizzati come misura dell'accuratezza della ricostruzione.

laser scanner

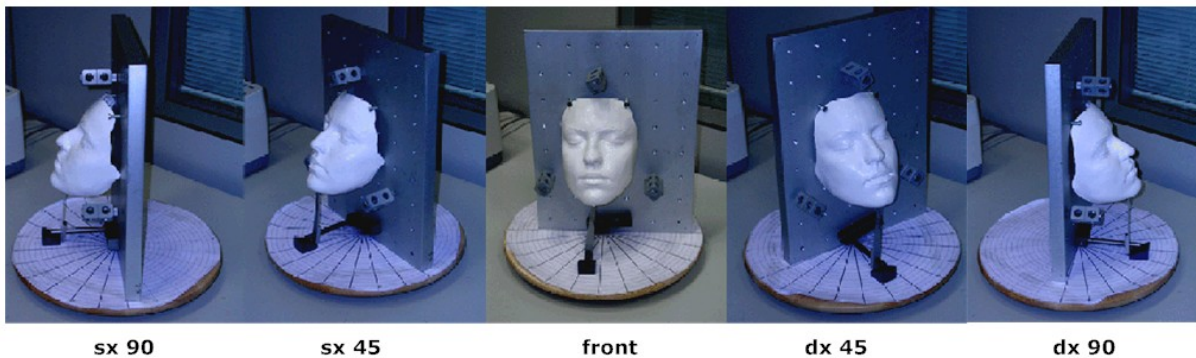


Immagine 2.7: sistema di scansione laser scanner

TASTATORE MICROSCRIBE

Il primo tastatore utilizzato è Microscribe. E' un tastatore costituito da un braccio elettromeccanico con una punta montata ad una estremità da appoggiare ai punti segnati. La punta è mantenuta ferma con le mani, a contatto con il punto, dall'operatore mentre con il piede schiaccia una pedaliera per acquisire le coordinate spaziali. La misura delle coordinate spaziali è avvenuta all'interno del software Rhinoceros. Allo scopo di valutare l'errore operatore-dipendente l'operazione di acquisizione delle coordinate spaziali dei punti è stata ripetuta: cinque volte di seguito per l'intero set di punti di una maschera e dieci volte di seguito per un singolo punto riponendo l'asta del tastatore in posizione di settaggio.

microscribe

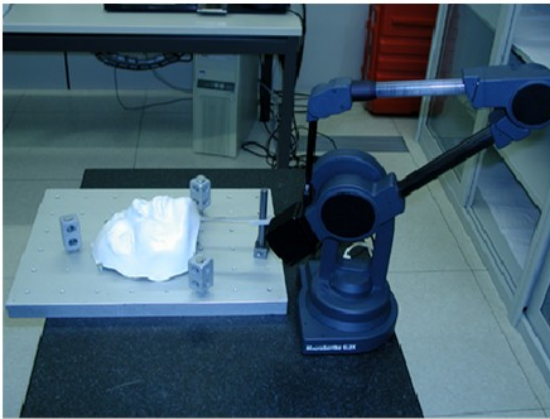


Immagine 2.8: sistema di scansione microscribe

TASTATORE ZEISS

Il secondo tastatore utilizzato è un apparecchio Zeiss utilizzato per la rilevazione di forme geometriche e controllo metrologico della produzione industriale. Il rilevamento dei punti avviene facendo “tastare” la superficie della maschera facciale ad un dispositivo in grado di rilevare le flessioni dello stelo esplorante. Lo stelo viene fatto appoggiare ai 14 punti marcati sulla superficie per una acquisizione preliminare della posizione dei punti. Successivamente un apposito software pilota una seconda e definitiva esplorazione dei punti con l’acquisizione delle coordinate spaziali dei punti antropometrici. La precisione di acquisizione in questa seconda esplorazione è dell’ordine dei micron. Data l’altissima precisione fornita da questo sistema di misura, le coordinate dei punti così rilevate sono state accettate come riferimento. Ad esse sono state confrontate le misure rilevate con gli altri due sistemi.

cmm

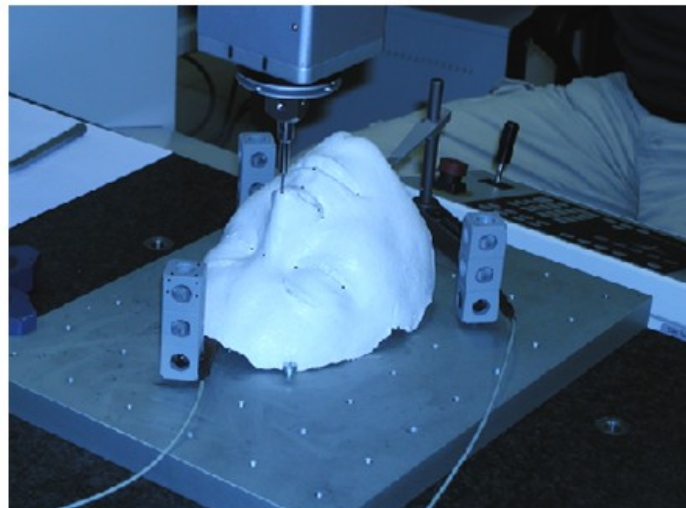


Immagine 2.9: sistema di scansione CMM

Valutazione matematica dell'errore commesso dalla tecnica R.E. nella riproduzione del viso.

Sono state ricostruite le maschere facciali con la procedura di riallineamento e fusione in una unica shell delle scansioni delle varie viste facciali. I punti antropometrici marcati sulla superficie della maschera non cadono esattamente sulla superficie della shell ma si trovano ad una certa distanza variabile da punto a punto. Questo fatto dipende dalla collocazione della texture sopra la shell. In corrispondenza di ogni landmarks sulla shell è stato identificato il punto più vicino appartenente alla shell e di questi nuovi punti sono state calcolate le coordinate spaziali xyz rispetto a tre assi cartesiani di riferimento identificati sul parallelepipedo di riferimento fissato alla piastra di fissaggio della maschera. La maschera fissata alla piastra è stata scansionata dal tastatore Zeiss che ha rilevato le coordinate spaziali dei medesimi landmarks facciali riferendole al medesimo sistema di riferimento utilizzato dal Minolta. I due sistemi di riferimento sono stati traslati e sovrapposti. I punti scansionati con le due diverse modalità si trovano ora riallineati e mostrano una certa distanza tra di loro che viene assunta come errore del sistema di ricostruzione facciale mediante RE. Delle distanze di ogni punto dal suo omologo è stata calcolata la distanza con segno, la distanza assoluta, la media dell'errore complessivo di tutti i punti e la relativa deviazione standard.

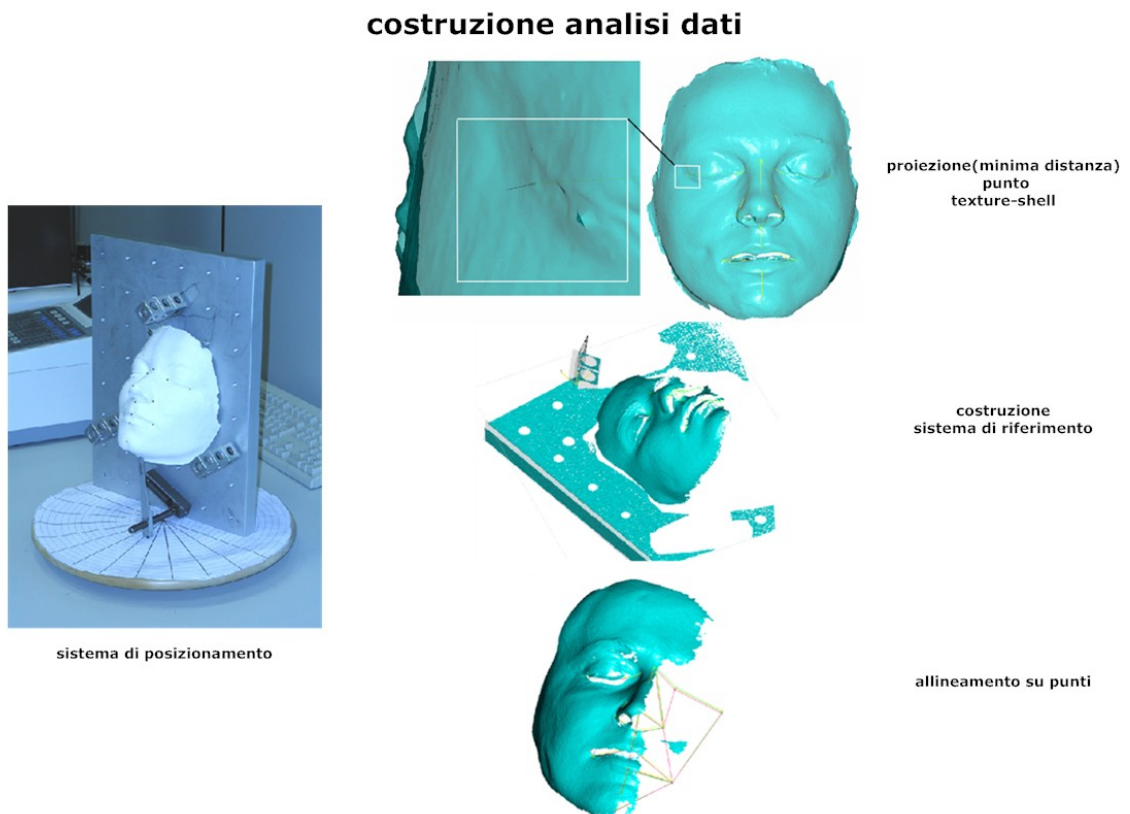


Immagine 2.10: sistema di elaborazione dati

Nei risultati saranno riportati solo i risultati relativi al confronto tra posizione dei punti determinata mediante scansione Laser Minolta e con il tastatore Zeiss.

Discussione dei risultati.

L'errore medio della posizione dei punti e quindi presumibilmente della ricostruzione facciale è di 0,197 mm. Questo errore è al di sotto della soglia di percezione di differenza tra viso reale e riproduzione virtuale. Quindi l'errore è clinicamente non significativo. La metodica di riproduzione della geometria della superficie del viso mediante RE si è dimostrata affidabile. Ogni problema di errore nella duplicazione della superficie del viso è quindi da imputare essenzialmente agli altri possibili fattori che alterano la morfologia del viso quali i cambiamenti di posizione della testa (che stirano i tessuti facciali) e i cambiamenti di espressione.

L'errore eseguito nella ricostruzione del modello tramite il processo descritto.

L'immagine sottostante illustra la deviazione tra due viste ricostruite in modo distinto, in tempi diversi, dallo stesso operatore. Applicando la formula di Dahlberg's si ottiene un valore di 0,034 mm che è ininfluente per l'applicazione clinica.

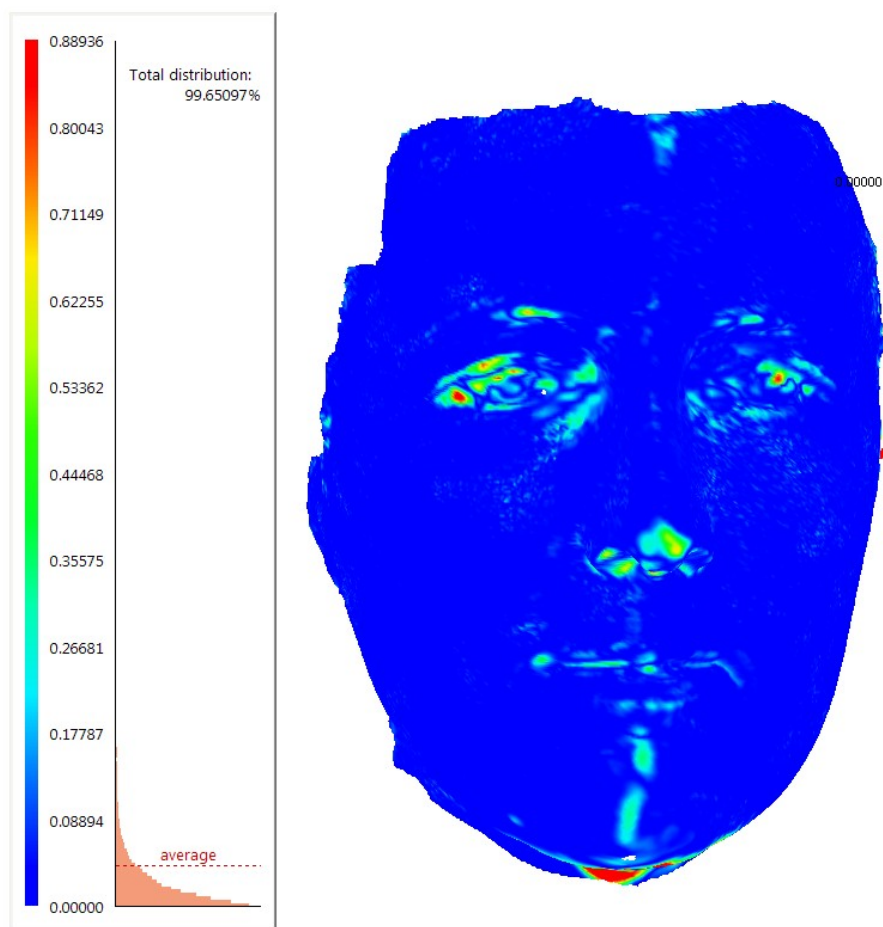


Immagine 2.11: analisi di distanza tra due mesh relative allo stesso paziente ma elaborate in modo distinto

2.6 costruzione per il posizionamento dei punti di cheek

Mentre gli altri punti antropometrici sfruttano una descrizione anatomica del viso per essere posizionati, il punto di cheek (guance) sfrutta una definizione geometrica: punto individuato dall'intersezione tra la congiungente "tragion-cresta alare" e "exocanthion-cheilion"; in vivo si utilizza un archetto per approssimare le rette suddette, nel modello laser scanner vengono proposti quattro metodi:

metodo zero: selezione manuale del punto senza costruzione geometrica

punto risultante: 19

metodo1: costruzione manuale dei piani ortogonali alla superficie del viso (con due punti intermedi nei segmenti di costruzione), proiezione dei punti sulla mesh, individuazione dei piani, calcolo del punto. Lo stesso punto si ottiene con le curve di sezione con i punti sopra descritti

punto risultante: 19_1

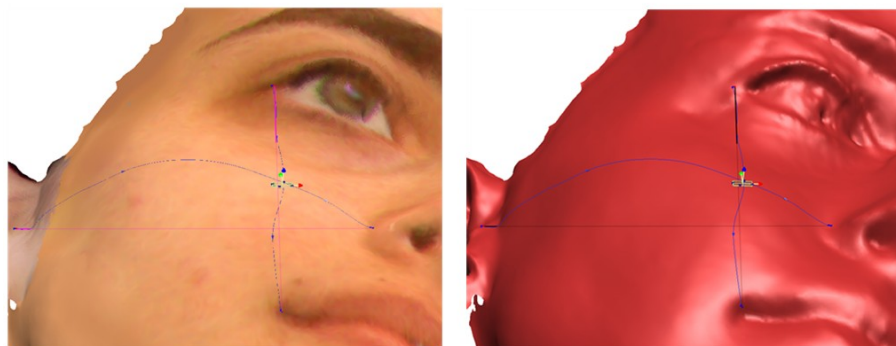
metodo2: calcolo con la funzione che minimizza il percorso tra due punti sulla mesh, dati due punti il sw calcola in automatico il minimo percorso che li collega restando sempre sulla mesh, si originano due curve, la loro intersezione fornisce il punto. Le curve non hanno andamento perfettamente rettilineo sulla mesh dato il vincolo di minimo percorso su superficie libera

punto risultante: 19_2

metodo3: intersezione 3D dei due segmenti e proiezione del punto sulla mesh

punto risultante: 19_3

posizionamento punto di cheek



posizionamento punto di cheek

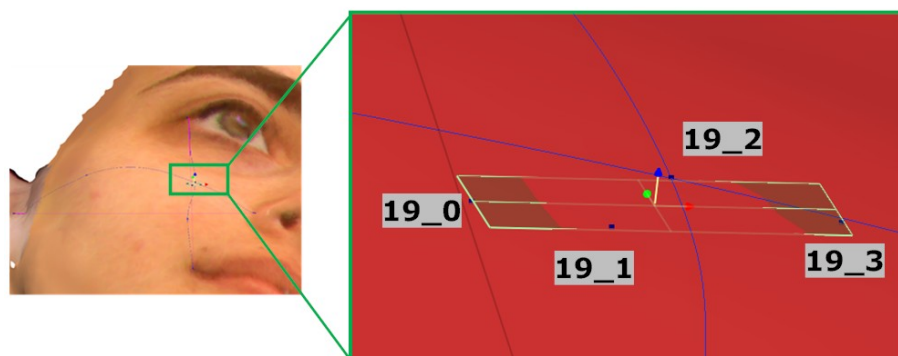


Immagine 2.12: posizionamento dei punti di cheek

conclusioni:

differenze tra i quattro metodi:

sulla superficie facciale i punti si trovano all'interno di un intorno rettangolare di 4.2mm per 1.95mm, la misurazione ortogonale alla superficie facciale è di 0.029mm.

Data la descrizione del punto e l'individuazione pratica in vivo si sceglie la tecnica numero 3 per risultati e coerenza.

posizionamento punto di cheek

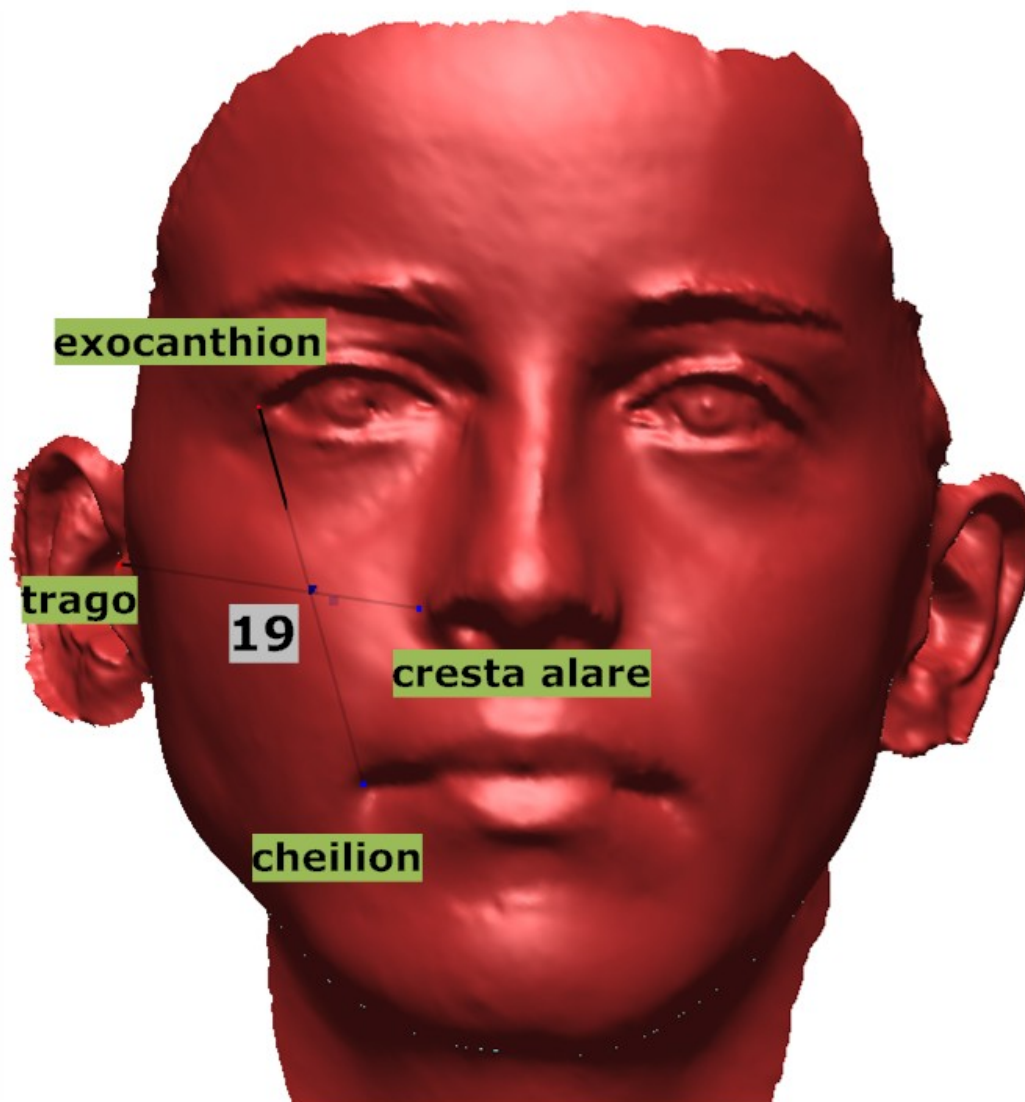


Immagine2.13: costruzione del punto di cheek selezionato

integrazione del metodo secondo V.F. Ferrario e del metodo mediante laser scanner: analisi dei volumi

In questo capitolo viene descritta l'integrazione tra il metodo utilizzato da V.F.Ferrario ed il metodo mediante laser scanner. All'interno dell'integrazione si analizzano in modo dettagliato i volumi del viso queste operazioni rappresentano un punto fondamentale del lavoro proposto perchè consentono di lavorare su entrambi i metodi.

La possibilità di avere dei modelli virtuali del viso consente la costruzione della struttura tetraedrica integrata nel viso stesso e quindi di contestualizzarla in una rappresentazione morfologicamente più significativa.

