

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

DOTTORATO DI RICERCA IN
SCIENZE CHIRURGICHE

Ciclo 33°

Settore Concorsuale: 06 / E3
Settore Scientifico Disciplinare: MED / 29

“Full-3D Workflow” Computer-Assistito
Per la Diagnosi e la Correzione delle
Deformità Dento-Facciali

Presentata da: Elisa Lovero

Coordinatore Dottorato

Prof. Annalisa Patrizi

Supervisore

Prof. Marchetti Claudio

Esame finale anno 2021

Indice

Introduzione	3
Le deformità dento facciali nell'era digitale	4
La Transazione dall'analogico al Digitale nella Pianificazione Ortognatica	6
L'esigenza di un 3D Lab.....	11
Capitolo 1: La chirurgia ortognatica	13
Le Malocclusioni	14
Malocclusioni dentali.....	15
Malocclusioni scheletriche.	18
Tecniche Osteotomiche in chirurgia ortognatica	20
Approcci Terapeutici in chirurgia ortognatica	26
“Orthodontic First” Approach	26
“Surgery First” Approach	28
Capitolo 2: Il Face 3D Lab	30
Il Face 3D Lab	31
La visita Gnatologica	38
La teoria dell'occlusione neuromuscolare, Elettromiografia e Kinesiografia	46
Analisi del volto.....	52
Esame CBCT, Acquisizione dei dati DICOM e Segmentazione del caso	64
Scansione intraorale	69
Ricostruzione 3D del paziente	72
Cefalometria 3D.....	74
Chirurgia virtuale	83
Trattamento ortodontico Virtuale (VTO)	89
Integrazione dei dati (VSP, VTO, FOTO 3D) e applicazioni.....	95
CAD-CAM e personalizzazione dei dispositivi impiantabili: i PSI	98
Progetti di ricerca realizzati durante il triennio di Dottorato nel Face 3D Lab ..	103
Capitolo 3 : Progetti di ricerca attivi nell'ambito dell'approccio Surgery First ..	105
“Virtual Orthodontic Surgical Planning to Improve the Accuracy of the Surgery-First Approach”.....	106
“Virtual Orthodontic Surgical Planning to Improve the Accuracy of the Surgery-First Approach, Part 2: 3D Cephalometric Outcome Predictability” ..	120

Capitolo 4: Progetti di ricerca attivi nell'ambito dell'utilizzo dei PSI mandibolari in chirurgia ortognatica	138
"Validation of a patient-specific system for mandible-first bimaxillary surgery: ramus and implant positioning precision assessment and guide design comparison"	139
"PSI-guided bilateral sagittal split osteotomy: assessment of maxillomandibular position accuracy and adaptability in a Mandible First hybrid approach."	159
Capitolo 5: Progetto di ricerca "Full-3D Workflow Computer-Assistito Per la Diagnosi e la Correzione delle Deformità Dentofacciali"	172
Introduzione	173
Obiettivo dello studio.....	174
Materiale e metodi	175
Risultati.....	179
Discussione e Conclusione	193
Bibliografia	198
Abstract.....	215

Introduzione

Le deformità dento facciali nell'era digitale

“La deformità dentofacciale si riferisce a deviazioni dalla norma delle proporzioni facciali e dei rapporti dentali di entità tale da rappresentare un handicap”.¹



Figura 1Es. di deformità dentoscheletriche, da sx a dx 1) retrusione della maxilla con protrusione mandibolare, 2) asimmetria facciale, 3) retrognazia mandibolare con eccesso verticale della maxilla

Tali condizioni affliggono due aspetti della salute del paziente: il primo legato alle funzioni espletate dall'apparato stomatognatico (masticazione, deglutizione, fonazione, etc...), il secondo legato alla morfologia del volto, che – in virtù della severa disarmonia delle sue parti– non realizza pienamente la sua funzione di organo di relazione, portando il paziente a elevati livelli di disagio psicologico.²

La natura delle deformità dentofacciali è principalmente legata alle discrepanze scheletriche tra i mascellari, tali da non poter risolvere la malocclusione col solo trattamento ortodontico. La risoluzione di queste condizioni richiede una perfetta sinergia tra terapia ortodontica (mirata all'allineamento dentale delle singole arcate)

e chirurgica (mirata all'armonizzazione morfologica del volto ed all'ottenimento della corretta occlusione).

Fino a poco tempo fa la pianificazione ortodontico-chirurgica si avvaleva dell'utilizzo dei modelli in gesso e delle informazioni scheletriche bidimensionali per permettere all'ortodontista e al chirurgo di eseguire un piano di trattamento nel paziente dismorfo. Questo planning bidimensionale, tuttavia, può generare una scarsa predicibilità del risultato ortodontico-chirurgico finale.

Gli sviluppi tecnologici degli ultimi decenni come ad esempio la CBCT, la risonanza magnetica, le scansioni intraorali e la stereofotogrammetria 3D, hanno permesso di studiare le dismorfosi dento facciali con maggiore accuratezza e precisione.

Per fare diagnosi nel paziente affetto da deformità dento-facciale oggi possiamo quindi fare affidamento su record digitali 3D elaborati per mezzo di software o dispositivi dedicati.

Infatti, la complessità di tale patologia dal punto di vista tridimensionale, ha aumentato sempre più l'esigenza da parte dei clinici di avere uno sguardo globale sulla natura delle dismorfosi.

Dati reali e informazioni digitali, ad oggi, si possono combinare fra loro con lo scopo di realizzare una corretta diagnosi, una simulazione dell'intervento chirurgico ed avere un trattamento sempre migliore per il paziente.

La Transazione dall'analogico al Digitale nella

Pianificazione Ortognatica

Storia Della Chirurgia Ortognatica E Delle Tecniche Chirurgiche³

L'origine della chirurgia ortognatica viene a collocarsi negli Stati Uniti d'America nella metà del 1800 ad opera del chirurgo Hullahen ed era limitata alla chirurgia per il trattamento del prognatismo mandibolare.

Questa chirurgia era a panaggio di chirurghi generali che avevano ricevuto nozioni relative alle problematiche odontostomatologiche. Altri nomi di chirurghi generali che hanno operato in ambito maxillo facciale in quegli anni sono stati Von Langenbeck, Cheever, Billroth, Dufourmentel e altri.

Lo sviluppo di questa disciplina, tuttavia, è frutto del lavoro congiunto dell'ortodontista Edward Angle (1898) e del chirurgo Vilray Blair (1906) che per la prima volta descrissero l'ostectomia del ramo orizzontale per la correzione di un caso di prognatismo mandibolare, riportato in letteratura da Whipple (1898).

Blair divenne il padre della chirurgia ortognatica precoce e pubblicò il suo primo libro di testo nel 1912. Inoltre, per primo descrisse e suddivise le dismorfosi del volto in cinque classi: prognatismo mandibolare, retrognatismo mandibolare, protrusione alveolare mandibolare e mascellare e morso aperto.



Figura 2 Vilray P. Blair (1811-1955)



Figura 3 Edward Angle (1855-1930)

Blair è ricordato anche come il primo chirurgo a sottolineare i vantaggi risultanti dalla cooperazione tra ortodontisti e chirurghi. Scrisse infatti: *'Treating of skeletal deformities is really surgical work, but the earlier a competent, congenial orthodontist is associated with the case, the better it will be for both the surgeon and the patient.'*

La Prima Guerra Mondiale fermò per un po' l'avanzare delle innovazioni chirurgiche in campo maxillo facciale.

Parallelamente in Europa le uniche relazioni in questo ambito furono quelle di Berger a Lione nel 1887 che descrisse la tecnica di condilectomia per la correzione del prognatismo mandibolare, tecnica che fu attuata in Francia fino alla metà del 1900.

Diversi anni dopo la tecnica introdotta da Blair fu rivista da diversi chirurghi in tutto il mondo [Babcock (1909); Bruhn e Lindemann (1921); Kostecka (1931); ...] nel tentativo di ridurre quelle che erano le problematiche di recidiva e di morso aperto. Tuttavia, fu nuovamente la guerra ad arrestare il desiderio di innovazione in campo maxillo facciale ed i chirurghi furono di nuovo messi in prima linea per curare gli infermi.

È dal 1950 che la chirurgia ortognatica diventa una specialità a tutti gli effetti ed inizia ad avere successo.

La culla della moderna chirurgia ortognatica era ora l'Europa centrale, in particolare Vienna e Graz, e più a nord di Berlino e Amburgo. Il fondatore della "Scuola di Vienna" di chirurgia maxillo-facciale fu Pichler, succeduto dal suo allievo Trauner (1955) che in seguito si trasferì a Graz. Trauner è stato il promotore di numerose procedure chirurgiche ortognatiche, ma la sua principale pretesa di fama è stata quella di essere il maestro di Heinz Kole e Hugo Obwegeser, coloro i quali hanno dato la spinta decisiva alla chirurgia ortognatica.

A Berlino, Martin Wassmund, sviluppò l'osteotomia mascellare anteriore mentre il suo famoso allievo Karl Schuchhardt sviluppò l'osteotomia mascellare posteriore (Schuchhardt, 1955), nonché un'osteotomia sagittale obliqua del ramo mandibolare. Tuttavia, il principale contributo alla chirurgia ortognatica venne da Heinz Kole e

Hugo Obwegeser. Le principali innovazioni che derivarono da Kole (1959) furono diversi nuovi metodi per cambiare la posizione del processo alveolare.

Hugo Obwegeser, invece, nel 1955 pubblicò il metodo noto in tutto il mondo della "intraoral sagittal split of the mandible". Questo metodo fu migliorato dal chirurgo orale italiano Dal-Pont nel 1958, aprendo nuove dimensioni nella chirurgia mandibolare. Inoltre, Obwegeser iniziò a dedicarsi alla chirurgia del mascellare superiore e nel 1960 per primo presentò una vasta serie di osteotomie Le Fort I (Obwegeser, 1969), dimostrandone l'applicabilità in diversi casi prima non trattabili.



Figura 4 Hugo Obwegeser (1920 - 2017)

Un altro importante progresso fu raggiunto con l'introduzione della chirurgia bimascellare, introdotta da Kole nel 1959 ma che fu universalmente accettata quando Obwegeser pubblicò la sua esperienza nel 1970 eseguendo contemporaneamente le osteotomie mascellari e mandibolari. Con il miglioramento delle tecniche chirurgiche, i progressi nell'anestesia e una migliore stabilizzazione dei segmenti osteotomizzati, la chirurgia bimascellare è oggi universalmente diffusa.

L'ultimo aspetto nello sviluppo della chirurgia ortognatica è l'introduzione della fissazione rigida o semirigida dei segmenti ossei con placche e viti. Questa tecnica ha origine nella traumatologia e i chirurghi ortopedici hanno utilizzato prima questo sistema. Alla fine degli anni '60 il gruppo svizzero di osteosintesi sviluppò, per la prima volta, placche ossee più piccole per la mandibola oltre a una vasta collezione di placche e viti. Bernd Spiessl, è ricordato come il primo chirurgo maxillo-facciale ad applicare i principi del gruppo alla fissazione di un'osteotomia sagittale della mandibola nel 1974. A seguire anche il tedesco Hans Luhr è fra i più ricordati per aver introdotto nel 1979 il suo primo set di miniplates.

Non vi è dubbio che la fissazione rigida abbia portato enormi progressi nella chirurgia ortognatica. Molte operazioni non sarebbero possibili oggi, e

avvantaggiano il paziente perchè non si rende più necessaria la fissazione intermascellare delle arcate e, soprattutto, vengono a ridursi i rischi nella fase postoperatoria critica dopo l'estubazione in quanto la bocca può essere aperta e pulita e le vie aeree possono essere facilmente controllate.

L'evoluzione della chirurgia ortognatica oggi giorno segue di pari passo le innovazioni in campo tecnologico. La diagnosi e la cura delle patologie in ambito maxillo facciale e nello specifico in chirurgia ortognatica ha beneficiato dell'avvento di nuovi presidi in grado di aumentare la qualità delle informazioni a disposizione del clinico e gli strumenti per garantire la bontà del risultato.

Primo fra tutti ricordiamo l'avvento della CBCT (Cone Beam Computed Tomography) negli anni 2000 che ha permesso il superamento delle logiche 2D e una visualizzazione del paziente nei 3 piani dello spazio. Nei casi complessi di interventi chirurgici ortognatici, infatti, il ricorso alla CBCT è quasi sempre ampiamente giustificato dalla necessità di pianificare l'operazione con dettagli anatomici il più precisi possibile.

Il miglioramento diagnostico in ambito maxillo facciale si deve anche all'avvento degli scanner intraorali e della stereofotogrammetria che hanno permesso rispettivamente di acquisire in maniera digitale e tridimensionale i modelli delle arcate e del volto del paziente. Le dismorfie dento-facciali, infatti, sono una patologia "tridimensionale" e per questo motivo una diagnostica e una pianificazione chirurgica che si basano su proiezioni radiografiche bidimensionali non potranno mai prendere in considerazione tutti gli aspetti della malformazione. A questo proposito la tecnologia è venuta in soccorso dei medici con dei software di diagnosi assistita dal computer, CAD (Computer Aided Design) in grado di combinare le informazioni digitali e assemblarle ricostruendo quello che viene definito il "paziente virtuale" su cui è possibile distinguere le varie strutture anatomiche e soprattutto pianificare, simulare e testare le opzioni di trattamento e avere un importante ausilio durante la procedura chirurgica.

La digitalizzazione del modello del paziente, unitamente allo sviluppo di tecnologie in grado di fabbricare in tempi rapidi modelli tridimensionali in CAD, aumenta le possibilità di personalizzare e realizzare alcuni dispositivi personalizzati chiamati PSI (Patient Specific Implant). L'insieme di queste tecniche produttive viene definito Computer-Aided Manufacturing, o CAM.

La complementarità di tutte queste tecnologie possono ritenersi la chiave vincente per un trattamento del paziente dismorfico efficace ed efficiente.

Inoltre, con lo sviluppo continuo di nuovi tools per la diagnosi e per il trattamento (es. navigazione chirurgica intraoperatoria), si dà la possibilità ai clinici di essere sempre stimolati al miglioramento delle tecniche chirurgiche per garantire ai pazienti cure sempre di alto livello.

L'esigenza di un 3D Lab

In un mondo che corre e si rinnova quotidianamente, anche l'aspetto medico e diagnostico della chirurgia ortognatica deve seguire di pari passo tali sviluppi.

Ciò è utile per il medico, che trae vantaggio dai nuovi strumenti in suo possesso, ma anche per il paziente che vede migliorarsi la capacità comunicativa e l'efficacia del outcome.

È per questo motivo che presso il Reparto Universitario di Chirurgia Maxillo-Facciale dell'Ospedale S.Orsola-Malpighi è stato proposto l'utilizzo delle nuove tecnologie in un'unica struttura interconnessa al fine di perfezionare la componente diagnostica e garantire una programmazione tridimensionale sia della componente scheletrica sia della componente dentale nei trattamenti dei pazienti affetti da deformità dento facciale.

Scopo della mia ricerca è descrivere e analizzare una realtà nata nel Dipartimento di Scienze Biomediche e Neuromotorie dell'Università di Bologna che ha in animo la possibilità di mettere le tecnologie digitali 3D a disposizione di chirurghi e odontoiatri per la diagnosi, il planning e il trattamento ortodontico e maxillo-facciale. La sede è la Clinica Odontoiatrica Universitaria di Bologna e il Policlinico Sant'Orsola Malpighi, presso il Reparto di Chirurgia Orale e Maxillo-facciale.

Nei tre anni dedicati al lavoro di dottorato ho di fatto consolidato e affermato l'attività di una realtà prima solo parzialmente realizzata: il Face 3D Lab.

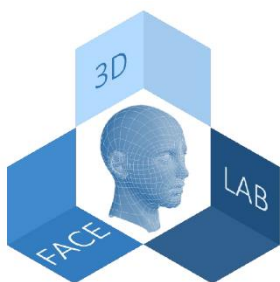


Figura 5 Logo Face 3D Lab

Il Face 3D Lab è un servizio dedicato al paziente e al clinico che si realizza attraverso un “workflow digitale” standardizzato che li accompagna dalla diagnosi alla pianificazione del progetto ortodontico e chirurgico, fino all'intervento ed al follow-up.

Ogni parte del trattamento viene assistita dalle tecnologie digitali, strumento determinante per la progressione e l'ideazione di un flusso innovativo e “patient and doctor friendly”.

L'analisi che mi appresto a condurre, descriverà ogni aspetto dell'iter che il paziente ortognatico deve compiere nell'ambito di tale workflow interamente digitale. Più approfonditamente verranno poi descritte funzionalità, applicabilità e limiti che sono esitati nell'ambito del Face 3D Lab, gli ambiti di ricerca correlati e non da ultimo, quali aspetti possono essere considerati per miglioramenti futuri.

Capitolo 1: La chirurgia ortognatica

Le Malocclusioni

La malocclusione si caratterizza da un'alterata coordinazione fra le arcate dentarie superiore e inferiore quando queste si trovano in posizione di massima intercuspidação. La malocclusione di per sé stessa non è una condizione di rischio per la salute, tuttavia può comportare difficoltà di natura masticatoria, tensioni a livello muscolo-articolare e problematiche a livello dei singoli elementi dentari. Non da ultimo, nella società attuale, alcune malocclusioni possono comportare la comparsa di patologie ansioso-depressive, poiché non accettate dal paziente e causa di disagio.

Secondo il grado di deviazione dalla norma oclusale, le malocclusioni sono classificate in dentali e scheletriche. Le prime sono di competenza ortodontica: la terapia di queste forme si avvale dell'utilizzo di apparecchi ortodontici che spostano i denti all'interno delle basi scheletriche di supporto al fine di conseguire un'occlusione corretta dal punto di vista funzionale ed estetico.

Malocclusioni di origine scheletrica in cui le basi ossee sono discordi fra loro, invece, hanno come unica possibilità di risoluzione completa la via chirurgica, rappresentata dalla chirurgia ortognatica.

Quando una discrepanza di dimensione o di posizione dei mascellari contribuisce alla malocclusione e porta a una disarmonia facciale, infatti, ci sono tendenzialmente tre possibilità di trattamento:

- I. MODIFICAZIONE DELLA CRESCITA;
- II. CAMOUFLAGE ORTODONTICO;
- III. CHIRURGIA DI RIPOSIZIONAMENTO DEI MASCELLARI E/O DEI SEGMENTI DENTOALVEOLARI.

La prima opzione è dedicata al paziente in crescita in cui un trattamento di tipo ortopedico può permettere la modificazione delle strutture ossee che si stanno sviluppando. La seconda, invece è a vantaggio del paziente adulto con una moderata

discrepanza scheletrica e rappresenta di fatti un compromesso in quanto si caratterizza dallo spostamento dei denti per ottenere un corretto rapporto dentale nonostante l'alterazione dei mascellari. La terza opzione invece permette di ottenere una buona occlusione riposizionando le basi scheletriche su arcate decompensate. Questi concetti sono ben rappresentati nel diagramma "envelope of discrepancy" nel quale sono mostrate le entità dei cambiamenti nei tre piani dello spazio prodotti dal solo movimento dentale ortodontico; dal movimento dentale ortodontico con la modificazione della crescita del paziente e dalla chirurgia ortognatica. Gli spostamenti dentali sono più favoriti in direzione antero-posteriore piuttosto che verticale. Mentre la modificazione della crescita è più efficace in caso di deficit piuttosto che di eccesso mandibolare.

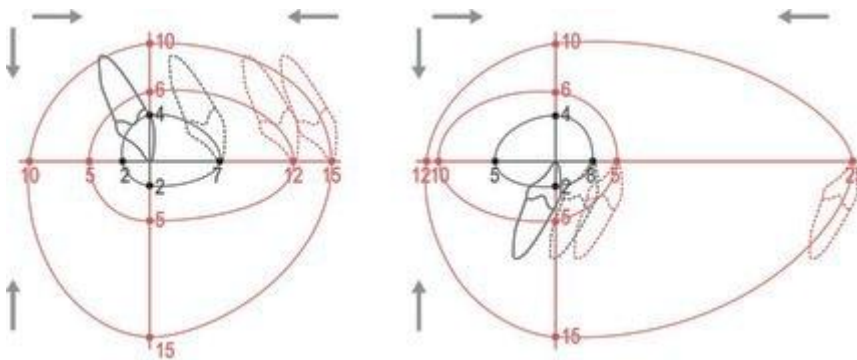


Figura 6 "Envelope of discrepancy"

Malocclusioni dentali.

L'ortodonzia è stata codificata per la prima volta da un ortodontista americano alla fine dell'1800, Edward Hartley Angle, il quale è considerato il padre della moderna ortodonzia. Egli diceva che l'ortodonzia è quella branca dell'odontoiatria che si occupa del trattamento di tutte le forme di malocclusione.⁴ Angle per malocclusione intendeva la deviazione dei rapporti dentali all'interno di un arcata, o fra le due arcate, focalizzando l'attenzione solo a livello di dentale. In base a questo concetto

aveva classificato le malocclusioni in 3 classi, considerando prevalentemente il rapporto molare.

Angle prendeva in considerazione il rapporto sagittale che la cuspidate mesio-vestibolare del primo molare superiore e contrae con l'incisura vestibolare del primo molare mandibolare omolaterale e il rapporto canino quando le arcate si trovano in posizione di occlusione.

Le classi di malocclusioni vengono suddivise in queste categorie: *malocclusione di prima classe* quando c'è un'alterazione nei rapporti all'interno di un'arcata o tra le arcate ma i canini e i molari sono in prima classe, ad esempio in caso di affollamento dentale. La *malocclusione di seconda classe*, invece, si verifica quando i denti dell'arcata superiore sono in avanti rispetto a quelli dell'arcata inferiore. La seconda classe è poi suddivisa in due sottoclassi: la seconda classe divisione uno quando a un rapporto canino di seconda classe corrisponde un aumento dell'overjet. Viceversa, la seconda classe è divisione due si ha quando a un rapporto canino di seconda classe non corrisponde nessun aumento dell'overjet, perchè gli incisivi sono retroinclinati (o lingualizzati o introversi). La *malocclusione di terza classe* si realizza quando l'arcata inferiore si trova in avanti rispetto all'arcata superiore.

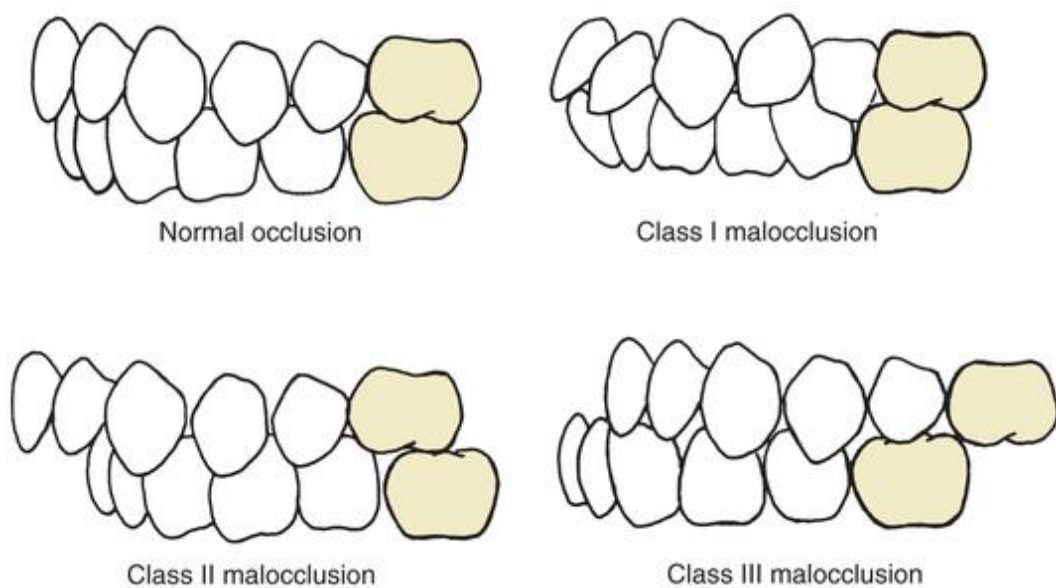


Figura 7 Le malocclusioni dentali

La definizione di occlusione fu integrata nel 1972 dal dottor Lawrence F. Andrews⁵ che introdusse le sei chiavi dell'occlusione. Il dottor Andrews, esaminando 120 bocche a suo parere perfette da un punto di vista oclusale, ha valutato cosa avessero in comune fra di loro e ha trovato sei chiavi. Secondo Andrews quindi una buona occlusione è caratterizzata da:

- Canini e primi molari in prima classe, ovvero la cuspidi del canino superiore deve chiudere esattamente a metà tra canino inferiore e primo premolare e la cuspidi mesio-vestibolare del sesto superiore deve chiudere nel solco mesiale del primo molare inferiore;
- linee mediane centrate;
- overbite e overjet variabile da 1 a 3 mm;
- assenza di diastemi;
- assenza di denti ruotati;
- presenza una leggera curva di Spee.

Passato un secolo, nella metà degli anni '90, la American Association of Orthodontics, l'associazione più importante nel dettare le linee guida in ortodonzia, cambiò la definizione di ortodonzia da quella che era la definizione iniziale di Angle, affermando che l'ortodonzia è quella branca dell'odontoiatria che si occupa della supervisione, della guida e della correzione delle strutture dento- facciali in crescita o mature e che si occupa della diagnosi, della prevenzione, dell'intercettazione e del trattamento delle malocclusioni non solo dentali, ma anche delle ossa facciali ed inoltre si prefigge di stimolare e riequilibrare le forze funzionali nell'abito del complesso cranio facciale⁶.

Con questa definizione aumenta enormemente l'importanza che ha l'ortodonzia nel controllare quelli che sono i processi funzionali e di crescita del complesso cranio facciale, tanto che il fine ultimo dell'ortodonzia, e quindi anche della chirurgia maxillo facciale, diventa quello di ottenere e mantenere delle relazioni oclusali ottimali nell'armonia funzionale ed estetica delle strutture del volto.

Quando parliamo di ortodonzia dobbiamo sempre considerare i tre aspetti principali che la compongono: occlusione, funzione ed estetica, i quali sono strettamente interconnessi.

Malocclusioni scheletriche.

Le malocclusioni scheletriche si contraddistinguono anch'esse da tre classi che valutano le basi ossee in senso sagittale, ma non solo, la posizione dei mascellari superiore e inferiore può essere codificata anche in senso frontale e verticale. L'ausilio delle radiografie e ora della CBCT e la loro analisi attraverso la valutazione cefalometrica permette di studiare la forma dello scheletro del paziente e quindi di descriverne le caratteristiche strutturali.

Sono quindi distinguibili:

- *Malocclusione di classe 1*: il mascellare superiore e la mandibola si relazionano in maniera concorde fra di loro ma possono essere posizionati in maniera retroposta o protrusa rispetto alla norma.
- *Malocclusione di classe 2*: condizione caratterizzata dalla posizione arretrata (retrusione) della mandibola rispetto al mascellare superiore. La II classe scheletrica può essere causata sia da una dimensione ridotta della mandibola (micrognazia), sia da una retrusione della mandibola (retrognazia), sia da una eccessiva protrusione del mascellare superiore (più raramente). Questi fattori possono essere variamente combinati tra loro per dare origine alla malocclusione clinicamente manifesta.
- *Malocclusione di classe 3*: caratterizzata da una posizione avanzata della mandibola (protrusione). Le cause possono essere ricercate in un'eccessiva crescita mandibolare (macrognazia), in un eccessivo avanzamento mandibolare (prognazia), oppure in una retrusione o ipoplasia del mascellare. Anche in questo caso è spesso una combinazione di fattori a dare origine al quadro dismorfico.

- *Alterazione dei rapporti verticali*: caratterizzata da altezza facciale deficitaria o eccessiva che può contraddistinguere un paziente brachifacciale o dolicofacciale ed esitare dentalmente in una occlusione con deep o open bite.
- *Alterazione dei rapporti trasversali*: caratterizzata da un restringimento o un allargamento asimmetrico delle strutture maxillo mandibolari.
- *Asimmetrie facciali*: La causa più comune di asimmetria del volto è costituita dalle asimmetrie mandibolari, classificate da Obwegeser nel 1986⁷, in due principali forme:
 - Hemimandibular elongation (H.E.), ovvero allungamento emimandibolare, caratterizzato da malposizione orizzontale di mandibola e mento verso il lato non interessato; il corpo mandibolare si trova sullo stesso livello bilateralmente. Questa asimmetria è particolarmente evidente quando vista in direzione caudo-craniale.
 - Hemimandibular Hyperplasia (H.H.), ovvero iperplasia emimandibolare, caratterizzata da un aumento tridimensionale delle dimensioni di un lato della mandibola, con ingrandimento di condilo, collo, ramo e corpo del lato interessato, che termina esattamente alla sinfisi.