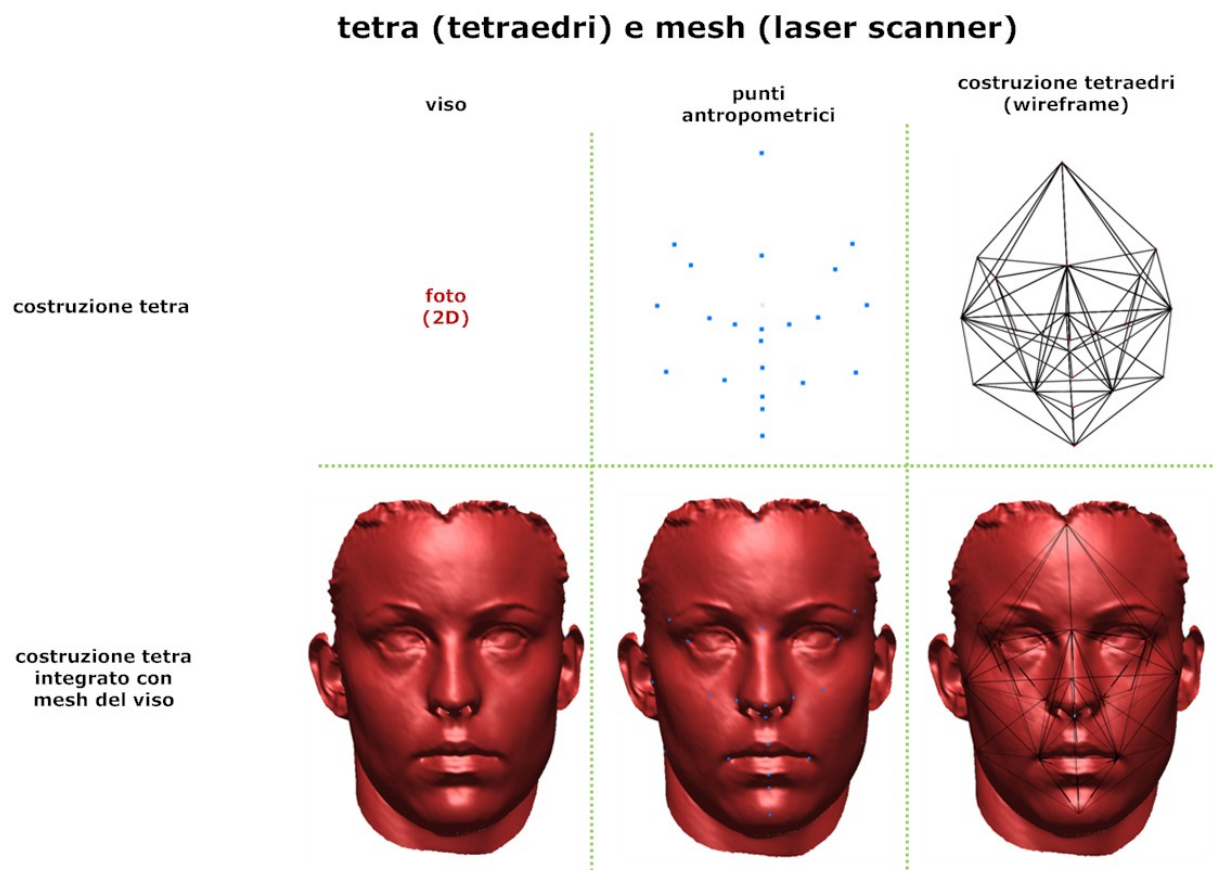


Immagine 3.1: L'immagine illustra il diverso grado di rappresentazione morfologica dei due metodi.

Inoltre è possibile visualizzare in maniera shaded (solida) la struttura tetraedrica all'interno del viso. Questa possibilità è importante perchè consente di capire come il tetraedro approssima la mesh in termini di volumi pieni volumi vuoti.

tetra (tetraedri) e mesh (laser scanner)

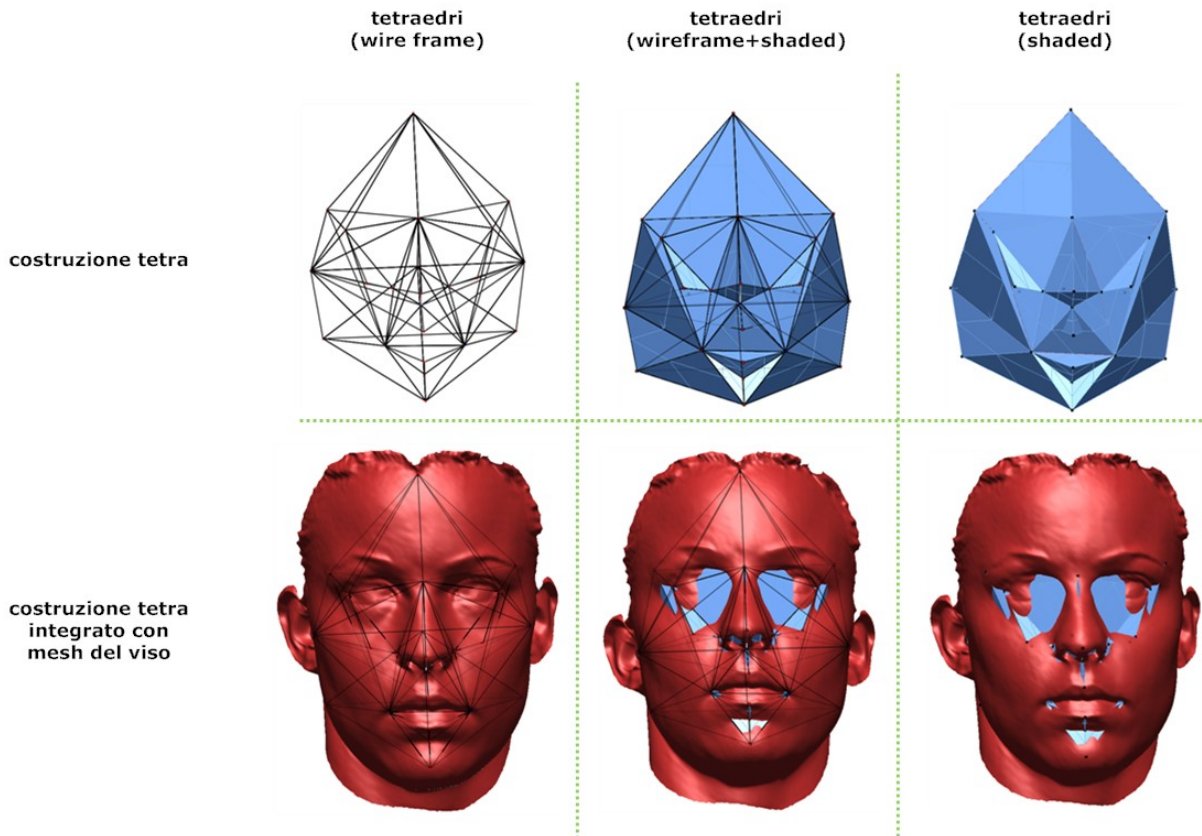


Immagine 3.2: L'immagine illustra la costruzione tetraedrica in visualizzazione solida posizionata all'interno della mesh del viso

3.1 struttura tetraedrica e mesh

la struttura tetraedrica si appoggia su un limitato ma particolarmente significativo numero di punti mentre la mesh riproduce l'intera superficie del viso.

L'integrazione della costruzione rappresentata consente di visualizzare in modo chiaro la struttura tetraedrica all'interno del volto, valutando l'influenza e la posizione sia di singoli tetraedri sia di gruppi di tetraedri particolarmente significativi per l'analisi clinica.

tetraedri e laser scanner divisione per regioni

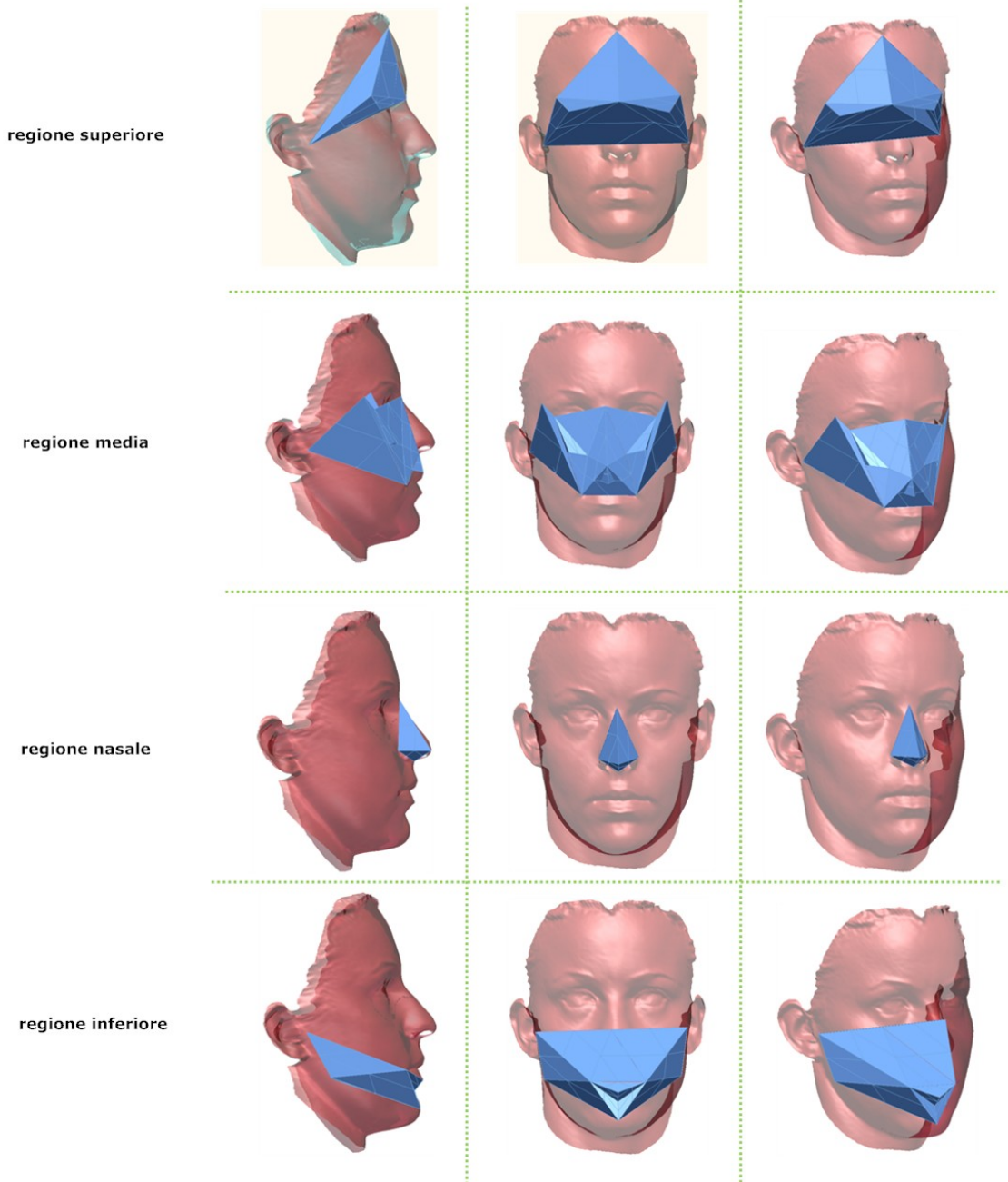


Immagine 3.3: L'immagine illustra le 3+1 regioni in cui il viso viene suddiviso

Risulta inoltre possibile esaminare, in prima approssimazione qualitativamente, poi quantitativamente quanto la struttura tetraedrica approssima la mesh.

costruzione tetraedri integrata con laser scanner

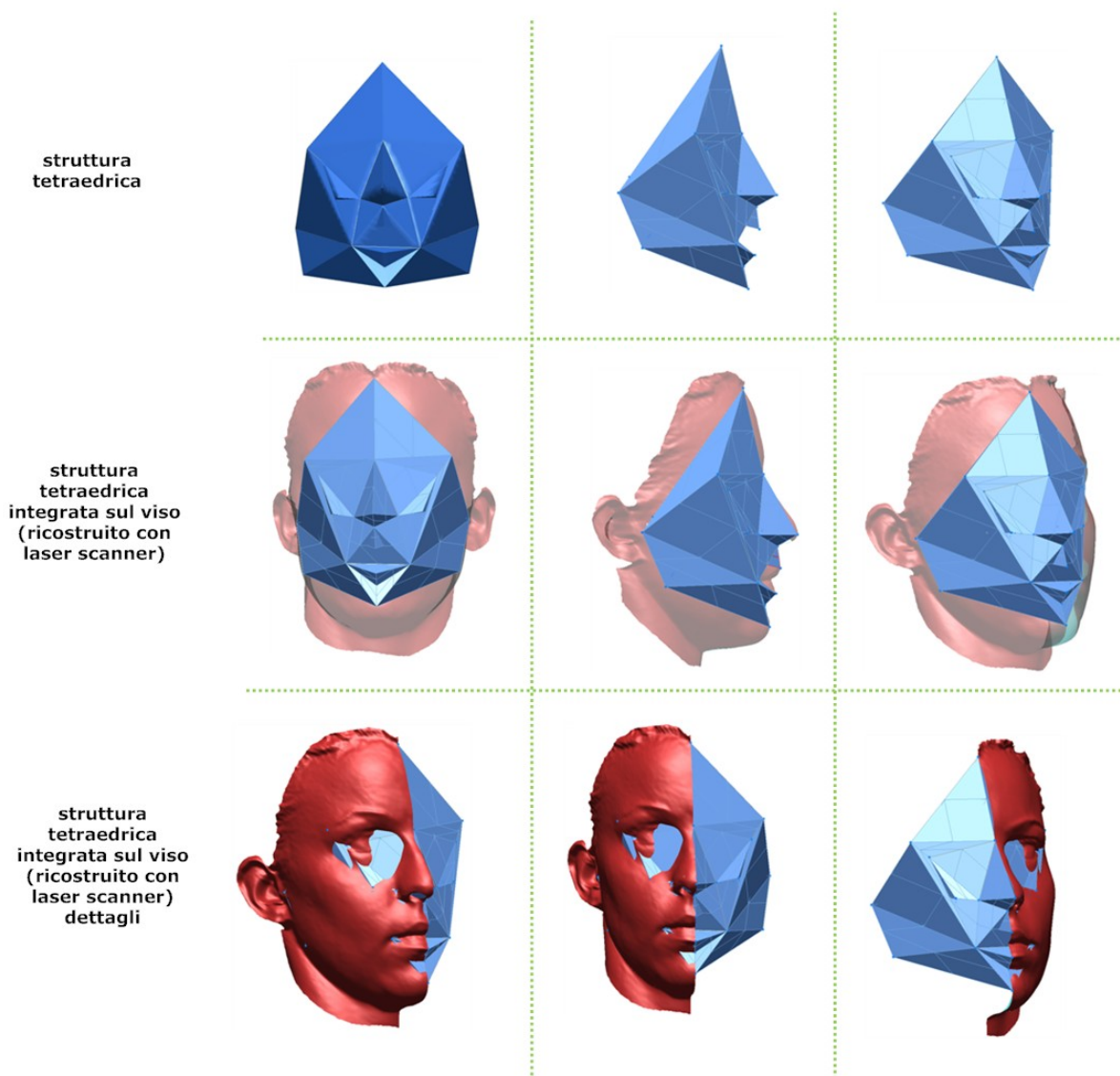


Immagine 3.4: L'immagine l'approssimazione della struttura tetraedrica con la mesh

3.2 volume della mesh e struttura tetraedrica

Per isolare il volume della mesh è opportuno che questa venga tagliata in modo che sia il più aderente possibile alla struttura tetraedrica, con questa tecnica i valori di volume ottenuti con i due metodi sono ragionevolmente confrontabili perchè facenti riferimento alla medesima porzione. Per la tipologia di volume che andiamo ad isolare è opportuno che la parte di mesh facente parte del viso non venga tagliata mentre viene tagliata la parte dietro al viso. Le regole usate per la costruzione dei piani di taglio sono:

- numero minimo di piani
- i piani sono tangenti alla struttura tetraedrica, nella parte posteriore, e passanti per i punti antropometrici relativi ai tetraedri tangenti
- la regione del viso tagliata è esclusivamente quella posteriore, le porzioni tagliate appartenenti alla parte anteriore sono una conseguenza

Un primo gruppo di piani di taglio è costituito dai tre piani così definiti:

- piano superiore
- piano dietro
- piano inferiore

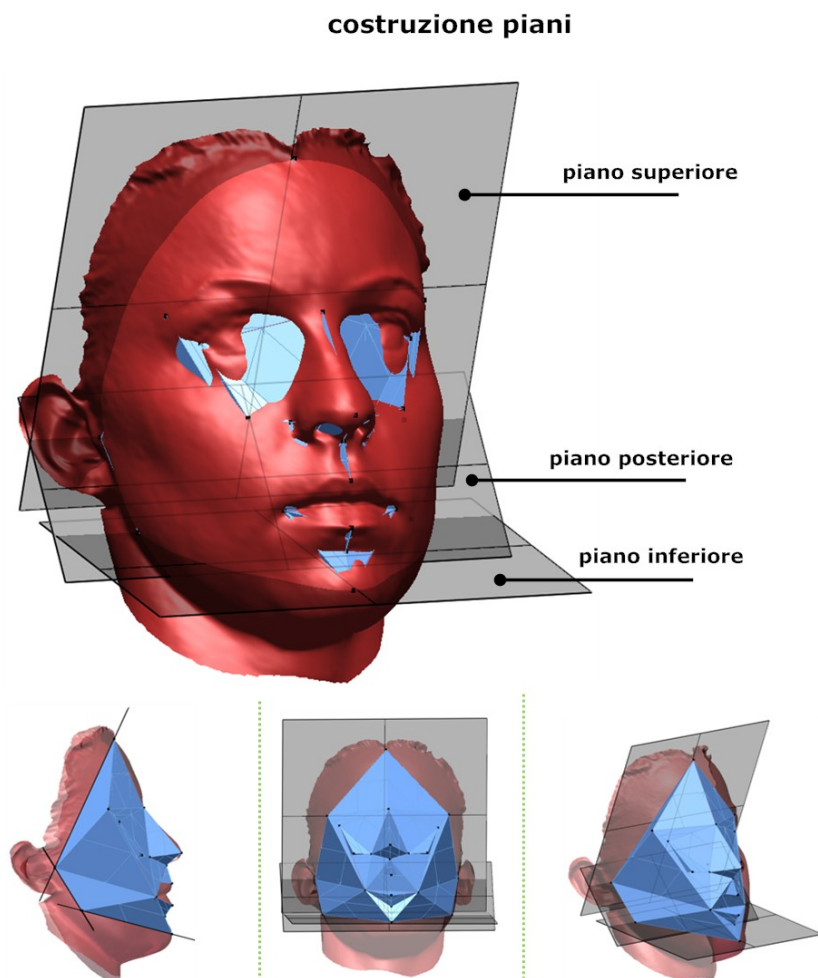


Immagine 3.5: L'immagine illustra la disposizione dei tre piani nel volto

Si definisce **piano superiore** la superficie piana passante per il punto antropometrico 4 e per i due punti antropometrici 9 e 10, simmetrici rispetto al piano sagittale. Tale piano taglia la zona superiore posteriore del viso.

costruzione piano superiore

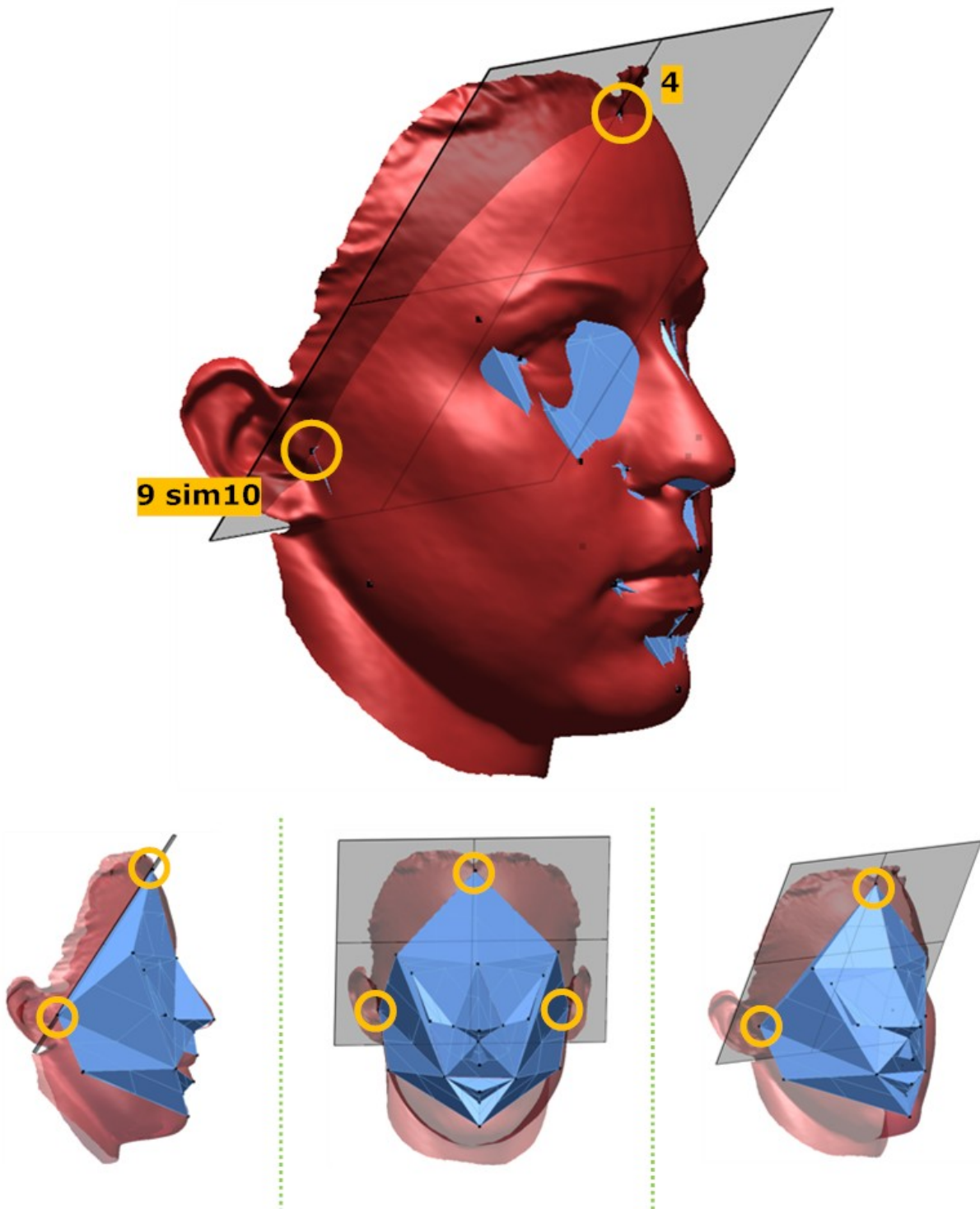


Immagine 3.6: L'immagine illustra la costruzione del piano superiore

Si definisce **piano posteriore** la superficie piana passa per i due punti antropometrici 9 e 10, simmetrici rispetto al piano sagittale ed i punti 11 e 12 anch'essi simmetrici rispetto al piano sagittale. Tale piano taglia la zona media posteriore del viso.