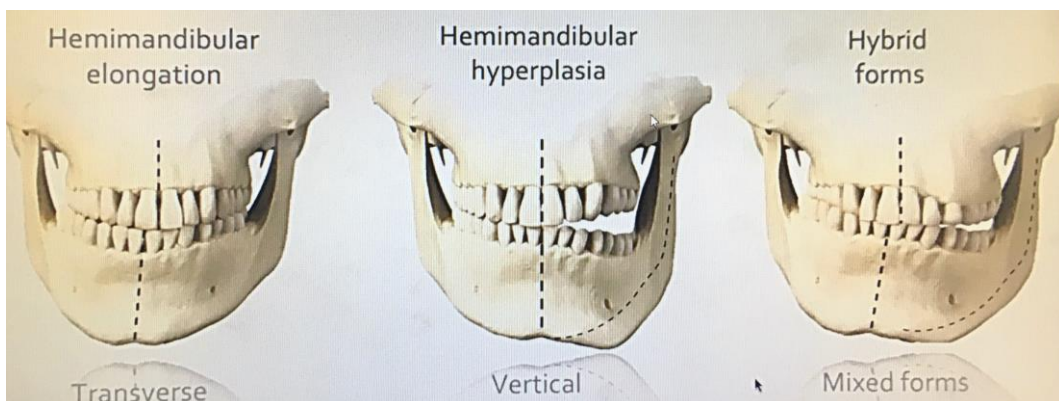


Figura 8 Differenti forme di asimmetrie mandibolare (Trasversale, verticale e mista)

Tecniche Osteotomiche in chirurgia ortognatica

La chirurgia ortognatica si esplica attraverso una varietà di osteotomie sia nel mascellare che nella mandibola. ⁸

<i>OSTEOTOMIE MASCELLARI</i>	- <i>SEGMENTALE</i>	- <i>ANTERIORE (SUBAPICALE)</i> - <i>POSTERIORE (SUBAPICALE)</i>
	- <i>TOTALE</i>	- <i>LE FORT I</i>
<i>OSTEOTOMIE MANDIBOLARI</i>	- <i>SEGMENTALE</i>	- <i>ANTERIORE (SUBAPICALE)</i> - <i>POSTERIORE (SUBAPICALE)</i>
	- <i>DEL CORPO</i>	
	- <i>DEL RAMO</i>	- <i>INTRAORALE VERTICALE</i> - <i>A "C" O AD "L" INVERTITA</i> - <i>BILATERALE SAGITTALE A SPLIT</i>
	- <i>DELLA SINFISI</i>	- <i>GENIOPLASTICA</i>

- *OSTEOTOMIA MASCELLARE SEGMENTALE ANTERIORE*

La tecnica di Wassmund prevede, previa estrazione dei primi premolari, una incisione bilaterale dal canino all'apertura piriforme. Il segmento anteriore viene mobilizzato e riposizionato secondo planning chirurgico con l'aiuto di uno splint oclusale

Rappresenta una procedura chirurgica semplificata per la correzione della protrusione della pre-maxilla o nel caso di riposizionamento superiore del blocco osseo chirurgico nei casi di "gummy smile".

- *OSTEOTOMIA MASCELLARE SEGMENTALE POSTERIORE*

La tecnica di Schuckardt prevede una osteotomia orizzontale circa 5 mm sopra gli apici dentali, una osteotomia verticale negli eventuali spazi interdentali larghi o nello spazio di eventuale estrazione ed una osteotomia verticale posteriore alla giunzione pterigomascellare. Il segmento mobilizzato viene riposizionato mediante

splint. Tale osteotomia si realizza per la correzione di open-bite scheletrico e dentale, od anche in casi di deficit trasverso monolaterale con riposizionamento esterno del blocco osteodentale.

- *OSTEOTOMIA MASCELLARE TOTALE (LE FORT I)*

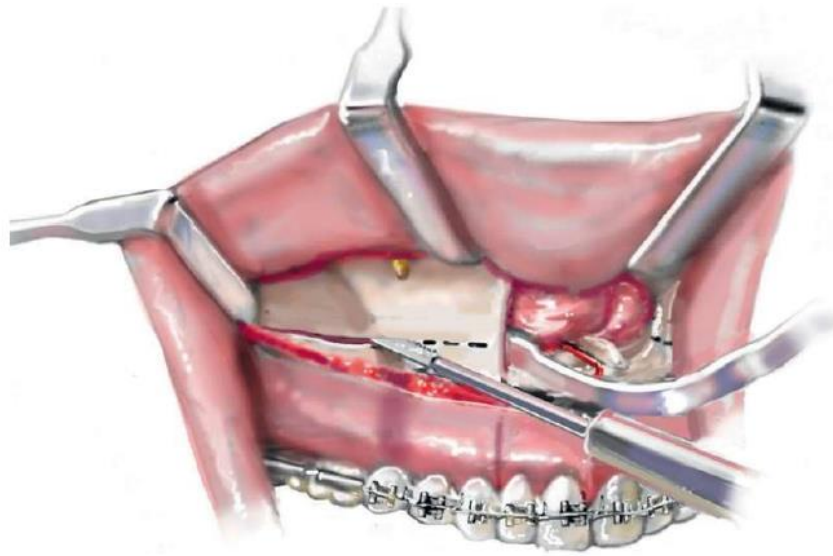


Figura 9 Osteotomia di Le Fort I da J.C. Posnick Orthognathic Surgery

Fra le tecniche osteotomiche più utilizzate nel mascellare superiore, l'osteotomia di Le Fort I, fa riferimento alla prima tipologia classificativa delle fratture descritte dal fisico francese Renè Le Fort nel 1901.

La tecnica prevede la scheletrizzazione della superficie antero-laterale dell'osso mascellare dal margine inferio-laterale dell'apertura piriforme, fino alla giunzione pterigo-mascellare. Si scopre la spina nasale anteriore e si libera il pavimento osseo nasale dalla propria mucosa, dissezionando a livello del piano sottoperiosteo. A seguire si tracciano bilateralmente le linee osteotomiche di LeFort I, che si estendono dal margine infero-laterale dell'apertura piriforme alla giunzione pterigo-mascellare omolaterale.

Il setto nasale e le pareti laterali della cavità nasale vengono disinserite dall'osso mascellare con osteotomo a coda di rondine. Con uno osteotomo curvo si disgiunge

la porzione inferiore della sutura pterigo-mascellare, con attenzione a livello del palato posteriore al fine di mantenere l'integrità della mucosa palatina. Se il piano di intervento prevede un impattamento (movimento in senso craniale) del mascellare superiore si traccia una seconda linea osteotomica parallela alla prima per rimuovere un segmento osseo e permettere un movimento in senso craniale alla maxilla.

A questo punto per mezzo di trazione manuale o di appositi divaricatori smussi il mascellare superiore può essere separato dal resto dello scheletro facciale attraverso la procedura di down fracture. Viene quindi rimodellata l'interfaccia ossea rimuovendo regioni di interferenza e permettendo di eseguire un movimento di impattamento in fase di osteosintesi. Questo accesso permette altresì di multipartire il mascellare superiore in due o tre settori, nel caso si renda necessaria una modificazione della forma d'arcata per ottenere una corretta occlusione postchirurgica o modificare la trasversalità del mascellare superiore.

- *OSTEOTOMIA MANDIBOLARE SEGMENTALE ANTERIORE (SUB-APICALE)*

Procedura chirurgica che va a riposizionare il processo alveolare mandibolare anteriore. L'accesso di realizza a livello del solco vestibolare anteriore. Mobilizza il segmento alveolare mandibolare consentendo variazioni di verticalità o di tiltaggio.

- *OSTEOTOMIA MANDIBOLARE SEGMENTALE POSTERIORE (SUB-APICALE)*

Procedura chirurgica utilizzata in caso di alterazioni occlusali delle zone latero-posteriori mandibolari. Le incisioni sono una orizzontale e due di scarico verticale isolando il fascio vascolo-nervoso.

- *OSTEOTOMIA MANDIBOLARE DEL CORPO*

L'osteotomia del corpo mandibolare (body osteotomy) è una resezione segmentale di una sezione definita del corpo mandibolare. Il nervo alveolare inferiore deve essere isolato dal canale alveolare inferiore prima dell'esecuzione dell'osteotomia. Essa può essere usata solo per ridurre la lunghezza del corpo mandibolare, tipica delle terze classi scheletriche da ipersviluppo, e mediante estrazione dell'eventuale dente interessato dalla osteotomia.

- *OSTEOTOMIA DEL RAMO INTRAORALE VERTICALE*

Procedura chirurgica eseguita con taglio a pieno spessore del ramo mandibolare, dalla incisura sigmoidea al bordo inferiore della mandibola appena posteriore al canale alveolare inferiore. L'osteotomia viene eseguita posteriormente al canale alveolare inferiore. Questa procedura può essere impiegata per riposizionamenti posteriori, rotazioni mandibolari, accorciamento del ramo posteriore, ma non può essere utilizzata per l'allungamento del ramo e della mandibola.

- *OSTEOTOMIA DEL RAMO a "C" o ad "L" INVERTITA*

Le osteotomie a "C" o ad "L" invertita sono osteotomie a pieno spessore del ramo mandibolare. Dividono la mandibola in due segmenti uno che comprende il condilo, il bordo posteriore della mandibola e il processo coronoideo e l'altro costituito dal corpo mandibolare. L'osteotomia viene eseguita posteriormente e superiormente al canale alveolare inferiore. L'approccio è solitamente sottomandibolare.

- *OSTEOTOMIA DEL RAMO SAGITTALE BILATERALE A SPLIT*

L'osteotomia di Obwegeser Dal Pont è l'osteotomia sagittale bilaterale più utilizzata in chirurgia ortognatica. Si pratica un'incisione seguendo la linea obliqua esterna della mandibola con bisturi a lama fredda. Si incidono le fibre del muscolo buccinatore e ci si estende cranialmente fino al processo coronoideo, dal quale si distaccano le fibre più inferiori del muscolo temporale. Si scheletrizza la porzione

laterale del corpo fino al bordo inferiore e all'angolo mandibolare. Ci si porta medialmente al ramo mandibolare da cui si scollano i tessuti molli fino a scoprire la spina di Spix.

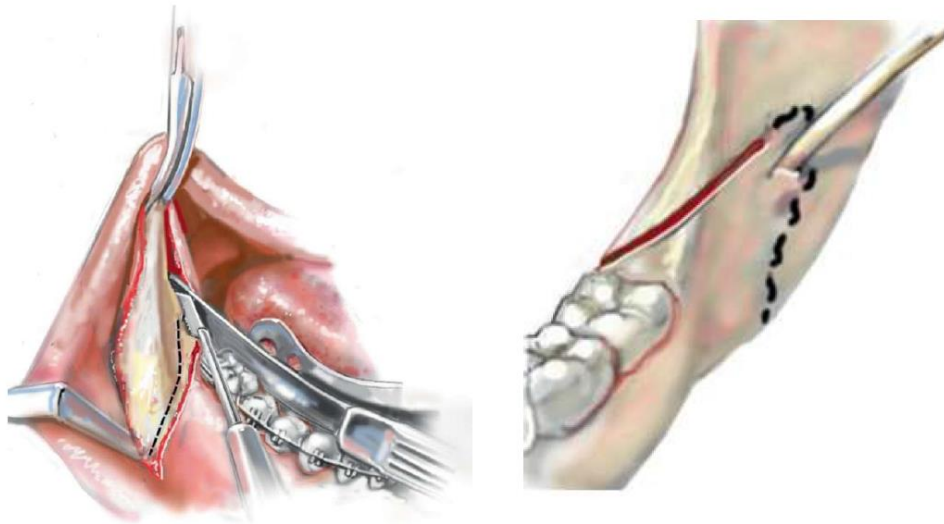


Figura 10 BSSO sec. Obwegeser-Dal-Pont da J.C. Posnick Orthognathic Surgery

Si tracciano le 3 linee osteotomiche congiunte che indeboliscono la struttura mandibolare sezionandone la corticale ossea: la prima corticotomia, eseguita all'incirca a livello del secondo molare, decorre cranio-caudalmente a livello della corticale laterale del corpo mandibolare; la seconda si congiunge alla prima prossimalmente e decorre distalmente lungo il margine superiore del corpo mandibolare e lungo il margine anteriore del ramo mandibolare; la terza si congiunge alla seconda nel suo punto più distale e si estende da questo punto fino al bordo posteriore del ramo, passando per un piano assiale dislocato cranialmente rispetto alla lingua.

Per mezzo di un osteotomo vengono fratturate le restanti sezioni della corticale ossea seguendo le linee corticotomiche prima disegnate. È fondamentale controllare la posizione del nervo alveolare inferiore, che deve rimanere all'interno al segmento dento-portatore. In caso contrario il nervo viene altresì liberato rimuovendo le porzioni ossee midollari che lo mantengono legato al segmento condilo-portatore.

- *GENIOPLASTICA*

Procedura chirurgica con accesso transorale subapicale a livello anteriore inferiore della mandibola con mobilitazione del segmento mentale e suo riposizionamento a correzione di difetti sagittali e verticali o di asimmetrie del mento.

Approcci Terapeutici in chirurgia ortognatica

“Orthodontic First” Approach

L’approccio convenzionale alla chirurgia ortognatica (Orthodontic-first) è caratterizzato da tre fasi:

- il trattamento ortodontico prechirurgico;
- la fase chirurgica;
- trattamento di rifinitura dell’occlusione (trattamento ortodontico post-chirurgico).

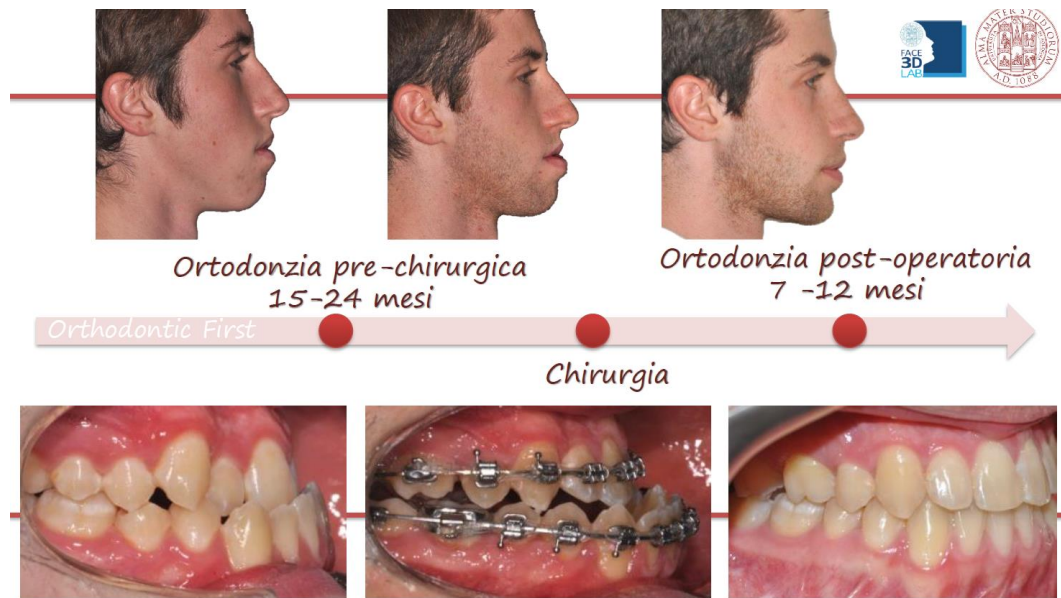


Figura 11 Approccio "Orthodontic First"

Il concetto di ortodonzia prechirurgica (orthodontic first) venne introdotto nel 1976 da Worms il quale sosteneva la possibilità di riposizionare correttamente le basi scheletriche solo in presenza di arcate dentarie allineate e quindi in assenza di compensi occlusali. Worms sottolineava come la presenza di compensi dentali limitasse enormemente gli spostamenti scheletrici inducendo il chirurgo a posizionare le basi scheletriche in una posizione errata.⁹

La fase di ortodonzia prechirurgica si differenzia dal trattamento ortodontico classico in quanto essa si realizza con una fase di allineamento e decompensazione

degli elementi dentari sulla loro base scheletrica di sostegno affinché venga raggiunta una corretta normo-occlusione quando le due arcate, mascellare e mandibolare, verranno coordinate chirurgicamente.

In generale, in questa fase le due arcate dentarie vengono preparate alla chirurgia ortognatica; i denti di ciascuna arcata vengono allineati e posizionati correttamente rispetto alla propria base scheletrica, in modo da ottenere due arcate ideali.

L'allineamento dentale agisce a risoluzione di problemi di affollamento, disallineamenti, rotazioni dentarie, ecc. La decompensazione delle arcate, invece, si rende necessaria in quanto la maggior parte delle discrepanze scheletriche presenta una più o meno accentuata compensazione dento-alveolare al fine di mantenere le relazioni inter-arcata.

Tutte queste correzioni smascherano la malocclusione in essere, mostrando la vera portata del problema scheletrico alla base e peggiorando l'estetica del paziente che difatti mostra le stimmate della propria dismorfia.

A riprova di ciò la letteratura conferma che durante questo periodo si assiste ad un peggioramento sia dell'estetica facciale sia della funzione masticatoria con significativo discomfort per il paziente. La durata media del trattamento ortodontico prechirurgico è variabile da 15 a 24 mesi circa¹⁰.

Al termine del trattamento ortodontico prechirurgico si procede con la fase chirurgica che può essere simulata sia con metodica tradizionale 2D sia con metodica tridimensionale 3D. La chirurgia prevede la mobilitazione delle basi scheletriche mascellare e mandibolare e il loro riposizionamento mediante splint occlusale creato sulla base del planning operatorio¹¹.

Dopo circa quattro - sei settimane dall'intervento il paziente deve tornare dall'ortodontista per iniziare il trattamento di ortodonzia post-chirurgica.

Questo trattamento ortodontico postoperatorio, generalmente di durata fra i 7 e i 12 mesi, serve per finalizzare e rifinire l'occlusione al fine di migliorare la stabilità della chirurgia.

Normalmente una buona ortodonzia pre-chirurgica ed una precisa chirurgia dei mascellari minimizza i tempi della ortodonzia post-chirurgica.

Dopo la rimozione dell'apparecchio ortodontico segue un periodo di contenzione con apparecchiature mobili.

“Surgery First” Approach

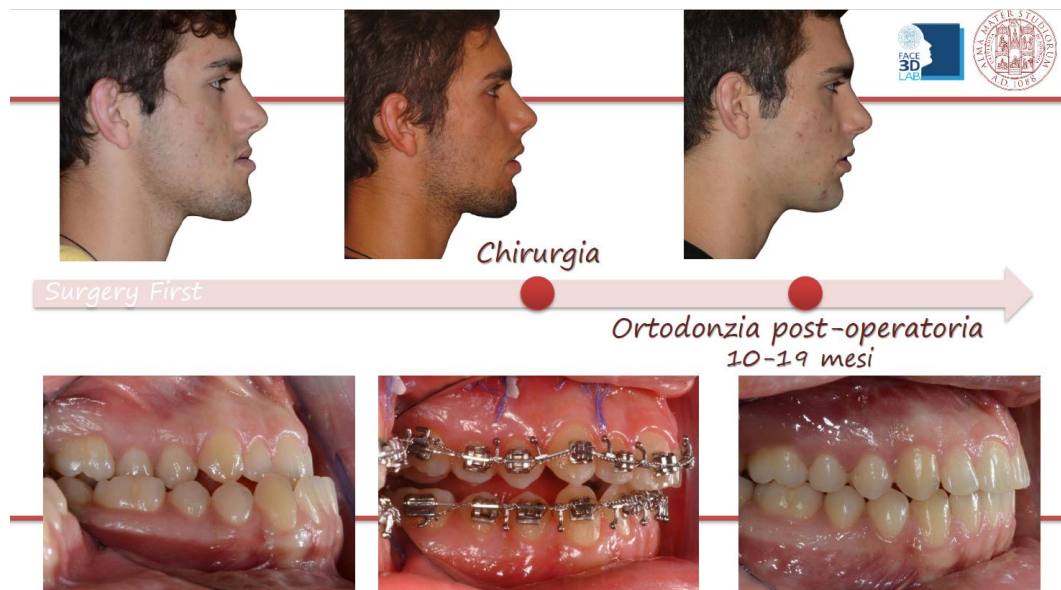


Figura 12 Approccio "Surgery First"

Negli ultimi dieci anni, le modalità di trattamento in chirurgia ortognatica sono state rivisitate. In particolare, lo schema terapeutico tradizionale, basato su una preparazione ortodontica preoperatoria di lunghezza variabile, seguita dalla chirurgia e dall'ortodonzia postoperatoria ha dato passo a una nuova tendenza che prevede la realizzazione dell'intervento chirurgico prima dell'ortodonzia. Tale approccio prevede una fase chirurgica diretta senza eseguire una decompensazione ortodontica pre-chirurgica. L'allineamento delle arcate e il raggiungimento della corretta occlusione vengono difatti posticipate in fase postoperatoria.

La Surgery First, tuttavia, non è una scoperta così recente. Come sottolinea Yi-Ren Chen questo tipo di approccio è stato comunemente utilizzato dai chirurghi dalla metà degli anni '50, quindi dall'origine della chirurgia ortognatica stessa, alla metà degli anni '70¹², quando cioè Worms introdusse il concetto di Orthodontic First approach. Worms sottolineava infatti come la presenza di compensi dentali e la

difficoltà di una pianificazione accurata limiti enormemente gli spostamenti scheletrici, obbligando il chirurgo a ricercare la miglior posizione scheletrica sulla base di una posizione oclusale di un'arcata non allineata. Da allora il concetto di Surgery First è stato abbandonato anche se nel 1977 quando era ormai affermato l'approccio classico in cui l'intervento chirurgico era preceduto dall'ortodonzia, Epker e Fish¹³ riproposero l'approccio Surgery First per il trattamento degli open bite sostenendo che la chirurgia prima del trattamento ortodontico in casi selezionati offriva numerosi vantaggi. Epker sottolineava l'importanza dell'attenta pianificazione del caso per ottenere risultati gratificanti. Un passo importante nell'evoluzione della chirurgia ortognatica avviene con il Professor Bell, quando nel 2008 prospetta la necessità di un imminente cambiamento, un "Paradigm Shifts"¹⁴, per quanto riguarda la chirurgia ortognatica stessa. Ed è a partire da questi presupposti che dal 2009 si riaffaccia sul panorama della letteratura scientifica il concetto di Surgery First portato dal gruppo di Nagasaka e Sugawara¹⁵. Il riproporsi di questa metodica è dovuto al fatto che le metodiche 3D e le nuove scoperte tecnologiche hanno permesso di ottenere diagnosi più accurate, possibilità di pianificazione e simulazione dei progetti ortodontico-chirurgici con maggior accuratezza nella realizzazione.

Capitolo 2: Il Face 3D Lab

Il Face 3D Lab

Il Face 3D Lab vuole essere un servizio del Dipartimento di Scienze Biomediche e Neuromotorie dell'Università di Bologna che nasce per mettere le tecnologie digitali 3D a disposizione di chirurghi e odontoiatri per la diagnosi, il planning e il trattamento ortodontico e maxillo-facciale.

Fra i presupposti alla base di questo servizio operativo ricordiamo:

- La collaborazione tra ricercatori, clinici, professionisti e ingegneri;
- L'utilizzo di hardware tecnologici in continuo aggiornamento e software up-to-date;
- Ambienti idonei alla realizzazione della diagnosi, del planning e del trattamento di chirurgia ortognatica.

Ogni paziente che accede al Face 3D Lab viene inserito in un "workflow" standardizzato che lo accompagna dalla diagnosi alla pianificazione del progetto ortodontico e chirurgico, fino all'intervento ed al follow-up.



Figura 13 Esempi di strumenti utilizzati nel Face 3D Lab

Nello specifico, il percorso prevede l'accesso dei pazienti in tre momenti dell'iter terapeutico:

- “T0”: il paziente non ha ancora iniziato il trattamento ortodontico-chirurgico e esegue la raccolta della documentazione iniziale al fine di ottenere la diagnosi iniziale e la previsione del trattamento ortodontico e chirurgico;
- “T1”:
 - Orthodontic First : il paziente ha ricevuto la diagnosi in T0 e, a seguito dell'ortodonzia pre-chirurgica, un mese prima dell'intervento chirurgico, esegue la raccolta della documentazione preoperatoria per la pianificazione dell'intervento;
 - Surgery First : il paziente, un mese prima dell'intervento chirurgico, esegue la raccolta della documentazione preoperatoria per la pianificazione dell'intervento, affrontando subito la chirurgia con trattamento ortodontico a seguire.
- Intervento chirurgico;
- “T2”: il paziente ha terminato il trattamento ortodontico- chirurgico e esegue la raccolta della documentazione finale. Si realizza circa 6 - 12 mesi dopo l'intervento chirurgico.

Il workflow si compone di diversi momenti, fondamentali per la corretta pianificazione e realizzazione della chirurgia.

1. Fase anamnestica e di raccolta dati

Ciascun paziente compila la cartella clinica del 3D Lab prima di sottoporsi alla visita. Durante quest'ultima, vengono considerati aspetti funzionali e morfologici della deformità.

Al fine di individuare la presenza di una eventuale disfunzione, il paziente viene per prima istanza sottoposto ad una *valutazione gnatologica* con l'intento di

acquisire informazioni relative alla condizione muscolare e articolare del distretto cervico-facciale. Tale visita è fondamentale per discriminare la presenza di una disfunzione sia essa a carico della articolazione temporo-mandibolare e/o della muscolatura e permette al paziente positivo di essere inserito in un percorso terapeutico che può consistere di terapia domiciliare, con placca di riposizionamento (bite) e/o fisioterapia.

Inoltre, la presenza e il trattamento della disfunzione articolare/muscolare rappresenta il criterio di eleggibilità che consentirà l'accesso del paziente alle liste operatorie del sistema sanitario nazionale.

A seguito della visita gnatologica il paziente prosegue con lo studio 3D. Viene eseguita una valutazione clinico-strumentale effettuata mediante *kinesiografo*, *elettromiografo* e *TENS*. Tali esami hanno il ruolo di evidenziare la disfunzione e quantificarne l'entità, contribuendo alla costruzione di una “cera di myocentrica”, ossia un morso in cera che posiziona la mandibola in myocentrica, ovvero la posizione di occlusione che si ottiene partendo dalla posizione di riposo, muovendo la mandibola lungo la traiettoria data dai muscoli per 1,5-2,4 mm. Nei pazienti che alla fine risultassero non disfunzionali questa equivarrà ad una “cera di primo contatto”. Queste cere occlusali sono utilizzate dal paziente per l'acquisizione della *tomografia computerizzata a fascio conico* (NewTom VGI Evo con FOV 24X18, QR – Verona, IT).

I modelli digitali delle arcate dentali vengono ottenuti mediante *scansione intraorale* (Trios, 3shape – Copenhagen, Denmark).

Viene inoltre scattata una *foto 3D* del volto per mezzo della macchina stereofotogrammetrica (3DMD – California, USA). Non da ultimo al momento della visita vengono eseguite le *foto 2D* del volto e delle arcate.

2. *Fase di elaborazione dei dati*

Per ottenere una ricostruzione 3D dei tessuti molli e dei tessuti duri, i dati ottenuti dai tre esami (CBCT – scannerizzazione delle arcate – stereofotogrammetria) sono

processati e fusi insieme all'interno di un software dedicato al fine di ottenere un modello 3D completo (es. Simplant O&O®, Materialise (Leuven; Belgio)).

3. Fase diagnostica 3D

Si compone di:

- Cefalometria 3D

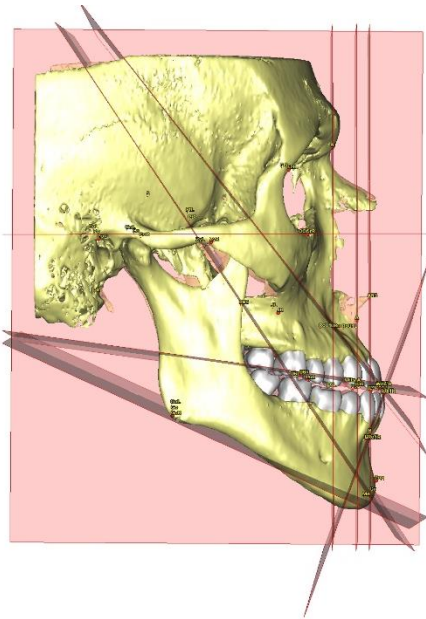


Figura 14 Esempio di analisi cefalometrica tridimensionale

L'analisi cefalometrica è la metodica che analizza la geometria delle strutture facciali. Nata con la radiologia 2D, ha subito recentemente un'evoluzione a seguito dell'avvento della CBCT che ha consentito l'applicazione degli stessi criteri geometrici alle ricostruzioni 3D del cranio e del volto. La cefalometria tridimensionale è risultata del tutto paragonabile a quella bidimensionale standard per quanto riguarda le misurazioni convenzionali, ed aggiunge una notevole quantità di nuove informazioni, soprattutto sugli aspetti di simmetria, roto-traslazionali dei mascellari e dei singoli elementi dentali.^{16,17}

- Set-up ortodontico 3D

Per mezzo dei software dedicati è possibile visualizzare gli elementi dentali nella loro interezza, comprensivi cioè di radice e corona, all'interno della componente ossea dell'alveolo.

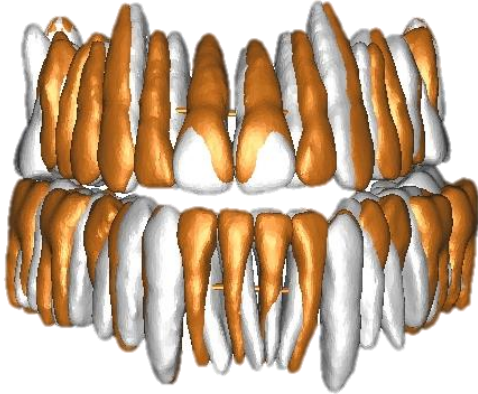


Figura 15 Arcata originale (bianco) e arcata pianificata (arancione) sovrapposte

I software permettono di simulare gli spostamenti ortodontici con movimenti lineari e rotazionali dei singoli denti nei 3 piani dello spazio. È così possibile realizzare una previsione del trattamento e ottenere un'arcata idealmente allineata, oltre che simulare estrazioni terapeutiche.

- Set-up chirurgico 3D

Sempre attraverso software dedicati, per realizzare l'intervento chirurgico virtuale si disegnano delle linee osteotomiche e la regione ossea delimitata dalla linea osteotomica viene riposizionata secondo le esigenze dell'intervento.

Attraverso questo studio 3D avremo che nei:

- T0 – verrà elaborato un piano di trattamento con previsione del risultato finale.
- T1:
 - Orthodontic-First - verrà valutata l'ortodonzia pre-chirurgica eseguita dal paziente e pianificata la chirurgia;
 - Surgery-First - verrà elaborato un piano di trattamento con previsione del risultato finale.
- T2 – verrà eseguita un'analisi del risultato finale.

4. *Fase di trattamento*

La fase di trattamento si differenzia a seconda che vengono trattati pazienti:

- T0 – una volta al mese è prevista una discussione collegiale dei casi con ortodontisti e chirurghi per confrontarsi ed elaborare il miglior piano di trattamento per il paziente. Una volta che è stato approvato il progetto operativo si dà inizio all'ortodonzia pre-chirurgica ed eventualmente si realizza una chirurgia preliminare al trattamento ortodontico (es., espansione della maxilla chirurgicamente assistita, corticotomie, ecc...)
- T1 – fase di progettazione CAD-CAM degli spostamenti delle basi ossee, degli splint e placche chirurgiche da utilizzare in sede di intervento;
- T2 – fase in cui viene studiata l'eventualità di attuare procedure ancillari o di ulteriore simmetrizzazione (sia a livello dentale, sia a livello del volto).

5. *Fase di analisi*

Per valutare la riproducibilità e l'accuratezza del progetto chirurgico digitale ogni paziente, alla fine del trattamento ortodontico postchirurgico, esegue una CBTC di controllo e la scansione delle arcate (tempo T2). I dati ottenuti vengono trasformati in file formato STL ed elaborati mediante software CAD (Ad es. Materialise Mimics, Geomagic® Design X™). È così possibile il confronto del setup ortodontico-chirurgico realizzato al momento del planning.

6. *Aspetti organizzativi relativi all'attività del Face 3D Lab in Clinica Odontoiatrica*

L'attività del Face 3D Lab si svolge tutti i mercoledì nel reparto di Chirurgia Orale della Clinica Odontoiatrica Universitaria. Nello specifico gli appuntamenti che si svolgono durante la mattina sono così suddivisi:

- N° 1-2 pazienti T0 che, a seguito della visita gnatologica, possono procedere con lo studio 3D e l'acquisizione dei records diagnostici.
- N° 1 paziente T1 che ripete lo studio 3D circa un mese prima dell'intervento chirurgico.
- N°1 paziente T2 che, finita l'ortodonzia e rimosso l'apparecchio, esegue lo studio 3D di follow up.

L'attività pomeridiana comprende le visite di controllo e di consegna referti oltre che il proseguimento delle ricerche attive e la pianificazione dei casi sui software dedicati.

Di seguito verranno trattate specificamente tutte le fasi diagnostiche e operative enunciate e i presupposti che sottendono questo percorso a cui deve sottoporsi il paziente ortognatico.

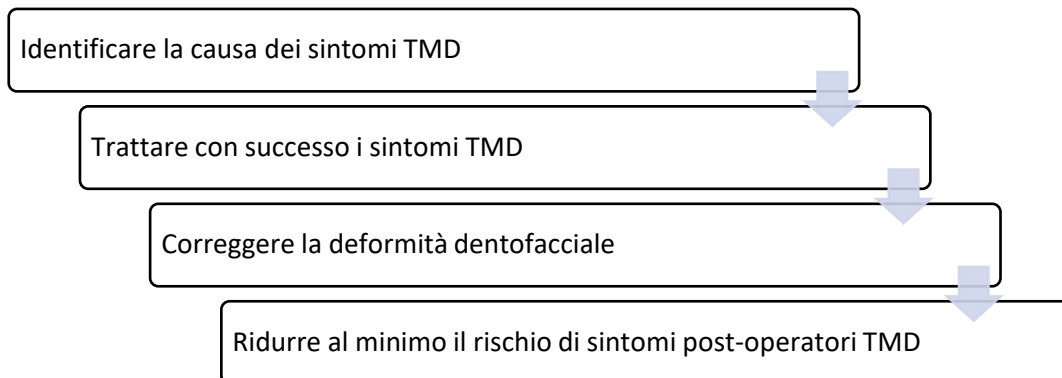
La visita Gnatologica

Il ruolo della chirurgia ortognatica per la correzione delle deformità dentofacciali è ampiamente accettato. Tuttavia, il suo ruolo nel trattamento dei disturbi dell'articolazione temporo- mandibolare (TMD) è piuttosto controverso. Esistono numerosi studi che mostrano un miglioramento dei sintomi a carico dell'articolazione temporo-mandibolare (ATM) ^{18,19} dopo un intervento di chirurgia ortognatica, mentre ce ne sono altrettanti che non mostrano alcun miglioramento significativo o addirittura descrivono un peggioramento dei sintomi dopo l'intervento chirurgico.^{20,21}

Va anche notato che una piccola percentuale di pazienti asintomatici sottoposti a chirurgia ortognatica sviluppa TMD. Tenendo conto di questo, si può presumere che la chirurgia ortognatica non possa trattare in modo prevedibile i TMD. È necessario dunque riconoscere quei pazienti in cui coesiste una problematica TMD, anche asintomatica, e che richiedono un intervento di chirurgia ortognatica per la correzione di una malocclusione scheletrica.

Data la possibilità di peggioramento dei sintomi a seguito della chirurgia ortognatica, è infatti importante riconoscere quei potenziali pazienti con TMD e gestirli indipendentemente dalla deformità dentofacciale. La maggior parte del panorama scientifico sostiene che questo dovrebbe essere fatto prima della chirurgia ortognatica pianificata. Una volta che i sintomi sono significativamente migliorati o risolti, l'attenzione può quindi spostarsi sulla fase chirurgica del trattamento.

Obiettivi primari della chirurgia ortognatica sul paziente con ATM



Nell'ambito del Face 3D Lab tutti i pazienti che accedono alla nostra struttura vengono visitati e valutati dal punto di vista gnatologico da uno gnatologo al fine di intercettare e trattare tutte le problematiche del distretto temporo-mandibolare prima dell'inizio del trattamento ortodontico chirurgico.

A ogni paziente viene consegnato un questionario anamnestico al fine di valutare la presenza e la natura dei TMD.

Tale questionario è utile per il clinico in quanto, come già esposto dallo gnatologo americano Okeson²², nella maggior parte degli individui il sistema masticatorio funziona normalmente ed efficacemente. Tuttavia, in uno schema masticatorio normofunzionale intervengono dei fattori eziologici che possono alterarne la salute. Essi sono fattori oclusali, fattori di natura traumatica, dovuti a stress emozionale, a impulsi dolorosi profondi, a parafunzioni che alterano l'equilibrio dell'apparato stomatognatico e che, in base all'adattabilità dell'individuo, basata a sua volta su fattori genetici, biologici, ormonali, ecc., determinano la propensione a sviluppare TMD.

Il questionario deve essere quindi guardato e commentato da medico e paziente nell'individuazione di possibili fattori scatenanti la patologia disfunzionale.

A seguito di tale colloquio lo specialista passa all'esame clinico del paziente che si compone dell'esame muscolare, dell'esame dell'articolazione temporo mandibolare e dell'esame odontoiatrico.

Esame muscolare

Il muscolo può essere esaminato mediante palpazione o manipolazione funzionale.

La palpazione può avvenire mediante:

- *Palpazione a piatto*: in caso in cui sotto al muscolo ci sia un piano osseo, su cui si fanno scorrere le dita (es. temporale)
- *Palpazione a pinza*: possibile in caso di muscoli aggredibili da due dimensioni (es. massetere e sternocleidomastoideo)
- *Palpazione snapping*: punte delle dita perpendicolari alla direzione delle fibre, muovendola come se si suonasse una corda.

I muscoli esaminati sono: il muscolo temporale, il muscolo massetere, lo sternocleidomastoideo, i muscoli cervicali posteriori.

La manipolazione funzionale consente altresì di valutare la presenza di dolore nei muscoli difficilmente raggiungibili quali lo pterigoideo laterale superiore, lo pterigoideo laterale inferiore e lo pterigoideo mediano. La valutazione viene eseguita nei movimenti di contrazione e distensione muscolare facendo aprire la bocca del paziente al massimo consentito, facendo protrudere la mandibola contro resistenza e serrando i denti.

La sintomatologia muscolare può essere:

- **MIALGIA LOCALE**: il dolore è localizzato al solo sito di palpazione.
- **DOLORE MIOFASCIALE**: il dolore si estende attorno al sito di palpazione, ma diffonde comunque all'interno dell'area del muscolo.
- **DOLORE MIOFASCIALE RIFERITO**: il dolore diffonde oltre al muscolo palpato, in cosiddette "aree di dolore riferito".

La sintomatologia dolorosa nella regione periarticolare deve essere posta in diagnosi differenziale con le alterazioni a carico dell'ATM.

Esame dell'articolazione temporo mandibolare

I dolori o la sensibilità ATM vengono accertati mediante palpazione digitale delle articolazioni sia quando la mandibola è immobile sia durante i movimenti dinamici.

In questo modo è possibile distinguere rumori o crepitii articolari o deviazioni dalla norma o limitazioni dei movimenti mandibolari. Le condizioni più comuni riscontrabili nei disordini temporo-mandibolari intra-articolari sono:

- **DISLOCAZIONE DEL DISCO CON RIDUZIONE:** disordine biomeccanico intra-capsulare che coinvolge il complesso condilo-disco. In posizione di chiusura, il disco è posto anteriormente, con possibile dislocazione mediale o laterale, rispetto alla testa del condilo e va incontro ad una riduzione durante l'apertura, con deviazione della mandibola dal lato affetto. In chiusura, questa si ricentra. Spesso accompagnata da rumori, click o crepitii, nel momento in cui il disco ritrova (apertura) o perde nuovamente (chiusura) il corretto rapporto col condilo. Paziente asintomatico (non vi è articolazione del condilo con tessuto retro-discale).
- **DISLOCAZIONE DEL DISCO CON RIDUZIONE CON LOCKING INTERMITTENTE:** disordine biomeccanico intra-capsulare che coinvolge il complesso condilo-disco. In posizione di chiusura, il disco è posto anteriormente, con possibile dislocazione mediale o laterale, rispetto alla testa del condilo e va incontro ad una riduzione intermittente durante l'apertura. Nei casi in cui non vada incontro a riduzione, si verifica una limitazione dell'apertura, che va sbloccata mediante manipolazione.
- **DISLOCAZIONE SENZA RIDUZIONE CON APERTURA LIMITATA:** disordine biomeccanico intra-capsulare che coinvolge il complesso condilo-disco. In posizione di chiusura, il disco è posto anteriormente, con possibile dislocazione mediale o laterale, rispetto alla testa del condilo e non va incontro ad una riduzione durante l'apertura. Detta anche "closed lock" o "locking", è associata ad un'apertura limitata persistente, che non si risolve con manovre di manipolazione: il paziente è in grado di compiere il solo movimento di rotazione; se mono laterale, la mandibola devia in apertura dal lato affetto. In fase acuta il paziente ha dolore, articolando col tessuto retro-discale.

- **DISLOCAZIONE SENZA RIDUZIONE SENZA APERTURA LIMITATA:** disordine biomeccanico intra-capsulare che coinvolge il complesso condilo-disco. In posizione di chiusura, il disco è posto anteriormente, con possibile dislocazione mediale o laterale, rispetto alla testa del condilo e non va incontro ad una riduzione durante l'apertura. Tale disordine non è associato ad un'apertura limitata persistente.
- **DISORDINI ARTICOLARI DEGENERATIVI:** disordini degenerativi a carico dell'articolazione, caratterizzati da deterioramento del tessuto articolare, con concomitanti modificazioni ossee del condilo e/o dell'eminanza articolare. Il paziente riferisce rumori, crepitii: in fase acuta parliamo di artrite, con possibili versamenti, dolore ed apertura limitata; in fase cronica di artrosi od osteoartrosi, in cui non abbiamo più sintomatologia. Esame di elezione per determinare la morfologia dei capi ossei è la TAC, ma in genere l'esame di primo livello è l'RM, in grado di mettere in evidenza tessuti molli, disco e versamenti.
- **SUBLUSSAZIONE:** disordine dovuto ad una ipermobilità che coinvolge il complesso disco-condilo e l'eminanza articolare. Nella posizione di apertura, il complesso disco-condilo è posizionato anteriormente all'eminanza articolare e non riesce a tornare in una normale posizione di chiusura (per cui è definita anche "open lock"). Nel caso in cui il paziente sia in grado di ridurre autonomamente la dislocazione si parla di sublussazione; nel momento in cui sia necessaria l'assistenza di un clinico per la riduzione, si parla invece di lussazione. Il paziente può riferire un dolore sordo. Tale patologia predispone a disordini articolari degenerativi.

Esame odontoiatrico

L'esame odontoiatrico serve a valutare la presenza di contatti occlusali alterati, protesi incongrue presenza di processi cariosi o di pulpiti che possono causare una sintomatologia dolorosa che può essere messa in diagnosi differenziali con le altre patologie TMD.

Esami di secondo livello

La diagnosi può essere completata grazie alle indagini radiologiche per mezzo di:

- OPT;
- Radiografia Transcraniale;
- CBTC;
- Risonanza Magnetica.

Questi esami danno una valutazione dei tessuti duri e molli utili al completamento del quadro clinico.

Classificazione dei dolori orofacciali

La visita che effettuata permette di rilevare una patologia disfunzionale in atto e di classificarla. Uno dei sistemi classificativi più utilizzati è quello dei criteri diagnostici per i disordini temporo mandibolare (DC/TMD). E' un sistema classificatorio che si basa su un asse 1 (valutazione fisica con criteri diagnostici) ed asse 2 (valutazione dello stato psico-sociale del pz e descrizione soggettiva del dolore).

- ASSE 1. Esame clinico ATM, muscoli masticatori, muscoli cervicali, valutazione movimenti mandibolari, auscultazione ATM. Consente di distinguere tra problematiche muscolari ed articolari.
- ASSE 2. Impatto che la sintomatologia algica e disfunzionale ha sulla vita del paziente, valutata per mezzo di questionari e scale. Ci sono scale di dolore cronico, questionario su stress, ansia, depressione, abitudini orali e parafunzioni.²³

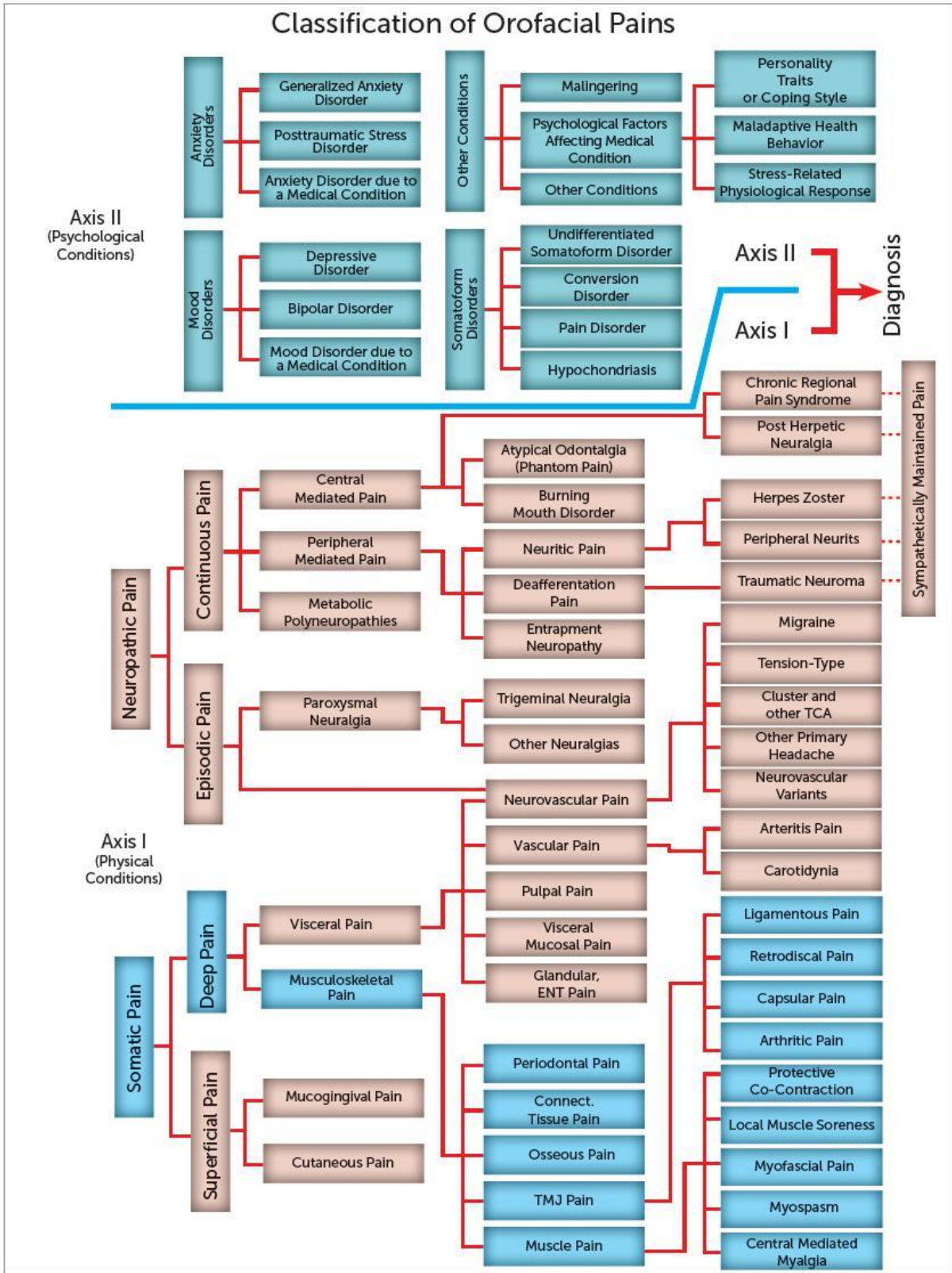


Figura 16 Classificazione dei dolori orofacciali

Trattamento

Il trattamento dei TMD può essere di diversa natura, deve essere effettuato da specialisti in gnatologia e non è oggetto di questo lavoro.

Solitamente il trattamento dei TMD è reversibile: parte dalla spiegazione dei disturbi al paziente, all'eliminazione quando possibile degli eventi dannosi scatenanti e soprattutto all'educazione agli effetti di eventi locali, centrali e piscosociali.

Il paziente viene istruito attraverso una documentazione e consigli pratici a come rieducare il distretto testa-collo evitando sovraccarichi e abitudini errate.

A questa rieducazione del paziente viene associata, ove necessario, la costruzione di un bite che può avere il fine di rilassare la muscolatura o riposizionare l'articolazione correttamente. Fanno parte del trattamento sedute di fisioterapia dedicate al distretto testa-collo.

Solitamente la terapia gnatologica ha durata di 6-12 mesi al termine della quale il paziente dovrebbe riferire una risoluzione della sintomatologia dolorosa.

Nell'ambito del percorso terapeutico del Face 3D Lab il paziente dismorfico disfunzionale intraprende un percorso riabilitativo che prevede una terapia con bite ortotico con o senza fisioterapia associata della durata di 6 mesi al fine di rimuovere/ mitigare la sintomatologia a carico dell'ATM in modo da consentire la fase ortodontico chirurgia in assenza di dolore.

Nello specifico il nostro gruppo ha condotto uno studio prospettico sul paziente disfunzionale miogenico che mira a analizzare l'efficacia di tale approccio (Incorvati et al) ²⁴.

La teoria dell'occlusione neuromuscolare, Elettromiografia e Kinesiografia



Figura 17 Bernard Jankelson

La teoria dell'occlusione neuromuscolare è stata elaborata da Bernard Jankelson²⁵ a partire dagli anni '70. A differenza delle teorie gnatologiche tradizionali, individua l'esistenza e l'importanza della componente neuromuscolare quale parte integrante del sistema stomatognatico, unitamente alla componente odonto-parodontale e quella articolare.

Il sistema neuromuscolare può di fatto adattarsi alle situazioni di criticità delle altre componenti dell'apparato stomatognatico, ma tale adattamento può avvenire a discapito delle condizioni fisiologiche del sistema conducendo quindi ad una patologia. L'obiettivo diagnostico, in gnatologia, consiste nell'intercettare un eventuale rapporto mandibolo-cranico scorretto e nel confrontarlo con quello ottimale, ossia con quello fisiologico.

Secondo le teorie gnatologiche tradizionali, si ha una condizione fisiologica a livello dell'apparato stomatognatico quando²⁶:

1. l'occlusione colloca la mandibola in una posizione tale per cui i condili si situano nella fossa glenoidea in una posizione definita relazione centrica;
2. la prima parte del movimento di apertura della bocca (~ 20 mm) corrisponde a livello condilare ad un movimento di rotazione pura (asse cerniera);
3. nei movimenti di protrusiva e lateralità i denti ed i condili devono presentare un'armonia morfologica per cui nella dentatura non vi siano interferenze;

4. protrusiva e lateralità sono fisiologici nella funzione masticatoria.

Secondo Jankelson invece, e più in generale secondo la teoria dell'occlusione neuromuscolare, i criteri di fisiologicità sono ²⁷:

1. che l'occlusione si verifichi nella posizione più distale in cui la muscolatura possa portare la mandibola;
2. che tale occlusione distale avvenga ad una dimensione verticale leggermente superiore alla posizione di riposo della mandibola;
3. che l'occlusione sia sufficientemente stabile nelle posizioni suddette durante l'intera esplicazione di forza esercitata su di essa dalla muscolatura in deglutizione; il che significa che nessuna forza deve essere generata nell'occlusione stessa, altrimenti tenderebbe a causare dislocamento orizzontale in ogni direzione.

Jankelson sposta il concetto di fisiologicità da una semplice relazione anatomica cranio–condilo–mandibolare alla presenza di una corretta funzionalità di tutto l'apparato stomatognatico.

Parlare di funzione in gnatologia significa quindi parlare di movimento, da intendersi come un'interazione muscolo–scheletrica cioè composta di movimenti funzionali collegati con le strutture articolari, legamentose e alveolo–dentali.

Viene di conseguenza introdotto il concetto di occlusione centrica, la quale non coincide con la relazione centrica, ma con quella che Jankelson definisce myocentrica, ossia “quella posizione in cui i muscoli porterebbero la mandibola se non esistessero fattori deflettenti sui denti o sui valli di registrazione” (Jankelson B., 1969). Diviene quindi importante, dopo un intervento chirurgico, stabilire rapporti occlusali in armonia con i nuovi rapporti scheletrici post–chirurgici (Jankelson B., 1982).

La posizione di myocentrica è specifica per ogni soggetto, dipendendo dalle caratteristiche anatomo–funzionali dell'apparato stomatognatico, e può essere individuata utilizzando tre parametri di riferimento:

- a. la posizione di riposo fisiologica;
- b. la traiettoria neuromuscolare di chiusura fisiologica;
- c. lo spazio libero interocclusale fisiologico (compreso tra 1 e 2,5 mm).

Strumenti per l'occlusione neuromuscolare

Accanto alla sua teoria dell'occlusione neuromuscolare, Jankelson ha sviluppato una strumentazione che consente di operare nella pratica clinica in termini neuromuscolari.

Jankelson ha dunque elaborato uno strumento, il Myo Monitor²⁸, che è un “generatore di impulsi elettronico, specificamente ottimizzato per la stimolazione elettrica neurale transcutanea²⁹ (TENS) bilaterale del sistema stomatognatico” con lo scopo di:

1. rilassare il sistema neuromuscolare del paziente ottenendo quindi una posizione di riposo equilibrata;
2. ottenere un movimento mandibolare non condizionato dalla memoria propriocettiva dell'occlusione esistente.

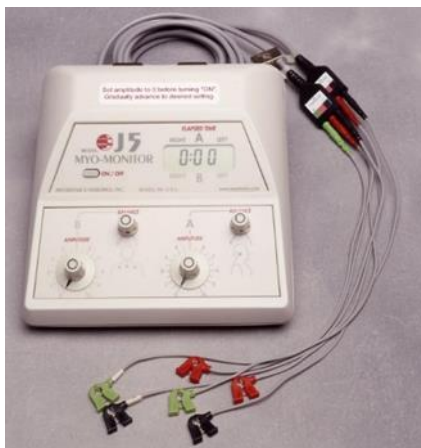


Figura 18 Myomonitor

Con una frequenza di erogazione di 40 impulsi al minuto, ogni stimolo depolarizza i tronchi nervosi del V e VII paio di nervi cranici e viene provocata una contrazione muscolare di brevissima durata (500 μ sec), ad un ritmo di una ogni 1,5 sec. Tale stimolazione, protratta per 30 – 45 minuti, è in grado di rilassare la muscolatura dell'apparato (Jankelson B., 1978), permettendo quindi di ottenere una traiettoria di chiusura che sia dettata dal sistema

neuromuscolare del paziente, evitando gli artefatti dovuti sia alla manipolazione dell'operatore, che alla memoria propriocettiva accomodatoria del paziente.

Per poter effettuare le misurazioni relative alla dinamica ed alle posizioni mandibolari in condizioni di minima interferenza propriocettiva è stato sviluppato nel 1973, successivamente al Myo Monitor, il kinesiografo mandibolare. Il kinesiografo mandibolare è uno strumento in grado di rilevare i movimenti della mandibola nello spazio, e di visualizzarli attraverso dei grafici.



Figura 19 Kinesiografo

È questo uno strumento in grado di rilevare le posizioni ed i movimenti di un magnete applicato a livello del punto incisale mediano della mandibola, quindi in modo non invasivo, attraverso un sistema di sensori extraorali e periorali assicurato alla testa del paziente.

Così facendo si riducono al minimo le interferenze propriocettive disturbanti, permettendo allo stesso tempo alla mandibola di muoversi senza limitazioni. Successivamente, col fine di oggettivare in maggior misura lo stato di equilibrio funzionale della muscolatura, è stato sviluppato un elettromiografo cutaneo clinico di superficie, in grado di registrare simultaneamente il potenziale elettrico di quattro coppie di muscoli coinvolti nella funzione mandibolare: temporali (fascio anteriore), masseteri, digastrici (ventre anteriore) e sternocleidomastoidei. Attraverso indagini poligrafiche diviene quindi possibile correlare la dinamica della mandibola alla sua funzione.

Operatività della teoria dell'occlusione neuromuscolare

Clinicamente la teoria dell'occlusione neuromuscolare si basa sull'analisi elettromiografica e kinesiografica. Un'analisi, in generale, consiste nel confronto tra determinati parametri in condizioni abituali (basali) e in condizioni ottimali (fisiologiche). Nell'ambito della teoria dell'occlusione neuromuscolare, tali

parametri sono relativi alla funzione mandibolare del paziente e ci sono forniti proprio dall'elettromiografia e dalla kinesiografia. I tracciati ottenuti sono stati denominati, secondo il protocollo di Jankelson, "scan", numerati da 1 a 8 per quanto riguarda la kinesiografia e da 9 a 11 per l'elettromiografia. Ognuno di questi scan corrisponde ad una determinata indagine elettromiografica o kinesiografica eseguita sul paziente.