costruzione piano posteriore

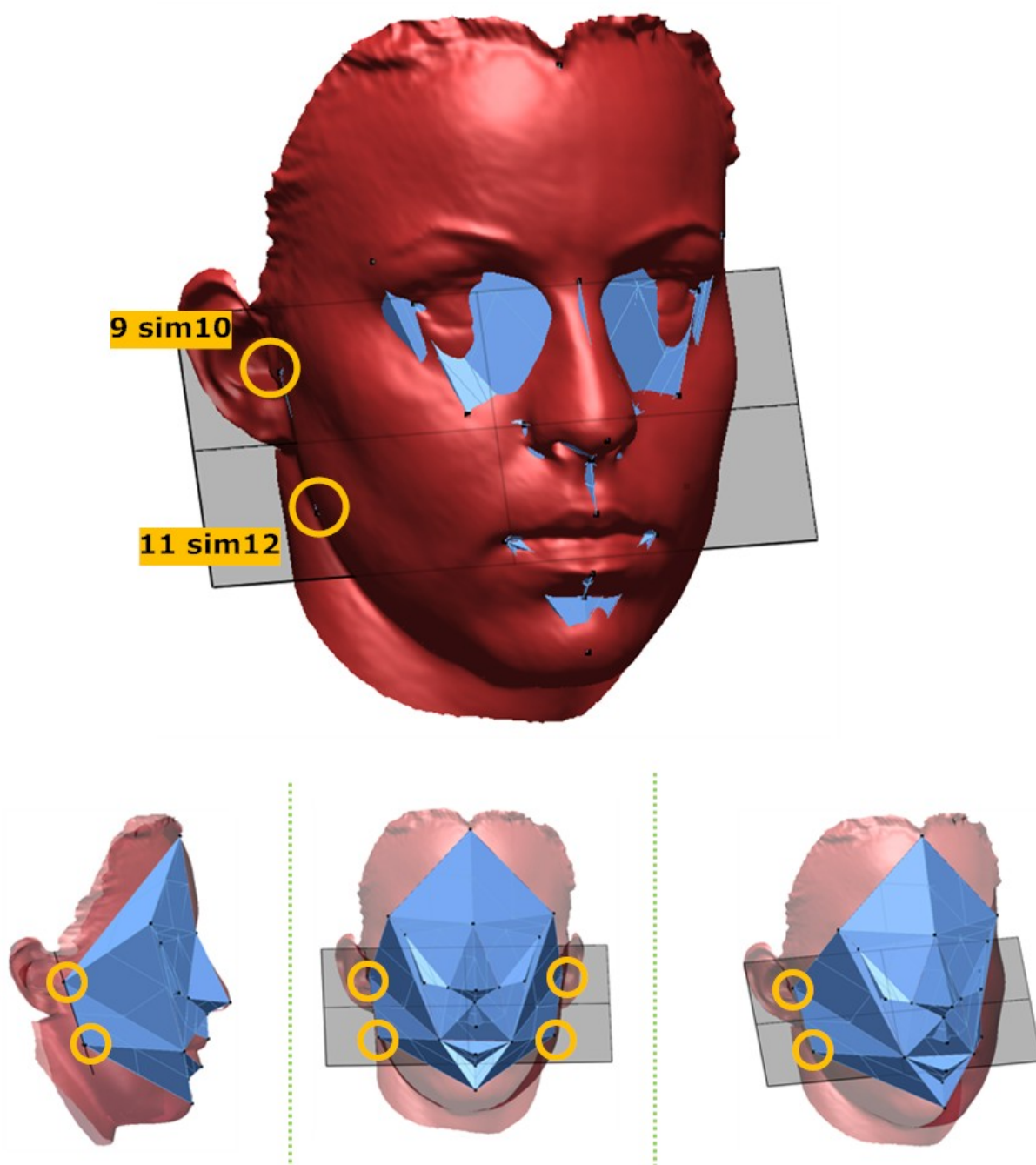


Immagine 3.7: L'immagine illustra la costruzione del piano posteriore

Si definisce **piano inferiore** la superficie piana passante per il punto antropometrico 3 e per i due punti antropometrici 11 e 12, simmetrici rispetto al piano sagittale. Tale piano taglia la zona inferiore (verso il piano trasversale) del viso.

costruzione piano inferiore

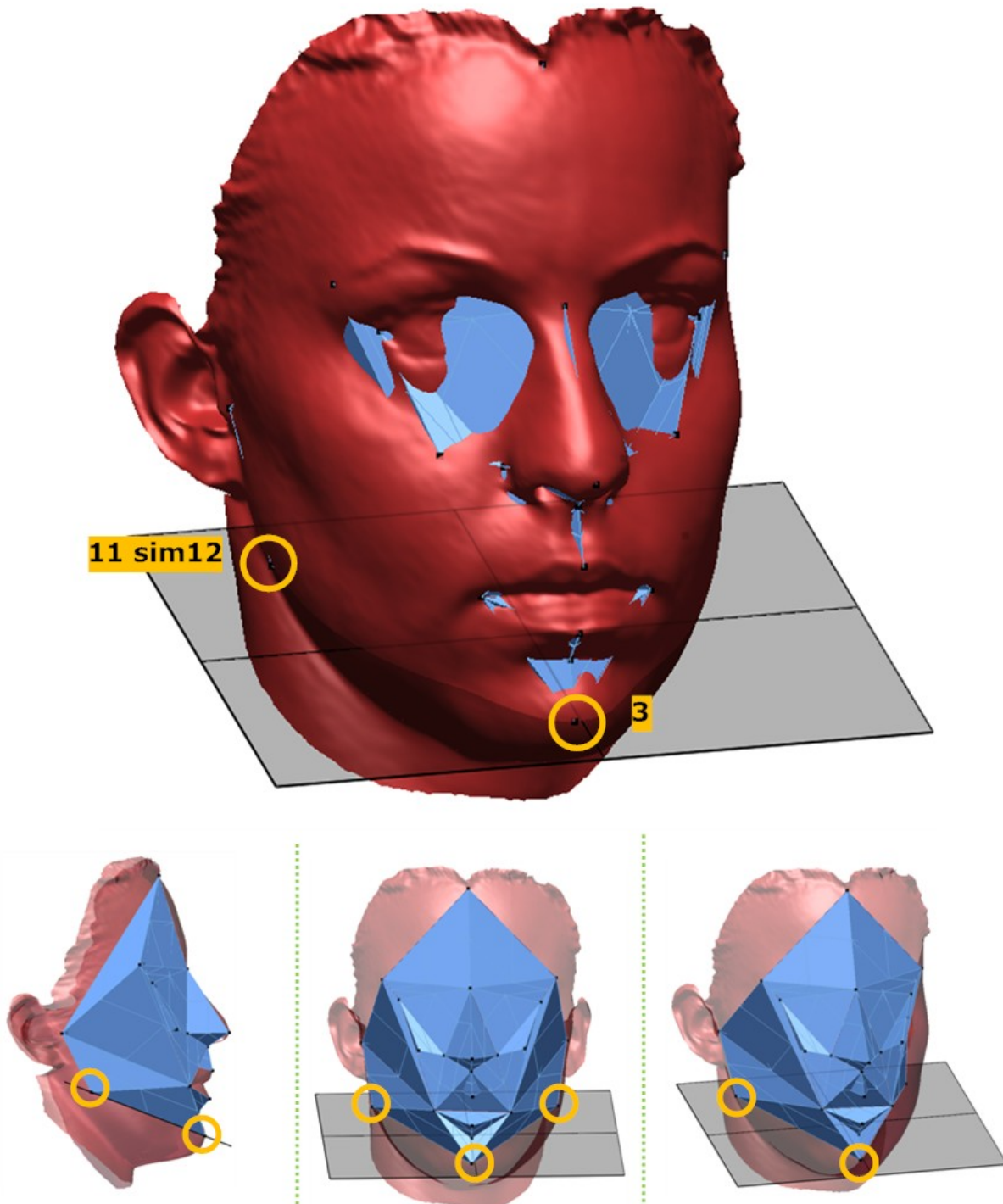


Immagine 3.8: L'immagine illustra la costruzione del piano inferiore

In base ai piani così definiti viene tagliata la mesh generale del viso (rossa) al fine di ottenere una mesh chiusa (verde) delimitata nella zona posteriore dai piani costruiti. La zona anteriore non viene sezionata con nessun piano in modo che rimanga fedele alla naturale morfologia del viso, essendo questa materia di indagine .

sezioni: mesh e tetraedri

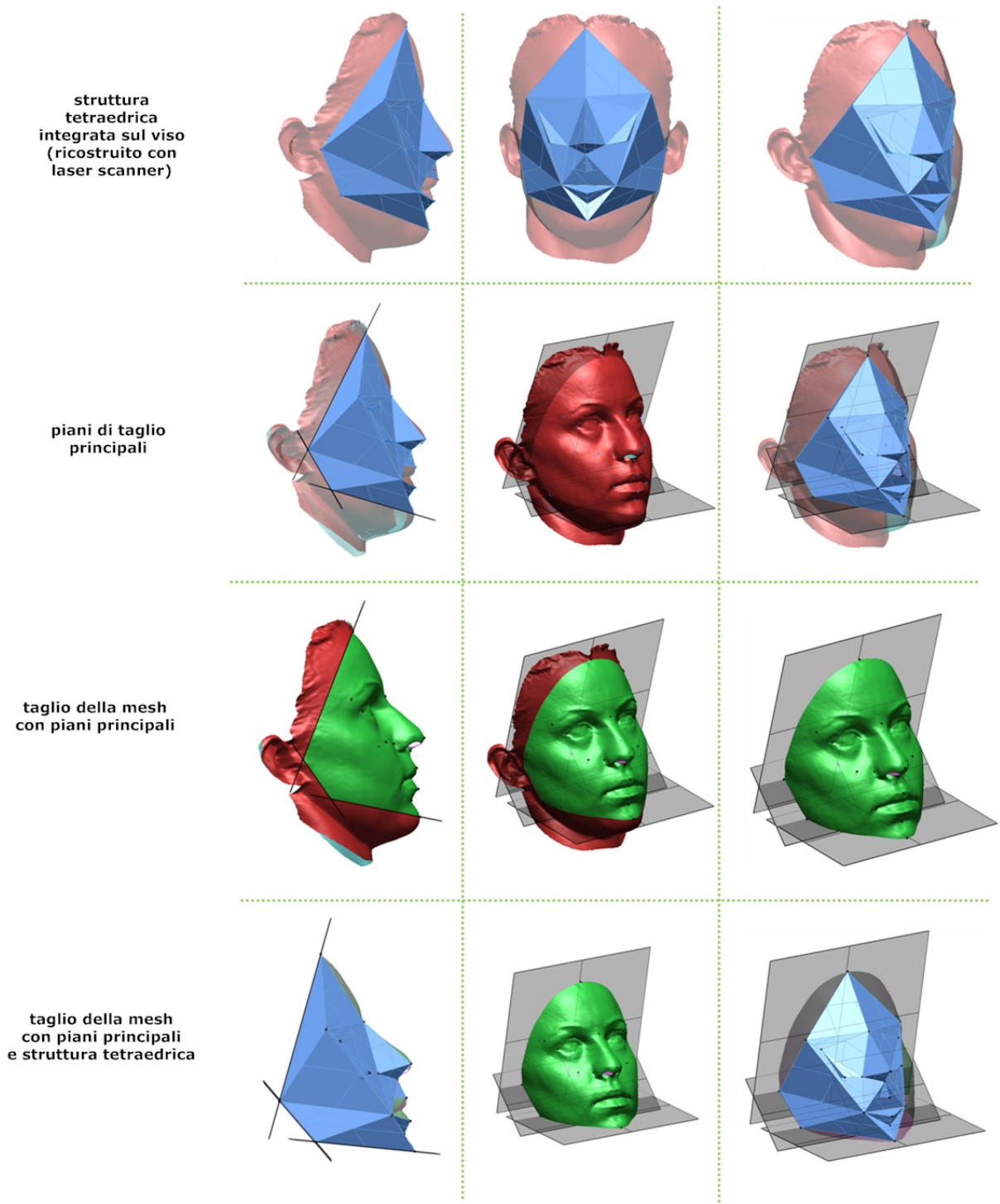


Immagine 3.9: L'immagine illustra la mesh che si ottiene (verde) dopo aver sezionato il viso con i piani descritti

Si nota che rispetto alla struttura tetraedrica la mesh verde si discosta in modo significativo nella regione superiore del viso. Questo surplus di volume, evidenziato nell'immagine sottostante, è in contrasto con le regole strutturali della costruzione dei piani (tangenza nella parte posteriore), va quindi isolata questa parte.

sezioni: mesh e tetraedri dettaglio volumi

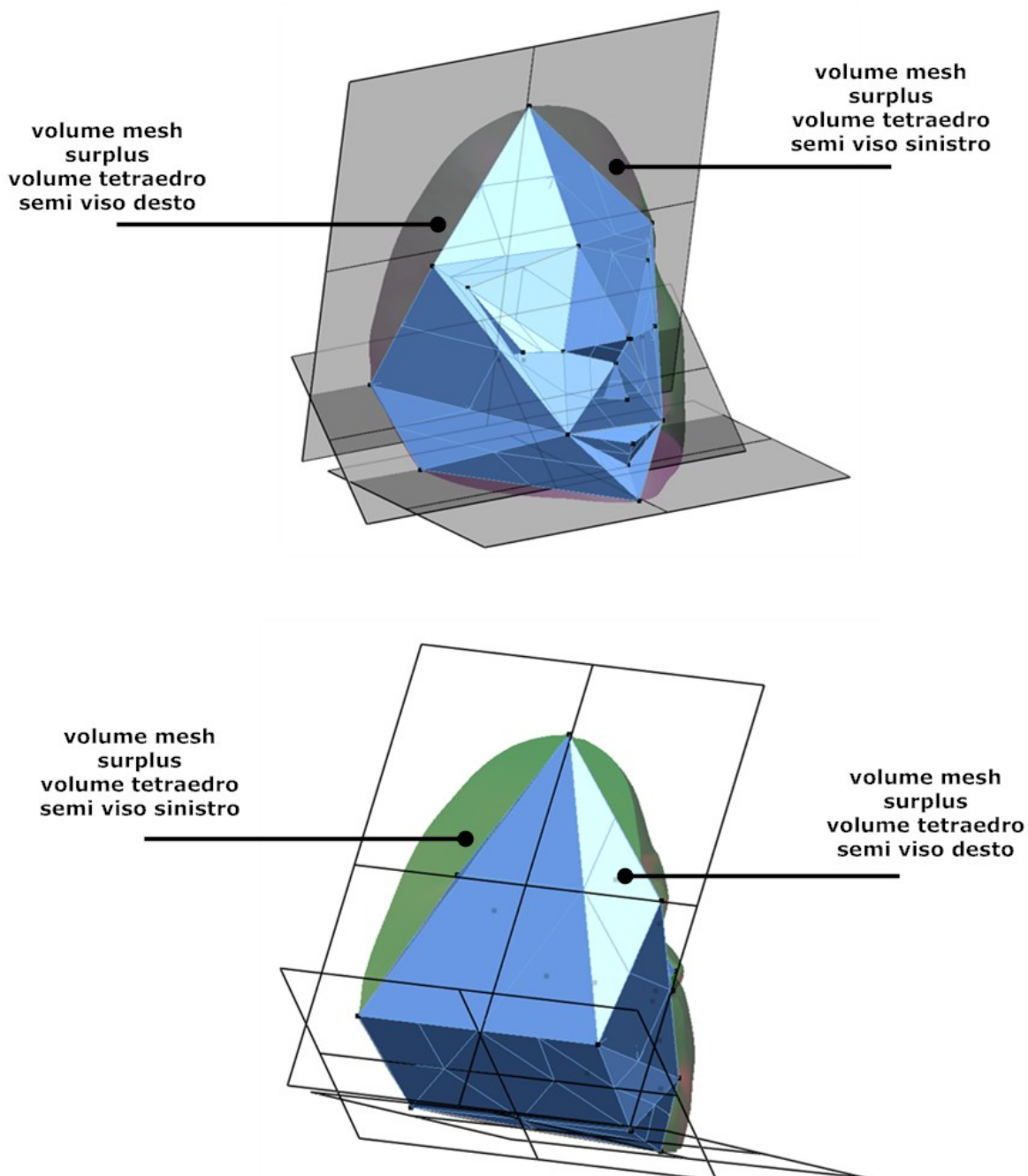


Immagine 3.10: L'immagine illustra il surplus di volume che si ottiene tagliando la mesh con i tre piani proposti

Per porre rimedio al problema sopra evidenziato, vengono definiti due piani laterali con le seguenti caratteristiche: **piano laterale superiore destro** superficie piana passante per il punto antropometrico 4 e per i due punti antropometrici 17 e 9 e **piano laterale superiore sinistro** superficie piana passante per il punto antropometrico 4 e per i due punti antropometrici 18 e 10.

costruzione piani di lato superiori

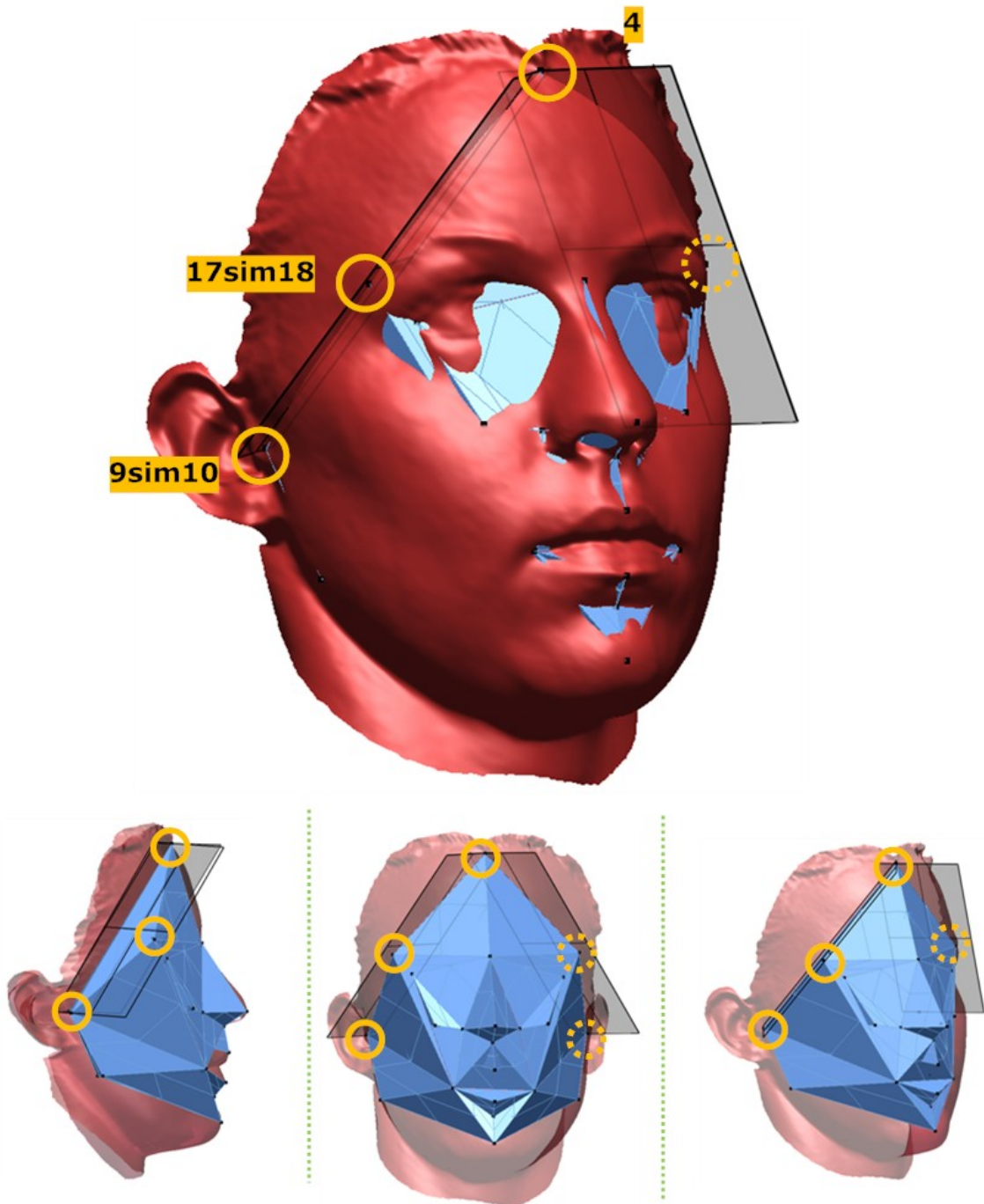


Immagine3.11: L'immagine illustra la costruzione dei piani laterali destro e sinistro

In base ai piani precedentemente definiti ed i due piani laterali sopra viene tagliata la mesh generale del viso (rossa) al fine di ottenere una mesh chiusa (giallo) delimitata nella zona posteriore dai piani costruiti in precedenza, analogamente alla mesh verde, e dai nuovi piani laterali. La zona superiore anteriore del viso viene tagliata dai piani laterali, apparentemente va in contrasto con le regole sopra esposte, in realtà poiché lo studio è sulla comparazione della valutazione dei volumi con il metodo basato sui tetraedri ed il metodo basato sulle mesh è opportuno che le porzioni di mesh considerate siano confrontabili nella loro generalità con la struttura tetraedrica. Questa considerazione, poi giustificata con i numeri, consente di eseguire il taglio delle mesh con i piani sopra descritti.

sezioni: mesh e tetraedri dettaglio piani laterali

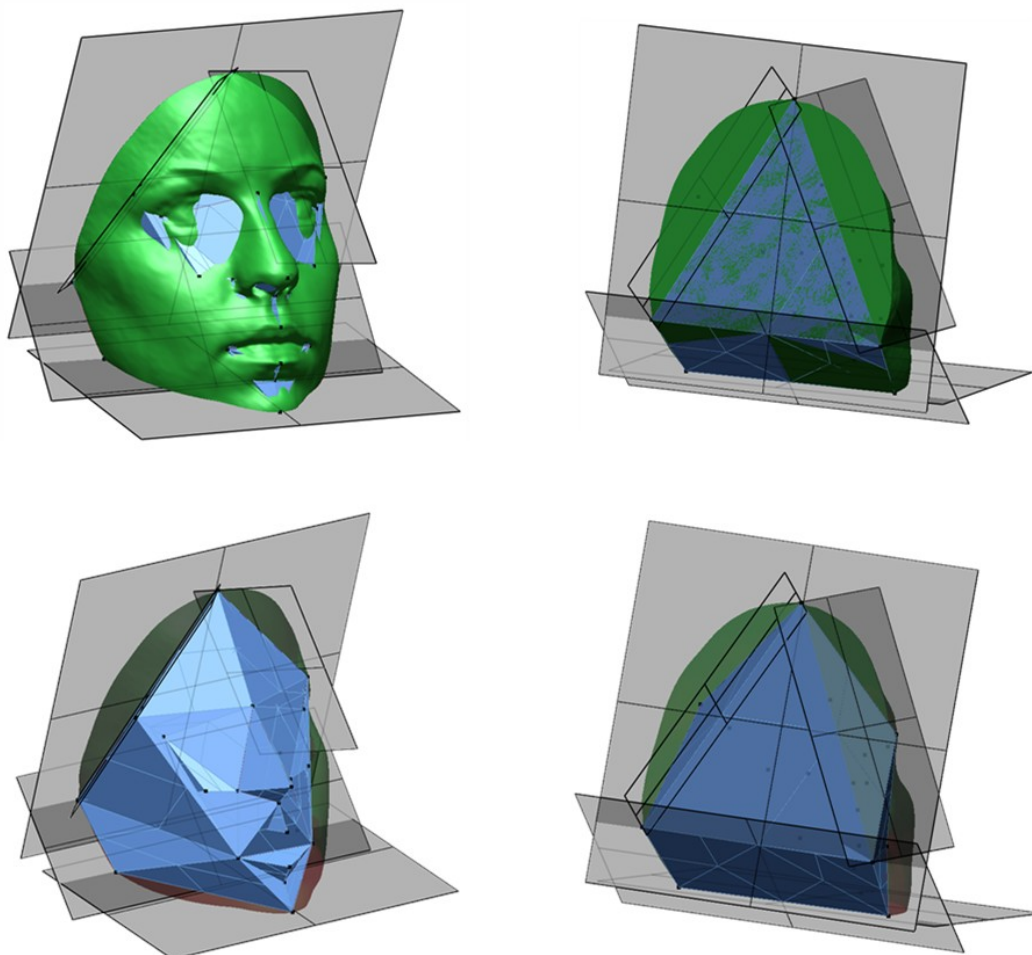


Immagine 3.12: *L'immagine illustra come la costruzione dei piani laterali è tangente alla struttura tetraedrica, le immagini sulla destra evidenziano come viene isolata una porzione di volume particolarmente sviluppata nella parte posteriore.*