La procedura prevede tre fasi consequenziali:

- Analisi della situazione funzionale in condizioni abituali.
- Applicazione della TENS per il riequilibrio muscolare.
- Analisi della situazione funzionale a riequilibrio avvenuto e sotto stimolazione con TENS.

L'utilizzo combinato di elettromiografia e kinesiografia, dunque, consente la realizzazione di un poligrafico, che permette di correlare la funzione muscolare al movimento mandibolare. In questo modo è possibile, ad esempio, valutare l'attendibilità di una posizione di riposo che da un punto di vista kinesiografico appare stabile, ma da quello elettromiografico manifesta una certa attività muscolare oltre il tono basale, palesandosi come una posizione adattata.

Inoltre, è possibile grazie a questo esame la realizzazione di un Bite Ortotico.

L'ortotico è costruito sulla base delle misurazioni della disfunzione mandibolare ricavate dalla Kinesiografia mandibolare e dall'elettromiografia di superficie eseguite con ausilio di stimolazione TENS trigeminale, indispensabile alla registrazione dell'occlusione dentale miocentrica. È costruito per garantire la miglior efficienza neuromuscolare in termini di rilassamento muscolare durante il riposo della mandibola e di bilanciamento durante le fasi di masticazione e deglutizione. Queste caratteristiche fisiologiche ripristinate dall'ortotico sono ottenute attraverso la ricostruzione dell'occlusione fisiologica ad immagine dei denti naturali, conservando quel contatto dentale originale in cui i cuspidi dentali incastrano nelle corrispondenti fosse, così da mantenere stabile la posizione mandibolare durante tutte le normali funzioni stomatognatiche.

Nell'ambito del Face 3D Lab l'esame elettromiografico e kinesiografico è utile per individuare eventuali alterazioni dei muscoli masticatori e guidare il trattamento sulla base della posizione di miocentrica del paziente.

Analisi del volto

L'esame obiettivo del volto, effettuato contestualmente al colloquio clinico col paziente, ha l'obiettivo di stabilire la presenza deficit estetici dalle norme di riferimento più comuni. Insieme all'esame obiettivo del volto si svolgono anche un esame obiettivo del cavo orale e la valutazione occlusale.

L'analisi estetica viene effettuata mediante l'acquisizione di records bidimensionali (fotografie 2D) e tridimensionali (stereofotogrammetria 3D) nella posizione naturale del capo (NHP).

NHP

La posizione naturale del capo è la posizione della testa più bilanciata e naturale quando il soggetto guarda un oggetto all'altezza degli occhi. È una posizione individuale, funzionale e psicologica ed indica l'apparenza reale del soggetto. La sua introduzione risale alla fine degli anni Cinquanta con Moorees e Kean³⁰ quando è stata usata come una posizione di riferimento per stabilire la morfologia facciale. È stata considerata, infatti, come la posizione di riferimento che presumibilmente cambia di meno.

Il concetto di NHP non è nuovo: Leonardo da Vinci e Albrecht Durer utilizzavano delle griglie di riferimento per posizionare in modo naturale i loro modelli e permettere una replicazione artistica accurata della testa umana nei loro disegni.

La posizione naturale del capo è importante nell'ortodonzia per l'analisi cefalometrica delle anomalie dento facciali, nella chirurgia ortognatica durante la pianificazione dell'intervento e nella valutazione della relazione tra la testa e la colonna vertebrale.

La posizione naturale del capo (NHP) è una posizione standardizzata e riproducibile della testa in una posizione eretta, gli occhi focalizzati su un punto nella distanza a livello degli occhi, il che implica che l'asse visivo è orizzontale.³¹

La procedura più semplice per ottenere fotografie e radiografie della testa in NHP è di istruire i pazienti a sedere in posizione verticale e guardare dritto verso un punto

a livello degli occhi sul muro di fronte a loro. Un piccolo specchio può essere utilizzato per l'orientamento della testa: l'orientamento dello specchio ha l'ulteriore vantaggio che il paziente è in grado di auto-allineare la linea mediana della testa.

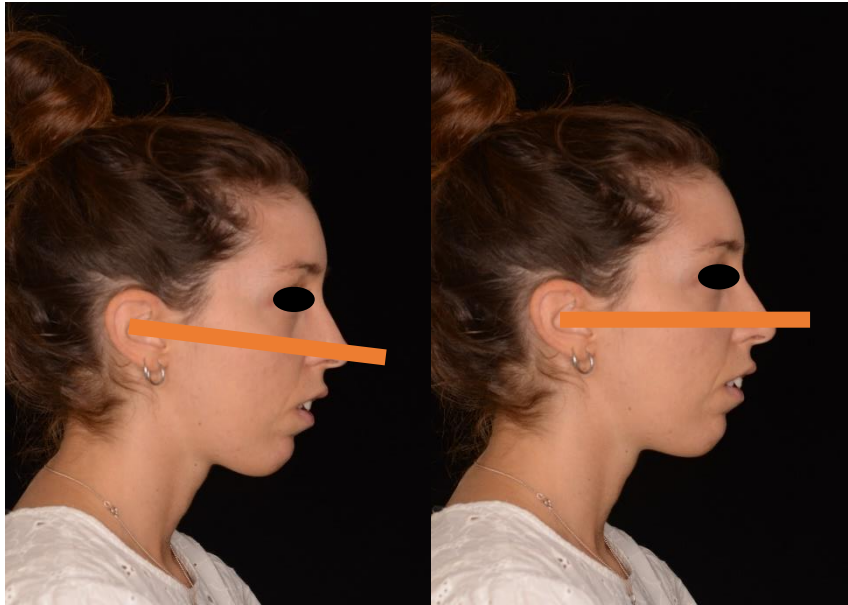


Figura 20 Diverse posizioni del capo assunte dal paziente

Foto standard

Le fotografie rappresentano la memoria storica dell'ortodontista e del chirurgo e per questo motivo devono essere scattate in modo tale da rappresentare il paziente come quando è stato visitato al momento dell'esame clinico.

La serie standard delle fotografie extra-orali comprende:

- Foto frontale (labbra chiuse)
- Foto frontale (labbra a riposo)
- Foto frontale (con sorriso)
- Foto laterale destra e sinistra (labbra chiuse)
- Foto laterale destra e sinistra (labbra a riposo)
- Foto laterale destra e sinistra (con sorriso)
- Foto di tre quarti destra e sinistra (labbra chiuse)
- Foto di tre quarti destra e sinistra (labbra a riposo)

- Foto di tre quarti destra e sinistra (con sorriso)
- Foto sub-mento-vertice (dal basso verso l'alto) a bocca chiusa
- Foto sub-mento-vertice (dal basso verso l'alto) a bocca aperta
- Foto frontale con abbassalingua
- Foto frontale con apri-labbra



Figura 22 Esempio di foto frontali



Figura 21 Esempio di foto laterali

Per effettuare queste foto è necessario che:

- il paziente sia in piedi assumendo una posizione di NHP;

- il paziente sposti i capelli dal viso e li porti dietro le orecchie se lunghi;
- il paziente rimuova ogni accessorio che potrebbe interferire con l'immagine fotografica;
- l'orientamento della macchina fotografica sia verticale;
- il posizionamento della macchina fotografica si è perpendicolare al paziente;
- l'inquadratura del viso del paziente sia centrata dall'alto in basso da destra a sinistra;
- per le foto di profilo il sopracciglio dell'altro emivolto sia leggermente visibile nell'inquadratura.

La serie di foto standard intra-orali comprende

- Foto frontale
- foto laterale destra
- foto laterale sinistra
- foto oclusale superiore
- foto oclusale inferiore
- foto overjet



Figura 23 Esempio di foto intra-orali

Per effettuare queste foto è necessario che:

- il paziente sia reclinato sulla poltrona
- le labbra siano divaricate con l'ausilio di apribocca separati
- il paziente chiuda in massima intercuspidação per la registrazione delle foto frontali e laterali
- l'orientamento della macchina fotografica sia orizzontale
- utilizzare degli specchi per le foto laterali

Stereofotogrammetria

Tecnologie recenti come la scansione della superficie laser e la fotogrammetria 3D hanno fornito un potenziale miglioramento diagnostico dell'analisi del volto e dei tessuti molli. I set di dati digitali possono essere acquisiti rapidamente e in modo non invasivo e contemporaneamente archiviati per analisi future.



Figura 24 Macchina Stereofotogrammetrica 3DMD

Uno di questi sistemi di fotogrammetria 3D, utilizzato nell'ambito del Face 3D Lab, è il sistema di imaging digitale 3dMD, che cattura immagini di superficie 3D in 2 millisecondi. Il sistema 3dMD funziona proiettando schemi di luce casuali sull'oggetto di interesse (nel nostro caso il volto umano). Il soggetto viene catturato con più fotocamere digitali sincronizzate e posizionate a vari angoli in una configurazione ottimale. Poiché vengono utilizzate più telecamere, non è necessario catturare più immagini da varie angolazioni.

Il sistema genera automaticamente una mesh di superficie poligonale 3D continua inserita in un sistema di coordinate x , y , z . Il software 3dMD integra automaticamente tutte le informazioni sul colore sulla mesh.

Le immagini 3dMD registrano il volto in scala 1: 1. Queste immagini tridimensionali sono utili per affrontare gli artefatti di superficie sulla CBCT causati dal movimento del paziente durante la durata della scansione; consentono di compensare la compressione dei tessuti molli causata dagli ausili per la stabilizzazione della CBCT (ad es. sottogola) e integrano eventuali dati anatomici mancanti (ad es. naso).

Gli algoritmi sviluppati da 3dMD sono di fatti in grado di integrare le varie immagini ottenute per produrre una singola immagine 3D che può essere spostata nelle diverse angolazioni di interesse su un PC utilizzando il software dedicato 3dMD.



Figura 25 Foto 3D

Analisi del volto

I record bidimensionali e tridimensionali permettono di condurre una accurata analisi estetica del volto.

I principi di valutazione delle armonie facciali sono stati studiati a fondo da Arnett che nel 1999 ha pubblicato il “soft tissue cephalometric analysis” (STCA) ³² e che ha scritto molto sull’importanza del volto nella pianificazione in chirurgia ortognatica.

Di fatto gli obiettivi estetici in chirurgia ortognatica si concretizzano nella realizzazione di un volto proporzionato e simmetrico, con un buon sostegno ei tessuti molli e delle aree di lucentezza del viso e di un profilo armonico. Questi obiettivi si raggiungono a seguito di un’analisi accurata che consenta di individuare e raggiungere le norme di riferimento.

Analisi frontale

L'analisi frontale comprende lo studio delle proporzioni verticali: solitamente il volto viene suddiviso in tre terzi di pari lunghezza (ciascuno è $\frac{1}{3}$ della lunghezza complessiva del volto) che vanno dall'attaccatura dei capelli "trichion" alla glabella, dalla glabella alla base nasale e da quest'ultima al mento. A sua volta le proporzioni verticali del terzo inferiore del volto sono suddivise in $\frac{1}{3}$ della lunghezza complessiva che vanno dalla base nasale allo stomion di competenza del labbro superiore e di $\frac{2}{3}$ dallo stomion al mento che rappresentano la lunghezza del labbro inferiore.

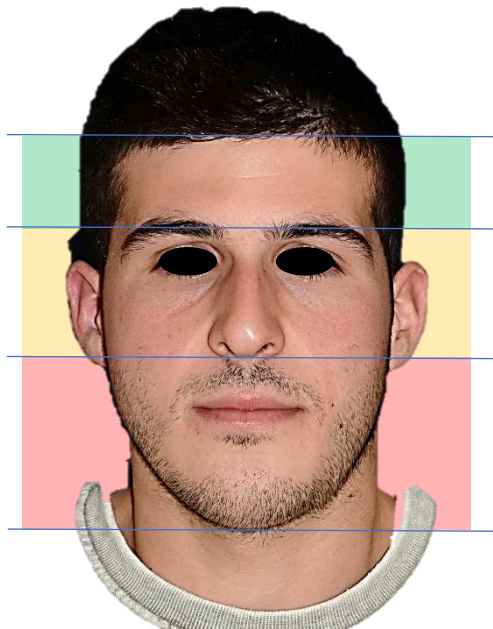


Figura 26 Analisi del volto frontale

Con l'analisi frontale vengono valutate anche le proporzioni trasversali del volto considerando i rapporti esistenti fra la larghezza bigoniaca, la larghezza bizigomatica e la larghezza del mento: la larghezza bigoniaca deve essere il 70% della larghezza bizigomatica e larghezza del mento il 40% della larghezza bigoniaca.

L'analisi della simmetria frontale viene valutata attraverso dei piani di simmetria orizzontale che devono essere coincidenti e paralleli fra di loro. Questi piani di

riferimento sono: il piano bipupillare, il piano oclusale, il piano dei corpi mandibolari e il piano del mento. Il non parallelismo di questi piani denota la presenza di una asimmetria sul piano frontale.

È possibile valutare la simmetria di un volto anche attraverso la coincidenza di punti cutanei e dentali rispetto alla linea sagittale mediana perpendicolare al piano bipupillare e passante per il nasion cutaneo. I punti cutanei che devono soggiacere alla linea mediana sono la glabella, la punta del naso, la mediana dentale superiore, inferiore e il mento.

Lo studio della simmetria del volto viene effettuata anche attraverso la visione submentale misurando la concordanza dei punti cutanei rispetto alla sagittale del viso. L'analisi del volto con le labbra a riposo permette di valutare l'esposizione incisiva che deve permettere la visione dei margini incisali superiori circa 2-4 mm al di sotto dello stomion superiore.

A labbra chiuse invece è possibile valutare la competenza labiale ovvero l'assenza di stränge dei muscoli peri orali quando il paziente chiude la bocca.

In visione frontale è possibile, inoltre, condurre l'analisi del sorriso sociale nel paziente: l'esposizione del sorriso deve essere compresa dai $\frac{3}{4}$ della corona clinica incisivo superiore fino a 2 mm di gengiva, la linea del sorriso deve essere concentrica labbro inferiore e non devono essere presenti corridoi neri bucali.

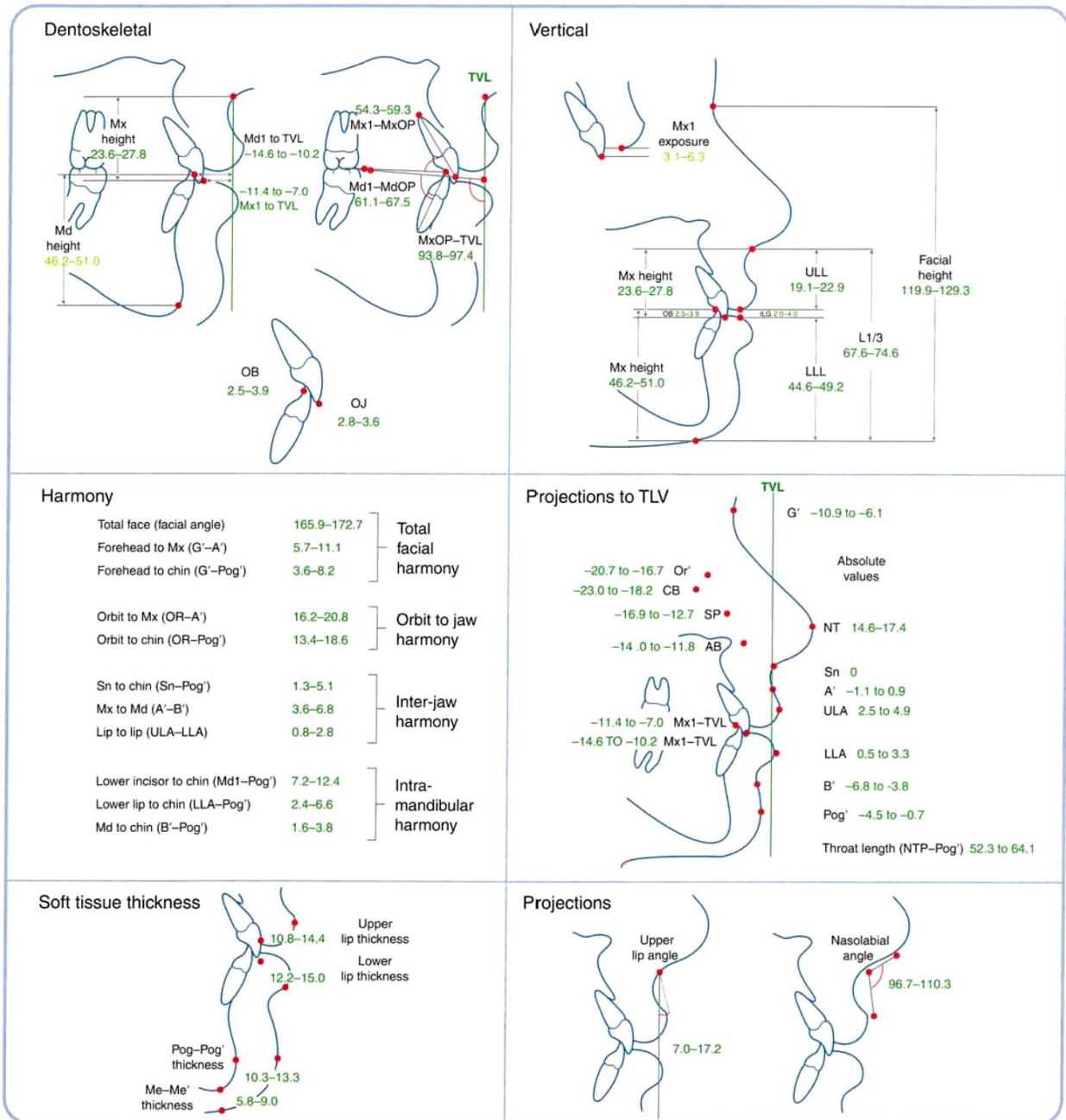
Analisi del profilo

L'analisi del profilo di nostro riferimento si basa sulla STCA di Arnett. Viene condotta tracciando la true vertical line (TVL) che è una linea passante per il punto sub-nasale è perpendicolare al Natural Head Plane.

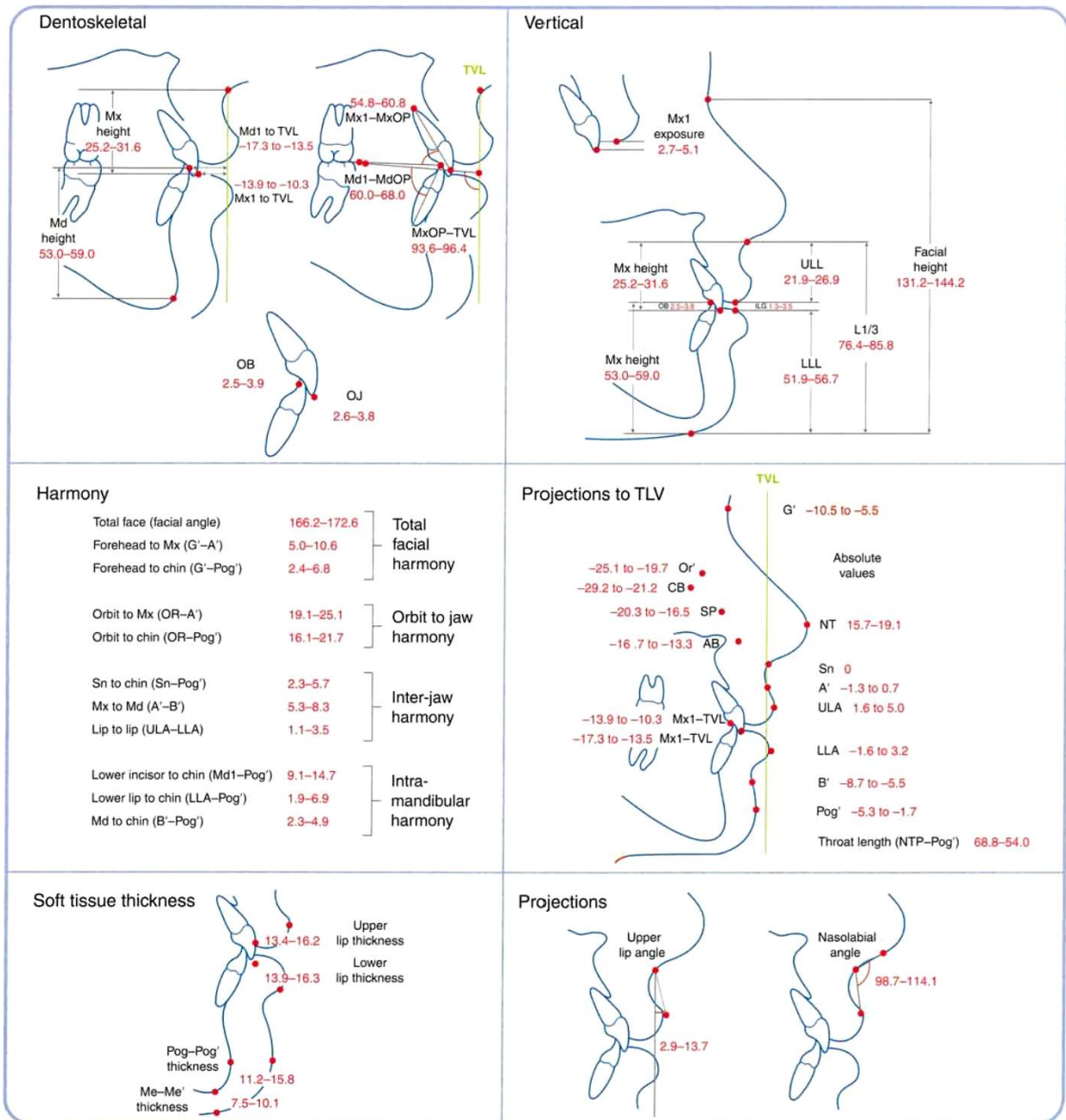
La distanza dei punti di repere cutanei con tale linea permette di valutare le proporzioni del viso.

Di seguito in tabella alcune misurazioni utili ai fini diagnostici divise per sesso maschile e femminile:

STCA female soft tissue cephalometric analysis



STCA male soft tissue cephalometric analysis



Analisi dell'occlusione

L'analisi occlusale viene condotta quando i denti dell'arcata mascellare e mandibolare giungono in contatto funzionale tra loro, in una posizione che si chiama di massima intercuspidação.

In massima intercuspidação i denti dovrebbero relazionarsi secondo le sei chiavi dell'occlusione enunciate da Lawrence F. Andrews⁵ nel 1972. Secondo Andrews una buona occlusione deve avere:

- I canini e i primi molari in prima classe, ovvero la cuspidè del canino superiore deve chiudere esattamente a metà tra canino inferiore e primo premolare e la cuspidè mesio-vestibolare del sesto superiore deve chiudere nel solco mesiale del primo molare inferiore;
- le linee mediane centrate;
- un overbite e un overjet variabile da 1 a 3 mm;
- assenza di diastemi;
- assenza di denti ruotati;
- presenza una leggera curva di Spee.

Esame CBCT, Acquisizione dei dati DICOM e Segmentazione del caso

La diagnosi ed il piano di trattamento in chirurgia ortognatica si sono evoluti contestualmente alle innovazioni tecnologiche.

Nel recente passato il chirurgo maxillo-facciale e l'ortodontista avevano a disposizione unicamente record bidimensionali, come la fotografia e la radiologia tradizionale che analizzavano il volto e lo scheletro sottostante. Gli unici record tridimensionali a disposizione dello specialista erano i modelli in gesso dentali.

L'introduzione della tomografia computerizzata (TC) negli anni '70³³ ha permesso al medico di visualizzare tutte le componenti dello splancnocranio ed ha permesso al chirurgo di diagnosticare e soprattutto pianificare in anteprima l'atto chirurgico.

Successivamente le tecniche di imaging si sono evolute e ampliate sino all'avvento della metodica di Tomografia Computerizzata Cone Beam, CBCT,³⁴ (a fascio conico) che ha rivoluzionato la diagnostica radiologica e maxillo-facciale, rendendo disponibili ricostruzioni tridimensionali (3D) delle strutture anatomiche esaminate.

A differenza della TC, quest'ultima, esponendo il paziente a dosi radianti relativamente basse, è in grado di acquisire dati ed immagini di uno specifico volume del massiccio facciale e del cranio che, grazie a dedicati e potenti software di elaborazione, permettono ricostruzioni Volume Rendering (VR) dette anche immagini 3D rese della testa del paziente.

La triade scheletro, dentizione e tessuti molli può essere quindi più facilmente interpretata con, inoltre, un minor carico di esposizione radiogena, paragonabile alle indagini utilizzate di routine nella diagnostica delle malocclusioni dento-scheletriche (radiografie OPT, Tele LL e PA).

Le differenze tecniche fra TC spirale e TC Cone Beam constano nel fatto che nella CBCT la sorgente di raggi x ruota attorno al massiccio facciale del paziente, mentre un detettore cattura le immagini relative alla sua anatomia, inviandole alla workstation per l'elaborazione. La TC spirale usa, invece, un fascio molto sottile di raggi x che ruota più volte intorno alla testa del paziente, che viene fatto avanzare gradualmente, e sensibilizza una serie di detettori.

Un'altra differenza fra le due apparecchiature è il FOV (Field of View), cioè l'ampiezza dell'area esposta ai raggi x: nella CBCT è possibile modulare l'ampiezza alle sole regioni di interesse clinico, cosa non possibile con gli ampi FOV della TC spirale. Inoltre, l'aumento del FOV implica un aumento del rumore e degli artefatti in fase di ricostruzione volumetrica.

Per di più, anche l'esposizione radiogena è diversa: si parla infatti di valori compresi fra 30-100 microsieverts complessivi della CBCT nel caso di esposizione doppia e simultanea di mandibola e mascellare a fronte dei 200-500 microsieverts della TC spirale.



Figura 27 La CBCT

Con la CBCT si ottiene un volume d'informazioni che viene elaborato e presentato graficamente sotto forma di immagini anatomiche utili a fini diagnostici e che presentano meno artefatti tecnici dovuti alla presenza di metallo che sono particolarmente accentuati nella TC spirale.

Nell'ambito del Face 3DLab viene utilizzata una CBCT maxiscan NewTom VGI Evo con FOV 24X18, QR – Verona, IT.

Le immagini mediche ricavate dalla CBCT vengono archiviate, scambiate e trasmesse attraverso file DICOM (Digital Imaging delle comunicazioni in Medicina e Chirurgia). I software di ricostruzione 3D importano i dati provenienti dalla TAC e li rielaborano, creando un modello tridimensionale della struttura anatomica interessata, visibili da varie angolazioni su un comune PC.

L'attenuazione fotonica derivante dall'interazione con la materia per effetto Compton è indicativa della densità fisica del tessuto attraversato. È possibile, infatti, stabilire una relazione di proporzionalità tra il coefficiente lineare di attenuazione e la densità di un punto interno ai tessuti. Dunque, rielaborando tali coefficienti, si può attribuire a ciascun punto del tessuto attraversato un valore di attenuazione, espresso in unità Hounsfield (H, dal nome dell'inventore, già Premio Nobel). I dati vengono poi elaborati al fine di produrre i volumi necessari alla simulazione. Così facendo è possibile utilizzare i dati per la segmentazione di tessuti molli e tessuti duri.

Le tecniche di segmentazione si possono suddividere nelle due categorie:

- tecniche di estrazione di regioni (ossa, parti molli, ecc...);
- tecniche di estrazioni di contorni.

L'utilizzo di un algoritmo che discrimina i tessuti in base ad un valore di soglia della densità radiografica (espresso in Hounsfield) permette di ottenere una segmentazione iniziale. Tuttavia, quello che esita da tale segmentazione, contiene diversi artefatti dell'immagine non desiderati nella ricostruzione finale. In particolare, gli artefatti nell'immagine sono causati dalla stessa operazione di thresholding, in quanto a tessuti diversi che occupano lo stesso voxel viene attribuito un valore unico di radiodensità (effetto di volume parziale). Ne consegue che tutte le strutture anatomiche con densità compresa nell'intervallo di interesse ma di dimensioni inferiori a quelle del voxel possono non essere visualizzate. Altri artefatti possono insorgere a causa di interazioni tra raggi x e tessuti.

La tecnica del *region growing*, che considera le caratteristiche dell'immagine secondo un criterio di omogeneità, interviene con lo scopo di raggruppare i voxels per realizzare regioni omogenee. Partendo da regioni piccole (processo di suddivisione), queste vengono fuse (processo di fusione) per costituire regioni più estese fino a quando il procedimento è possibile.

Per isolare i tessuti duri del cranio si ricorre al metodo dei *marching cubes* per l'estrazione dei contorni, scegliendo un'opportuna soglia delle tonalità di grigio per discriminarli dai tessuti molli. I marching cubes vengono utilizzati per formare iso-superfici in 3D: dapprima si individua la superficie che corrisponde ad un determinato valore della tonalità di grigio e si creano i triangoli, quindi si calcolano le normali alla superficie in ogni vertice dei triangoli, in modo da poter applicare le ombreggiature all'immagine.

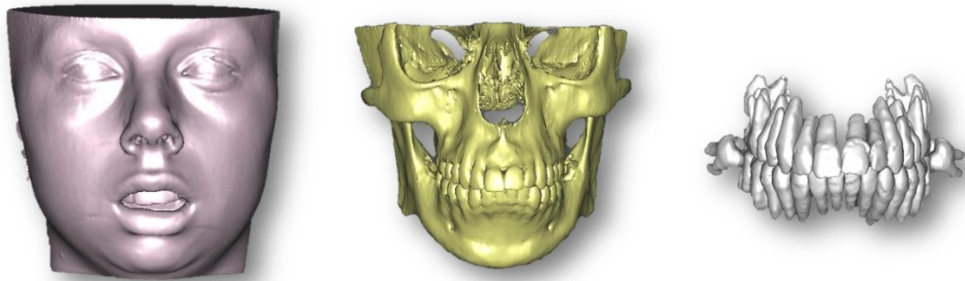


Figura 28 Ricostruzione 3D di tessuti molli, duri ed elementi dentari

Queste griglie vengono generate sia per il cranio sia per i tessuti molli e costituiscono il punto di partenza per la ricostruzione 3D.

La tecnica di ricostruzione può essere per superfici o per volumi.

La tecnica di ricostruzione per superfici considera solo i dati relativi alla superficie dell'oggetto, senza considerarne la struttura. L'oggetto viene rappresentato come una sequenza di curve approssimanti (splines) impilate nello spazio e connesse da un mosaico di poligoni (normalmente triangoli), oppure intercettate da una superficie complessa.

La ricostruzione volumetrica, invece, ricostruisce spazialmente sia la superficie sia la struttura dell'oggetto, impiegando una matrice 3D di voxels. Se dal punto di vista della rappresentazione grafica il risultato può essere analogo con entrambe le

tecniche, ben diverso è il numero di informazioni contenute nella ricostruzione 3D volumetrica dell'oggetto e, di conseguenza, la possibilità di ulteriore elaborazione.

La caratteristica saliente della rappresentazione volumetrica è la possibilità di lavorare sugli oggetti intendendoli realmente come solidi, quindi dotati di massa, peso, caratteristiche meccaniche, e fisiche.

Scansione intraorale

La rivoluzione digitale apre la strada verso il paziente virtuale, e quindi alla possibilità di rappresentare tutti i tessuti del paziente (osso, denti, gengive, viso) in un unico modello 3D, sul quale è possibile eseguire una serie di pianificazioni e modellazioni di natura chirurgica, protesica ed ortodontica.

In questo contesto a partire dagli anni '90, si inseriscono gli scanner intraorali, dispositivi per la rilevazione dell'impronta ottica. Essa si ottiene attraverso un fascio luminoso (luce strutturata o laser) che raccoglie informazioni sulla forma e le dimensioni delle arcate dentarie.

Le informazioni raccolte da queste telecamere vengono rielaborate da un software che ricostruisce in maniera accurata il modello 3D delle strutture desiderate. Viene generata una "nuvola di punti" che creerà una mesh poligonale, rappresentazione fisica dell'oggetto scansionato, al fine di ottenere il modello 3D definitivo. Tecnicamente, lo scanner intraorale è perciò classificato come uno scanner 3D attivo, poiché emette una fonte luminosa e rielabora la distorsione subita dalla stessa ad opera delle superfici dell'oggetto, per creare un modello 3D virtuale dello stesso. Gli aspetti più rilevanti da considerarsi nella scelta dello scanner sono³⁵:

1. verità, precisione e risoluzione dello scanner;
2. operatività clinica: necessità o meno di opacizzazione, velocità di acquisizione, possibilità di acquisire modelli a colori, dimensioni delle punte;
3. tipologia di sistema: libertà o meno di esportazione di file .STL;
4. costi di acquisto e di gestione.

In relazione al primo punto, per verità di accuratezza ("trueness") si intende quanto la media delle nostre misurazioni si avvicini alla realtà. Uno scanner intraorale dovrebbe permettere l'elaborazione di un modello 3D virtuale il più analogo al reale, senza discostarsi dalla realtà. L'accuratezza di uno scanner dipende strettamente dal software di elaborazione in dotazione, che di fatti "costruisce" il modello virtuale.

L'accuratezza di un modello 3D derivato da scansione intraorale può essere studiata mediante la sovrapposizione con specifici software dei modelli ottenuti da scansione intraorale al modello di riferimento (attraverso tastatore industriale "coordinate measuring machine - CMM o braccio articolato" o con scanner desktop certificato).

Per precisione si intende la capacità dello scanner di garantire un risultato ripetibile, quando impiegato in diverse misurazioni dello stesso oggetto.

Una mancanza nei livelli complessivi di precisione e accuratezza degli scanner va ad influire negativamente sulla qualità dell'impronta, con conseguenze sull'intero flusso di lavoro, soprattutto quando una buona impronta è fondamentale per la riuscita della prestazione.

Per risoluzione di acquisizione si intende la minima differenza che uno strumento è in grado di misurare (sensibilità dello strumento) e dipende dalle telecamere in dotazione agli scanner, che sono di diversi tipi e con potenze diverse.

Purtroppo, pochissimi studi in letteratura hanno valutato l'accuratezza dei diversi scanner intraorali presenti nel mercato, e le informazioni che abbiamo a disposizione sono ridotte.³⁶

Dal punto di vista operativo il superamento della necessità di ricorrere ad opacizzazione, caratteristica degli scanner intraorali di prima generazione, è un punto a favore nella facilità di utilizzo di tali dispositivi.

Altri parametri da considerare sono: la velocità di scansione, che non deve modificare l'efficienza, la possibilità di acquisire modelli a colori, informazione legata al file proprietario derivato dalla scansione intraorale (i file .STL sui quali lavorano i principali software di CAD protesico non hanno l'informazione relativa al colore), la dimensione della punta dello scanner, un costo d'acquisto accessibile, dei costi di gestione limitati ed impostazioni di condivisione delle scansioni "aperte".

Relativamente a questo ultimo punto uno scanner intraorale dovrebbe idealmente avere come output, oltre al file proprietario legalmente valido, un file .STL in grado cioè di essere immediatamente aperto ed utilizzato da qualunque software di CAD.

Scanner intraorali inseriti all'interno di un "sistema chiuso", invece, hanno come unico output i file proprietari dell'azienda, che possono essere aperti e processati solamente dai software CAD della stessa.



Figura 29 Scanner Intraorale

La pratica clinica del Face 3D Lab prevede che ogni paziente in qualsiasi fase del trattamento possa prendere delle impronte digitali che possano essere tranquillamente esportate nei software di programmazione ortodontico-chirurgica al fine di pianificare nel dettaglio il trattamento e valutare il progress.

Durante il periodo oggetto della mia tesi sono stati utilizzati scanner "Carestream CS3600" [Produttore: Carestream Tecnologia: Active speed video 3D Fonte luminosa: Luce LED strutturata Necessità di opacizzazione: No Immagini a colori: Sì In-office milling: Sì Output: File proprietario (CSZ), PLY, STL] e "3 Shape Trios 3" [Produttore: 3 Shape Tecnologia: Microscopia confocale ed ultrafast optical sectioning Fonte luminosa: Luce strutturata - Infrarossi Necessità di opacizzazione: No Immagini a colori: Sì In-office milling: No Output: File proprietario (DCM), STL].

Per ogni paziente sono state effettuate tre scansioni, creando quindi tre file: uno comprendente l'arcata superiore, uno comprendente l'arcata inferiore e il terzo comprendente le due arcate in occlusione.

Ricostruzione 3D del paziente

Nella revisione sistematica del 2010, Plooij³⁷ definisce tessuti molli, scheletro facciale e dentizione come una triade. Questa triade gioca un ruolo decisivo nella pianificazione della chirurgia ortognatica. Gli sviluppi tecnologici hanno portato allo sviluppo delle diverse tecnologie tridimensionali (3D) descritte precedentemente come la CBCT, la fotografia 3D e la scansione intraorale, capaci di interagire fra loro e dialogare insieme fornendo al clinico una completa panoramica del volto del paziente.

Numerosi sono stati gli sviluppi messi in atto per il miglioramento dell'interazione fra le diverse informazioni a cui possiamo attingere.

Oggi giorno i file DICOM derivati dall'acquisizione CBCT e i file STL ottenuti dalla scansione delle arcate dentarie e la foto 3D vengono importati nei programmi CAD dedicati alla programmazione orto-chirurgica.

Nell'ambito del Face 3D Lab è stato possibile interfacciarsi con diversi software [IPS Case Designer ®, KLS Martin Group © (Tuttlingen, Germania), Siplant O&O®, Materialise (Leuven; Belgio), Nemetec ®, (Madrid, Spain)]. Questi software sono stati concepiti per guidare il chirurgo in una serie di semplici passaggi successivi, rendendolo autonomo nel processo di realizzazione del paziente virtuale e del successivo planning. Il processo di creazione delle varie strutture anatomiche prevede:

1. Segmentazione: sono stati selezionati valori soglia di 550.00 - 750.00 HU per i tessuti ossei e -550,00 HU per i tessuti molli;

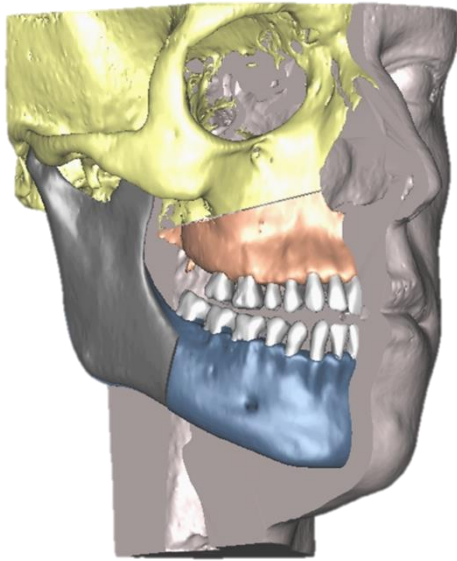


Figura 30 Segmentazione paziente virtuale

con le mesh mascellare e mandibolare, in modo da creare un modello tridimensionale integrato sia dello scheletro facciale, che delle arcate dentarie.

2. Riposizionamento delle texture 3D in NHP ricercando dapprima la NHP dei tessuti ossei e poi confrontandola e modificandola sulla base della ricostruzione dei tessuti molli;

3. Integrazione delle arcate dentarie: a seconda del tipo di software è possibile eseguire un match dei modelli virtuali alla mesh scheletrica ricavata dalla CBCT. Questo può avvenire secondo algoritmi di matching semi-automatico o per punti in cui i file STL delle arcate sono registrati

A questo punto i software permettono di lavorare sul paziente virtuale dal punto di vista diagnostico e di trattamento.

Con il termine pianificazione si intende l'insieme delle operazioni che si vuole eseguire sul paziente, realizzate sulla rappresentazione tridimensionale del modello. Un'interfaccia grafica 3D permette all'utente di interagire direttamente con i modelli ricostruiti dei tessuti duri e molli.

Diviene così possibile eseguire indagini e misurazioni diagnostiche cefalometriche (CEFALOMETRIA 3D), disegnare linee osteotomiche che possono essere tracciate direttamente sul modello dei tessuti duri e le regioni anatomiche possono essere spostate e riposizionate (Virtual Surgical Planning, VSP), spostare gli elementi dentari singolarmente simulare il trattamento ortodontico (Virtual Orthodontic Treatment, VTO)

Cefalometria 3D

*Storia della cefalometria*³⁸

L'analisi del cranio e delle basi scheletriche maxillo mandibolari sono fondamentali per elaborare una corretta diagnosi e un conseguente piano di trattamento in ambito ortodontico e della chirurgia maxillo facciale con particolare riferimento alla chirurgia ortognatica.

Ciò è stato reso possibile attraverso l'evoluzione tecnologica in ambito radiodiagnostico e la sua integrazione in ambito clinico: il primo cefalostato fu creato da Broadbent insieme con il dottor Todd Wingate e consentiva di acquisire radiografie laterali del volto; i suoi studi furono pubblicati nel 1931 nell'articolo "Una nuova tecnica a raggi X e la sua applicazione all'ortodonzia"³⁹ che è riconosciuto come il punto di partenza per la cefalometria radiografica.

Questo condusse numerosi studiosi ad interessarsi all'argomento: Allan Brodie dedicò gran parte dei suoi studi alla crescita facciale e alla cefalometria. Nel 1948, Downs, uno studente di Brodie, pubblicò la prima analisi cefalometrica radiografica progettata per analizzare i pattern scheletrici e dentali e le loro interrelazioni.⁴⁰

Nel 1953, Cecil C. Steiner⁴¹ fornì ai clinici metodi per usare la cefalometria per la pianificazione del trattamento includendo considerazioni sull'equilibrio scheletrico, sulle angolazioni dell'incisivo, sull'entità dell'affollamento e sulle caratteristiche del profilo.

Un altro passo avanti fu dato dalla pubblicazione degli standard Bolton nel 1977⁴² derivava da soggetti eumorfici reclutati nello Studio di Bolton.

Anche Robert M. Ricketts fu un grande sviluppatore della cefalometria. I suoi studi furono rivolti all'individuazione degli obiettivi del trattamento ortodontico, la crescita cranio-facciale e alla creazione di parametri che potessero prevederla attraverso di metodi di sovrapposizione delle radiografie negli anni⁴³.

Altre analisi cefalometriche molto note furono messe a punto da McNamara, Tweed e Holdaway⁴⁴⁻⁴⁶.

Con l'avvento del nuovo millennio ed il progresso dei sistemi di imaging, le informazioni ricavate dalle immagini bidimensionali sono state integrate e a volte sostituite da quelle ottenute da immagini tridimensionali. La Cone Beam Computerized Tomography (CBCT) ha modificato il modo di individuare i landmarks cefalometrici, consentendo al professionista di ottenere informazioni del volto nei tre piani dello spazio.



Figura 31 Evoluzione dell'analisi cefalometrica dal 2D al 3D

Attraverso i software disponibili inoltre, tali punti di riferimento, posizionati dal clinico nei tre i piani dello spazio, vengono utilizzati dal programma per ottenere delle misurazioni automatiche⁴⁷.

I Landmarks cefalometrici

La scuola di Bologna ha sviluppato un'analisi cefalometrica che prende spunto dalle analisi tradizionali bidimensionali più conosciute, mettendo in evidenza i punti di riferimento e le misurazioni che più sono di rilevanza clinica nel trattamento del paziente ortodontico-chirurgico.

Storicamente questa analisi è stata elaborata utilizzando il Siplant O&O®, Materialise (Leuven; Belgio).

Essa è costituita da 43 landmarks scheletrici e dentali che l'operatore seleziona nell'interfaccia grafica che comprende la ricostruzione 3D e i tagli della CBCT in assiale coronale e sagittale del cranio del paziente.

Essi sono:

1. Nasion (N): Punto mediano della sutura frontonasale.
2. Sella (S): Punto centrale della fossa ipofisaria (sella turcica).
3. Porion (Po-L/R): Punto più superiore dei meati acustici esterni dx e sx.
4. Orbitale (Or-L/R): Punto più anteriore e inferiore di ciascun margine orbitario.
5. Spina Nasale Anteriore (ANS): Punto più anteriore e mediano della spina nasale anteriore.
6. Spina Nasale Posteriore (PNS): Punto più posteriore e mediano della spina nasale posteriore.
7. Punto A: Punto di massima concavità sulla linea mediana del processo alveolare della maxilla.
8. Punto B: Punto di massima concavità sulla linea mediana del processo alveolare mandibolare.
9. Pogonion (Pog): Il punto più anteriore sulla linea mediana della sinfisi mandibolare.
10. Menton (Me): Punto più inferiore del mento sulla linea mediana della sinfisi mandibolare.
11. Gnathion (Gn): Punto più antero inferiore sulla linea mediana della sinfisi mandibolare.
12. Basion (Ba): Punto più anteriore del forame magno.
13. Gonion (Go- L/R): Punto che si ricava tracciando una perpendicolare dal punto di intersezione della tangente bordo posteriore del ramo mandibolare e la tangente al corpo mandibolare all'angolo mandibolare.
14. Frontozigomatico (Fz-L/R): Punto più mediale e anteriore di ciascuna sutura frontozigomatica.
15. Zygion (Zy-L/R): Punto più laterale di ciascun arco zigomatico.
16. Giugale (J-L/R): Punto più laterale a livello del montante mascellare.
17. Condylion (Co-L/R): Punto più postero-superiore di ciascun condilo sul piano sagittale.

18. Pterion (Pt-L/R): Punto di intersezione fra il forame rotondo dx e sx e la fossa pterigomascellare.
19. Upper first Left/Right (U1-L/R): Punto più occlusale degli incisivi centrali superiori sx e dx
20. Upper first Root Left/Right (U1Ro-L/R): Apice radicolare degli incisivi centrali superiori dx e sx
21. Upper third Left/Right (U3-L/R): Cuspide dei canini superiori dx e sx.
22. Upper sixth Left/Right (U6-L/R): Cuspide mesio-vestibolare dei primi molari superiori.
23. Lower first Left/Right (L1-L/R): Punto più occlusale degli incisivi centrali inferiori dx e sx.
24. Lower first Root Left/Right (L1Ro-L/R): apice radicolare incisivi inferiori.
25. Lower third Left/Right (L3-L/R): Cuspide dei canini inferiori dx e sx.
26. Lower sixth Left/Right (L6-L/R): Cuspide mesiovestibolare dei primi molari inferiori dx e sx.
27. NHP (Natural Head Point): Punto cutaneo postero-mediano della nuca individuato nel paziente in Natural Head Position.
28. Oculare Left/Right (Oc- L/R): punto al centro della pupilla dx e sx.

Il posizionamento di questi punti permette al software di effettuare automaticamente delle misurazioni che danno luogo a uno studio cefalometrico che prende nota di tutto il cranio del paziente. Il programma è in grado di determinare piani di riferimento utili ai fini delle misurazioni.

I Piani Cefalometrici

I principali piani di riferimento nella cefalometria in oggetto sono tre:

- Piano Sagittale: Piano passante per Nasion e Basion e perpendicolare al piano di Francoforte (vedi successivo).

- Piano di Francoforte (FH Plane): Piano Passante per Porion e Orbitale e perpendicolare al piano Sagittale.
- Piano Verticale (piano di McNamara): Piano perpendicolare ai piani sopra citati e passante per il Nasion.

A questi si aggiungono ulteriori piani cefalometrici di rilievo:

- Natural Head Plane (NHP Plane): Piano passante per il punto NHP e i punti oculari perpendicolare al piano Sagittale.
- Piano Occlusale (Occlusal Plane): Piano passante per le cuspidi mesio-vestibolari dei primi molari superiori destro e sinistro e il punto inter-incisivo.
- Piano Mandibolare (Mandibular Plane): Piano passante per Go-R, Go-L e Me.
- Piano dell'asse facciale (Facial Axis Plane): Piano passante per Po-R, Po-L e Gn.
- Piano dell'asse degli incisivi superiori (Upper Incisors Axial Plane): Piano passante per U1-L/R e U1Ro-L/R.
- Piano dell'asse degli incisivi inferiori (Lower Incisors Axial Plane): Piano passante per L1-L/R e L1Ro-L/R.
- Piano A: Piano parallelo al piano di McNamara passante per il punto A.
- Piano B: Piano parallelo al piano di McNamara passante per il punto B.

L'individuazione di piani e punti di riferimento scheletrici e dento-alveolari comporta l'acquisizione di un'Analisi Scheletrica e Dento-Alveolare:

- Sagittale
- Frontale
- Verticale

Analisi Scheletrica Sagittale

L'analisi Scheletrica sagittale comprende parametri cosiddetti propriamente sagittali:

- WITS Index: Distanza in millimetri della proiezione perpendicolare dei punti A e B sul Piano Occlusale.
- A-B-Pog/McNamara: Distanza in millimetri di A, B e Pog dal piano di McNamara.
- Facial Axis/Ba-N Angle: Angolo formato dal piano dell'asse facciale e la retta che unisce i punti Ba e N.
- Md Plane/FH Plane Angle: Angolo fomato dal piano mandibolare e il piano Francoforte
- PFH/AFH: Rapporto fra altezza facciale posteriore e altezza facciale anteriore (Na- Me/Po-Go)

Essi permettono di identificare la classe scheletrica, la posizione antero-posteriore dei mascellari, la divergenza scheletrica e la tipologia facciale del paziente.

Comprende anche valori di simmetria sagittale:

- Maxillary Length Δ + Media
- Mandibular Length Δ + Media
- Md Body Length Δ + Media
- Gonial Angle Δ + Media

Questi sono parametri che permettono di confrontare misurazioni lineari di entrambi i lati del paziente (dx e sx) e successivamente effettuare una differenza fra i due (Δ) e una media dei due valori.

Analisi Scheletrica Frontale

Essa comprende parametri propriamente frontali:

- ANS – SagPL (Subnasal Deviation) : distanza in millimetri del punto ANS dal Piano Sagittale

- A – SagPL (Maxillary Deviation) : distanza in millimetri del punto A dal Piano Sagittale
- B – SagPL (Mandibular Deviation) : distanza in millimetri del punto B dal Piano Sagittale
- Pog – SagPL (Mental Deviation) : distanza in millimetri del punto Pog dal Piano Sagittale

Che rappresentano le distanze in millimetri dei punti ANS, A, B e Pog dal Piano Sagittale.

Include anche valori di simmetria frontale:

- Go – SagPL (L.R) Δ + Media
- J – SagPL (L.R) Δ + Media
- Zy – SagPL (L.R) Δ + Media

Indicano la media delle misurazioni lineari in millimetri dei punti sopra elencati a dx e a sx del paziente e le loro differenze.

Analisi Scheletrica Verticale

È costituita da 4 parametri. I primi due propriamente verticali, i secondi invece di simmetria verticale.

- Facial Ratio: Rapporto fra Na-Me/ Zy-L e Zy-R.
- Mandibular Ratio: Rapporto fra Co-Go/ Go-R e Go-L
- Md Ramus Length(L/R) Δ + Media

Permettono di valutare le proporzioni verticali del cranio del paziente. Si hanno quindi informazioni relative alla tipologia “long/short face”.

Analisi Dento-Alveolare Sagittale

L'analisi dento-alveolare sagittale viene descritta tramite i valori:

- Incisal Protrusion: Distanza in millimetri del punto interincisivo dal piano A.

- Uis/Occlusal Plane Angle: Angolo formato dal piano dell'asse degli incisivi superiori con il piano occlusale.
- IMPA (Incisor-Mandibular-Plane-Angle): Angolo formato dal Piano dell'asse degli incisivi inferiori e il Piano Mandibolare.
- Overjet (OVJ): Distanza lineare fra il margine incisale degli incisivi superiori e la superficie vestibolare degli incisivi inferiori.
- Overbite (OVB): Distanza lineare fra margine incisale degli incisivi inferiori e la proiezione del margine incisale degli incisivi superiori sulla superficie vestibolare degli incisivi inferiori.
- Occlusal Plane/FH Angle: Angolo formato dal Piano Occlusale e il Piano di Francoforte
- Lis/B-Plane Angle: Angolo formato dal Piano dell'asse degli incisivi inferiori e il piano B.

Si hanno quindi informazioni relative alla posizione antero-posteriore degli incisivi centrali superiori e inferiori rispetto alle basi scheletriche di riferimento e rispetto al piano occlusale. L'OVB e l'OVJ misurano la relazione esistente fra gli elementi centrali superiori e inferiori.

Analisi Dento-Alveolare Frontale

Sono presi in esame 6 parametri. Due propriamente frontali e gli altri due di simmetria frontale.

- Uis – SagPl
- Lis – SagPl
- U3 – SagPl Δ + Media
- U6 – SagPl Δ + Media

Valutano la discrepanza dei punti interincisivi superiori e inferiori, dei canini e dei molari rispetto al Piano Sagittale.

Analisi Dento-Alveolare Verticale

Per ciò che concerne l'analisi Dento-alveolare verticale i parametri considerati sono:

- $U3 - FH \Delta + Media$
- $U6 - FH \Delta + Media$

Tali valori permettono di valutare la distanza verticale esistente fra la cuspidi del canino superiore e la cuspidi mesio-vestibolare del primo molare superiore con il Piano di Francoforte, e la differenza delle distanze fra il lato dx e il lato sx del paziente, evidenziando anche eventuali canting del Piano Occlusale.

Tutti questi dati sono fondamentali nell'elaborazione di una corretta diagnosi e di un piano di trattamento individualizzato sul paziente dismorfico che deve essere focalizzato nel raggiungimento, ove possibile, dei valori norma di tutte le parti, scheletrica e dentale.

Chirurgia virtuale

La simulazione chirurgica, detta anche Virtual Surgical Planning (VSP), grazie ai nuovi software medicali può considerarsi un rilevante settore in continuo sviluppo che congiunge le informazioni tecnologiche con i record reali nel comune intento di potenziare la cura del paziente. Il chirurgo può così “operare” su una ricostruzione virtuale del paziente e intuire il possibile outcome dell’intervento reale. Numerosi interventi virtuali possono essere realizzati e valutati prima di eseguire la chirurgia reale.

La disponibilità sempre maggiore di fruire delle immagini 3D (CBTC) acquisite con rapporto 1:1, ha consentito di avere accesso allo scheletro facciale tridimensionalmente e quindi di avere maggiore capacità diagnostica nelle dismorfosi facciali.

L’utilizzo di queste relativamente nuove tecnologie in chirurgia ortognatica ha modificato sostanzialmente la pianificazione di questi interventi. Si è passati dalle simulazioni con articolatore e modelli in gesso a quelle digitali con l’utilizzo del pc. Chirurgo e paziente possono visionare la simulazione dell’intervento durante il corso del trattamento e prima di entrare in sala operatoria, dialogare assieme sulle alternative chirurgiche ipotizzando con discreta approssimazione il risultato, decidere il piano di trattamento con maggiore sicurezza per il medico e maggiore consapevolezza per il paziente.

Storicamente è alla fine degli anni '90 che si assiste alla prima completa pianificazione chirurgica virtuale realizzando le prime di osteotomie e con successivo trasferimento in sala operatoria mediante sistema di navigazione⁴⁸.

A seguire diversi sono gli autori che si sono maggiormente interessati al planning chirurgico virtuale.

Xia J. nel 2000 pubblica alcuni lavori dove presenta un sistema di “computer-assisted three-dimensional virtual osteotomy system” (CAVOS) in chirurgia ortognatica, mentre in un altro lavoro si dedica alla simulazione dei tessuti molli

mediante il software “computer-assisted three-dimensional virtual reality soft tissue planning and prediction for orthognathic surgery” (CASP)⁴⁹.

Un altro autore agli inizi del 2000 si è interessato al planning chirurgico, soprattutto alle distrazioni osteogenetiche, ed ha collaborato con Xia J.⁵⁰, è stato Gateno.⁵¹

Anche la Scuola di Bologna, nel 2006, si dedica al planning chirurgico mediante la validazione di uno strumento pensato per la chirurgia virtuale (VISU) utilizzato per la simulazione dei tessuti duri e dei tessuti molli nelle malocclusioni dento-scheletriche.⁵²

Nel 2009 Swennen⁵³ presenta un approccio di pianificazione virtuale tridimensionale (3D) in chirurgia ortognatica, utile nella routine clinica. Descrive le varie fasi del processo e di flusso di lavoro per la pianificazione virtuale dei trattamenti 3D.

Nel 2009 Choi⁵⁴ realizza un planning chirurgico tridimensionale fabbricando il relativo wafer chirurgico virtuale 3D utilizzando una tecnica stereolitografica.

Nel 2010 Nadjmi e Bergé⁵⁵ comprendono la necessità di ottenere con il planning chirurgico la miglior occlusione dentale postoperatoria avverabile e quindi presentano uno strumento per la realizzazione di un'occlusione virtuale 3D che definisce un'interazione realistica tra arcata superiore ed inferiore facilitando il chirurgo nella realizzazione di un'occlusione ottimale e fisicamente possibile. Cevidanes⁵⁶ nel 2011 integra la simulazione chirurgica (computer-aided CMF surgery) con la navigazione intraoperatoria.