Nell'immagine sottostante viene evidenziata l'intera costruzione che porta all'isolamento completo della porzione di mesh in relazione alla struttura tetraedrica.

sezioni: mesh e tetraedri

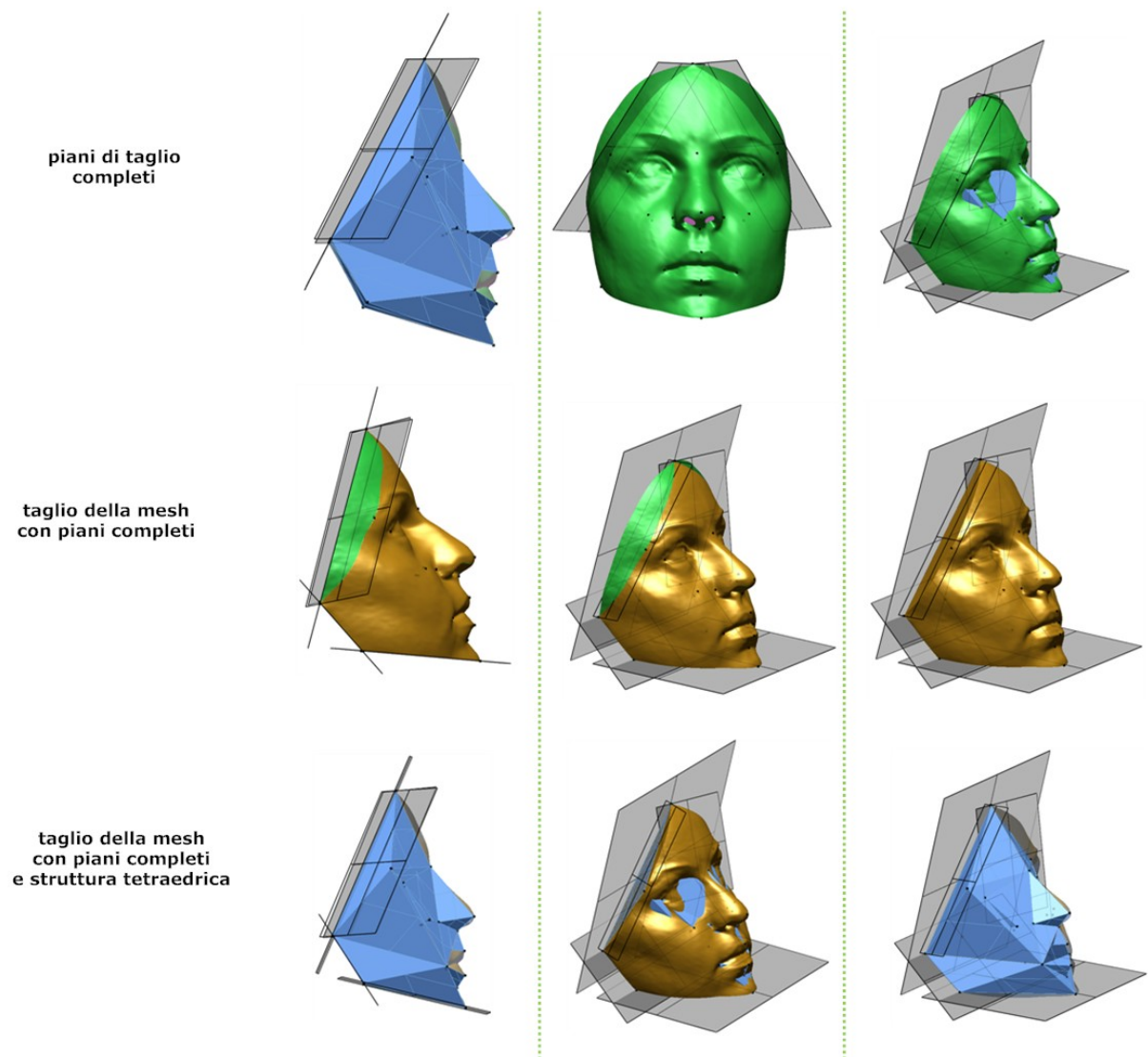


Immagine 3.13: L'immagine illustra la costruzione del taglio della mesh con i piani laterali (struttura a piani completi)

A completamento del capitolo viene riportata un'immagine riassuntiva delle costruzioni eseguite sui visi per isolare il volume di mesh sostenuto dalla struttura tetraedrica.

volume tetraedri integrati con laser scanner

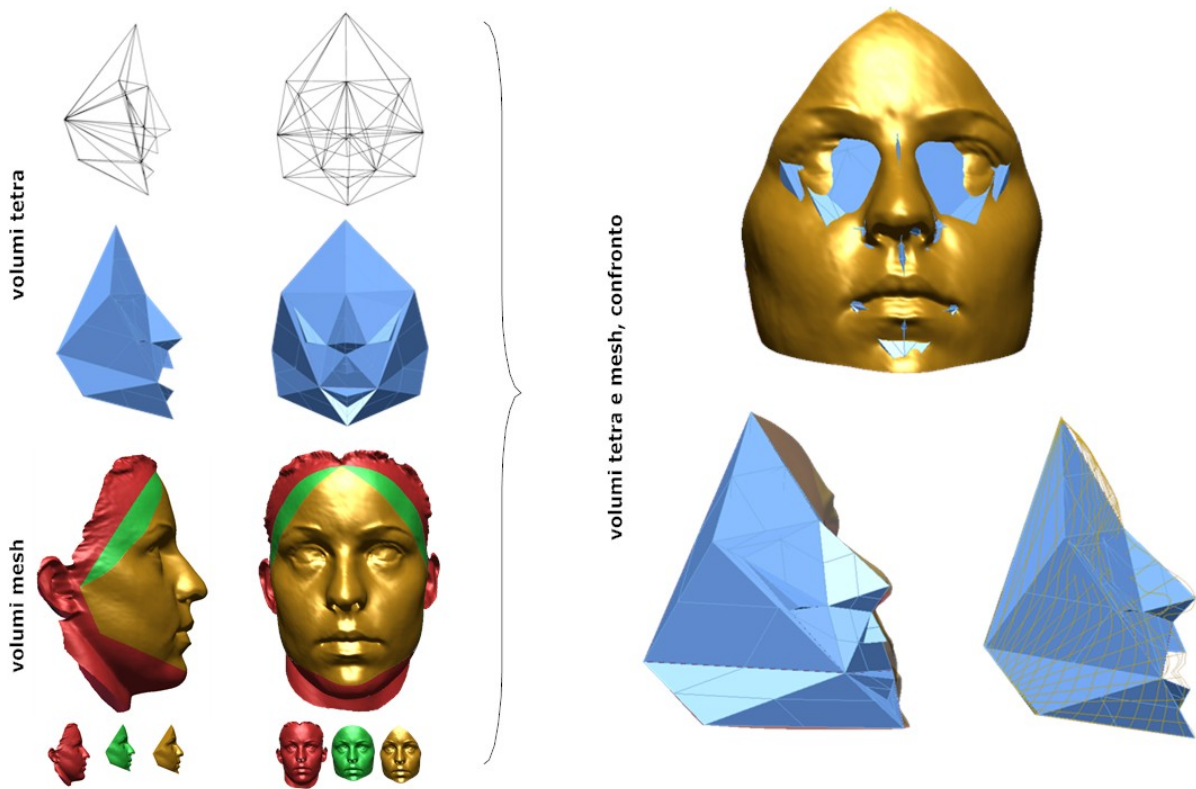


Immagine 3.14: L'immagine riporta un riassunto della costruzione eseguita.

3.3 calcolo del volume: struttura tetraedrica

Per calcolare i volumi nella struttura tetraedrica e nella mesh vengono usati due metodi diversi.

Il volume della struttura tetraedrica viene calcolato sommando il volume dei singoli tetraedri. Poiché sono disponibili le coordinate dei punti dei vertici dei tetraedri stessi si usa la formula:

$$V = \frac{1}{3!} \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \\ x_4 & y_4 & z_4 & 1 \end{vmatrix}$$

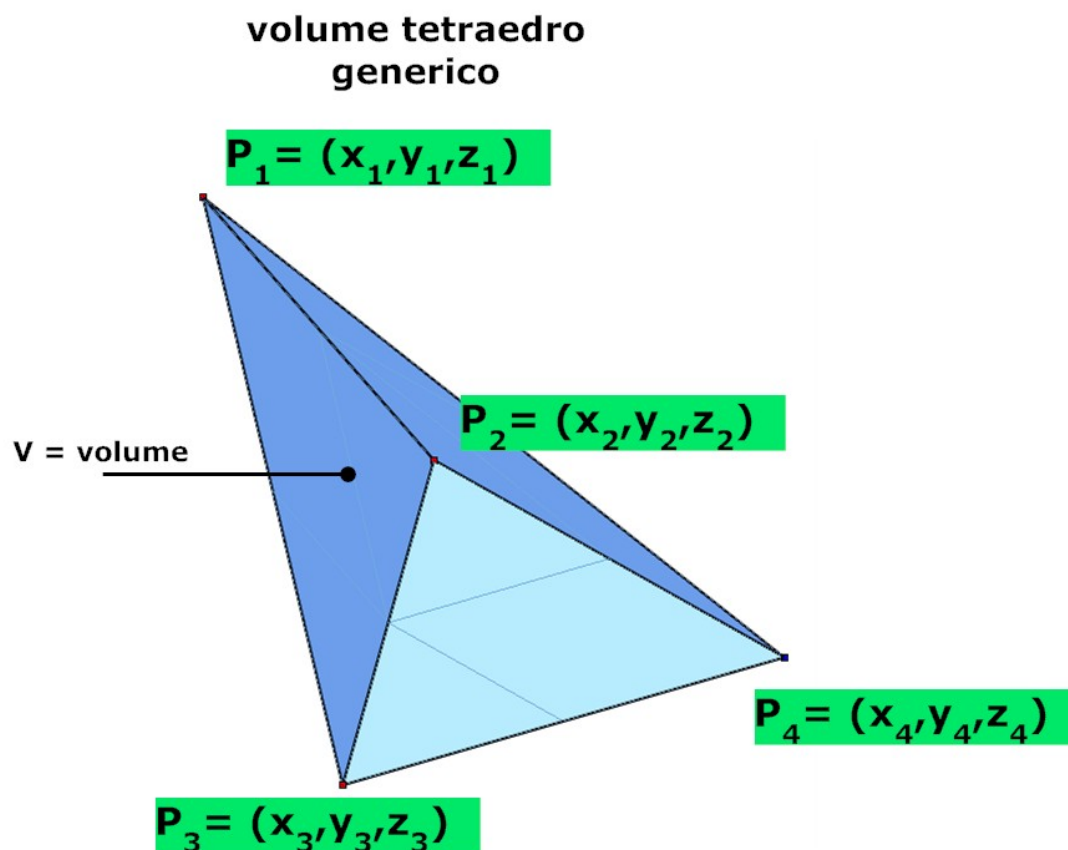


Immagine 3.15: L'immagine riporta un tetraedro generico che illustra i termini della formula per il calcolo del volume

**volume tetraedro
esempio tetraedro 2.6: middle premaxilla**

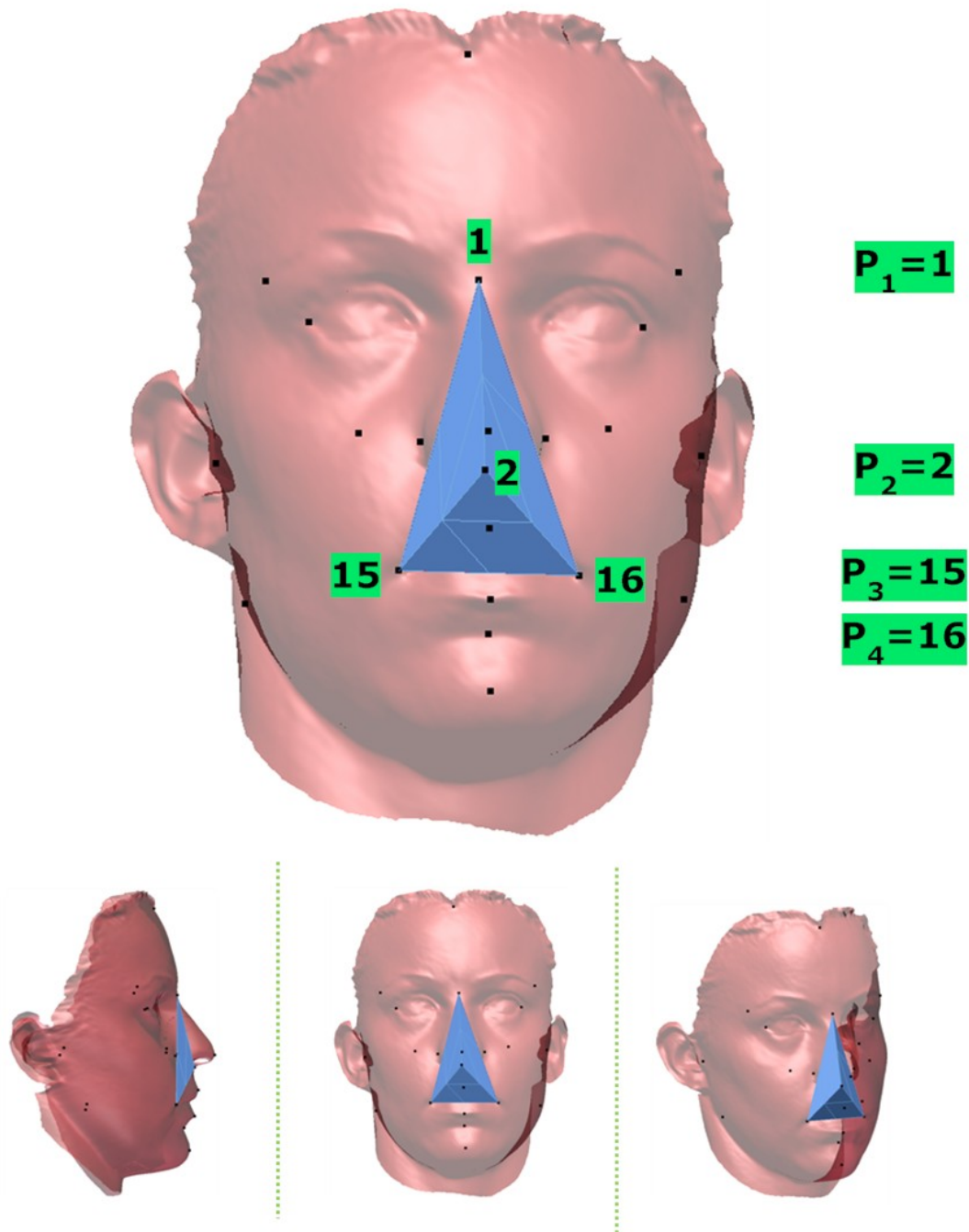


Immagine 3.16: L'immagine riporta un tetraedro (2.6) posizionato all'interno del viso

3.4 calcolo del volume: mesh

Per calcolare i volumi nella struttura tetraedrica e nella mesh vengono usati due metodi diversi.

Il volume calcolato con le mesh viene isolato come descritto in precedenza tagliando la mesh completa del viso con una serie di piani. Per poter ottenere una mesh chiusa sezionata lungo i piani è necessario che la superficie di interfaccia piano-mesh del non presenti fori o fessurazioni, inoltre è opportuna che non sia deformata.

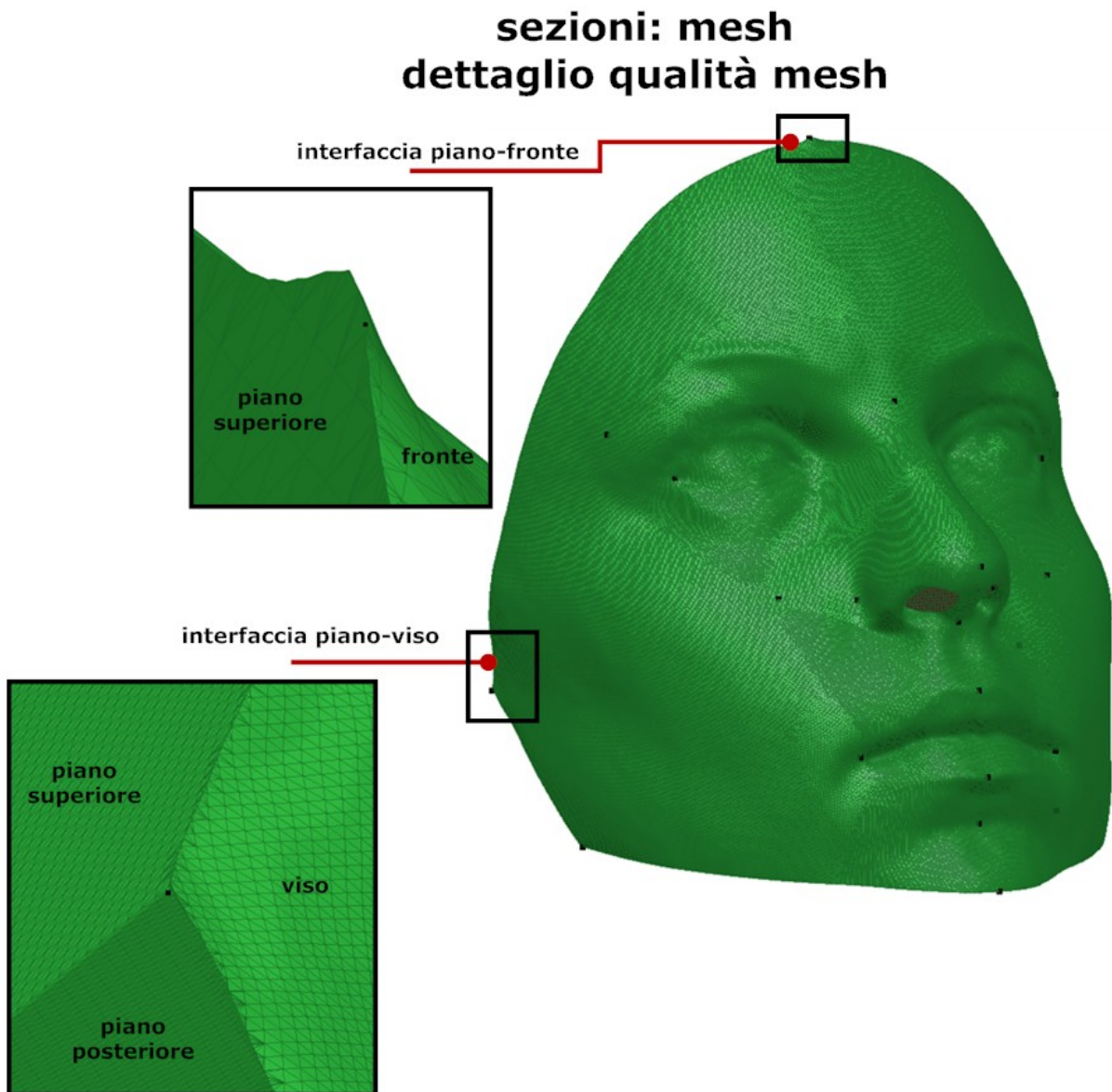


Immagine 3.17: L'immagine riporta come l'interfaccia mesh-piani di taglio sia ben delimitata senza sbavature

sezioni: mesh dettaglio qualità mesh

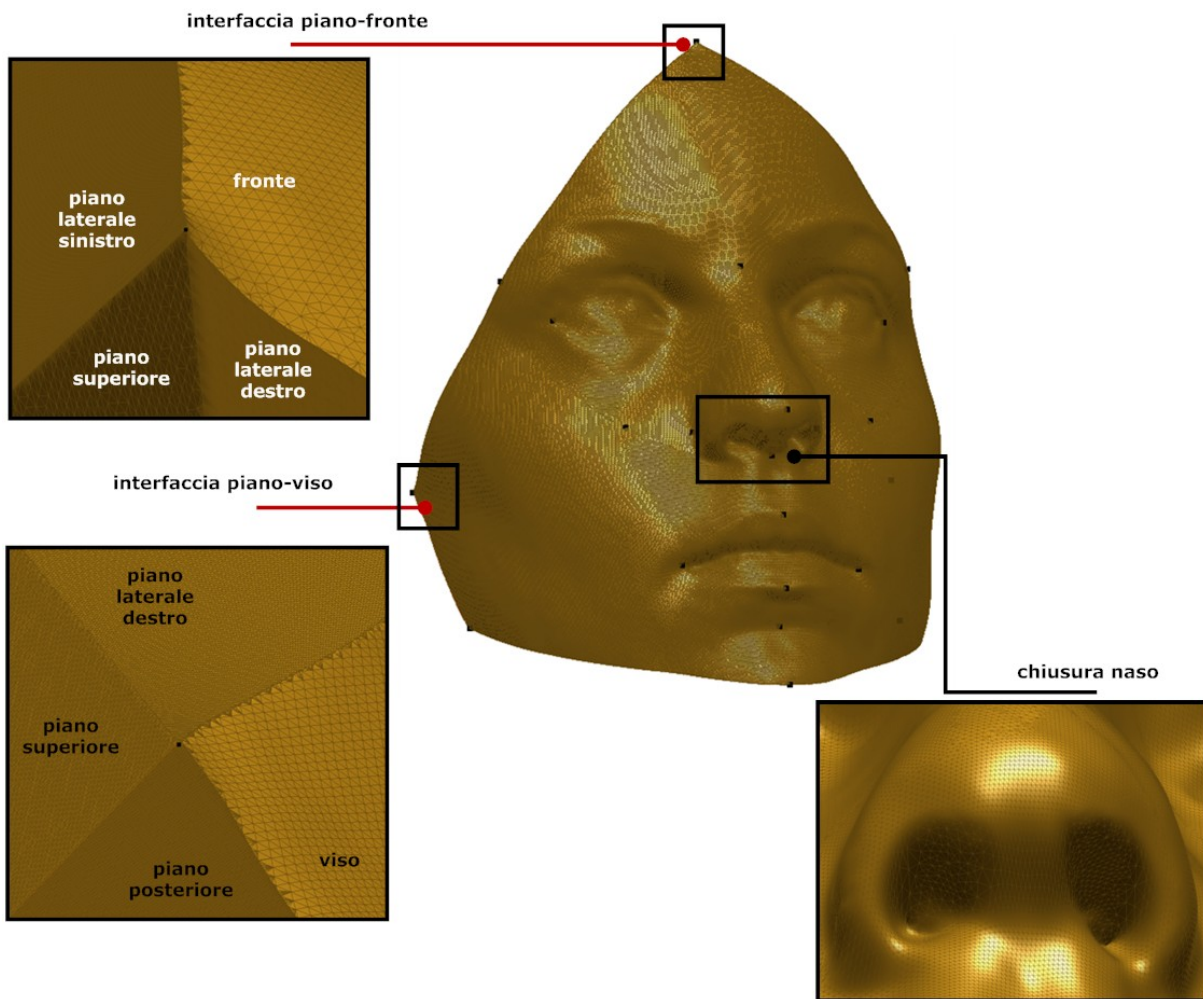


Immagine 3.18: L'immagine riporta come l'interfaccia mesh-piani di taglio sia ben delimitata senza sbavature anche nella mesh tagliata con il set completo di piani (3+2), inoltre viene evidenziato come il naso viene riempito in modo da non creare discontinuità con la porzione di mesh esistente.