Nel 2012 F.H. Alfaro⁵⁷ descrive, su una casistica di 16 pazienti, i vantaggi della pianificazione 3D nella previsione dei risultati postoperatori e della produzione di splint chirurgici adoperando la tecnologia CAD-CAM ed utilizzando il software Simplant O&O.

Swennen,⁵⁸ autore che più di altri si è dedicato al virtual planning con la pubblicazione di svariati articoli e libri dedicati, nel 2014 analizza in modo retrospettivo la sua personale esperienza su 350 pazienti sottoposti a chirurgia ortognatica studiati con planning virtuale preoperatorio.

Xia J. e Gateno ⁵⁹ nel 2015 descrivono, mediante l'utilizzo del programma di simulazione chirurgica computer assistita (CASS) del Laboratorio di Pianificazione Chirurgica dell'Istituto di Ricerca Metodista di Houston, un algoritmo che si avvale di strumenti virtuali per pianificare un'operazione ortognatica bimascellare. Con il VSP si intende l'insieme delle operazioni che si vorrebbe eseguire realmente sul paziente, realizzate sulla rappresentazione tridimensionale del modello.

L'interfaccia grafica permette al chirurgo di interagire direttamente con le ricostruzioni dei tessuti duri e molli nei tre piani dello spazio: le linee osteotomiche vengono disegnate direttamente sulla rielaborazione 3D dei tessuti duri e le regioni sezionate possono essere spostate e riposizionate.

In particolare, i software attuali posseggono un proprio database contenente le osteotomie più comuni in chirurgia ortognatica. Selezionando l'oggetto 3D su cui si desidera completare il comando, è consentito effettuare in automatico o selezionando pochi punti di repere le osteotomie utili alla pianificazione e la creazione degli oggetti 3D segmentati su cui viene ipotizzata una nuova geometria delle ossa.

Nello specifico la prima fase dell'intervento prevede il tracciamento delle linee osteotomiche (tagli che dal vero il chirurgo effettuerà sull'osso del paziente). Successivamente la regione ossea delimitata dalla linea osteotomica viene manipolata con appositi strumenti chirurgici virtuali per posizionarla nel modo corretto.

La seconda fase prevede l'applicazione di spostamenti sui segmenti ossei selezionati che vengono riposizionati mediante traslazioni e rotazioni secondo le esigenze della pianificazione.

Il VSP di un intervento di chirurgia ortognatica si può suddividere dunque nelle seguenti fasi:

1. Creazione dell'oggetto 3D (tessuti duri e tessuti molli) selezionando la soglia di threshold;
2. Selezione dell'oggetto 3D interessato dall'intervento (es. Mandibola, Cranio, ...);
3. Selezione del tipo di osteotomia da effettuare (es. LeFort I, BSSO, ...) oppure del piano di taglio (custom planar);
4. Creazione dei nuovi oggetti 3D segmentati;
5. Riposizionamento delle regioni selezionate con simulazione degli spostamenti chirurgici;
6. Simulazione dei tessuti molli con texture 3D (opzionale).

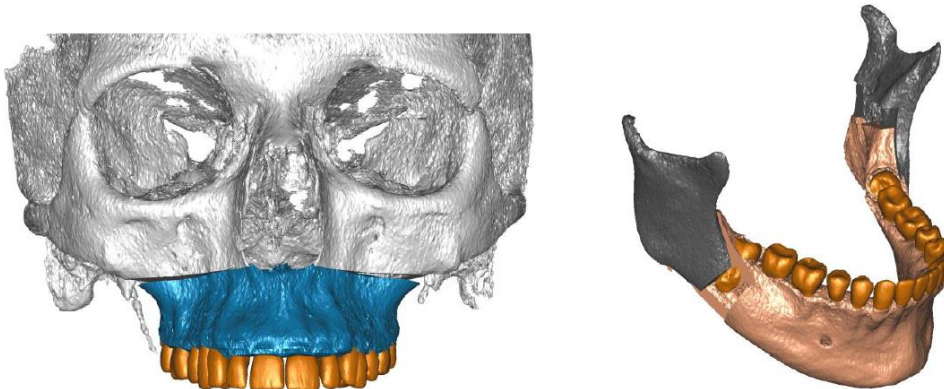
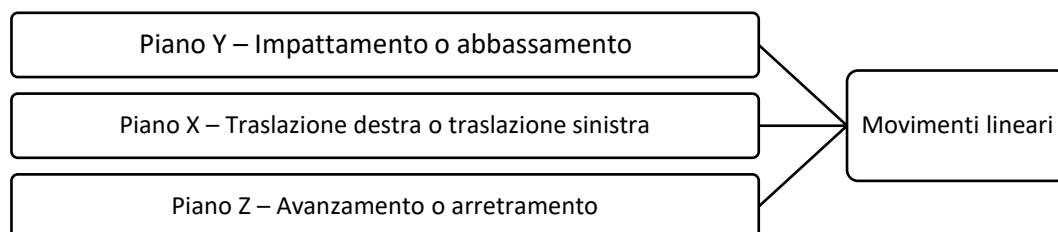
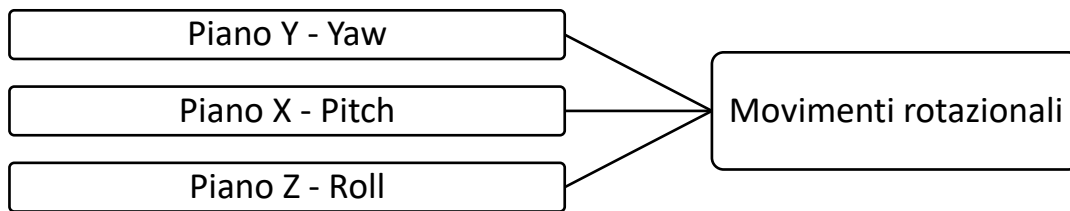


Figura 32 Esempi di osteotomie virtuali

I movimenti dei segmenti scheletrici possono essere di tipo lineare e rotazionale e realizzarsi nei tre piani dello spazio:





Nel protocollo utilizzato dalla Scuola di Bologna il primo passaggio nella realizzazione del planning chirurgico virtuale consiste nel riposizionamento del mascellare superiore. La suddetta base scheletrica contiene acclusa l'informazione del setup ortodontico virtuale, realizzato secondo i criteri di norma cefalometrici e secondo il giudizio estetico.

I principali movimenti che vengono eseguiti sono:

1) *Correzione del tilting mascellare* mediante:

- movimenti lineari sul piano Y
- movimenti rotazionali sul piano Z.

2) *Correzione della linea mediana dentale* superiore rispetto alla linea sagittale del volto (piano sagittale) mediante:

- movimenti lineari sul piano X
- movimenti rotazionali sul piano Y.

3) *Riposizionamento antero-posterore* del mascellare secondo movimenti lineari sul piano Z.

4) *Definizione rotazionale del piano occlusale* mediante movimenti rotazionali sul piano X.

Una volta decisa la posizione del mascellare si passa alla ricerca dell'occlusione virtuale ideale. L'occlusione virtuale ideale si raggiunge grazie alla coordinazione delle due arcate ideali, mascellare e mandibolare.

Al fine di ottenere tale occlusione si riposiziona l'arcata virtuale inferiore coordinandola con l'arcata virtuale superiore già riposizionata, ricercando un'occlusione che rispetti le sei chiavi occlusali di Andrews.

A questo punto si collega l'arcata originale inferiore all'arcata ideale virtuale inferiore riposizionata. In questo modo si ottiene automaticamente anche il riposizionamento chirurgico virtuale della mandibola. Questo passaggio crea una occlusione finale virtuale, con le relative basi scheletriche.

Nella pianificazione dell'occlusione finale virtuale vengono presi in considerazione indicatori dentali interarcata quali:

- a. Raggiungimento della normocclusione secondo la I classe molare;
- b. Raggiungimento della normocclusione secondo la I classe canina;
- c. Allineamento corretto tra le linee interincisive;
- d. Over-jet e over-bite secondo i criteri cefalometrici.

I contatti dentali virtuali vengono poi verificati mediante oclusogramma virtuale su scala colorimetrica millimetrata.

Tale oclusogramma permette di realizzare una mappa di contatto degli elementi al fine di controllare la stabilità dell'occlusione.

Trattamento ortodontico Virtuale (VTO)

Lo scopo del trattamento ortodontico è quello di migliorare la malocclusione e le funzioni del sistema orofacciale. Un trattamento ortodontico di successo dovrebbe basarsi su una approfondita diagnosi e una corretta pianificazione⁶⁰.

Informazioni essenziali per la diagnosi si sono sempre ottenute dallo studio dei calchi dentali in gesso, delle fotografie e delle radiografie.

Il setup ortodontico è un ulteriore strumento utile a prevedere l'allineamento delle arcate dopo il trattamento ed è d'aiuto anche per la diagnosi.

In questo ambito svolge un ruolo importante l'innovazione tecnologica tridimensionale (3D) che ha progressivamente sostituito lo studio del caso sui modelli in gesso. Infatti, il modo tradizionale di realizzare i setup dentali richiedeva time consuming sia per l'ortodontista sia per il laboratorio ortodontico. I nuovi sviluppi in odontoiatria e in ortodonzia hanno dunque dato spazio alla possibilità di realizzare configurazioni virtuali.⁶¹

Lo studio e l'elaborazione dei modelli digitali è stato introdotto in commercio nel 1999 da OrthoCad™ (Cadent, Carlstadt, NJ, USA) e nel 2001 da eModel™ (GeoDigm, Chanhassen, MN, USA). Questi sistemi, utilizzando tecnologie differenti, hanno permesso di ottenere una scannerizzazione dei modelli in gesso trasformandoli in oggetti digitali. Ulteriori passi avanti sono stati condotti da DigiModel™ (Orthoproof, Albuquerque, NM, USA) con la scannerizzazione intraorale diretta delle arcate.

I software digitali sono in grado di riprodurre le caratteristiche dentali con un buon grado di accuratezza. Ricerche recenti condotte negli USA attestano un aumento del 41% nell'utilizzo di modelli digitali nel trattamento ortodontico⁶² dovuto principalmente al fatto che i vantaggi del digitale non compromettono l'affidabilità delle informazioni di natura dentale e oclusale.⁶³

Nel loro lavoro, Camardella et al⁶¹ hanno affermato che non c'è differenza fra la qualità delle pianificazioni ortodontiche sui modelli in cera e sul computer.

Tuttavia, i setup digitali presentano numerosi vantaggi: ad esempio l'archiviazione digitale, i modelli digitali non possono essere danneggiati, lo stesso modello può essere oggetto di diverse simulazioni di trattamento e il miglioramento della comunicazione tra professionisti e tra professionisti e pazienti. Nonostante questi vantaggi, per i clinici è necessario notevole tempo di formazione per padroneggiare e adottare l'uso quotidiano di questi servizi.

Storicamente i setup diagnostici erano limitati alle sole corone, senza considerare la morfologia delle radici e l'osso circostante. I denti singoli sui modelli in gesso potevano manualmente essere separati dall'arcata e riposizionati con della cera al fine di realizzare una nuova arcata ideale.

Attualmente, i setup possono essere realizzati anche grazie a software dedicati che sfruttano la possibilità di interagire direttamente con le scansioni digitali delle arcate del paziente e permettono di agire sull'elaborazione di una terapia ortodontica simulata (tecnica Invisalign e software ClinCeck per eseguire il set-up digitale)⁶⁴.

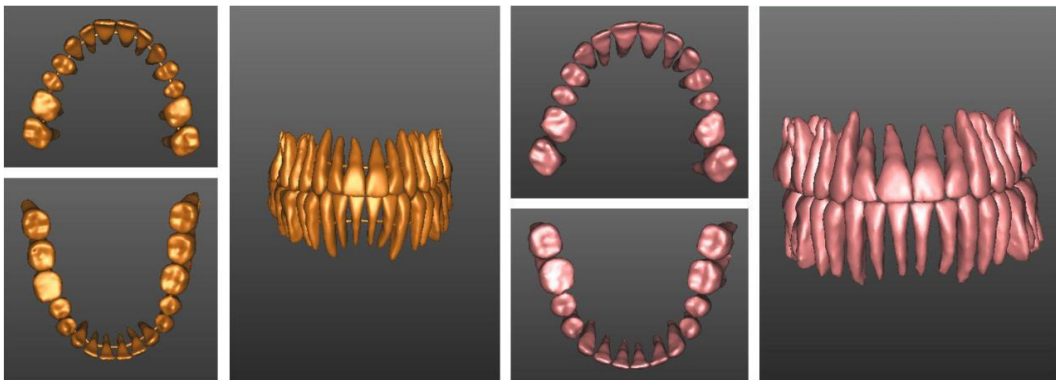


Figura 33 Esempi di setup ortodontico

Nella maggior parte dei software in commercio, il setup diagnostico è spesso limitato ad ottenere l'allineamento delle corone, senza informazioni per quanto riguarda la morfologia o la direzione delle radici o l'osso circostante. Di conseguenza, il riassorbimento delle radici e la fenestrazione dell'osso corticale

potrebbero essere dovuti a interferenza reciproca tra radici dentali e l'osso alveolare di sostegno.

Il principio alla base di questi software è quello di separare digitalmente gli elementi dentali e con un algoritmo riconoscere le embrasures interprossimali e i margini gengivali di ciascun dente. Inoltre, sono in grado di ricreare una gengiva simulata accanto a ciascun dente riposizionato.

Sono state sviluppate diverse tecniche che permettono di creare dei modelli di studio digitali visibili sullo schermo del computer e su cui si può simulare il trattamento ortodontico. Tuttavia, resta ancora un dibattito aperto sull'accuratezza della calibrazione o della sovrapposizione dei modelli virtuali.

Sebbene infatti questi software consentano una buona rappresentazione e una prefigurazione dell'armonia occlusale che si può raggiungere al termine di trattamento, in alcuni casi permangono le limitazioni riguardanti l'impossibilità di mostrare la vera dimensione e posizione dei denti o la relazione delle radici gli elementi dentali e altre strutture anatomiche.

Kihara et al⁶⁰ nel loro lavoro hanno presentato l'algoritmo per la visualizzazione di radici dei denti nel setup. La procedura consisteva in quattro fasi:

1. Acquisizione del modello 3D dentale,
2. Ricostruzione dalla CBCT del modello del dente,
3. Integrazione del 3D dentale la CBCT,
4. Visualizzazione delle radici del dente in nel modello 3D dentale e l'osso circostante.

Con questa procedura permanevano numerosi difetti dovuti alla debole definizione del bordo osseo nella CBCT.⁶⁵ Pertanto, è necessario l'intervento umano per separare manualmente i denti dall'osso circostante.

In termini di riproducibilità dei denti dalla CBCT, Baumgaertel et al⁶⁶ non hanno riscontrato differenze significative nelle misurazioni tra le immagini della CBCT e le strutture anatomiche. Liu et al⁶⁷ hanno dimostrato che le differenze in-vivo nei volumi dei denti tra la CBCT e il volume effettivo del dente erano comprese tra il

-4% e il 7%, e che questi dati non influenzerebbero l'analisi del modello di studio per la diagnosi e il trattamento pianificazione.

E' stato quindi riscontrato che per migliorare la riproducibilità del modello 3D del dente dalla CBCT, si rende necessaria l'integrazione delle corone del modello dentale scansionato. È dunque possibile visualizzare le radici dei denti in un setup ortodontico al fine di riconoscere e osservare le relazioni delle radici dei denti con i tessuti circostanti e prevedere eventuali errori da evitare durante il trattamento.

Ai fini della programmazione ortodontico-chirurgica in chirurgia ortognatica, la possibilità di realizzare setup diagnostici inclusivi di radici è una caratteristica di vantaggio al fine di migliorare la qualità e la previsione del trattamento. Infatti, una volta formulati gli obiettivi da raggiungere con il trattamento ortodontico, è possibile eseguire i movimenti dentali in senso antero-posteriore, verticale, trasversale al computer; è inoltre possibile la gestione dell'ancoraggio e degli attacchi dentali per raggiungere l'occlusione finale. Il tutto è attuabile con un'immediata valutazione critica sulla fattibilità clinica dei suddetti spostamenti.

Fra i passaggi per ottenere un set up dentale virtuale ricordiamo:

- Scelta della forma d'arcata (standard, ovoidale, tapered) in base alla morfologia scheletrica e all'esperienza clinica
- Definizione del rapporto antero-posteriore ideale degli incisivi;
- Allineamento dei denti dell'arcata inferiore e superiore; simulando le estrazioni e la successiva chiusura degli spazi se necessario;
- Allineamento delle radici dentali;
- Verifica della coordinazione delle arcate dentali e del rapporto interarcata.

La formulazione di un set up virtuale risulta fondamentale nei casi limite in cui la simulazione occlusale virtuale permette di visualizzare la migliore soluzione di compensazione. E' di fatti possibile quantificare in millimetri l'entità degli

spostamenti degli elementi dentali ed evidenziare se il grado previsto di espansione o contrazione dell'arcata rientri nei limiti biologici e possa essere clinicamente ottenuto o se si rendono necessari trattamenti alternativi.

Il set-up ortodontico riproduce la decompensazione virtuale della componente dentale della malocclusione.

Quello che bisogna considerare quando si esegue un setup è essenzialmente:

- Posizionare i denti di ciascuna arcata in rapporto corretto rispetto alla corrispondente base scheletrica;
- Tenere conto delle decisioni chirurgiche riguardanti le correzioni scheletriche;
- Considerare l'attuale limite del software: l'osso alveolare non si adatta allo spostamento dentale.

Di conseguenza si esegue una pianificazione ortodontica intra-arcata che mirerà a correggere il tip e torque degli elementi, il livellamento e l'espansione d'arcata. Il setup viene realizzato basandosi su valori cefalometrici riguardanti la posizione degli incisivi rispetto le basi scheletriche, su considerazioni ortodontiche riguardanti il bilancio dello spazio e la forma d'arcata, su considerazioni parodontali (corretta posizione dei denti all'interno del corridoio alveolare) e sul rispetto di parametri funzionali (curva di Spee e di Wilson). In questo modo si ottengono le due arcate ideali virtuali.

Una volta approvato il set up e iniziato il trattamento risulta di enorme vantaggio poter monitorare la terapia ortodontica in 3D con il paziente e fare un controllo tra la realtà clinica e quella virtuale in qualsiasi fase dell'ortodonzia⁶⁸.

Attualmente gli sviluppi nei processi tridimensionali di imaging e di lavorazione 3D CAD-CAM hanno permesso la personalizzazione degli apparecchi ortodontici al fine di migliorare l'efficienza della terapia. Sul mercato ad oggi esistono due prodotti che realizzano un apparecchio personalizzato sulla base del piano di trattamento formulato al computer: il sistema di custom brackets Insignia® (Ormco

Corporation, Orange, CA) e gli archi di Suresmile® (OraMetrix, Inc., Richardson, TX, USA). Inoltre, la generale intenzione di accelerare il movimento dei denti per velocizzare il trattamento ortodontico ha determinato la commercializzazione dei dispositivi Accelerent® (OrthoAccel Technologies, Inc., Bellaire, TX, USA).

Dalla revisione della letteratura, ancora povera sull'argomento, si evince tuttavia che alla luce delle attuali evidenze scientifiche il sistema Insignia® non garantisce ancora benefici significativi, Suresmile® è in grado di ridurre la media dei tempi di trattamento e l'accelerazione dei movimenti dentali con Accelerent® non è stata ancora confermata. In questo senso appare evidente come siano necessari dei miglioramenti nel funzionamento di tali sistemi e degli studi più approfonditi a riguardo.

E' oltremodo innegabile che l'ortodonzia tradizionale stia facendo spazio a una ortodonzia digitale e interattiva drasticamente innovativa e vantaggiosa sia per il clinico sia per il paziente⁶⁹.

Nell'ambito della chirurgia ortognatica, la possibilità di "pensare in digitale" consente di sviluppare diversi setup e diverse logiche di pianificazione ortodontica che saranno valutate e discusse da chirurgo e ortodontista al fine di ottenere la migliore soluzione terapeutica per il paziente che si appresta alla chirurgia.

Integrazione dei dati (VSP, VTO, FOTO 3D) e applicazioni

L'imaging e il planning tridimensionale hanno subito numerosi cambiamenti e innovazioni negli ultimi anni, consentendo di realizzare un paziente ortodontico virtuale in cui osso, tessuti molli ed elementi dentali possono essere riprodotti nelle tre dimensioni e interagire fra loro.⁷⁰

I modelli in formato STL delle arcate vengono allineati sul modello dell'anatomia cranica del paziente all'interno del software per la programmazione chirurgica. Questo passaggio si rende necessario per la non sufficiente risoluzione della CBCT nel definire l'anatomia dentale, sia per caratteristiche intrinseche alla macchina sia per gli artefatti da scattering causati dall'apparecchio ortodontico che la maggior parte dei pazienti già porta al momento della CBCT preoperatoria.

All'interno del software la mandibola viene isolata dal resto del cranio, a livello dei condili viene posto un fulcro che consente di simulare il movimento di articolazione della mandibola e la sua autorotazione in sede d'intervento. Sui modelli così ottenuti possono essere simulate con grande precisione, come precedentemente descritto, osteotomie e movimenti dei segmenti ossei, prefigurando l'anatomia facciale postintervento.

Questo permette una valutazione complessiva dell'anatomia cranica, non possibile in caso di intervento pianificato secondo la metodica tradizionale 2D. Possono essere meglio simulate le correzioni di discrepanze della linea mediana, di roll, pitch e yaw, possono essere prefigurati contatti indesiderati tra segmenti ossei, movimenti del condilo all'interno della fossa glenoidea e può essere valutata la posizione del mento, con possibilità di pianificare una genioplastica.

I casi di dismorfia più complessi sono quelli che possono ottenere maggiori vantaggi da questa metodica di pianificazione, in particolare i casi in cui la posizione dei mascellari sia da sottoporre a correzione angolari attorno ai 3 assi dello spazio, ovvero le asimmetrie.

Alcuni ricercatori si sono anche dedicati alla simulazione della modificazione dei tessuti molli conseguente a chirurgia ortognatica. Ad oggi, nonostante la simulazione dei tessuti molli facciali sia lontana dalla perfezione, si può prefigurare con discreta approssimazione l'aspetto che il paziente potrà avere dopo l'intervento. Questa simulazione può essere fatta a partire dalla segmentazione dei tessuti molli effettuata su CBCT su cui, per maggiore fotorealismo, può essere sovrapposta un'immagine tridimensionale del volto del paziente ottenuta tramite fotogrammetria 3D.

Il trasferimento del Virtual Surgery Plan al paziente è effettuato tramite la produzione di splint chirurgici progettati a computer e prodotti mediante tecniche di prototipazione rapida.

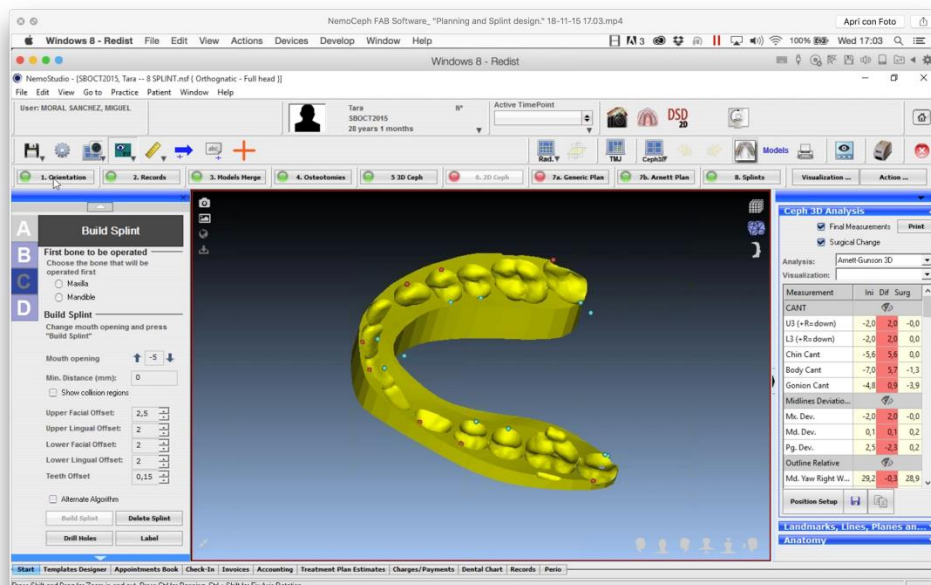


Figura 34 Software per la produzione di splint CAD-CAM

Nonostante questa metodica mantenga ancora un margine di miglioramento, gli splint CAD-CAM così prodotti sono molto più precisi rispetto ai corrispondenti splint ottenuti con chirurgia dei modelli, i quali possono causare discrepanze posizionali fino a 5mm tra il piano chirurgico e il risultato post-operatorio⁷¹.

Un altro approccio innovativo è la Simulation-Guided Navigation¹¹, ovvero l'uso di navigatori intraoperatori per mezzo dei quali è possibile determinare la posizione

spaziale pianificata dei segmenti ossei rispetto al paziente, verificando così che il piano chirurgico sia rispettato.

Inoltre, sempre nel contesto della chirurgia guidata, il nostro gruppo attualmente è attivo nell'ambito della realtà aumentata (AR). Il VOSTARS (Video and Optical See-Through Augmented Reality Surgical System) è un nuovo occhiale indossabile a realtà aumentata recentemente sviluppato come strumento di navigazione avanzato per la chirurgia maxillo-facciale e plastica e altri interventi chirurgici non endoscopici. Questo strumento è in grado di riconoscere le strutture anatomiche attraverso dei punti di repere fissi sul paziente e guidando il chirurgo sulla base del planning operatorio⁷².

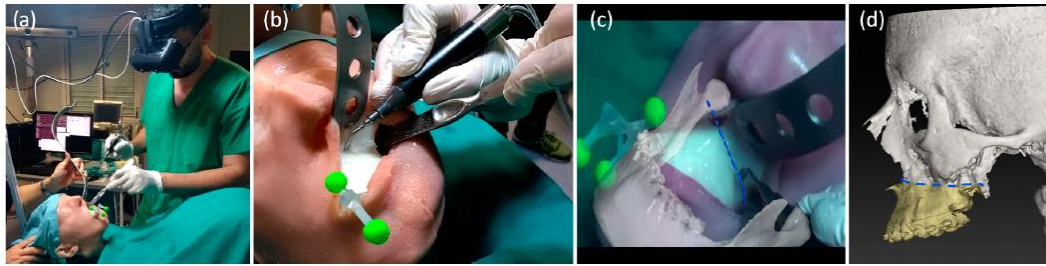


Figura 35 Esecuzione dell'osteotomia Le Fort I sotto la guida di VOSTARS (a, b), seguendo la linea dell'osteotomia virtuale visualizzata (c) derivata dalla chirurgia virtuale (d)

CAD-CAM e personalizzazione dei dispositivi impiantabili: i PSI ⁷³

I software CAD per simulare atti chirurgici sono ormai ampiamente utilizzati nell'ambito della chirurgia ortognatica. La creazione di un paziente digitale, unitamente all'esistenza di tecnologie in grado di produrre in tempi rapidi modelli tridimensionali progettati con CAD, aumenta le possibilità di individualizzare alcuni dispositivi, strumenti e procedure chirurgiche in base alle esigenze del paziente. L'insieme di queste tecniche produttive viene definito Computer-Aided Manufacturing, o CAM.

La configurazione di computer-aided manufacturing più adoperata per quanto riguarda la produzione di apparecchiature chirurgiche è la fabbricazione additiva, chiamata anche 'stampa 3D'. Esistono diverse tecniche che confluiscono nella branca della fabbricazione additiva, basate sulla tecnologia e i materiali utilizzati per creare il prodotto finale, la cui base comune è la apposizione successiva di sottili strati di materiale, che daranno forma all'oggetto finito. Per fare ciò si utilizzano software (slicers) in grado di segmentare un modello virtuale CAD in un determinato numero di strati, di spessore variabile in base alla definizione della macchina, in media tra i 20 e i 100 micron. Vi è dunque la possibilità di creare oggetti di forme molto differenti per mezzo della stessa macchina.

Le limitazioni, minime, intrinseche stampante sono:

- Volume di stampa;
- Spessore degli strati: a strati più sottili corrisponde un maggior dettaglio;
- Materiale utilizzato;
- Tempo di produzione prolungato per ogni singola unità;
- Alcune limitazioni geometriche relative al processo produttivo.

Di seguito saranno brevemente illustrate le tecniche di CAM più diffuse utilizzate nella produzione di alcuni dispositivi chirurgici.

Stereolitografia

La stereolitografia è una tecnica di stampa 3D che consente di produrre manufatti in resina UV-sensibile. Uno schermo UV posto al di sotto una vasca di resina

liquida produce un'immagine corrispondente allo strato che si intende stampare, polimerizzando la resina. Il primo strato del manufatto in stampa aderisce ad un letto di stampa che viene progressivamente sollevato rispetto al fondo della vasca in seguito alla polimerizzazione di ogni strato di resina, permettendo l'apposizione dei successivi strati.