Il calcolo del volume è eseguito via software, la teoria usata è quella dell'integrale di Green (D. Eberly Fast and accurate computation of polyedral mass proprietis, Journal of graphics tools , vol 1, n 2, pp.31-50, 1996).

comparazione tra l'analisi dei volumi ottenuti con il metodo secondo V.F. Ferrario ed il metodo mediante laser scanner

In questo capitolo vengono eseguite le comparazioni dei volumi ottenuti con i due diversi metodi

4.1 valori dei volumi

nella tabella sottostante vengono riportati i valori dei volumi calcolati con i due metodi ed il loro rapporto.

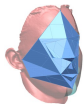
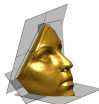
pazienti soggetto	Volume (mm ³)		
	Metodo tetraedri (A) 	Metodo laser scanner piani completi (B) 	$\frac{(A)}{(B)}$ rapporto tra i volumi
S 01	637680,93	721486,00	0,84
S 02	659344,32	751823,39	0,82
S 03	663340,85	755899,58	0,80
S 04	666838,12	769949,30	0,79
S 05	667156,83	782794,87	0,80
S 06	672827,92	774765,20	0,83
S 07	712407,29	880950,57	0,81
S 08	739299,24	886330,65	0,78
S 09	783299,00	911235,54	0,79
S 10	784735,95	913731,21	0,79
S 11	849422,78	990935,28	0,79
S 12	906957,03	1040807,22	0,81
S 13	938112,65	1085303,16	0,83
S 14	940799,36	1119853,35	0,81

Tabella 4.1: vengono riportati i valori dei volumi valutati con i due metodi

4.2 struttura dell'analisi dei dati

Si definiscono variabili dell'elaborazione il valore del volume calcolato con il metodo dei tetraedri (denominato x) ed il valore del volume valutato usando la mesh (denominato y).

Per entrambe le variabili il metodo che approssima meglio il loro andamento è la retta di approssimazione ai minimi quadrati ($y = m x + q$), si è calcolato il valore dell'intercetta (q) e del coefficiente angolare (m), si è inoltre calcolato il coefficiente di regressione r.

L' equazione è stata usata imponendo il valore del volume valutato con i tetraedri e calcolando il relativo volume per il metodo mesh con laser scanner, sulla serie dei dati rilevati è stato costruito il metodo di Bland e Altman (1986) per eseguire una comparazione.

Il metodo proposto da Bland e Altman consente, tramite una costruzione grafica, di stabilire una concordanza tra due metodologie diverse che valutano la stessa grandezza.

Il metodo consiste nel riportare in un diagramma i dati da analizzare, in tale diagramma viene assegnato all'asse delle ascisse il valore medio tra i due metodi e all'asse delle ordinate la loro differenza.

Successivamente alla costruzione del diagramma è stata calcolato il valore medio (mean) e la deviazione standard (SD) delle differenze, questo valore viene inserito nel diagramma per costruire una base di valutazione: la gran parte delle differenze risulta compresa all'interno dell'intervallo di confidenza $\pm 1,96SD$, questo assicura che i valori in esame non sono sovra o sottostimati.

Dal diagramma di Bland e Altman si deduce se le due metodologie di valutazione non presentano differenze dal punto di vista clinico e quindi se possono essere utilizzate equivalente.

È stata inoltre calcolato il rapporto medio tra i valori dei volumi proposti dai due metodi e la relativa deviazione standard.

4.3 risultati

in funzione dei dati raccolti (4.1) e della struttura usata per l'elaborazione dei dati (4.2) sono stati raggiunti i risultati descritti in questa sezione.

L'analisi di regressione lineare fornisce:

parametro	valore	Standard error
m	1,194	0,052
q	-21390,463	39973,627

Tabella 4.2: vengono riportati i valori di m e q

Con un coefficiente di correlazione $r = 0,989$ ($p < ,001$).

nel diagramma sottostante viene graficata la retta di regressione ottenuta interpolando i dati riportati in nero. Sull'asse delle ascisse viene riportato il valore del volume ricavato con il metodo dei tetraedri mentre sulle ordinate il valore del volume ricavato dal metodo mesh laser scanner.

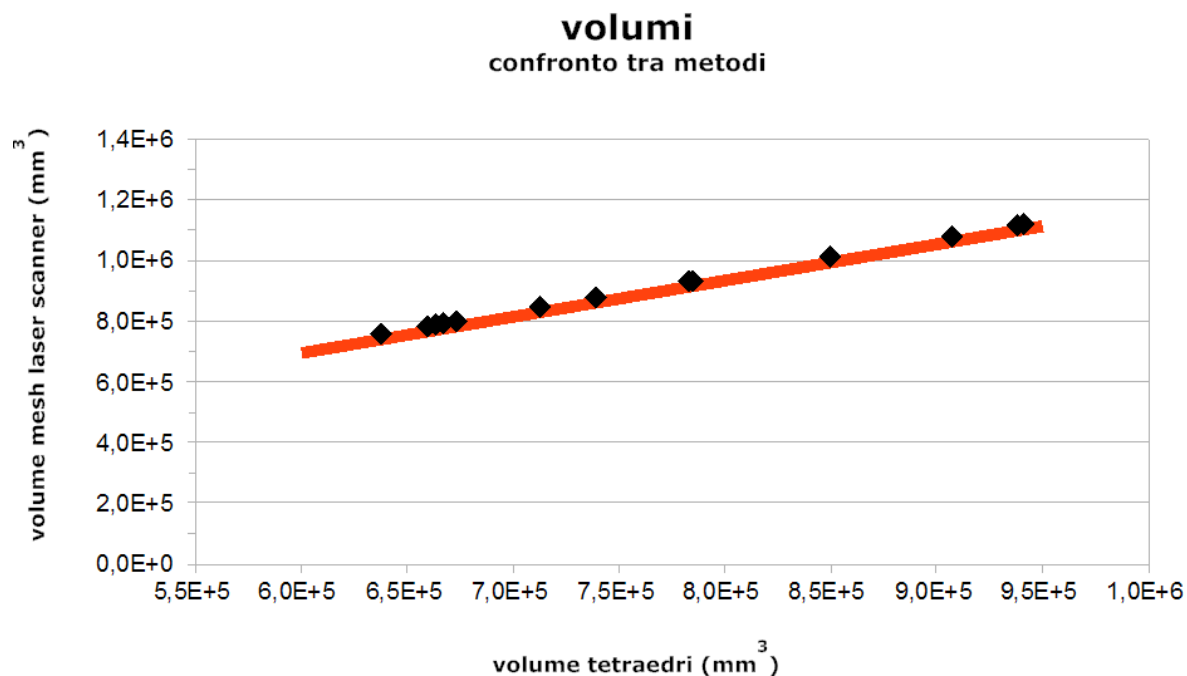


Grafico 4.1: confronto tra i volumi

Il diagramma sottostante riporta le scale dei volumi uguali nel rapporto dimensione lineare ed intervallo volumetrico, questo consente di valutare graficamente l'angolo che la retta forma con l'asse delle ascisse. Il valore è estraibile dal coefficiente angolare della retta di regressione:

$$\text{angolo} = \arctan(m) = \arctan(1,194) = 50,053 [\text{gradi}]$$

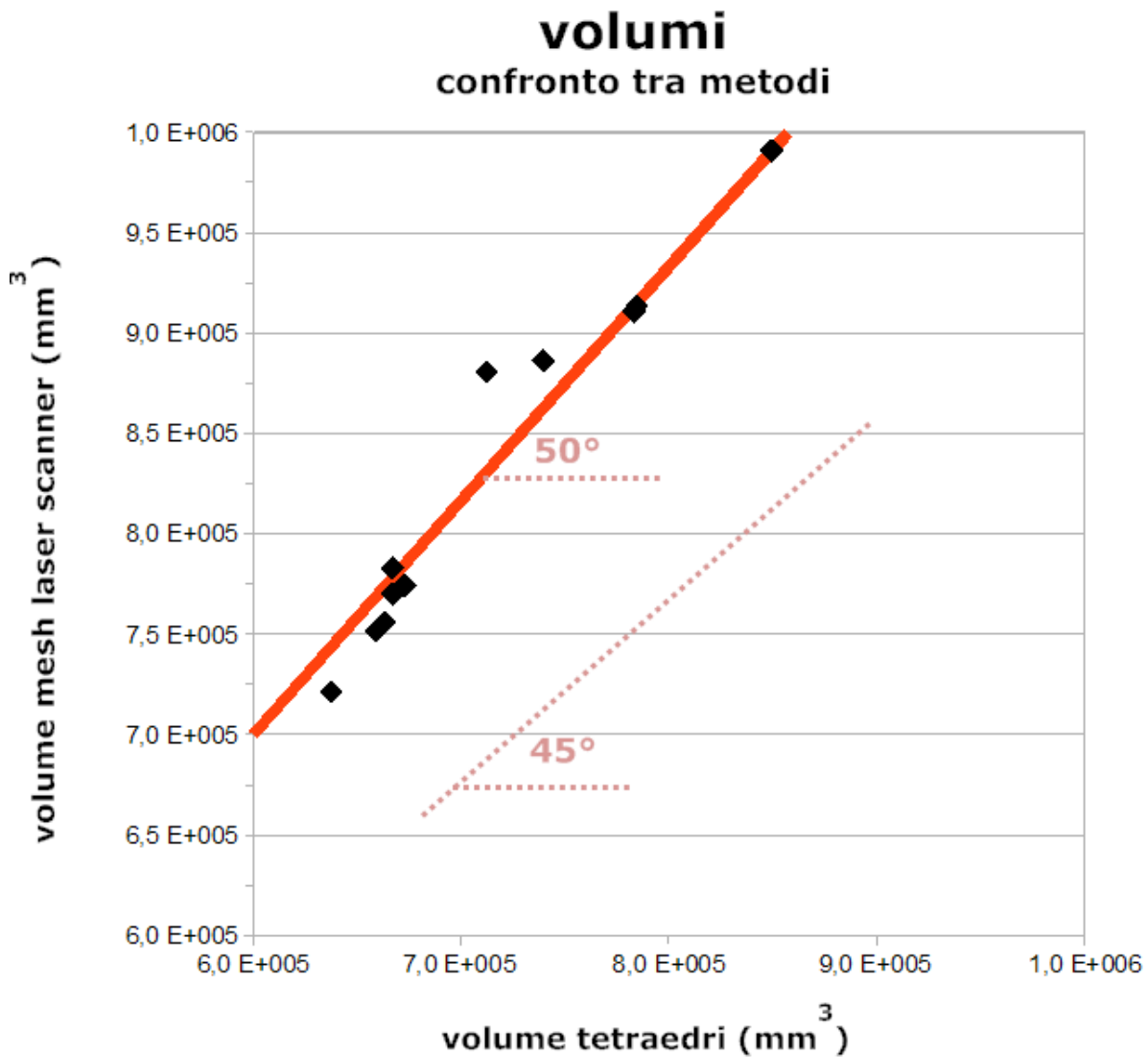


Grafico 4.2: confronto tra i volumi, scale assi equivalenti

Il diagramma sottostante illustra la linea di tendenza sopra illustrata con le bande di errore, in verde, positive e negative. Si vede come i dati (in nero) giacciono tutti all'interno delle bande riportate.

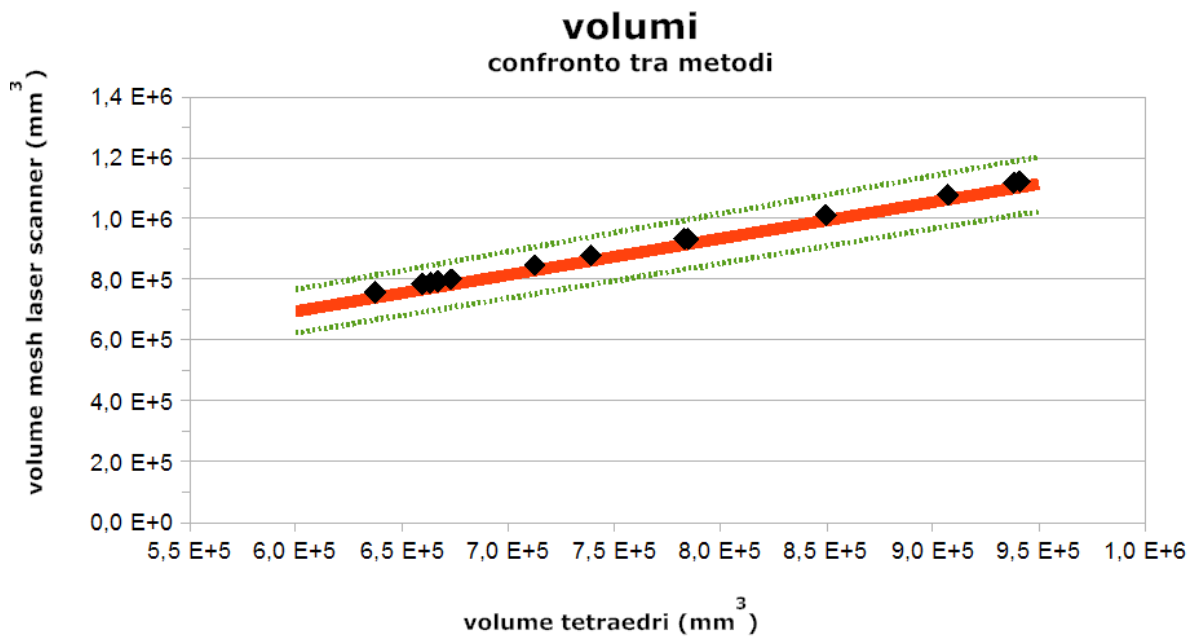


Grafico 4.3: confronto tra i volumi, banda di errore

Viene sotto riportato il diagramma di Bland e Altman. In ascissa viene riportata la media tra i volumi mentre in ordinata la differenza tra i volumi stessi. La retta centrale rossa indica il valore medio mentre le rette arancioni agli estremi (contrassegnate con dei triangoli alle estremità) indicano il valore medio correlato alla tolleranza ($\text{media} \pm 1,96\text{SD}$).

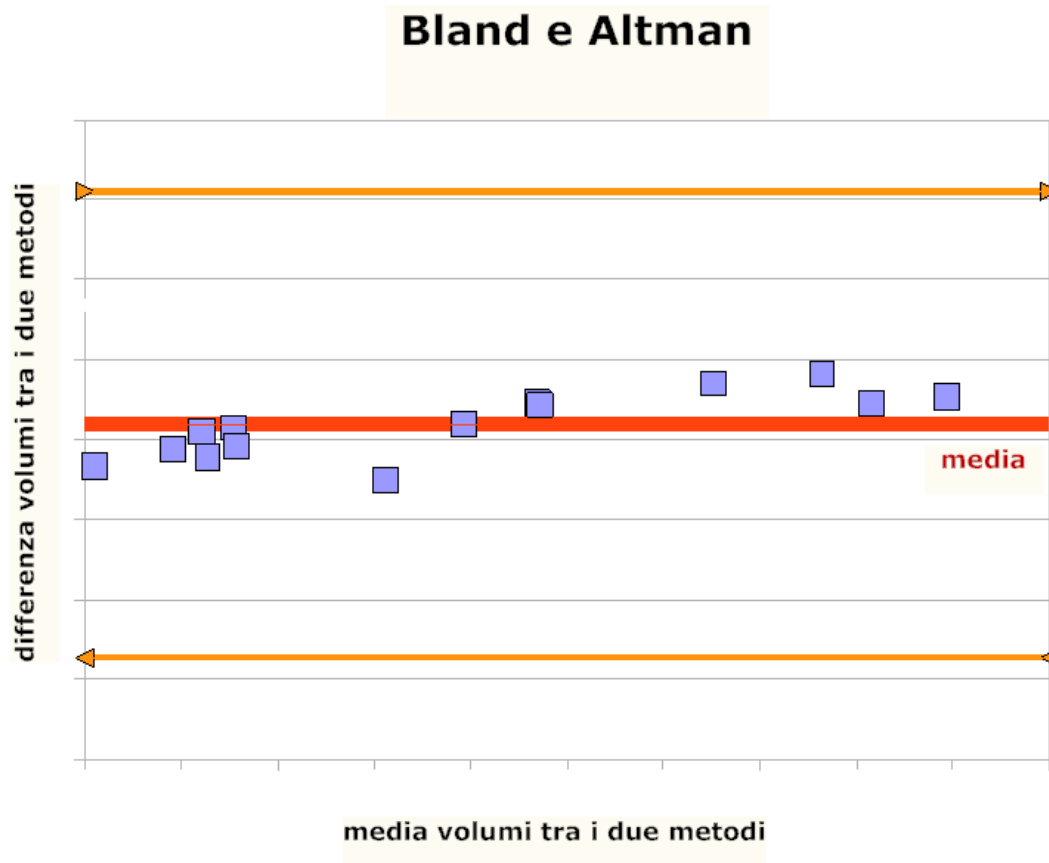


Grafico 4.4: diagramma di Bland e Altman

Viene sotto riportato l'istogramma che riporta per i diversi pazienti (S_1, \dots, S_n) il valore del volume.

In azzurro (prima colonna relativa al singolo paziente) viene riportato il valore del volume calcolato con il metodo dei tetraedri, in arancione (seconda colonna relativa al singolo paziente) viene riportato il valore del volume calcolato con il metodo mesh-laser scanner tagliando la mesh con i piani completi.

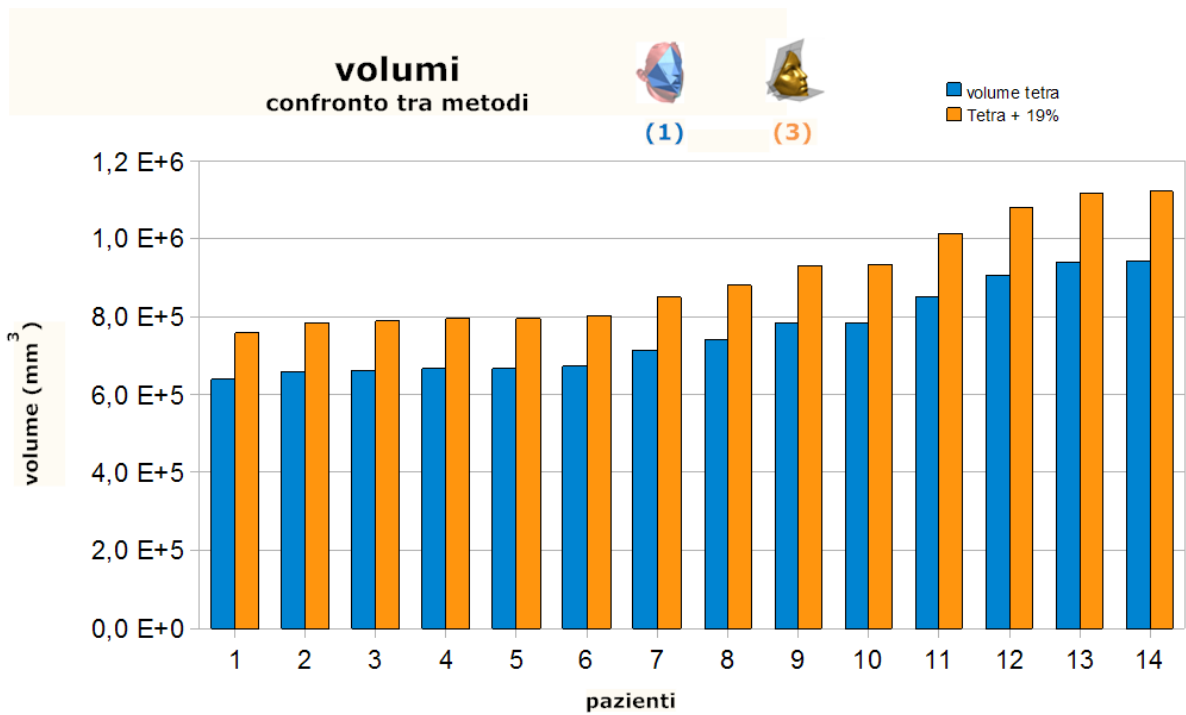


Grafico 4.5: istogramma confronto tra metodi

Nel secondo diagramma proposto viene invece aggiunta una colonna (in verde, posizione centrale), in cui viene riportato il valore del volume di mesh compreso tra piani non completi.

Nel diagramma illustrato di seguito vengono riportati i dati estratti dalla tabella riportata sotto.

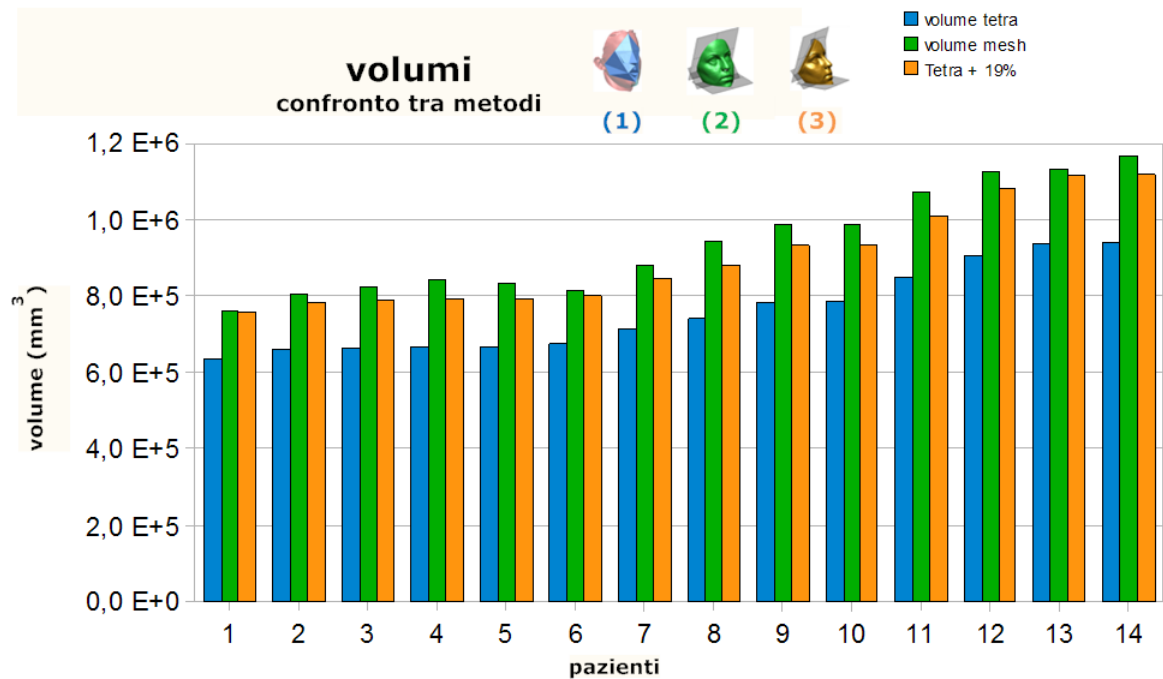


Grafico 4.6: istogramma confronto tra metodi

Il numeratore (*tetra*) è sempre costante ed è il volume ricavato con il metodo dei tetraedri.

Il primo denominatore (stima 19%) rappresenta il valore di tetraedri incrementato del 19% , tale percentuale è ricavata dall'articolo "A computerized non-invasive method for the assessment of human facial volume" Ferrario et al., Journal of Cranio-Maxillo facial surgery, (1995) 23, 280-286.

Il secondo denominatore (mesh piani COMPLETI) rappresenta il valore del volume della mesh dopo averla tagliata con la costruzione dei piani completi.

Il terzo denominatore (mesh piani NON COMPLETI) rappresenta il valore del volume della mesh dopo averla tagliata con la costruzione dei piani NON completi.

Tipo di rapporto	valore	Standard error
$\frac{tetra}{stima\ 19\%}$	0,84	np
$\frac{tetra}{mesh\ piani\ COMPLETI}$	0,86	0,02
$\frac{tetra}{mesh\ piani\ NON\ COMPLETI}$	0,81	0,02

Tabella 4.3: vengono riportati i rapporti tra i volumi calcolati con i diversi metodi

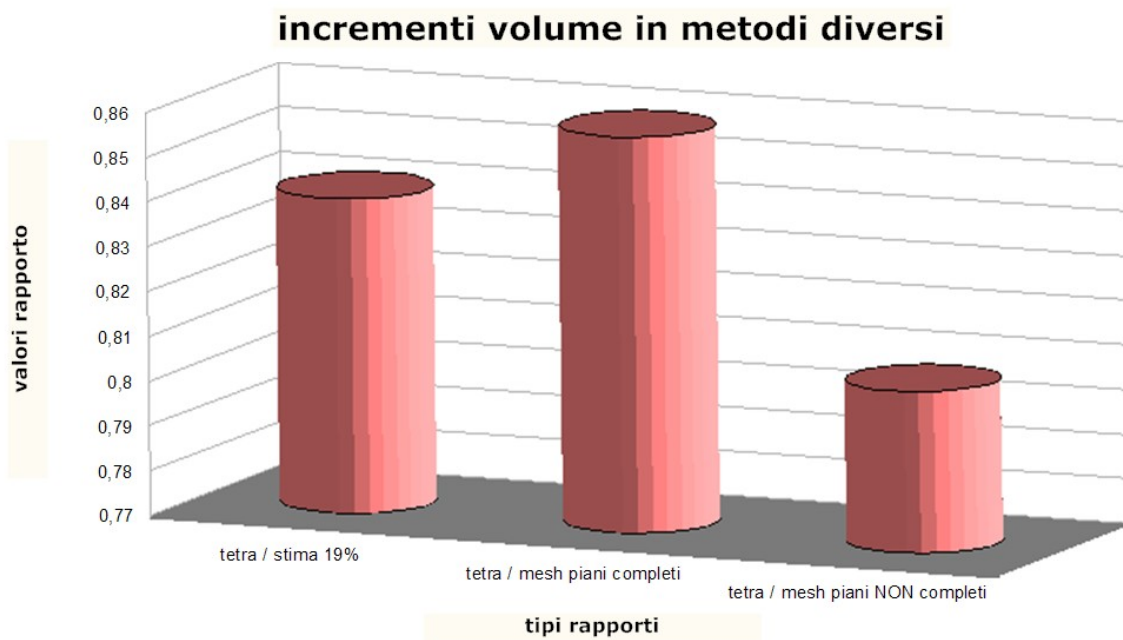


Grafico 4.7: istogramma confronto tra rapporti di volumi calcolati con diversi metodi

conclusioni

in base al lavoro svolto si riportano le conclusioni descritte in questo capitolo.

Dalla tabella riportata nella sezione 4.1 si nota come il metodo basato sui tetraedri sottostima il valore del volume rispetto al metodo basato su mesh-laser scanner. Questa sovrastima era in parte prevedibile ma non in modo accurato poiché la struttura tetraedrica non giace sempre sotto o sempre sopra la mesh, introducendo sempre un plus od un minus, si vedano le immagini riportate nel capitolo 5 (taglio della mesh con struttura a piani completi). E' stato quindi necessario formalizzare questa intuizione.

Il coefficiente di correlazione ($r=0,989$, $p<,001$) porta ad avere una forte correlazione tra i volumi ricavati con i due metodi. Graficamente il coefficiente angolare calcolato dalla retta di regressione porta ad avere una pendenza di 50° quindi un rapporto volumetrico vicino all'unità (45°).

il diagramma di Bland-Altman indica che i due metodi hanno una elevata concordanza.

La raccolta dati formalizzata dal Prof. Ferrario usando il metodo dei tetraedri rappresenta una solida base per definire campioni di normalità all'interno di una specifica area geografica e per diverse fasce di età. E' stato quindi opportuno verificare che il metodo proposto fosse correlato alla metodologia proposta da Ferrario per l'analisi dei volumi.

Costruendo la struttura tetraedrica sul viso è stato possibile verificare che tutti i tetraedri sono in condizione di pieno riempimento, tranne il tetraedro 2.15 che ha compenetrazioni. Questa compenetrazione sovrastima il volume calcolato con i tetraedri rispetto ad un volume calcolato a pieno riempimento, tuttavia è stata mantenuta per eseguire una raccolta dati coerentemente estendibile ai valori di normalità.

Nell'articolo "A computerized non-invasive method for the assesment of human facial volume" Ferrario et al., Journal of Cranio Maxillo-Facial Surgery 1995 (23), 280-286, viene eseguita una verifica dell'errore tra il volume calcolato con i tetraedri ed il volume ottenuto dalla variazione di livello di liquido immergendo la maschera rappresentante il volto in un liquido e calcolando la variazione di livello pre e post immersione. Tale valore equivale ad un plus del 19% rispetto al metodo calcolato con i tetraedri, il rapporto tra i due volumi (*tetra/stima* 19%) porta ad avere un valore di 0,84. Dall'elaborazione eseguita nel presente documento risulta un plus del 16,48 % ($SD=0,02$) quindi il metodo che usa i tetraedri risulta più affidabile usando solo la

superficie del viso delimitata da tutti i piani tangenti alla struttura tetraedrica (piani completi). Viceversa se utilizziamo i piani non completi otteniamo un valore del 24,05% (0,81), sovrastimato e quindi direttamente non correlabile.

Il principale limite della metodica proposta è che necessita di strumenti sufficientemente costosi e di un notevole impiego di lavoro per l'elaborazione dei dati. Lo stato attuale della tecnologia porta ad avere un minor costo dei dispositivi di scansione quindi un atteggiamento ottimistico per questa criticità. Per quanto riguarda l'elaborazione dei dati, la costruzione del modello virtuale completo del viso è difficile che sia reso completamente automatico, viceversa l'isolamento dei volumi penso implementabile in modo più semplice e strutturato in un ambiente grafico 3D che lo consenta.

Il vantaggio principale del metodo proposto è che porta ad una ricostruzione fedele della superficie del viso e quindi ad una fedele riproduzione del tessuto molle. Questo consente di analizzare nel dettaglio la morfologia del viso senza impegnare il paziente e permettendo indagini avanzate, difficilmente eseguibili con altre metodologie.

A titolo di potenzialità si illustra come la metodologia proposta può essere applicata anche a porzioni diverse del viso. Nell'immagine riportata nella pagina seguente viene isolata la zona superiore.

costruzione integrata con laser scanner regione superiore

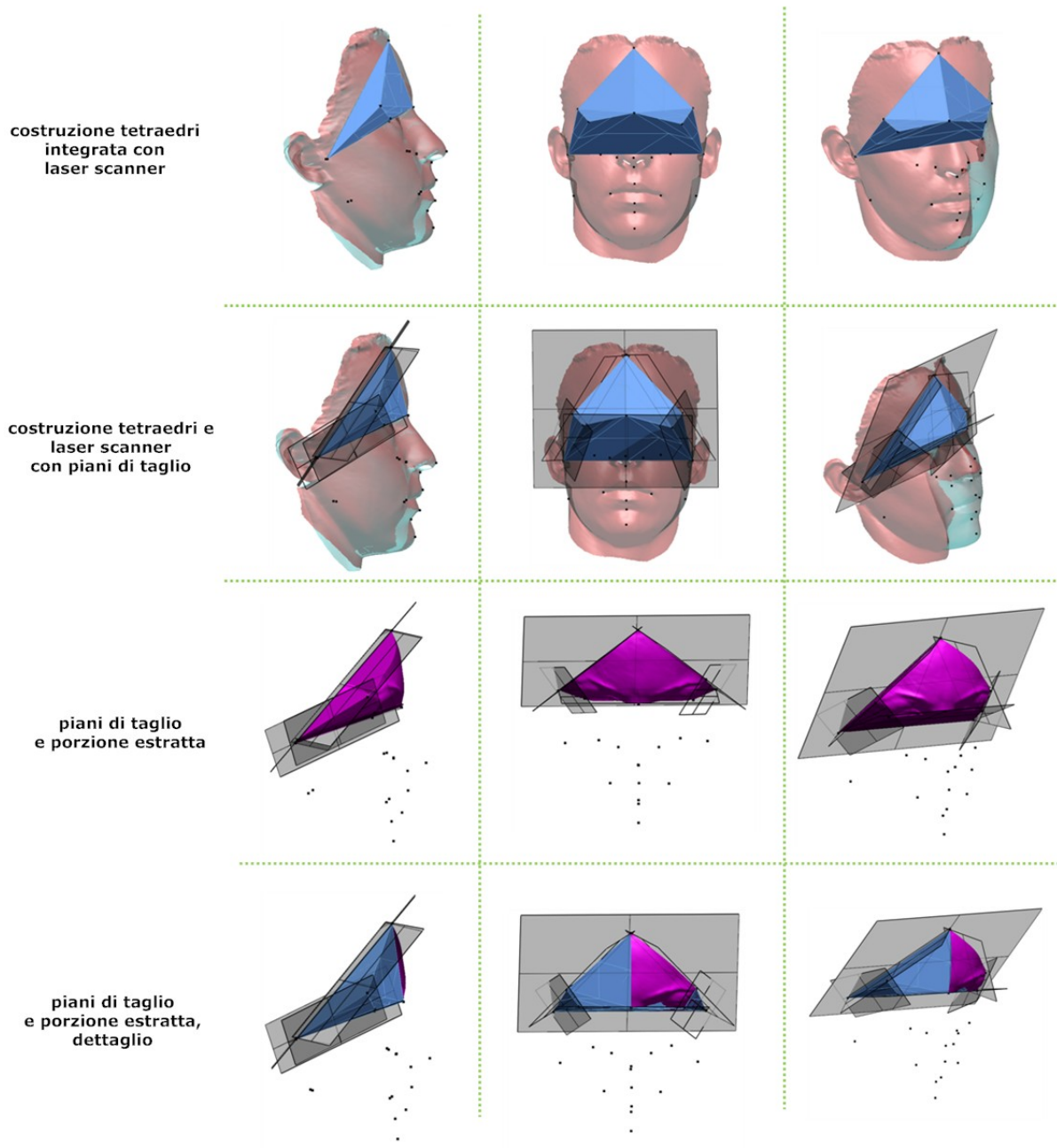


Immagine 5.1: L'immagine riporta come una costruzione simile a quella descritta nell'elaborato sia applicabile alla zona superiore, media, inferiore. Generalizzando la metodologia può essere applicata alle zone della mesh che necessitano di un confronto.

protocollo di acquisizione

l'acquisizione delle facce fa parte di un progetto più ampio che richiede non solo l'acquisizione del viso ma anche l'acquisizione dei calchi dentari e del posizionamento dei calchi all'interno del viso. Per maggior informazioni sul progetto: "A 3-Dimensional facial Morpho-Dynamic Database in the development of a prediction model in orthognathic surgery" Peretta et al., Progress in Orthodontics 2008, 9(2):8-19.

Oggetto (riportato intestazione):

Di seguito si descrivono le fasi operative per l'acquisizione di pazienti pre-post operazione maxillo facciale. Si fa riferimento al progetto di ricerca "A 3D FACIAL MOPHO-DYNAMIC DATABASE...", in particolare il seguente protocollo esplicita il punto 4 (patient acquisition protocol).

nota: di fondamentale importanza per la chiara interpretazione del documento è la divisione delle scansioni riportata nelle tabelle 1 e 2.

Luogo:

sala per acquisizioni 7° piano policlinico (gruppo I,II,III)

Preparazione del paziente:

La parte anatomica acquisita è la porzione di volto delimitata superiormente dalla linea di capillizio e inferiormente dalla regione cervicale anteriore fino alla base del collo, lateralmente dal trago sinistro al trago destro. Per la metodologia usata (laser) l'area acquisita, sopra specificata, non deve essere coperta da capelli (raccolti con un ferma capelli) o da una eventuale barba (che deve essere preventivamente rasata). E' opportuno trattare la superficie cutanea con una crema opacizzante su cute accuratamente detersa per evitare riflessioni anomale del laser che portano ad una acquisizione non soddisfacente.

Durante la fase di acquisizione:

per avere un dataset il più possibile corretto, durante la fase di acquisizione:

- Controllare che il paziente mantenga una espressione neutra con denti a contatto e "labbra a penzolini" durante tutta l'acquisizione (gruppo I e II)
- I capelli devono essere ben raccolti in modo da lasciare libero il viso, in particolare deve vedersi chiaramente l'attaccatura dei capelli sopra la fronte e le orecchie
- Non devono presentarsi stiramenti della superficie di nessun tipo durante tutta l'acquisizione (gruppo I e II)

Materiale: (per scansioni gruppo I, II, III)

1. Per attrezzaggio:
 - 1.1. Sedia girevole per acquisizioni completa di:
 - 1.1.1. craniostato,
 - 1.1.2. porta forchette,
 - 1.1.3. calibration chart (riferimento per l'acquisizione dell'asse)
 - 1.1.4. Cuscini/teli per la regolazione in altezza del paziente e sul craniostato
 - 1.2. Livella
 - 1.3. Fari per l'illuminazione: 2 con piantana di regolazione
 - 1.4. Superfici riflettenti mobili per la diffusione della luce (fogli bianchi a pareti, soffitto, pavimento)

2. Strumentazione:
 - 2.1. Scanner completo di:
 - 2.1.1. supporto: tripiede regolabile
 - 2.1.2. set di ottiche (middle per l'acquisizione del paziente),
 - 2.1.3. cavi per il cablaggio:
 - 2.1.3.1. alimentazione
 - 2.1.3.2. cavo SCSI
 - 2.2. Pc completo di:
 - 2.2.1. scheda SCSI,
 - 2.2.2. software PET

Sequenze di scansione:

gruppo	Numero scansioni nel gruppo	orientazione (soggetto)	nome delle viste	Sigla vista	Riferimento all'interno del protocollo	Presenza del paziente
I	1	frontale a 30° al di sotto del piano di Francoforte (pazienteP)	Frontale a 30° inclinazione	F30_P	2.2	Si
II	5	laterale, in rotazione sull'asse longitudinale, coprendo un arco di 180°, a step di 45° , partendo dal laterale destro fino al laterale sinistro (pazienteP)	Laterale destra a 90° Laterale destra a 45° Frontale Laterale sinistra a 45° Laterale sinistra a 90°	LD90_P LD45_P F0_P LS45_P LS90_P	2.3	Si

nota: destro e sinistro sono riferiti al paziente.

Tabella. Descrizione gruppi principali di scansione. Si presentano i gruppi principali di scansioni (4) con descritte le principali caratteristiche e il riferimento al dettaglio all'interno del documento.

Descrizione fasi processo di acquisizione (in sequenza temporale):

1. PREPARAZIONE ATTREZZATURA:
 - 1.1. regolazione attrezzaggio:
 - 1.1.1. sedia: verifica della possibilità di rotazione da LD90 a LS90.
 - 1.1.2. luci: i due fari devono dare una luce diffusa:
 - 1.1.2.1. il primo faro si posiziona dietro la scrivania, con il fascio luminoso diretto verso il soffitto
 - 1.1.2.2. il secondo faro si posiziona accanto allo scanner, con il fascio luminoso diretto verso il pavimento
 - 1.1.2.3. le superfici riflettenti (fogli di carta) vengono così posizionate:
 - 1.1.2.3.1. a lato del paziente, all'altezza cranio (attaccate al muro)
 - 1.1.2.3.2. sul soffitto, orientativamente dove punta il fascio di luce del primo faro.
 - 1.1.2.3.3. a pavimento, è mobile e va posizionata dove punta il fascio di luce del secondo faro
 - 1.2. scanner: cablaggio, accensione scanner, accensione pc (nell'ordine)
 - 1.2.1. controllo che l'ottica montata sia MIDDLE, in caso contrario chiedere ai

responsabili dello scanner.

1.2.1.1. regolazione della temperatura della luce come da procedura di calibrazione b/w specificata nel manuale d'uso dello scanner; la procedura viene riportata in appendice (estratto manuale scanner), chiedere comunque ai responsabili dello scanner per eseguire l'operazione di taratura.

1.2.2. regolazione grossolana altezza supporto per la scansione del gruppo I: disposizione molto delicata, il supporto dello scanner (trepiede) si posiziona considerevolmente vicino alla sedia e si inclina (verso l'alto) per permettere la corretta acquisizione della regione cervicale anteriore fino alla base del collo

1.2.3. regolazione grossolana disposizione per le scansioni del gruppo II: si allontana lo scanner per permettere l'inquadratura di tutta la faccia nelle 5 prese, quindi si verifica che nelle posizioni estreme (LD90 e LS90) il campo di inquadratura sia corretto.

2. ARRIVO DEL PAZIENTE E INIZIO ACQUISIZIONE:

2.1. spiegazione dello scanner e di come si svolgeranno le acquisizioni.

viene chiesto al paziente di mantenere, durante la fase di acquisizione (scansione) i denti in posizione di occlusione e l'espressione facciale neutra con gli occhi aperti.

2.2. **acquisizione gruppo I** (figura 1):

2.2.1. posizionamento dello scanner come al punto 1.1.1 regolazione fine sul paziente:

2.2.1.1. inquadratura (posizionamento manuale dello scanner per permettere una visione completa e rilassata della regione cervicale anteriore fino alla base del collo).

2.2.1.1.1. Uso di un cuscino/telo da interporre tra il craniostato e la nuca del paziente, ha lo scopo di mantenere naturale la posizione del paziente.

2.2.1.1.2. Eventuale riposizionamento del paziente con uso di cuscini/ teli per alzarlo dalla sedia, solo se lo scanner non ha più possibilità di movimento (raggiunta dei finecorsa del trepiede).

2.2.1.1.3. *Nota: tutti i cuscini/teli usati vanno mantenuti per tutte le fasi dell'acquisizione.*

2.2.1.2. eventuale regolazione fine dell'illuminazione

2.2.1.3. AF dello scanner e regolazione eventuale di distanza (circa 1000-1100mm) e intensità del laser

2.2.1.4. avvio scansione (unica, non con tavola rotante), controllo e salvataggio vista.

2.2.1.5. *Nota: attenzione all'accensione delle luci (coppia di fari) ed allo spegnimento delle luci a soffitto presenti nella stanza (neon).*

2.2.1.6. *Nota: viene chiesto al paziente di mantenere, durante la fase di*

acquisizione (scansione) i denti in posizione di occlusione e l'espressione facciale neutra con gli occhi aperti

2.2.1.7.eventuale ripetizione del punto 2.2.1 fino a risultato soddisfacente.

2.2.1.8.nomina e salvataggio delle acquisizioni eseguite

2.3. acquisizione del gruppo II (figura 1):

2.3.1.posizionamento dello scanner come al punto 1.1.2 e regolazione fine sul paziente

2.3.1.1.inquadratura (posizionamento manuale dello scanner per permettere una visione completa della faccia in posizione rilassata e con la rotazione della sedia da LD90 a LS90).

2.3.1.2.*Nota: se si sono usati in precedenza (2.2) cuscini/ teli devono essere mantenuti. La posizione delle luci deve rimanere la stessa impostata al punto 2.2.1.2*

2.3.1.3.AF dello scanner e regolazione eventuale di distanza e intensità del laser, eventualmente si esegua la regolazione delle prese estreme da LD90 a LS90.

2.3.2.impostazione angoli da 135° a 315° nel PET: acquisizione con tavola rotante con passo di 45°, alternativamente puo essere eseguita una scansione per viste singole con rotazione del paziente (questa modalità consente di avere il controllo in tempo reale delle operazioni)

2.3.3.*Nota:attenzione all' accensione delle luci (coppia di fari) ed allo spegnimento delle luci a soffitto presenti nella stanza (neon).*

2.3.4. *Nota: viene chiesto al paziente di mantenere, durante la fase di acquisizione (scansione) i denti in posizione di occlusione e l'espressione facciale neutra con gli occhi aperti*

2.3.5.avvio scansione

2.3.6.rotazione del paziente in senso orario di 45° (vedi tacche su tavola rotante e riferimento a muro)

2.3.7.continuazione scansione fino a compiere le 5 scansioni del gruppo II (rotazione di 180° del paziente)

2.3.8.si porti la sedia in posizione frontale, si faccia alzare il paziente.

2.3.9. *Nota: non muovere niente: sedia, scanner, luci.*

2.3.10.montaggio supporto e disposizione del calibration chart, acquisizione della calibration chart, secondo i riferimenti presenti.

2.3.11.*Nota:non muovere niente: sedia, scanner, luci.*

2.3.12.eventuale ripetizione dei punti da 2.3.1 a 2.3.11 fino a risultato soddisfacente.