Questa tecnologia è adoperata in chirurgia ortognatica per la creazione degli splint chirurgici intermedio e finale grazie delle caratteristiche meccaniche della resina, che la rendono particolarmente adatta a questo scopo. Aggiuntive applicazioni di questa tecnica di fabbricazione additiva possono ritrovarsi nella produzione di modelli anatomici derivati dall'imaging tomografico. I costi relativamente contenuti del processo di stampa e delle attrezzature necessarie, oltre alla loro elevata accessibilità e relativa facilità di utilizzo rendono la stereolitografia particolarmente vantaggiosa.

Diversi lavori in letteratura affermano che gli splint prodotti in CAD-CAM si sono rivelati più precisi di quelli prodotti per mezzo della chirurgia dei modelli, riducendo il margine di errore classicamente legato a quest'ultima metodica.⁷⁴⁻⁷⁶



Figura 36 stampante 3D stereolitografica

Selective Laser Sintering (SLS) e Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

Il SLS/DMLS è una tecnica di stampa 3D con la quale è possibile produrre oggetti con una variegata scelta di materiali. Questi ultimi vengono atomizzati, ovvero ridotti a una polvere finissima (15-100 micron di diametro), e distribuiti uniformemente in una vasca, il cui fondo è il letto di stampa.

Lo strato di polvere più superficiale viene colpito da un raggio laser controllato dal computer, che fonde il materiale permettendo l'aggregazione delle particelle atomizzate. Il primo strato dell'oggetto aderisce al letto di stampa, che viene progressivamente abbassato dopo la solidificazione di ogni strato.

Segue l'apposizione di un ulteriore livello di materiale atomizzato a ricoprire lo strato già solidificato, permettendo la solidificazione di un nuovo strato.

Polveri di diversi polimeri plastici e leghe possono essere selezionate per la creazione dell'oggetto. Sebbene il principio alla base della tecnica sia lo stesso, la nomenclatura SLS si utilizza quando il laser non fonde completamente le particelle di materiale atomizzato mentre la nomenclatura DMLS indica un analogo processo che utilizza metalli atomizzati e in cui il laser fonde completamente le particelle atomizzate, conferendo all'oggetto stampato caratteristiche di resistenza meccanica superiori, derivanti dalla formazione di una struttura completamente solida.

SLS e DMLS richiedono macchine di complessità, costo e consumo energetico nettamente maggiori, rendendo spesso necessario rivolgersi ad aziende specializzate nella esecuzione di dispositivi chirurgici con questa tecnica.

PSI

La fabbricazione additiva permette di produrre manufatti in titanio in tempi brevi creando dispositivi chirurgici impiantabili progettati secondo le esigenze e l'anatomia del singolo paziente. I dispositivi così prodotti sono denominati Patient-Specific Implants (PSI), ovvero dispositivi impiantabili paziente-specifici.

L'utilizzo dei PSI in chirurgia ortognatica si riferisce all'osteosintesi sia mascellare che mandibolare, per la quale i mezzi di sintesi possono essere configurati con CAD

sull'anatomia del singolo paziente e secondo il planning chirurgico. Questi mezzi di sintesi, grazie alla loro forma, fissano i segmenti ossei nella posizione stabilita dal piano chirurgico, trasferendo quest'ultimo dal software CAD al paziente (Mazzoni et al, 2015; Li et al, 2017; Brunso et al, 2016)⁷⁷⁻⁷⁹ .

Questa metodica si è rivelata utile anche nell'osteosintesi mandibolare, per la sua accuratezza nel riposizionamento del segmento prossimale rispetto al segmento distale: il segmento prossimale, infatti, contrariamente a quanto avviene per il segmento distale, non può essere guidato da splint, e risulta fondamentale per il mantenimento della corretta occlusione postchirurgica, oltre che per la salute dell'ATM.

Ulteriori vantaggi di un approccio che prevede una programmazione CAD-CAM paziente-specifica dei mezzi di sintesi è dato dal minor rischio di ledere strutture nobili vascolo-nervose e gli elementi dentari. Nello specifico, nel caso dell'osteosintesi mandibolare può essere progettata la posizione in cui saranno praticati i fori per le viti che bloccheranno la placca in posizione e il sito delle linee osteotomiche.

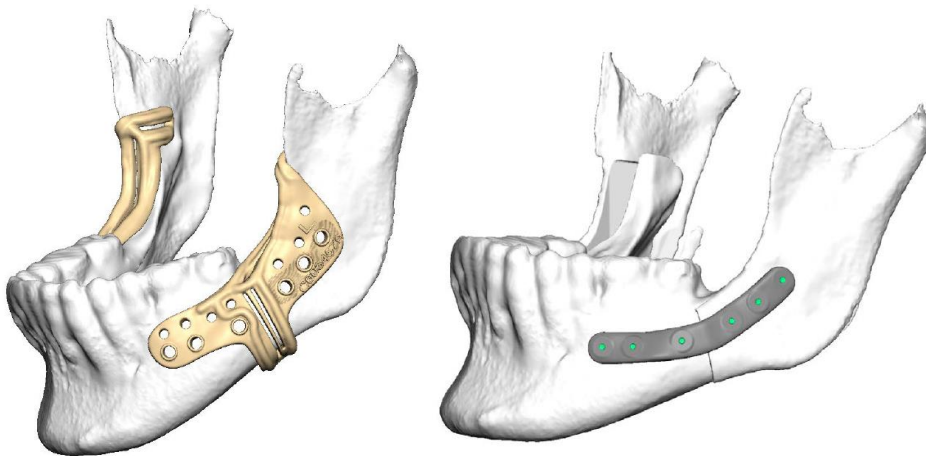


Figura 37 Esempio di Dima di taglio e placca mandibolare personalizzata

Per fissare le placche di osteosintesi nella posizione pianificata sono doverosi appositi dispositivi, le guide di posizionamento, le quali si ancorano su punti di

reperire ossei e dentali, permettendo al chirurgo di delineare le linee osteotomiche identiche a quelle pianificate virtualmente e di praticare i fori per le viti di fissazione nella posizione esatta. Anche le dime sono prodotte secondo il planning chirurgico e l'anatomia del singolo paziente.

Teoricamente inoltre, questo approccio può ridurre i tempi operatori, in quanto non vi è necessità da parte del chirurgo di modellare a mano i mezzi di sintesi durante l'intervento.

Progetti di ricerca realizzati durante il triennio di

Dottorato nel Face 3D Lab

I progetti di ricerca realizzati durante il mio percorso di dottorato, si sono posti l'obiettivo di implementare le funzionalità di una struttura, il Face 3D LAB, al fine di promuovere l'innovazione scientifica e tecnologica digitale, garantendo servizi sempre più efficienti per la cura dei pazienti dismorfici.

In questo senso, gli investimenti messi in campo dall'Università di Bologna, per acquisire nuovi macchinari e nuovi software, hanno permesso di affrontare la chirurgia ortognatica in maniera diversa dal passato, promuovendo un percorso di pianificazione e trattamento digitale integrale per la correzione delle deformità dento-facciali.

L'esperienza raccolta nei tre anni di dottorato e di attività del Lab mi ha permesso di eseguire un'analisi accurata su ciò che è stato fatto, in termini di validazione dei progetti ortodontico-chirurgici, modalità e tempi di trattamento.

Inoltre, nei casi già terminati, mi è stato possibile continuare a seguire i pazienti con il follow up e verificare la stabilità nel tempo.

Gli ambiti di lavoro su cui si è concentrata la mia ricerca rientrano in macro-argomenti quali:

- Attività clinica di studio e analisi dei pazienti dismorfici attraverso la piattaforma Face 3D Lab.
- Studio prospettico sull'approccio "Surgery First" in chirurgia ortognatica.
- Studio prospettico sull'utilizzo di PSI in chirurgia ortognatica nel riposizionamento del segmento mandibolare prossimale in tecnica "Mandible First".
- Analisi retrospettiva dei pazienti "T0", "T1" e "T2" che hanno avuto accesso al Face 3D Lab, eseguendo tutte le fasi diagnostiche e di

pianificazione previste, e che hanno completato in trattamento ortodontico-chirurgico.

Le ricerche condotte in questi ambiti hanno permesso di realizzare diversi lavori scientifici che avvalorano la bontà dell'attività del Face 3D Lab e del "Full 3D Workflow".

I vantaggi insiti nello studio digitale del paziente affetto da dismorfosi dento-scheletrica sono risultati, secondo la nostra esperienza, superiori al passato e auspicabili nel futuro.

Restano infatti saldi e imperativi i principi di:

- Diagnosi esatta della malformazione dento-scheletrica;
- Programmazione ortodontica e chirurgica personalizzata;
- Replica fedele della simulazione chirurgica in sala operatoria.

Il rispetto di questi obiettivi può portare risultati più accurati e predicibili.

A nostro giudizio, il "Full 3D Workflow" permette di incrementare enormemente le capacità diagnostiche e terapeutiche; infatti esso permette una programmazione accurata già dalla fase preoperatoria (T0).

Al fine di migliorare l'accuratezza dei risultati scheletrici e dentali, è auspicabile l'utilizzo di dispositivi sempre all'avanguardia atti ad ottenere una miglior riproducibilità del planning ortodontico chirurgico.

Il futuro e l'evoluzione della chirurgia ortognatica sembrerebbero infatti condizionati dalla abilità, da parte del team ortodontico-chirurgico, di essere sempre al passo con le innovazioni tecnologiche, fedele aiuto nell'ottenere una maggior capacità diagnostica e progettuale.

Capitolo 3 : Progetti di ricerca attivi nell'ambito dell'approccio Surgery First

“Virtual Orthodontic Surgical Planning to Improve the Accuracy of the Surgery-First Approach”

Nell’ambito della mia tesi di laurea e dei miei anni di dottorato ho completato e approfondito un argomento innovativo e dibattuto nel panorama maxillo-facciale quale l’approccio in chirurgia ortognatica della “Surgery First”. Da questo interesse sono scaturiti due lavori che esaminano tale metodica secondo due aspetti quali la pianificazione ortodontica virtuale e l’analisi degli outcome a fine trattamento fra pianificato e ottenuto in termini di analisi di superficie e secondariamente cefalometrica tridimensionale.

Virtual Orthodontic Surgical Planning to Improve the Accuracy of the Surgery-First Approach: A Prospective Evaluation ⁸⁰

L'obiettivo di questo studio è stato quello di sviluppare un innovativo metodo computer-assistito per incrementare l'accuratezza dell'approccio “Surgery First” (SF), andando ad integrare un una pianificazione ortodontica virtuale (VOP) ad una pianificazione chirurgica virtuale (VSP).

Come introdotto nei paragrafi precedenti, in chirurgia ortognatica, la Surgery First rappresenta un approccio alternativo alla metodica Orthodontic First. Come enunciato da Peiro-Guijarro et al ⁸¹ nella loro revisione sistematica, i principali vantaggi nella Surgery First sono: una riduzione nel tempo totale di trattamento ortodontico, un immediato miglioramento del profilo facciale con conseguente soddisfazione nel paziente, un aumento della collaborazione durante il trattamento ortodontico post-operatorio e un miglioramento nella fisiologica decompensazione delle arcate. Analogamente, la Surgery First presenta come svantaggi la necessità di una expertise ortodontica e chirurgica elevata, la selezione accurata dei pazienti, una difficoltà nella preparazione dell'arco chirurgico preoperatorio e difficoltà nell'ottenere un’occlusione stabile nell'immediato periodo postoperatorio.

Per superare queste problematiche la Surgery First richiede una diagnosi precisa, un'ortodonzia e una chirurgia personalizzata che possa rendere tale metodica accurata e predicibile.

È in questo contesto che, sulla base delle esperienze presenti in letteratura⁸²⁻⁸⁶, abbiamo sviluppato un protocollo di pianificazione virtuale sia scheletrica, sia dentale per superare questi limiti. La combinazione del VOP e del VSP ha permesso di studiare prospettivamente i pazienti afferenti alla nostra struttura candidati alla Surgery First e di studiare in termini di accuratezza e precisione gli outcome post-operatori ottenuti in relazione alla pianificazione digitale effettuata.

Materali e metodi

Quindici pazienti consecutivi affetti da dismorfia dento scheletrica afferenti all'U.O. di Chirurgia Orale e Maxillo-Facciale del Policlinico S.Orsola-Malpighi di Bologna sono stati arruolati in un periodo compreso dal 2013 al 2015 in uno studio monocentrico prospettico approvato da comitato etico nel 2013 (n. 322013USPR).

Lo studio ha coinvolto il Reparto di Chirurgia Orale e Maxillo-Facciale del Policlinico S. Orsola Malpighi. Il Responsabile dello studio è il Prof. Claudio Marchetti (Azienda Ospedaliera Universitaria di Bologna – Policlinico S. Orsola Malpighi).

I *criteri di inclusione* sono stati:

- Pazienti con indicazione alla chirurgia ortognatica e che rientravano nell'ambito del normale percorso assistenziale previsto presso l'U.O. di Chirurgia Maxillo-Facciale per dismorfia dento-scheletrica;
- Pazienti in cui non vi era indicazione all'estrazione di elementi dentali (ad esclusione dei 3 molari superiori ed inferiori);
- Età > 18 anni;
- Pazienti che hanno firmato il consenso informato.

I *criteri di esclusione sistemici* sono stati:

- Pazienti ad alto rischio anestesilogico;
- Pazienti immunosoppressi o immunocompromessi;
- Pazienti che stanno assumendo o hanno assunto farmaci bisfosfonati per via endovenosa;
- Pazienti con diabete non controllato;
- Pazienti in stato di gravidanza o in allattamento;
- Pazienti che hanno fatto uso di alcool o droghe;
- Pazienti con problemi psichiatrici;
- Pazienti con gravi condizioni cliniche che, a giudizio dello sperimentatore, controindicavano l'arruolamento nello studio;

I *criteri di esclusione specifici* sono stati:

- Pazienti con scarsa motivazione igienica;
- Pazienti con II classe II divisione;
- Pazienti con problematiche articolari (disfunzioni e/o patologie temporo-mandibolari);
- Pazienti con gravi affollamenti dentali con necessità di espansioni chirurgiche del mascellare;
- Pazienti con problematiche parodontali acute.

Tecniche escluse dal protocollo di ricerca sono state:

- Corticotomie;
- Utilizzo di TADs (temporary anchorage devices) e dei SAS (skeletal anchorage system);
- Chirurgie ancillari;

- Utilizzo di navigazione chirurgica intraoperatoria;
- Utilizzo di devices chirurgici custom-made (placche e dime CAD-CAM).

I pazienti che hanno soddisfatto i criteri di inclusione, sono stati messi al corrente dello studio ricevendo tutte le informazioni necessarie. Si è provveduto alla realizzazione e sottoscrizione di un consenso informato.

I pazienti arruolati nel protocollo sono stati studiati mediante un Workflow digitale così realizzato:

a. CBCT pre-operatoria e Scansione Intraorale delle arcate

Tutti i pazienti hanno eseguito una cone-beam computed tomography (CBCT; VGi; NewTom, Verona, Italy) con un field-of-view 15 x 15 e una scansione intraorale delle arcate (Trios; 3Shape, Copenhagen, Denmark) prima del trattamento.

b. Ricostruzione dei tessuti duri e molli

I file DICOM e STL ottenuti dall'esame CBCT e dalla scansione intraorale sono stati processati utilizzando il Simplant O&O®, Materialise (Leuven; Belgio) che ha permesso la ricostruzione dei tessuti scheletrici, dentali e molli del paziente e una conseguente realizzazione della cefalometria 3D, del VOP e del VSP.

c. Pianificazione Ortodontica Virtuale

Per ogni paziente è stato creato un trattamento ortodontico virtuale che permesso di decompensare virtualmente le arcate e guidare l'occlusione durante la creazione del planning scheletrico. Il VOP è realizzabile grazie alla possibilità di visualizzare i denti comprensivi di radice e corona e in grado di muoversi tridimensionalmente all'interno dell'arcata. I denti devono essere posizionati appropriatamente rispetto alla base scheletrica creando un'arcata virtuale ideale secondo i criteri seguenti:

- Posizionare l'incisivo secondo gli standard cefalometrici;
- Creare un'arcata dentale armoniosa con un'appropriata distanza trasversale molare e canina;

- Risolvere gli affollamenti;
- Livellare le curve di compenso di Spee e di Wilson.

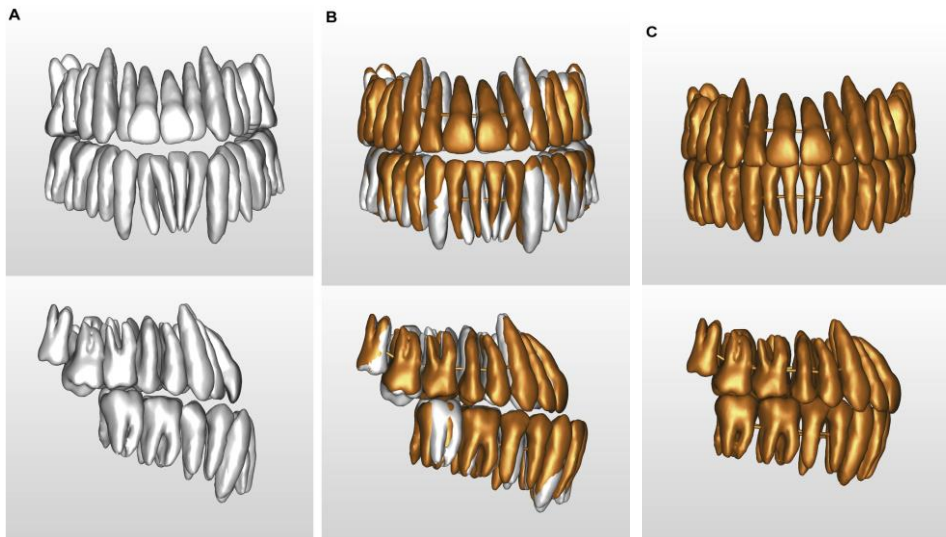


Figura 38 Arcata originale (A), Matching dell'arcata originale con l'IVA (B), Occlusione virtuale ideale(C)

Quando le arcate virtuali ideali (IVA) di entrambe le arcate sono state registrate alla base scheletrica in modo compatibile con le arcate native, si può procedere con il VSP.

d. Pianificazione chirurgica virtuale

Essa comprende le osteotomie del mascellare superiore e della mandibola. Il mascellare superiore deve essere riposizionato per primo: quest'ultimo porterà con sé gli elementi della arcata nativa e di quella pianificata. Il posizionamento del mascellare superiore deve cercare di soddisfare i criteri estetici e cefalometrici del

paziente. La mandibola deve essere riposizionata, invece, secondo l'ottenimento di una occlusione ideale virtuale (IVO).

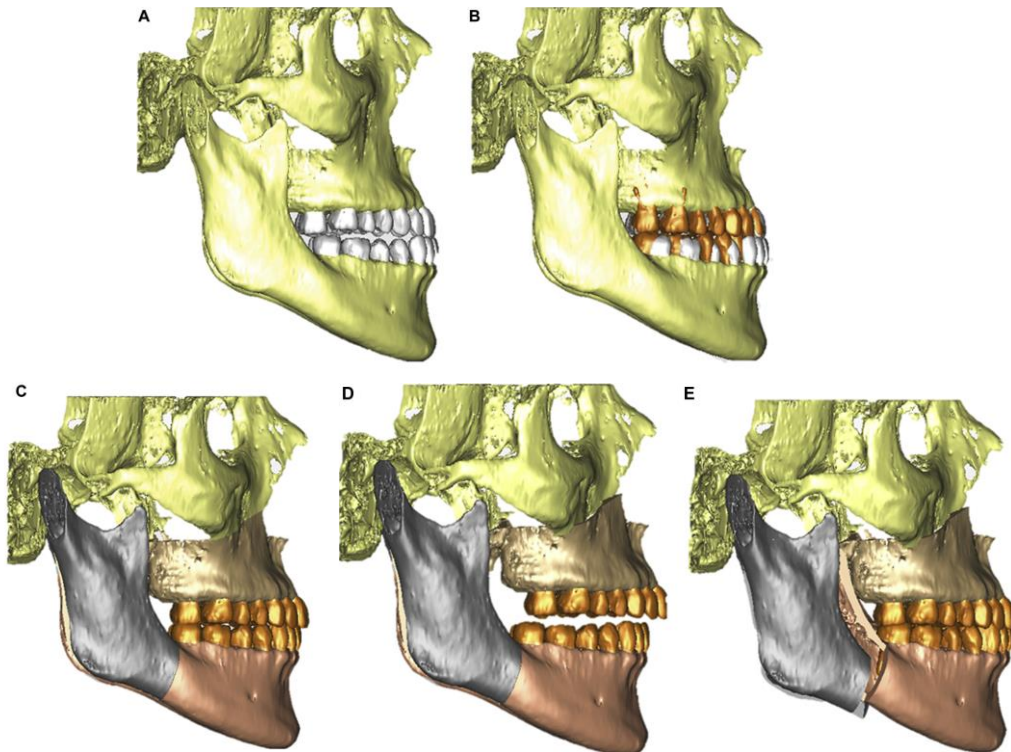


Figura 39 Le IVA vengono registrate su entrambe le basi scheletriche (A,B) Vengono create le linee osteotomiche virtuali (C) Viene mobilizzato il mascellare superiore (D) Viene riposizionata la mandibola sulla base della IVO

e. Occlusione virtuale ideale (IVO)

L'occlusione virtuale ideale è data dalla coordinazione della IVA superiore e inferiore. L'IVO è ottenuto seguendo i criteri delle 6 chiavi di Andrews ed è considerata la guida del riposizionamento scheletrico. Una volta ottenuta l'occlusione virtuale ideale la pianificazione virtuale del caso è terminata e si procede alla fase di realizzazione degli splint chirurgici CAD-CAM.

f. Preparazione ortodontica

La fase pre-chirurgica è caratterizzata dall'applicazione di un arco ortodontico di tipo passivo con ganci chirurgici 48 ore prima della chirurgia.

Nella preparazione ortodontica pre-chirurgica del paziente Surgery First viene utilizzata la tecnica di bonding indiretto. Questa viene scelta perché i denti del paziente Surgery First sono normalmente disallineati e quindi inevitabilmente l'arco ortodontico sarà soggetto a delle pieghe.

g. Chirurgia

La riproducibilità del progetto chirurgico virtuale in sala operatoria nella casistica oggetto di studio è avvenuta mediante l'utilizzo di splint chirurgici CAD-CAM. Gli splint vengono preparati mediante una fase di progettazione assistita dal computer (Computer-Aided Design, CAD) e costruiti con una fase di fabbricazione assistita dal computer (Computer-Aided Manufacturing, CAM) mediante tecniche di fresaggio. In sala operatoria vengono adoperati due splint, lo splint intermedio e lo splint finale.

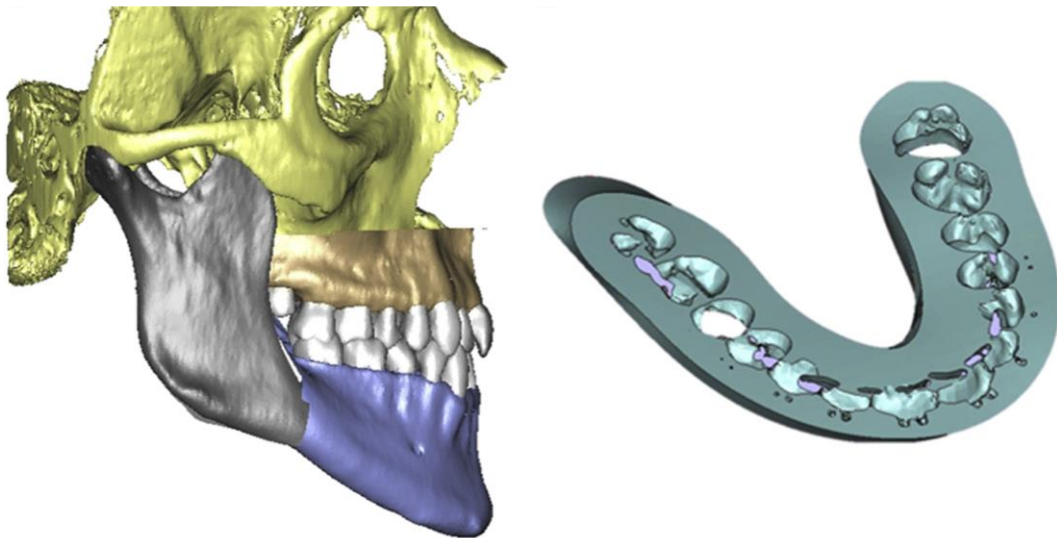


Figura 40 Esempio di splint finale

Lo splint intermedio permette di mettere in relazione l'arcata mascellare malocclusa (arcata originale del paziente, senza setup ortodontico) posta nella nuova posizione spaziale e l'arcata mandibolare malocclusa in posizione nativa.

Lo splint finale mette in occlusione l'arcata superiore malocclusa nella nuova posizione spaziale e l'arcata inferiore mal occlusa riposizionata nella nuova posizione mandibolare.

h. Fase ortodontica post- chirurgica

Dopo l'intervento il protocollo ortodontico post-chirurgico prevede:

- Per 4 settimane (anche 6 settimane nei pazienti che hanno fatto una chirurgia tri-partita del mascellare) il paziente indossa sempre lo splint finale e gli elastici di stabilizzazione: li rimuove solo ai pasti e per le procedure di igiene orale;
- Dopo 4 settimane, viene rimosso lo splint finale, gli archi chirurgici e gli elastici di stabilizzazione (momento critico perché il paziente molte volte non ha una occlusione stabile);
- Vengono riposizionati i brackets inizialmente malposizionati e vengono applicati archi superelastici tondi e gli elastici di guida occlusale.

A un mese circa dall'intervento chirurgico, l'ortodontista curante inizia il trattamento ortodontico attivo.

i. Acquisizione dei records diagnostici di fine trattamento

Al termine dell'ortodonzia il paziente ripete la CBCT e le scansioni intraorali al fine di creare il suo modello virtuale.

j. Fase di analisi ed elaborazione dati

I due modelli tridimensionali di ciascun paziente comprensivi di scheletro e denti del pianificato e di fine trattamento, vengono comparati con il software Geomagic Design X software (3D Systems, Rock Hill, SC). L'utilizzo di questo software ha permesso di realizzare una sovrapposizione di maschere 3D e di valutare l'accuratezza (media di scostamento dei punti rispetto allo zero) e la precisione (percentuale dei punti contenuti in un range arbitrario) del riposizionamento

mascellare e mandibolare e del planning ortodontico superiore e inferiore. Inoltre, è stato utilizzato il test non parametrico di Mann-Whitney per campioni indipendenti per confrontare i valori medi della mascella e della mandibola di ogni paziente rispetto al tipo di dismorfia, chirurgia, avanzamento mascellare, impattamento mascellare, abbassamento mascellare, correzione tilt differenziato, traslazione, condiletomia.

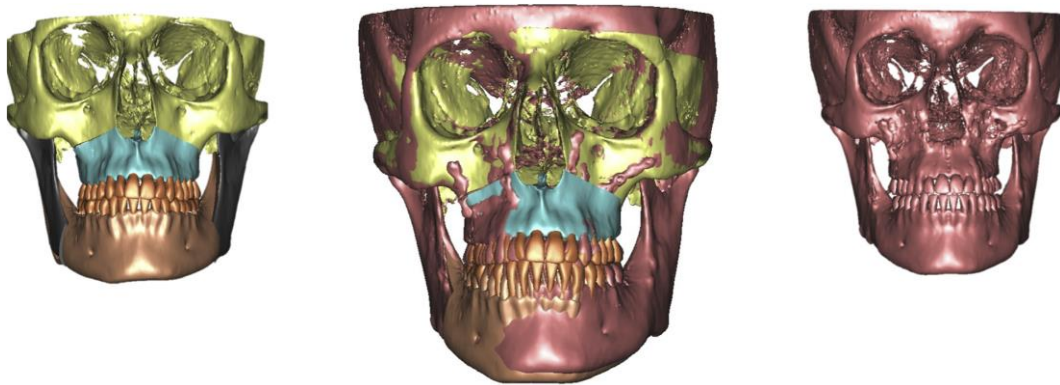


Figura 41 Superimposizione del planning e del post-operatorio

Risultati

La casistica è composta da N°8 maschi e N°7 femmine con età media di 24,6 anni (range 18-44 anni).

Sono state eseguite N°12 chirurgie bimascellari e N°3 monomascellari (2 mascellari superiori e 1 BSSO). Dei 15 pazienti N°4 sono stati sottoposti a chirurgia segmentaria del mascellare superiore (3 bipartite e 1 tripartita).