2.3.13.*Nota:le scansioni con tavola rotante non possono essere ripetute singolarmente ma è necessario rifare tutto il ciclo.*

2.3.14.smontaggio supporto calibratracion chart

2.3.15.nomina e salvataggio delle acquisizioni eseguite

2.4. posizionamento della forchetta occlusale (con resina) nella bocca del paziente

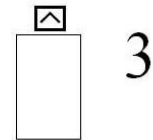
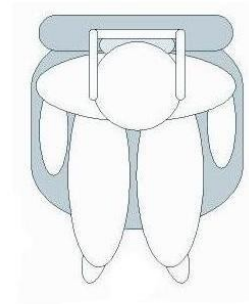
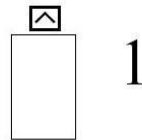
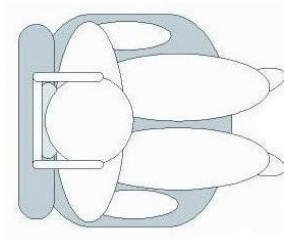
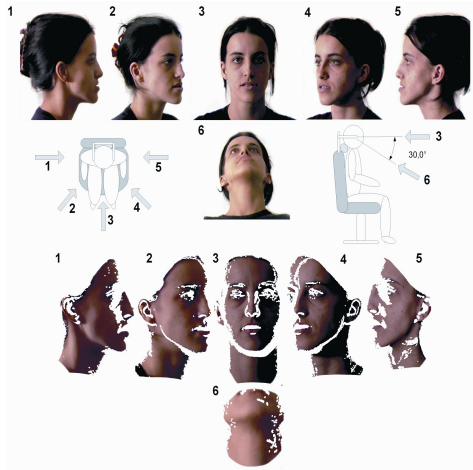


Immagine. acquisizioni gruppo I e II **A sx:** L'immagine 6 rappresenta il gruppo I, le immagini da 1 a 5 il gruppo II. **Adx:** posizione della sedia (girevole) rispetto allo scanner (fisso) per generare la vista 1 e la vista 3.

2.5. smontaggio apparato di acquisizione:

- 2.5.1. controllo, nomina e salvataggio delle acquisizioni eseguite, eventuale copia su altro supporto.
- 2.5.2. spegnimento PC
- 2.5.3. spegnimento Minolta
- 2.5.4. scollegare i cavi e riporli nell'apposito contenitore.

dati analisi errore ricostruzione

modello facciale

di seguito vengono riportati i dati raccolti per l'elaborazione descritta nel capitolo 4. Non vengono riportati i dati relativi al microscribe.

Raccolta dati

Tabelle con le coordinate dei quattordici punti antropometrici di ogni maschera. Nella prima tabella mancano due punti in quanto non identificabili.

X_Zeiss	Y_Zeiss	Z_Zeiss	X_Minolta	Y_Minolta	Z_Minolta	X_Diff	Y_Diff	Z_Diff
-31,624	-103,74	37,9993	-31,55374	-103,7469	37,92523	0,0705	-0,007	-0,0740513
5,10288	-95,397	46,0128	5,205988	-95,31924	45,82284	0,1031	0,078	-0,190001
22,7674	-87,09	55,1998	22,73144	-87,1532	55,12718	-0,036	-0,063	-0,0725873
40,1532	-98,909	45,434	40,22317	-98,82596	45,32998	0,07	0,083	-0,1039803
70,7188	-105,13	37,8078	70,6505	-105,0299	37,59824	-0,068	0,103	-0,2095476
21,007	-107,82	90,0714	21,14616	-107,873	89,77649	0,1392	-0,057	-0,294894
3,77407	-117,83	76,1226	3,743598	-117,8429	76,12257	-0,03	-0,009	-5,22E-005
21,0745	-124,09	81,4661	21,00737	-124,06	81,2217	-0,067	0,033	-0,2443865
38,6412	-120,05	76,8019	38,44885	-119,8652	76,71224	-0,192	0,184	-0,0896156
20,3026	-135,01	89,8447	20,30031	-135,007	89,8482	-0,002	-7E-04	0,0035092
46,1722	-156,78	78,3737	46,2562	-156,688	78,27387	0,084	0,093	-0,0998378
12,7942	-176,89	98,2113	12,7839	-176,7225	97,93147	-0,01	0,163	-0,2797917
Maschera 1								
X_Zeiss	Y_Zeiss	Z_Zeiss	X_Minolta	Y_Minolta	Z_Minolta	X_Diff	Y_Diff	Z_Diff
-33,569	-109,19	45,0628	-33,45051	-109,1445	44,95074	0,1185	0,046	-0,1120381
0,52125	-99,942	51,5247	0,5162319	-99,94391	51,53966	-0,005	-0,002	0,0150167
18,8858	-88,09	58,8875	18,88479	-88,07723	58,95573	-1E-03	0,013	0,0682361
38,2156	-100,58	52,1463	38,185	-100,4888	52,26405	-0,031	0,091	0,11779
71,6784	-109,12	42,1371	71,52694	-109,1726	42,03177	-0,151	-0,056	-0,1052842
18,2161	-103,45	100,453	18,17472	-103,2817	100,6407	-0,041	0,172	0,1872927
-0,9609	-120,06	87,8175	-1,003027	-120,0617	87,8407	-0,042	-0,003	0,0232384
18,9461	-127,81	96,3846	18,94635	-127,7953	96,33312	0,0002	0,017	-0,0514537
39,3685	-120,34	86,2602	38,85133	-120,4201	86,13053	-0,517	-0,083	-0,1296252
20,6145	-142,5	105,226	20,6125	-142,4999	105,24	-0,002	0,002	0,0141785
-8,0329	-155,87	90,7226	-7,961654	-155,888	90,56297	0,0712	-0,014	-0,159651
20,9952	-154,35	110,847	21,00559	-154,3678	110,8033	0,0104	-0,018	-0,0440329
47,9811	-154,97	91,809	48,00745	-154,9466	91,67175	0,0263	0,019	-0,1372471
22,182	-180,05	116,798	22,18358	-180,0568	116,8105	0,0016	-0,003	0,012897
Maschera 2								

X_Zeiss	Y_Zeiss	Z_Zeiss	X_Minolta	Y_Minolta	Z_Minolta	X_Diff	Y_Diff	Z_Diff
-31,676	-112,59	48,5677	-31,49567	-112,5796	48,45472	0,1804	0,008	-0,1129992
3,6318	-108,17	60,6874	3,592936	-108,1147	60,78687	-0,039	0,058	0,0994951
18,5496	-95,986	69,0032	18,57197	-95,95609	69,10222	0,0223	0,03	0,0990704
32,9574	-109,18	59,3092	32,92949	-109,2032	59,2606	-0,028	-0,024	-0,0486225
66,7724	-117,45	46,1857	66,48019	-117,4693	45,88506	-0,292	-0,015	-0,3006533
17,0624	-118,63	101,684	17,04831	-118,6491	101,5458	-0,014	-0,015	-0,1379773
0,59817	-129,3	87,4449	0,6294242	-129,2922	87,43982	0,0313	0,004	-0,0050664
17,2275	-135,53	94,9605	17,22925	-135,3987	94,7444	0,0017	0,135	-0,216119
33,5344	-129,63	88,0008	33,07493	-129,6249	88,03839	-0,459	0,006	0,0376254
17,1425	-147,88	101,055	17,13764	-147,8989	100,955	-0,005	-0,018	-0,0997707
-9,7696	-161,47	90,5061	-9,772184	-161,3962	90,34099	-0,003	0,076	-0,1650602
16,9057	-164,95	105,597	16,93164	-164,9832	105,4029	0,0259	-0,035	-0,1935735
41,3566	-162,39	91,6642	41,30547	-162,326	91,42275	-0,051	0,068	-0,2414584
16,5166	-187,66	109,677	16,47642	-187,6732	109,3918	-0,04	-0,018	-0,2852008

Maschera 3

X_Zeiss	Y_Zeiss	Z_Zeiss	X_Minolta	Y_Minolta	Z_Minolta	X_Diff	Y_Diff	Z_Diff
-26,686	-113,2	41,5997	-26,59016	-113,1759	41,54457	0,0961	0,022	-0,0551269
5,29787	-102,77	49,282	5,306828	-102,8109	49,16196	0,009	-0,045	-0,1200549
18,7479	-89,412	55,3691	18,71992	-89,35872	55,46157	-0,028	0,053	0,0924915
35,6972	-101,73	48,7329	35,68557	-101,7032	48,78298	-0,012	0,023	0,0500828
71,0876	-110,96	37,0536	71,09953	-110,9541	37,06857	0,0119	0,003	0,0149235
17,2563	-111,05	92,822	17,18084	-110,9172	93,10646	-0,075	0,13	0,2844781
2,67967	-124,54	77,1921	2,471912	-124,5747	77,21215	-0,208	-0,038	0,0200421
18,2744	-128,98	84,8807	18,27036	-128,9782	84,90268	-0,004	-0,002	0,0219569
36,4845	-122,02	77,3552	36,03946	-122,2571	77,24865	-0,445	-0,235	-0,1065657
19,0514	-139,16	89,886	18,96267	-138,9894	90,32498	-0,089	0,166	0,4389957
-5,8872	-156,38	78,9668	-5,933263	-156,3283	79,08935	-0,046	0,047	0,1225397
20,9545	-152,05	97,5365	20,9172	-152,0214	97,66472	-0,037	0,024	0,128217
52,2324	-156,43	81,4515	52,13151	-156,5061	81,75901	-0,101	-0,076	0,3075004
20,2419	-181,02	105,761	20,23622	-181,048	105,8356	-0,006	-0,024	0,0743568

Maschera 4

X_Zeiss	Y_Zeiss	Z_Zeiss	X_Minolta	Y_Minolta	Z_Minolta	X_Diff	Y_Diff	Z_Diff
-36,33	-119,3	44,0446	-36,01329	-119,2603	43,85014	0,3169	0,039	-0,1944602
-4,4518	-109,98	57,0134	-4,74272	-109,814	57,22466	-0,291	0,163	0,2112165
10,0258	-94,043	67,9044	10,10256	-94,13032	67,74308	0,0767	-0,087	-0,16132
28,9025	-109,33	61,3135	28,86337	-109,3977	61,12463	-0,039	-0,07	-0,1888797
63,8815	-114,13	50,0792	63,86504	-114,1339	50,06786	-0,016	-0,002	-0,0113063
8,04362	-121,76	106,007	8,155905	-121,7071	105,6667	0,1123	0,049	-0,3407076
-5,8975	-127,82	89,0687	-5,71084	-127,896	89,05669	0,1867	-0,075	-0,0119954
10,7082	-134,63	96,0914	10,73272	-134,5408	95,78599	0,0245	0,092	-0,3053695
28,2101	-128,23	89,2263	27,76458	-128,1983	89,07245	-0,446	0,035	-0,1538321
11,7937	-145,44	104,591	11,79562	-145,4485	104,5832	0,0019	-0,006	-0,0079945
-13,393	-165,25	93,0163	-13,44815	-165,3124	92,56367	-0,055	-0,059	-0,4526228
12,2409	-162,46	110,663	12,20998	-162,335	110,7554	-0,031	0,125	0,0929683
40,7953	-162,97	96,3647	40,81979	-162,9775	96,20893	0,0245	-0,006	-0,1558065
12,5345	-194,08	119,179	12,65717	-194,1529	118,6804	0,1226	-0,068	-0,4985332

Maschera 5

Tabella delle differenze con segno e assolute di posizione dei punti rilevati con Minolta e Zeiss.

ABS		X	Y	Z	D	D Abs	
Distance	Distance	Media	0	0,05	-0,14	-0,18	0,185
-0,10247	0,1024702	Deviazione Std	0,09	0,08	0,1	0,12	0,109
-0,22978	0,2297789	Min	-0,19	-0,06	-0,29	-0,33	0,004
-0,10258	0,102584	Max	0,14	0,18	0	0,03	0,331
-0,15021	0,1502067						
-0,24309	0,2430906						
-0,33098	0,3309764						
0,031874	0,03187444						
-0,25554	0,2555413						
-0,28086	0,2808584						
0,00426	0,004259845						
-0,16028	0,1602784						
-0,32395	0,3239518						
Maschera 1							
Distance		X	Y	Z	D	D Abs	
-0,16955	0,1695544	Media	-0,04	0,01	-0,02	-0,05	0,135
0,015928	0,01592777	Deviazione Std	0,15	0,06	0,1	0,19	0,14
0,069479	0,06947884	Min	-0,52	-0,08	-0,16	-0,54	0,013
0,151816	0,1518158	Max	0,12	0,17	0,19	0,26	0,539
-0,19271	0,1927113						
0,257868	0,2578678						
0,048182	0,0481815						
-0,05419	0,05419023						
-0,5395	0,5394985						
0,014438	0,01443759						
-0,1754	0,1753959						
-0,04862	0,04861751						
-0,14106	0,1410571						
0,01342	0,01341982						
Maschera 2							
Distance		X	Y	Z	D	D Abs	
-0,21303	0,2130292	Media	-0,05	0,02	-0,11	-0,17	0,202
0,121507	0,1215072	Deviazione Std	0,15	0,05	0,13	0,17	0,126
0,105767	0,1057668	Min	-0,46	-0,03	-0,3	-0,46	0,032
-0,06103	0,06102777	Max	0,18	0,13	0,1	0,12	0,461
-0,41954	0,419539						
-0,13952	0,1395161						
-0,03187	0,0318651						
-0,25459	0,2545891						
-0,46104	0,4610389						
-0,10158	0,1015806						
-0,18154	0,1815353						
-0,19838	0,1983765						
-0,25601	0,2560074						
-0,28859	0,2885892						
Maschera 3							

Distance	X	Y	Z	D	D Abs
-0,11293 0,1129262	Media	-0,07	0	0,09	0,08 0,19
-0,12869 0,1286937	Deviazione Std	0,13	0,09	0,16	0,24 0,161
0,110404 0,1104042	Min	-0,45	-0,23	-0,12	-0,51 0,019
0,056379 0,0563793	Max	0,1	0,17	0,44	0,48 0,514
0,019382 0,01938249					
0,321793 0,3217926					
0,212149 0,2121494					
0,022454 0,02245421					
-0,51424 0,514243					
0,477756 0,4777563					
0,139044 0,139044					
0,135658 0,1356579					
0,332396 0,3323962					
0,078328 0,07832787					
Maschera 4					
Distance	X	Y	Z	D	D Abs
-0,37386 0,373864	Media	-0	0,01	-0,16	-0,2 0,275
0,394723 0,3947225	Deviazione Std	0,19	0,08	0,2	0,26 0,163
-0,1987 0,1986985	Min	-0,45	-0,09	-0,5	-0,52 0,01
-0,20535 0,2053518	Max	0,32	0,16	0,21	0,39 0,518
-0,02014 0,020136					
-0,362 0,3620003					
-0,20155 0,2015452					
-0,31994 0,3199413					
-0,47259 0,4725897					
-0,00996 0,009957351					
-0,45977 0,4597656					
0,158945 0,1589449					
-0,15785 0,1578536					
-0,51787 0,5178744					
Maschera 5					

calcolo volume tetraedri: implementazione

di seguito viene riportato un estratto dell'implementazione per la valutazione del volume con il metodo dei tetraedri.

Raccolta coordinate dei punti antropometrici. La figura in calce fa riferimento alla numerazione tipo "A". Vengono riportati i nomi, la numerazione e le sigle usati nel metodo "R" e nel metodo "A" per rendere più versatile l'inserimento dei dati, non cambia la definizione dei punti antropometrici.

coordinate landmarks

riferimento documenti protocollo "R"

riferimento documenti protocollo "A"
dati punti:

coordinate punti:

nome	sigla	numero	nome	sigla	numero	x	y	z	ordine di "klik"
Nasion	n	3	soft tissue nasion	N	1	-12,461	41,622	-968,769	2
Subnasale	sn	6	subnasale	Sn	2	-9,591	-3,407	-940,237	4
Pogonion	pg	11	soft tissue pogonion	Pg'	3	-6,450	-60,527	-924,312	8
Trichion	tr	1	trichion	Tri	4	-16,791	94,831	-1004,955	1
Pronasale	prn	4	pronasale	Pn	5	-9,039	9,753	-929,616	3
Sublabiale	sl	10	soft tissue B' poit	B'	6	-7,430	-46,764	-933,227	7
Exocanthion	ex	22	eye lateral canthus (r,dx)	Can(r)	7	-52,277	25,075	-983,703	11
Exocanthion	ex	22	eye lateral canthus (l,sx)	Can(l)	8	32,081	24,755	-990,069	12
Tragion	t	13	tragus (r,dx)	Tr(r)	9	-80,181	-25,411	-1028,575	13
Tragion	t	13	tragus (l,sx)	Tr(l)	10	49,386	-22,103	-1038,717	14
Gonion	go	20	soft tissue gonion (r,dx)	Go' (r)	11	-71,686	-56,512	-998,847	19
Gonion	go	20	soft tissue gonion (l,sx)	Go' (l)	12	45,391	-54,741	-1009,579	20
Cresta alare	ac	26	nasal ala (r,dx)	Ala(r)	13	-27,016	0,374	-954,267	17
Cresta alare	ac	26	nasal ala (l,sx)	Ala(l)	14	6,456	1,491	-956,638	18
Cheilion	ch	31	labial commisura (r,dx)	Com(r)	15	-31,679	-32,225	-941,693	21
Cheilion	ch	31	labial commisura (l,sx)	Com(l)	16	16,467	-33,309	-946,355	22
Frontotemporale	ft	18	fronto-temporal(r,dx)	FT(r)	17	-68,826	33,712	-994,016	9
Frontotemporale	ft	18	fronto-temporal(l,sx)	FT(l)	18	41,331	36,885	-1002,764	10
Malare (cheek)	chk	25	cheek(r,dx)	CK(r)	19	-43,278	0,671	-960,131	15
Malare (cheek)	chk	25	cheek(l,sx)	CK(l)	20	23,438	2,276	-966,847	16
Labiale superiore	ls	7	upper lip	UL	21	-7,922	-17,714	-932,565	5
Labiale inferiore	li	9	lower lip	LL	22	-7,330	-36,177	-928,790	6
			tragi medium	Tr(m)	23	-15,398	-23,757	-1033,646	calcolato
			gonion medium	Go' (m)	24	-13,147	-55,627	-1004,213	calcolato



Si riporta l'analisi dei volumi relativa alla regione superiore, analogamente si è trattata la regione media, inferiore e nasale. Viene calcolato il valore di ogni singolo tetraedro della regione e viene riportato il riepilogo finale con la divisione spaziale della simmetria.

1.regione superiore (facial upper third)		1.regione superiore (facial upper third) volume (mm3 e cm3)=		206599,35	206,6
regione: 1.1 right side					
punti che la compongono					
riferimento documents "asento"					
nome	sigla	numero	riferimento articolare (dettaglio calcolo volumi)	dati punti:	coordinate punti:
Trichion	tr	1	Trichion	Tri	4 -16,79 94,83 -1004,95
Nasion	n	3	soft tissue nasion	N'	1 -12,46 41,62 -968,77
Exocanthion	ex	22	eye lateral canthus (r,dx)	Can(r)	7 -52,28 25,07 -983,7
Tragion	t	13	tragus (r,dx)	Tr(r)	9 -80,18 -25,41 -1028,57
				11 regione:	1.1 right side
				13 volume (mm3 e cm3)=	21478,89 21,48
regione: 1.2 centere					
punti che la compongono					
riferimento documents "asento"					
nome	sigla	numero	riferimento articolare (dettaglio calcolo volumi)	dati punti:	coordinate punti:
Trichion	tr	1	Trichion	Tri	4 -16,79 94,83 -1004,95
Nasion	n	3	soft tissue nasion	N'	1 -12,46 41,62 -968,77
Tragion	t	13	tragus (r,dx)	Tr(r)	9 -80,18 -25,41 -1028,57
Tragion	t	13	tragus (l,sx)	Tr(l)	10 49,39 -22,1 -1038,72
				13 regione:	1.2 centere
				14 volume (mm3 e cm3)=	126474,29 126,47
regione: 1.3 left side					
punti che la compongono					
riferimento documents "asento"					
nome	sigla	numero	riferimento articolare (dettaglio calcolo volumi)	dati punti:	coordinate punti:
Trichion	tr	1	Trichion	Tri	4 -16,79 94,83 -1004,95
Nasion	n	3	soft tissue nasion	N'	1 -12,46 41,62 -968,77
Exocanthion	ex	22	eye lateral canthus (l,sx)	Can(l)	8 32,08 24,75 -990,07
Tragion	t	13	tragus (l,sx)	Tr(l)	10 49,39 -22,1 -1038,72
				12 regione:	1.3 left side
				14 volume (mm3 e cm3)=	26903,21 26,9
regione: 1.4 right frontal					
punti che la compongono					
riferimento documents "asento"					
nome	sigla	numero	riferimento articolare (dettaglio calcolo volumi)	dati punti:	coordinate punti:
Nasion	ft	18	fronto-temporal(r,dx)	FT(r)	17 -68,83 33,71 -994,02
Nasion	n	3	soft tissue nasion	N'	1 -12,46 41,62 -968,77
Trichion	tr	1	Trichion	Tri	4 -16,79 94,83 -1004,95
Exocanthion	ex	22	eye lateral canthus (r,dx)	Can(r)	7 -52,28 25,07 -983,7
				1 regione:	1.4 right frontal
				11 volume (mm3 e cm3)=	2059,81 2,06
regione: 1.5 left frontal					
punti che la compongono					
riferimento documents "asento"					
nome	sigla	numero	riferimento articolare (dettaglio calcolo volumi)	dati punti:	coordinate punti:
Frontotemporale	ft	18	fronto-temporal(l,sx)	FT(l)	18 41,33 36,89 -1002,76
Nasion	n	3	soft tissue nasion	N'	1 -12,46 41,62 -968,77
Trichion	tr	1	Trichion	Tri	4 -16,79 94,83 -1004,95
Exocanthion	ex	22	eye lateral canthus (l,sx)	Can(l)	8 32,08 24,75 -990,07
				1 regione:	1.5 left frontal
				12 volume (mm3 e cm3)=	1272,92 1,27
regione: 1.6 right lateral					
punti che la compongono					
riferimento documents "asento"					
nome	sigla	numero	riferimento articolare (dettaglio calcolo volumi)	dati punti:	coordinate punti:
Frontotemporale	ft	18	fronto-temporal(r,dx)	FT(r)	17 -68,83 33,71 -994,02
Trichion	tr	1	Trichion	Tri	4 -16,79 94,83 -1004,95
Exocanthion	ex	22	eye lateral canthus (r,dx)	Can(r)	7 -52,28 25,07 -983,7
Tragion	t	13	tragus (r,dx)	Tr(r)	9 -80,18 -25,41 -1028,57
				11 regione:	1.6 right lateral
				13 volume (mm3 e cm3)=	14471,72 14,47
regione: 1.7 left lateral					
punti che la compongono					
riferimento documents "asento"					
nome	sigla	numero	riferimento articolare (dettaglio calcolo volumi)	dati punti:	coordinate punti:
Frontotemporale	ft	18	fronto-temporal(l,sx)	FT(l)	18 41,33 36,89 -1002,76
Trichion	tr	1	Trichion	Tri	4 -16,79 94,83 -1004,95
Exocanthion	ex	22	eye lateral canthus (l,sx)	Can(l)	8 32,08 24,75 -990,07
Tragion	t	13	tragus (l,sx)	Tr(l)	10 49,39 -22,1 -1038,72
				12 regione:	1.7 left lateral
				14 volume (mm3 e cm3)=	13938,51 13,94

distribuzione volumi(UPPER):
singole zone

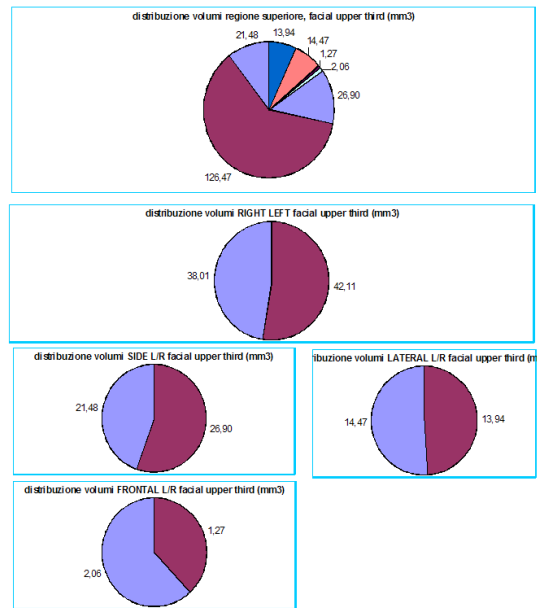
regione	volume (mm3 e cm3)=
1.1 right side	21478,89 21,48
1.2 centere	126474,29 126,47
1.3 left side	26903,21 26,90
1.4 right frontal	2059,81 2,06
1.5 left frontal	1272,92 1,27
1.6 right lateral	14471,72 14,47
1.7 left lateral	13938,51 13,94
1.regione superiore (facial upper third)	206599,35 206,6

divisione left e right

right	left
1.1 right side	21478,89 21,48
1.4 right frontal	2059,81 2,06
1.6 right lateral	14471,72 14,47
all right UPPER	38010,43 38,01
1.3 left side	26903,21 26,90
1.5 left frontal	1272,92 1,27
1.7 left lateral	13938,51 13,94
all left UPPER	42114,64 42,11

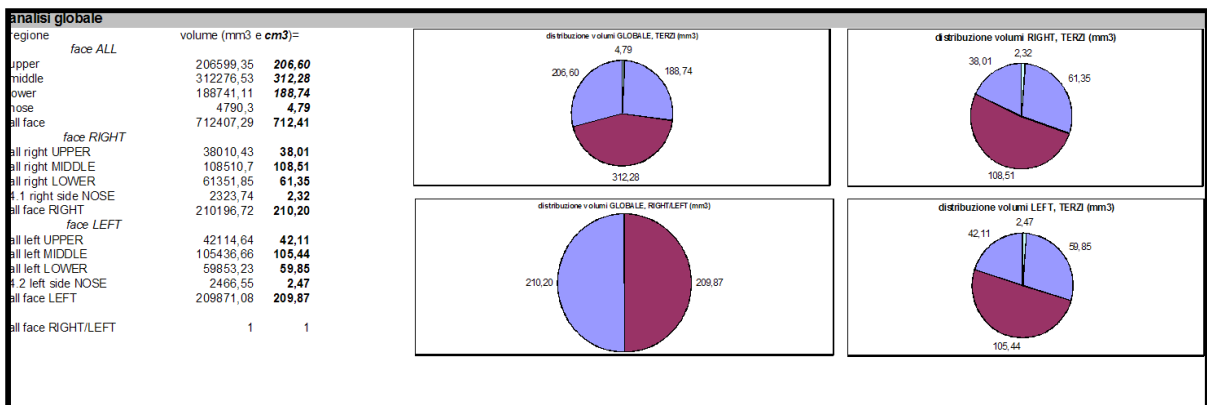
divisione zone

side	frontal	lateral
1.1 right side	21478,89 21,48	
1.3 left side	26903,21 26,90	
right / left	0,8 0,80	
1.4 right frontal	2059,81 2,06	
1.5 left frontal	1272,92 1,27	
right / left	1,62 1,62	
1.6 right lateral		14471,72 14,47
1.7 left lateral		13938,51 13,94
right / left	1,04 1,04	



nome elaborazione: xxxxxxxx

Per l'intero viso viene riportata l'analisi generale volumetrica e di simmetria.



applicazione del calcolo volumetrico estratto da mesh durante terapia

di seguito si descrive un applicazione del calcolo del volume ricavato da mesh durante una terapia, l'estratto fa riferimento al seguente articolo:

R.Peretta, M.Melison, D.Comelli, G.Concheri, R.Meneghello, L.Guarda, P.F. Galzignato, G. Ferronato **“Relapse of Masseter Monolateral Hypertrophy after treatment with botulinum toxine. Methodological analysis”**, The Journal of Craniomandibular Practice,

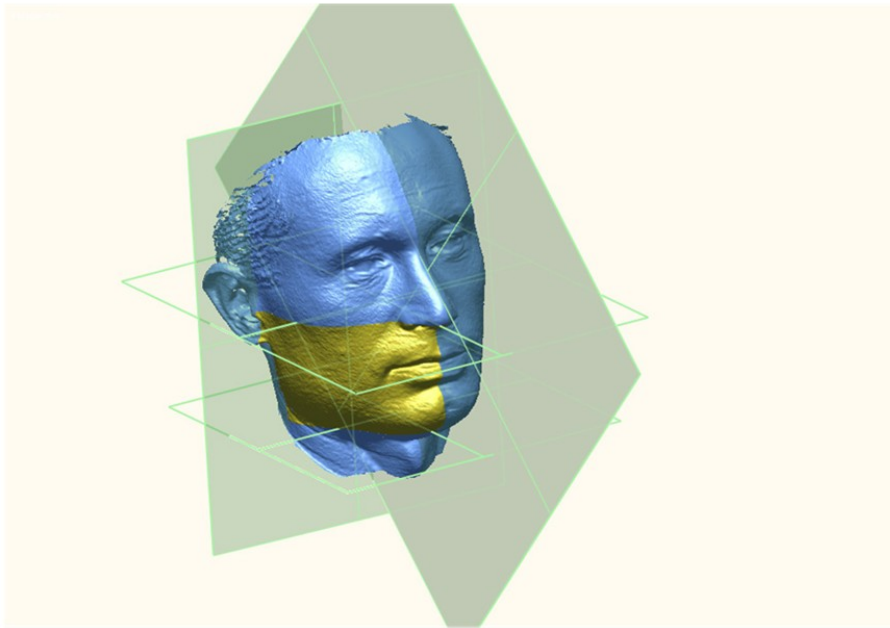
Un caso di ipertrofia monolaterale del massetere di destra è stato trattato con iniezione di tossina botulinica. Dopo 19 mesi il trattamento è stato ripetuto a causa della recidiva dell'ipertrofia. Le variazioni di volume della zona masseterina sono state monitorate per 25 mesi mediante scansione laser del viso e il calcolo dei volumi facciali. E' stato fatto un tentativo di correlare la causa dell'ipertrofia e della recidiva alla presenza di parafunzione misurata mediante elettromiografia notturna e tale studio ha dato esito positivo.

La mancanza dei molari inferiori di sinistra e l'appoggio occlusale destro sembrava giustificare l'ipertrofia destra del massetere. Tuttavia la riabilitazione protesica non ha impedito il ripresentarsi dell'ipertrofia nella stessa sede, quindi l'asimmetria dell'appoggio occlusale non è una spiegazione sufficiente a giustificare l'asimmetria dell'ipertrofia. L'analisi elettromiografia dell'attività muscolare sia di attivazione che di inibizione in MVC ha dato esiti contraddittori. Allo stato attuale delle conoscenze la fisiopatologia dell'ipertrofia non è nota e quindi non è disponibile un razionale terapeutico che prevenga la recidiva.

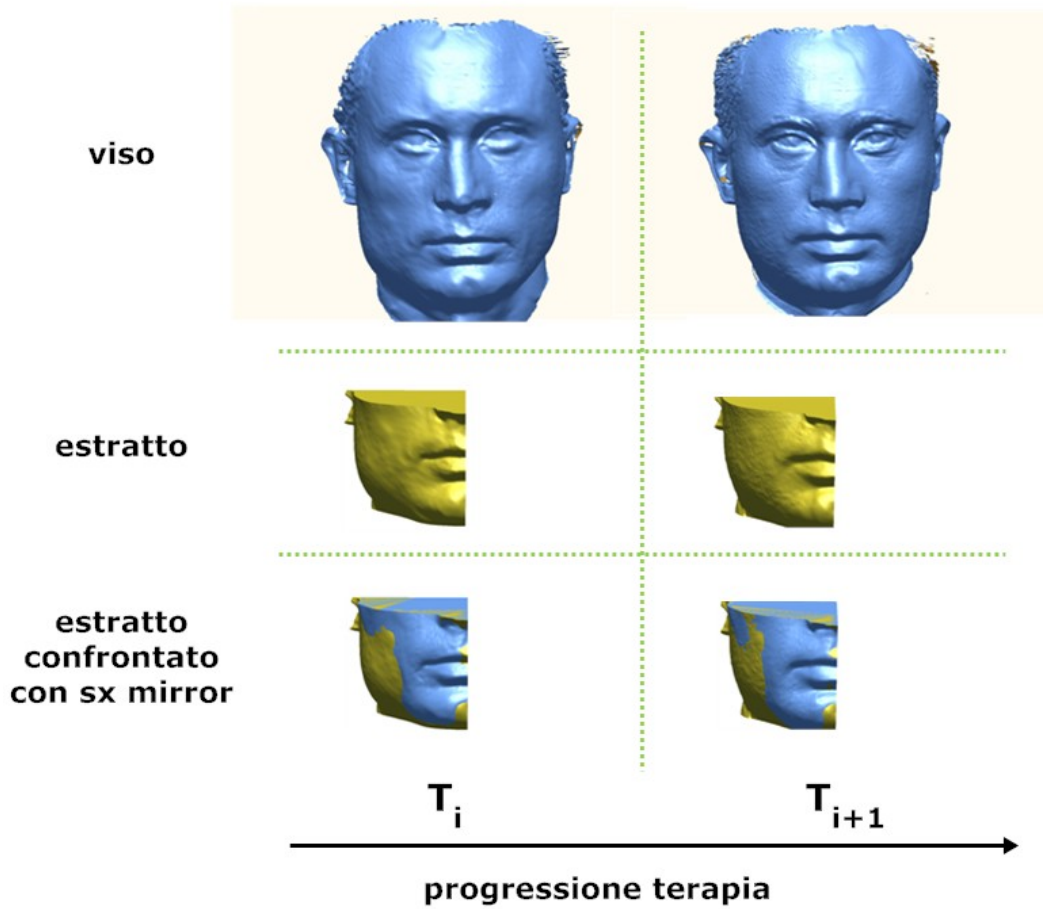
Le immagini riportate sotto illustrano:

- nella prima immagine la zona interessata dalla terapia e quindi la zona di cui è stato calcolato il volume.
- nella seconda come in tempi diversi della terapia la conformazione della zona interessata sia diversa. Per porre in rilievo l'entità della diversità contestualizzata nel volto del paziente all'istante del controllo, viene riportata la parte sinistra della porzione di volto specchiata rispetto al piano di simmetria.

localizzazione volumetrica



analisi volumetrica



bibliografia

di seguito viene presentata la bibliografia di riferimento divisa per capitoli

intro e scopo **introduzione e scopo della tesi**

- Rosen HM. Facial skeletal expansion: treatment strategies and rationale. *Plast Reconstr Surg.* 1992 May;89(5):798-808.
- Sarver D, Jacobson RS. The aesthetic dentofacial analysis. *Clin Plast Surg.* 2007 Jul;34(3):369-94.
- Levine RA, Garza JR, Wang PT, Hurst CL, Dev VR. Adult facial growth: applications to aesthetic surgery. *Aesthetic Plast Surg.* 2003 Jul-Aug;27(4):265-8.
- Donath AS, Glasgold RA, Glasgold MJ. Volume loss versus gravity: new concepts in facial aging. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2007 Aug;15(4):238-43.
- Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE, Schmitz JH. Facial volume changes during normal human growth and development. *Anat Rec.* 1998 Apr;250(4):480-7.
- Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE, Schmitz JH. Soft-tissue facial morphometry from 6 years to adulthood: a three-dimensional growth study using a new modeling. *Plast Reconstr Surg.* 1999 Mar;103(3):768-78.
- Ferrario VF, Sforza C, Schmitz JH, Ciusa V, Colombo A. Normal growth and development of the lips: a 3-dimensional study from 6 years to adulthood using a geometric model. *J Anat.* 2000 Apr;196 (Pt 3):415-23.
- Ferrario VF, Dellavia C, Serrao G, Sforza C. Soft-tissue facial areas and volumes in individuals with ectodermal dysplasia: a three-dimensional non invasive assessment. *Am J Med Genet A.* 2004 Apr 30;126A(3):253-60.
- Sforza C, Dellavia C, Zanotti G, Tartaglia GM, Ferrario VF. Soft tissue facial areas and volumes in subjects with Down syndrome. *Am J Med Genet A.* 2004 Oct 15;130A(3):234-9.
- Sforza C, Peretta R, Grandi G, Ferronato G, Ferrario VF. Soft tissue facial volumes and shape in skeletal Class III patients before and after orthognathic surgery treatment. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2007;60(2):130-8.
- Baik H-S, Jeon J-M, Lee H-J. Facial soft-tissue analysis of Korean adults with normal occlusion using a 3-dimensional laser scanner. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;131:759-66.
- Hajeer MY, Mao Z, Millett DT, et al. A new threedimensional method of assessing facial volumetric changes after orthognathic treatment. *Cleft Palate Craniofac J* 2005;42:113e20.
- Ferrario VF, Mian F, Peretta R, Rosati R, Sforza C. Three-dimensional computerized anthropometry of the nose: landmark representation compared to surface analysis. *Cleft Palate Craniofac J.* 2007 May;44(3):278-85.
- Peretta R., Concheri G., Comelli D., Meneghello R., Galzignato P.F., Ferronato G. A 3-

Dimensional facial Morpho-dinamic Database in the development of a prediction model in orthognathic surgery. *Prog Orthod* 2008;9(2):8-19.

-Schwenzer-Zimmerer K, Chaitidis D, Börner BI, Kovacs L, Sader R, Zeilhofer HF, Holberg C. Lip, jaw, and palate clefts. Analysis of unilateral cleft lip using 3-D laser topometry. *Mund Kiefer Gesichtschir.* 2006 Nov;10(6):377-84.

-Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE, et al. Preliminary evaluation of an electromagnetic three-dimensional digitizer in facial anthropometry. *Cleft Palate Craniofac J* 1998;35:9-15.

-Ferrario VF, Sforza C, Schmitz JH, Miani A Jr, Serrao G. A three-dimensional computerized mesh diagram analysis and its application in soft tissue facial morphometry. *Am J Orthod -Dentofacial Orthop.* 1998 Oct;114(4):404-13.

Bush K, Antonyshyn O. Three-dimensional facial anthropometry using a laser surface scanner: validation of the technique. *Plast Reconstr Surg.* 1996 Aug;98(2):226-35.

Baik HS, Lee HJ, Lee KJ. A proposal for soft tissue landmarks for craniofacial analysis using 3-dimensional laser scan imaging. *World J Orthod.* 2006 Spring;7(1):7-14.

-Hajeer MY, Ayoub AF, Millett DT, Bock M, Siebert JP. Three-dimensional imaging in orthognathic surgery: the clinical application of a new method. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 2002;17(4):318-30.

capitolo 1 **metodologie di ricostruzione tridimensionale del viso, morfometria secondo V.F.Ferrario e struttura tetraedrica**

- Papadopoulos, M.A., Panayiotis, K.C., Athanasios, A.E., et al. Three-dimensional craniofacial reconstruction imaging. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol Endod.* 93: 382, 2002.

- Fuhrmann, R., Schnappauf, A., Diedrich, P. 3-Dimensional imaging diagnosis with a personal computer. *Fortschr. Kieferorthop.* 54: 58, 1993.

- Gregory, A., Lipczynsky, R.T. The three dimensional reconstruction and monitoring of facial surface. *Med. Eng. Phys.* 16: 249, 1994.

- Moss, J.P., Linney, A.D., Grindrod, S., et al. Three-dimensional visualization of the face and skull using computerized tomography and laser scanning techniques. *Eur. J. Orthod.* 9: 247, 1987.

- Girod, S., Keeve, E., Girod, B. Advances in interactive craniofacial surgery planning by 3D simulation and visualization. *Int. J. Oral. and Maxillofac. Surg.* 24: 120, 1995.

- Nakonechny, K.D., Fallone, B.G., Rathee, S. Novel methods of measuring single scan dose profiles and cumulative dose in CT. *Med Phys* 32: 98, 2005.

- Kau, C.H., Richmond, S., Zhurov, A.I., et al. Reliability of measuring facial morphology with a 3-dimensional laser scanning system. *Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop.;* 128: 424, 2005.

- McCance, A.M., Moss, J.P., Fright, et al. A three-dimensional soft tissue analysis of 16 skeletal class III patients following bimaxillary surgery. *Br. J. Oral. Maxillofac. Surg.*

30: 221, 1992.

- Sohmura, T., Nagao, M., Sakai, M., et al. High-Resolution 3D Shape Integration of Dentition and Face Measured by New Laser Scanner. *IEEE Transactions On Information Technology In Biomedicine* 23: 633, 2004.
- Xia, J., Ip, H.H., Samman, N., Wong, H.T., Gateno, J., Wang, D., Yeung, R.W., Christy Kot, C.S., Tideman, H. Three-Dimensional Virtual Reality Surgical Planning and Soft-Tissue Prediction for Orthognathic Surgery. *IEEE Trans. Inf. Technol Biomed.* 5: 97, 2001.
- Chabanas, M., Luboz, V., Payan, Y. Patient specific finite element model of the face soft tissue for computer-assisted maxillofacial surgery. *Med. Image Anal.* 7: 131, 2003.
- Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL. Geometric Morphometrics for Biologists: a Primer. Elsevier Academic Press. San Diego. Cal. 2004.
- Marco Conti. "Forma e Dimensioni: la nuova sintesi."
<http://www.scienzefn.uniroma1.it/bau/corti/morfo/morfometria.htm>
- Thompson, D. W. 1917. On growth and form. Cambridge University Press, London.
- Ferrario VF, Sforza C, Poggio CE, Cova M, Tartaglia G. Preliminary evaluation of an electromagnetic three-dimensional digitizer in facial anthropometry. *Cleft Palate-Craniofac J* 1998; 35:9-15.
- Ferrario VF, Sforza C, Ciusa V, Dellavia C, Tartaglia GM. The effect of sex and age on facial asymmetry in healthy subjects: a cross sectional study from adolescence to mid-adulthood. *J Oral Maxillofac Surg* 2001; 59:382-8.
- Peretta R. Ricostruzione mediante tecniche di reverse engineering e analisi tridimensionale della morfologia del viso e delle arate dentarie in pazienti diagnostici. Tesi di dottorato morfologia umana, Facoltà di medicina e chirurgia, Milano 2006
- Ferrario VF, Sforza C, Serrao G, Miani A jr. A computerized method for the assessment of facial volume. *J Craniomaxillofac Surg* 1995; 23:280-6.
- Kendall D. The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability.* 1977. 9, 428-430.
- Kendall D.G., Kendall W.S. Alignments in two-dimensional random sets of points. *Advances in Applied Probability.* 1980. 12, 380-424.
- Ferrario VF, Sforza C, Serrao G, Ciusa V, Dellavia C. Growth and aging of facial soft-tissue: a computerized three-dimensional mesh diagram analysis. *Clin Anat* 2003; 16:420-33.
- Bookstein FL. Principal warps: thin-plate splines and the decomposition of deformations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1989a. 11,567-585.
- Dryden, I. L., and K. V. Mardia. 1998. Statistical shape analysis. John Wiley & Sons, New York.
- Ferrario VF, Sforza C, Schimtz JH, Santoro F. Three-dimensional facial morphometric assessment of soft tissue changes after orthognathic surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999 Nov; 88(5):549-56.

capitolo 2 ricostruzione del viso mediante laser scanner

- Besl P.J., McKay N.D.. A method for registration of 3D-Shapes. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14(2):239-256, February 1992.
- T. Varady R.R. Martin, J. Cox Reverse engineering of geometric models – an introduction. Computer aided design vol 29 n.4 p255-268, 1997
- D. Comelli strumenti e metodi di modellazione di stile, dispense delle lezioni, facoltà di ingegneria, università di Padova

capitolo 3 integrazione del metodo secondo V.F. Ferrario e del metodo mediante laser: analisi dei volumi

- Ferrario V.F., Milan F., Redento P., Rosati R, Sforza C. Three-Dimensional Antropometry of the nose: Landmark representation compared to surface analysis
- Peretta R., Concheri G., Comelli D., Meneghello R. Galzignato PF, Ferronato G. A 3-Dimensional facial Morpho-Dynamic Database in the development of a prediction model in orthognathic surgery, Progress in Orthodontics 2008, 9(2):8-19
- D. Eberly Fast and accurate computation of polyedral mass proprieties, Journal of graphics tools , vol 1, n 2, pp.31-50, 1996

capitolo 4 comparazione tra l'analisi dei volumi ottenuti con il metodo secondo V.F. Ferrario ed il metodo mediante laser scanner

- Ferrario V.F., Milan F., Redento P., Rosati R, Sforza C. Three-Dimensional Antropometry of the nose: Landmark representation compared to surface analysis
- Bland JM, Altman DG, Statistical Methods of assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet 1986, Feb 8;1(8476):307-310

ringraziaMenti

desidero ringraziare la mia famiglia e i miei amici, semplicemente ma intensamente.

desidero ringraziare due grandi persone che mi hanno accompagnato in questo periodo di dottorato: l'ing. Comelli ed il dr. Peretta. Due Uomini a cui va tutto il mio rispetto e gratitudine.

desidero ringraziare la ditta EGS di Bologna per lo stile e la professionalità.

ringrazio il secondo piano di via Venezia: i colleghi GianPaolo Savio, Andrea Cerardi, Angelisa Pizzol, Stefano Giovanzana, il prof. Tosetti ed il prof. Girotto, il prof. Giordano ed i suoi collaboratori, la prof. Mazzi ed i suoi collaboratori, il sig. Burattin.

ringrazio la clinica di maxillo facciale, settimo piano ospedale di Padova.

ringrazio la scuola di dottorato per gli interessanti e formativi corsi proposti.