La media del tempo di trattamento ortodontico è risultato essere di 17,9 mesi (min 8 mesi- max 28 mesi).

La maschera 3D post-ortodonzia è stata utilizzata come confronto da sovrapporre alla maschera del planning (overlapping scheletrico e dentale).

Il confronto è avvenuto mediante software di CAD (Geomagic® Design X™) attraverso una superimposizione fatta sul cranio del paziente (errore medio di 0,04 mm +/- 0,848 mm DS)

Il range di deviazione è stato misurato in un intervallo di valori compresi tra -10 mm e 10 mm per quanto riguarda le basi ossee e tra -5 mm e 5 mm per le arcate dentali.

L'accuratezza scheletrica ovvero lo scostamento dal perfetto riposizionamento del mascellare (misurato dal valore 0) è stata in media di 0,0702 +/- 2.0724 mm mentre per la mandibola è stato di 0,2811 +/- 1.9993 mm.

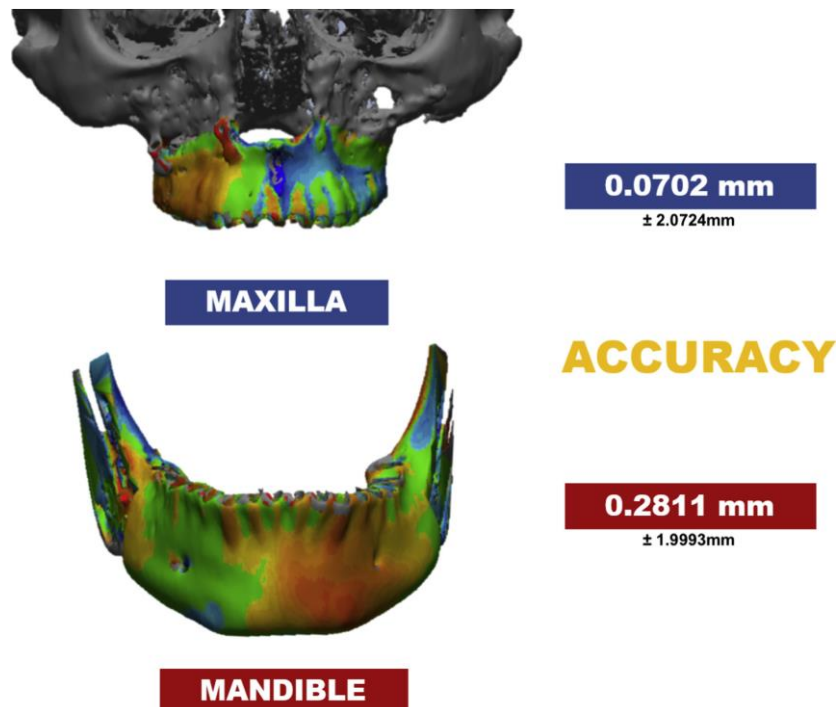


Figura 42 Accuratezza di mascellare e mandibola

L'accuratezza invece per l'arcata dentale superiore è stata in media di -0,00286 +/- 1.125 mm e per l'arcata inferiore di -0,01466 +/- 1.263 mm.

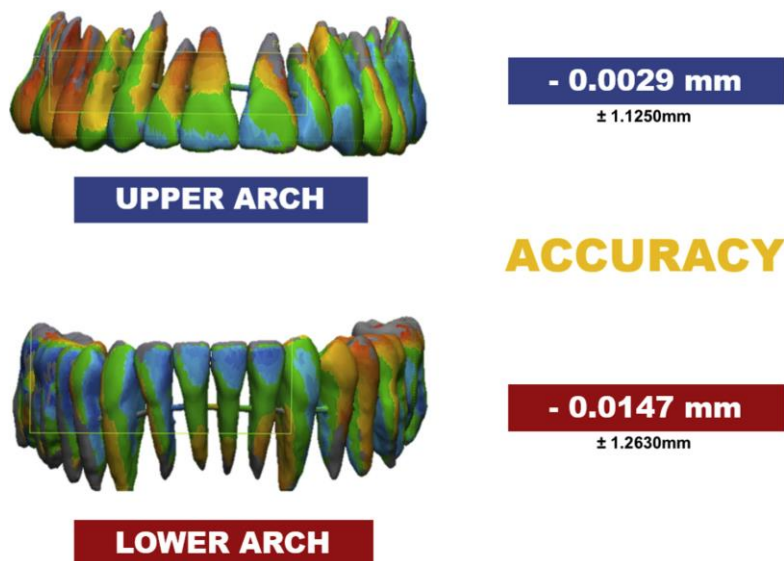


Figura 43 Accuratezza di arcata superiore e inferiore

Per valutare la precisione dell'intervento in mandibola e nel mascellare superiore, per ogni paziente è stata calcolata la percentuale dei punti contenuti nel range di -2 mm e +2 mm. La precisione dell'intervento rispetto alla mascella è in media pari al 75,3%, mentre per la mandibola è del 74%. La precisione del planning ortodontico dell'arcata superiore e inferiore è stata calcolata quantificando, invece, la percentuale dei punti contenuti nel range di -0,8 mm e +0,8 mm. La precisione dell'intervento rispetto all'arcata superiore è stata in media pari a 58,86%, mentre per l'arcata inferiore è di circa 51,53%.

In relazione al test non parametrico di Mann-Whitney per campioni indipendenti c'è una differenza significativa tra le medie della mascella con il tipo di chirurgia 1 monopartita (media=0,129) e 2 pluripartita (media=-0,554) (Test U di M-W=1, p-value=0,044) e c'è una differenza significativa tra le medie della mandibola con la traslazione (media=0,634) o senza (media=0,0789) (Test U di M-W=40, p-value=0,019).

Discussione

Da quando è stato introdotto l'approccio SF è emersa sempre più la necessità di prevedere l'occlusione finale. L'imaging scheletrico e dentale 3D è stato utilizzato

per migliorare la pianificazione del trattamento⁸⁷, e di fatti la chirurgia ortognatica virtuale ha dimostrato di essere affidabile e accurata⁸⁸.

Hernandez-Alfaro et al⁸⁴ hanno riportato nel loro studio su 45 pazienti l'utilizzo dell'ortodonzia virtuale 3D in SF, senza tuttavia descrivere il VOP.

Kim et al⁸⁶ hanno riportato un progetto pilota di una coorte retrospettiva di 11 pazienti ortognatici per i quali è stato utilizzato l'allineamento digitale dei denti per guidare i movimenti scheletrici. Hanno introdotto un protocollo che condivide un principio di base comune con quello del nostro studio; tuttavia, era retrospettivo e utilizzava per la pianificazione calchi digitali senza radici dentali (necessari per la convalida cefalometrica). Inoltre, non era definito il metodo basato sul CAD-CAM utilizzato per il trasferimento dell'occlusione finale in sala operatoria.

In termini di riproducibilità, i risultati suggeriscono che il riposizionamento mascellare sia più accurato del riposizionamento mandibolare (0,0702 +/- 2,0724 vs 0,2811 +/- 1,993 mm). Questo può essere spiegato dal nostro prediligere la tecnica Maxilla First. Di conseguenza, il riposizionamento mandibolare viene compromesso da qualsiasi errore che possa essere effettuato sul mascellare. Inoltre, potrebbe essere anche viziato dai movimenti verticali chirurgici e ortodontici comportando aggiustamenti rotazionali della mandibola che dovrebbero essere tuttavia stati considerati nel VOP /VSP.

L'accuratezza del posizionamento del mascellare risulta migliore nelle chirurgie monopartite.

Nel complesso la precisione all'interno di un intervallo compreso tra 2 e +2 mm è stato soddisfacente, (75,3% per la mascella e 71% per la mandibola).

Pertanto, gli splint chirurgici CAD-CAM hanno consentito una buona riproducibilità intraoperatoria che resta comunque inferiore a quella di altri metodi chirurgici virtuali (es. navigazione, guide di taglio / fissaggio CAD-CAM piastre)^{77,89}.

Nell'analisi scheletrica il non aver effettuato subito dopo la chirurgia, ma solo al debonding, l'imaging postoperatorio, potrebbe essere stata una limitazione del metodo proposto perché potrebbe esserci stato un rimodellamento della regione

dento-alveolare. Tuttavia, la piccola fluttuazione intorno al valore ottimale (zero) in termini di accuratezza, suggerisce che questo bias non ha influenzato i risultati della presente analisi.

In termini di riproducibilità della pianificazione dentale, le accuratezze erano soddisfacenti (0,0029 per l'arcata superiore e 0,0147 mm per l'arcata inferiore), a differenza della precisione era meno soddisfacente (58,86 contro 51,58%).

Ciò può essere anch'esso viziato da errori di riproducibilità del VSP, che ha obbligato l'ortodontista ad ottimizzare l'occlusione tramite compensazione dentale, e quindi, introducendo un errore.

L'uso di un'analisi della superficie potrebbe perdere alcuni aspetti clinici rispetto, ad esempio, all'analisi cefalometrica standard che utilizza punti di riferimento dentali e scheletrici. Tuttavia, in termini di "facial appearance", le superfici scheletriche e dentali rivestono fondamentale importanza.

Inoltre, l'analisi della superficie descrive meglio il comportamento biologico e meccanico dei mascellari e dei denti in risposta al trattamento.

In termini di tempo di trattamento, l'ortodonzia postoperatoria ha richiesto una media di 17,9 mesi (intervallo da 8 a 28 mesi), qualche mese in più rispetto ai dati in letteratura (media, 14,2 mesi; intervallo, Da 10,2 a 19,4 mesi)^{81,90}.

Inoltre, come previsto da protocollo non sono stati utilizzati ancoraggi scheletrici e l'ortodonzia postoperatoria è iniziata dopo 1 mese; senza quindi sfruttare il RAP⁹¹.

Conclusioni

In conclusione, il nostro metodo VOP / VSP ha migliorato la pianificazione diagnostica e terapeutica preoperatoria in SF.

Tuttavia, la riproducibilità del VSP richiede miglioramenti futuri per ridurre al minimo la compensazione ortodontica e massimizzare i vantaggi dell'approccio SF. Il VOP ha contribuito in modo significativo alla pianificazione complessiva e potrebbe essere un paradigma imprescindibile di tale pianificazione.

L'uso del VOP / VSP è da ritenersi un indiscutibile un atto clinico e, quindi, di responsabilità primaria dell'ortodontista e del chirurgo come team, fornendo grandi vantaggi per entrambi quando si tratta di un paziente candidato all'approccio SF.

“Virtual Orthodontic Surgical Planning to Improve the Accuracy of the Surgery-First Approach, Part 2: 3D Cephalometric Outcome Predictability”

Nella chirurgia ortognatica, l'approccio Surgery First (SF) ha guadagnato popolarità come alternativa al tradizionale approccio Orthodontic First (OF). La SF richiede tuttavia una chiara definizione della deformità dentoscheletrica, una pianificazione ortodontica e chirurgica personalizzata e una riproduzione accurata della pianificazione chirurgica in sala operatoria e in ortodonzia postoperatoria. Solo se queste condizioni vengono rispettate, il risultato può essere sia accurato che predicibile⁹².

Lo svantaggio principale della SF è la difficoltà nel predire i movimenti scheletrici e dentali, a condizione che i denti non siano ben posizionati nelle loro basi scheletriche e non possano essere utilizzati come guida per pianificare i movimenti scheletrici⁸¹.

Nel tentativo di superare questi limiti, recenti innovazioni tecnologiche e tecniche sia in campo chirurgico che ortodontico possono essere integrate implementando l'accuratezza dell'approccio chirurgico⁸². Alfaro et al.⁸⁴ ha descritto uno specifico protocollo ortodontico e chirurgico per la SF, discutendo i vantaggi e i limiti di questo trattamento. Anche il nostro gruppo ha presentato un nuovo metodo computer assistito, che combina la pianificazione ortodontica virtuale (VOP) e la pianificazione chirurgica virtuale (VSP) per simulare il trattamento e analizzando l'accuratezza di questo metodo mediante la sovrapposizione di superfici tridimensionali. Nella nostra pratica, il metodo si è dimostrato affidabile per ottenere un'accurata prevedibilità del riposizionamento dei mascellari. Ci riferiamo alla combinazione di VOP e VSP come Virtual Orthodontic Surgical Planning (VOSP).

Tuttavia, un potenziale limite di questi studi è rappresentato dalla difficoltà di chirurghi e odontoiatri di applicare questa complessa valutazione tridimensionale dell'accuratezza / prevedibilità della SF nella normale pratica diagnostica e clinica. Pertanto, il presente studio si propone di analizzare l'accuratezza VOSP in SF mediante uno strumento diagnostico di routine come la cefalometria. In base alla letteratura⁹³⁻⁹⁶, abbiamo selezionato misurazioni cefalometriche 3D che traspongono principalmente la cefalometria 2D in un ambiente tridimensionale, aggiungendo alcune nuove misurazioni puramente tridimensionali. Quindi, introduciamo anche qui un'analisi peculiare basata sulla nostra pratica clinica, ovvero l'analisi cefalometrica 3D “Bologna” (Bo3DCA).

Materiali e Metodi

Diciannove pazienti caucasici consecutivi che presentavano deformità dentofacciali presso l'Unità di Chirurgia Orale e Maxillo-Facciale dell'Ospedale Universitario S. Orsola di Bologna (Italia) sono stati arruolati tra il 2013 e il 2019 e trattati con approccio SF, secondo i criteri di inclusione / esclusione elencati nella tabella sottoastante.

CRITERI DI INCLUSIONE	CRITERI DI ESCLUSIONE
<ul style="list-style-type: none"> • Età >18 anni • Etnia caucasica • Pazienti operati dallo stesso team chirurgico • CBCT post-chirurgica disponibile • Chirurgia mono o bimascellare 	<ul style="list-style-type: none"> • Età > 40 anni di età • Etnia non caucasica • Pazienti sindromici • Pazienti con solo radiologia 2D disponibile (OPT, TLL o TPA) • Chirurgia ancillare

Tabella 1 Criteri di inclusione ed esclusione

Questo protocollo prospettico monocentrico è stato approvato nel 2013 dal nostro comitato etico locale (approvazione n. 322013USPR).

Undici maschi e otto femmine sono stati arruolati nello studio, con età media di 26,5 anni (intervallo 18-55 anni). La coorte era composta da 65% pazienti di classe 3, 30% di classe 2 e 5% di classe 1.

Ogni paziente è stato sottoposto a un Workflow 3D come elencato di seguito:

- STUDIO PREOPERATIVO 3D: tomografia computata cone-beam (CBCT) e scansione intraorale delle arcate dentali

I pazienti sono stati sottoposti a scansione CBCT (VGI; NewTom, Verona, Italia) con un campo visivo (FOV) 19X19 e scansione digitale intraorale delle arcate dentali (Trios; 3Shape, Copenhagen, Danimarca) nella fase preoperatoria.

- RICOSTRUZIONE 3D DEI TESSUTI DURI E MOLLI

I dati DICOM e i file STL sono stati elaborati utilizzando la piattaforma Siplant O&O®, Materialise (Leuven; Belgio), al fine di produrre un modello 3D accurato dei tessuti molli e duri del paziente. Successivamente sono stati eseguiti i VOSP sui dati 3D. La cefalometria 3D ha completato il processo diagnostico.

- CEFALOMETRIA 3D

La cefalometria 3D è stata eseguita da tre operatori esperti (due ortodontisti e un chirurgo maxillo-facciale) per ogni paziente utilizzando il software Siplant O&O. Gli autori hanno sviluppato una specifica analisi cefalometrica 3D derivata dalle tradizionali analisi bidimensionali (Ricketts, McNamara, Arnett, Tweed) più diverse misurazioni riguardanti la simmetria verticale e trasversale, che sono peculiari degli studi tridimensionali, cercando di evidenziare punti di riferimento e misure di rilevanza clinica nel trattamento del paziente ortodontico-chirurgico⁹⁷. Consiste di 42 punti di riferimento scheletrici e dentali, elencati nella Tabella 2, che l'operatore seleziona sulla ricostruzione 3D del cranio del paziente. (Fig. 44)

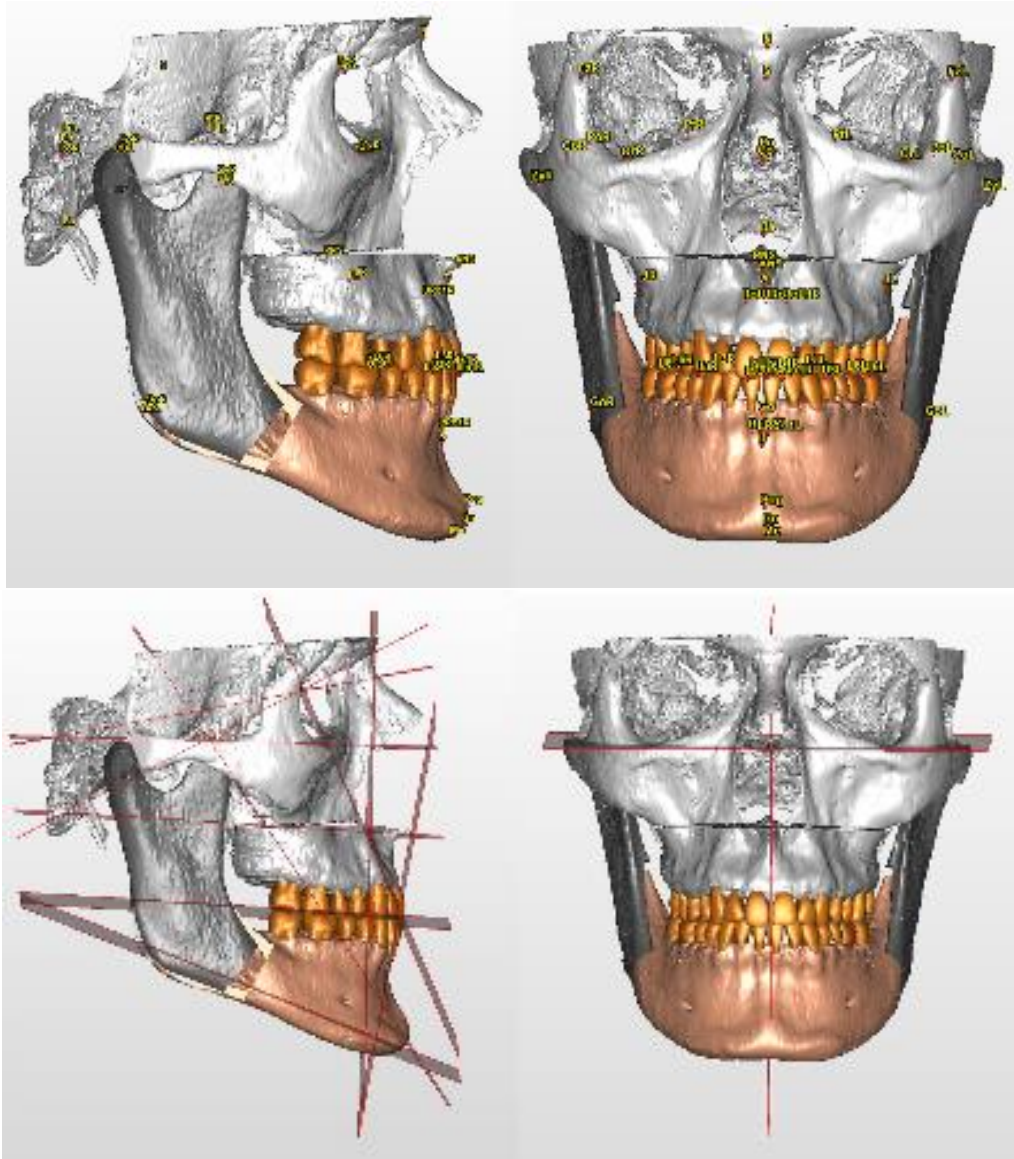


Fig. 44 Punti e Piani di riferimento cefalometrici scheletrici e dentali in una rappresentazione VOSP

POINT	DESCRIPTION
Nasion (N)	Midpoint of the frontonasal suture.
Sella (S)	Central point of the hypophyseal fossa (sella turcica).
Porion (Po-L / R)	Higher point of the external ear canal, right and left.
Orbitale (Or-L / R)	Anteroinferior point of each orbital rim
Anterior Nasal Spine (ANS)	Most anterior median point of the anterior nasal spine.
Posterior Nasal Spine (PNS)	Most posterior median point of the posterior nasal spine.
Point A	Maximum concavity point on the median line of the maxillary alveolar process.
Point B	Maximum concavity point on the median line of the mandible.
Pogonion (Pog)	Most anterior point on the medial line of the mandibular symphysis.
Menton (Me)	Lower point of the chin on the median line
Gnathion (Gn)	Lower anterior point on the median line of the mandibular symphysis.
Basion (Ba)	Most anterior point of the foramen magnum
Gonion (Go - L / R)	Most inferior, posterior, and lateral point on the angle of the mandible.
Frontozygomatic (Fz-L / R)	Most medial and anterior point of each frontozygomatic suture.
Zygion (Zy - L / R)	Lateral point of each zygomatic arch.
Jugale (J-L / R)	Lateral point of the maxillary upright.
Condylion (Co-L / R)	Most posterior-superior point of each condyle on the sagittal plane.
Pterion (Pt-L / R)	Point of intersection between the round foramen and the pterygomaxillary pit, left and right
Upper first Left / Right (U1-L / R)	Most occlusal point of the upper central incisors, left and right.
Upper first Left / Right Root (U1Ro-L / R)	Root apex of upper central incisors, right and left.
Upper third Left / Right (U3-L / R)	Cusp of the upper right and left canines.
Upper sixth Left / Right (U6-L / R)	Mesiobuccal cusp of the superior first molars, right and left.
Lower first Left / Right (L1-L / R)	Most occlusal point of the lower central incisors, right and left.
Lower first Left / Right Root (L1Ro-L / R)	Root apex of lower central incisors, right and left.
Lower third Left / Right (L3-L / R)	Cusp of lower right and left canines.
Lower sixth Left / Right (L6-L / R)	Mesiovestibular cusp of the first lower molars, right and left.

Tabella 2 Punti di riferimento cefalometrici scheletrici e dentali

Parte di questi punti sono utilizzati dal software per generare piani di riferimento. Basandosi su questi punti e piani, le misurazioni lineari e angolari vengono eseguite automaticamente dal software secondo le regole impostate dal clinico. (Fig. 1)

PLANE	DESCRIPTION
Sagittal plane	Plane passing through Nasion and Basion and perpendicular to Frankfurt plane.
Plane of Frankfurt (FH Plane):	Plane passing through Porion and Orbitale and perpendicular to the Sagittal plane.
Vertical Plane (McNamara plane):	Plane perpendicular to Frankfurt plane passing through Nasion.
Occlusal plane (Occlusal Plane)	Plane passing through the mesiovestibular cusps of the first upper right and left molars and the inter-incisive point.
Mandibular Plane (Mandibular Plane)	Plane passing through Go-R, Go-L and Me.
Facial axis plane (Facial Axis Plane)	Plane passing through Pt-R, Pt-L and Gn.
Upper incisors axis plane (Upper Incisors Axial Plane)	Plane passing through U1-L / R and U1Ro-L / R.
Lower incisors axis plane (Lower Incisors Axial Plane)	Plane passing through L1-L / R and L1Ro-L / R
Plane A	Plane parallel to McNamara plane passing through point A
Plane B	Plane parallel to the McNamara plane passing through point B.

Tabella 3 Piani di Riferimento cefalometrici

ANALISI SCHELETRICA SAGITTALE

L'analisi scheletrica sagittale include i cosiddetti parametri sagittali che identificano la classe scheletrica, la posizione anteriore / posteriore della mascella, la divergenza e il tipo di viso del paziente. Include anche valori di simmetria sagittale.

Inoltre, è possibile confrontare le misure lineari di entrambi i lati (destro e sinistro) e la differenza tra i due (Δ).

Strictly Sagittal Parameters	
WITS Index	Distance between point A and B projection on the Occlusal Plane (mm).
A, B, Pog / McNamara	Distance of points A, B and Pog from the McNamara plane (mm).
Facial Axis Angle	Angle between facial axis plane and the straight line combines points Ba and N (°).
Tweed Mandibular angle	Angle between the mandibular plane and the Frankfurt plane (°).
PFH / AFH	Ratio of posterior facial height to anterior facial height (Na-Me / Po-Go).
Sagittal symmetry values	
Δ Maxillary Length	Difference in distance between point A and Co (left and right) (mm).
Mean Maxillary Length	Mean of point A – Co (left and right) distances (mm).
Δ Mandibular Length	Difference in distance between Gn and Co (left and right) (mm).
Mean Mandibular Length	Mean of Gn-Co (left and right) distances (mm).
Δ Md Body Length	Difference in distance between Md Body (left and right) (mm).
Mean Md Body Length	Mean of Md Body (left and right) distances (mm).
Δ Gonial Angle	Difference between Gonial Angle (left and right) (°).
Mean Gonial Angle	Mean of Gonial Angle (left and right) angles (°).

ANALISI SCHELETRICA FRONTALE

L'analisi scheletrica frontale comprende i cosiddetti parametri frontali che rappresentano le distanze in millimetri dei punti ANS, A, B e Pog dal Piano Sagittale. Include anche valori di simmetria frontale.

Strictly Frontal Parameters	
ANS - SagPL	Subnasal Deviation from the Sagittal Plane (mm).
A - SagPL	Maxillary Deviation from the Sagittal Plane (mm).
B - SagPL	Mandibular Deviation from the Sagittal Plane (mm).
Pog - SagPL	Mental Deviation from the Sagittal Plane (mm).
Frontal symmetry values	
Δ Go - SagPL (L.R)	Difference in distance between Go (left and right) and Sagittal Plane (mm).
Mean Go - SagPL (L.R)	Mean of Go (left and right) and Sagittal Plane distances (mm).
Δ J - SagPL (L.R)	Difference in distance between J (left and right) and Sagittal Plane (mm).

Mean J - SagPL (L.R)	Mean of J (left and right) and Sagittal Plane distances (mm).
Δ Zy - SagPL (L.R)	Difference in distance between Zy (left and right) and Sagittal Plane (mm).
Mean Zy - SagPL (L.R)	Mean of Zy (left and right) and Sagittal Plane distances (mm).

ANALISI SCHELETRICA VERTICALE

L'analisi scheletrica verticale include i cosiddetti parametri verticali e include anche valori di simmetria verticale. Consentono ai medici di valutare le proporzioni verticali del paziente e di classificarlo come "viso lungo / corto".

Strictly Vertical Parameters	
Facial Ratio	Na-Me distance / Zy(L)-Zy(R) distance.
Mandibular Ratio	Co-Go distance / Go(R)-Go(L) distance.
Vertical symmetry values	
Δ Md Ramus Length (L.R)	Difference in distance between Md Ramus Length (left and right) (mm).
Mean Md Ramus Length (L.R)	Mean of the two distances Md Ramus Length (left and right) (mm).

ANALISI DENTO-ALVEOLARE SAGITTALE

L'analisi sagittale dento-alveolare valuta la posizione degli incisivi rispetto all'osso mascellare e mandibolare, rispetto al piano oclusale e l'uno rispetto all'altro.

Strictly Sagittal Parameters	
Incisal Protrusion	Distance between UIs and plane A (mm)
UIs / Occlusal Plane Angle	Angle between UIs axis and occlusal plane (°).
IMPA (Incisor-Mandibular-Plane-Angle)	Angle between LIs axis and Mandibular plane (°).
Overjet (OVJ)	Linear distance between incisal margin of the upper incisors and vestibular surface of the lower incisors (mm).
Overbite (OVb)	Linear distance between LIs incisal margin and projection of the incisal edge of the UIs (mm).

Occlusal Plane Inclination	Angle between Occlusal Plane and Frankfurt plane (°).
Lls / B-Plane Angle	Angle between Lls axis and plane B (°).

ANALISI FRONTALE DENTO-ALVEOLARE FRONTALE

L'analisi frontale dento-alveolare valuta la distanza della linea interincisale, canini e molari rispetto al Piano Sagittale.

Strictly Frontal Parameters	
UIs - SagPI	Distance between UIs and Sagittal plane (mm).
LIs - SagPI	Distance between LIs and Sagittal plane (mm).
Δ U3 - SagPI	Difference in distance between U3 cusp (left and right) and Sagittal plane (mm).
U3 - SagPI Mean	Mean of the distances between U3 cusp (left and right) and Sagittal plane (mm).
Δ U6 - SagPI	Difference in distance between U6 mesiovestibular cusp (left and right) and Sagittal plane (mm).
U6 - SagPI Mean	Mean of the distances of U6 mesiovestibular cusp (left and right) and Sagittal plane (mm).

ANALISI DENTO-ALVEOLARE VERTICALE

L'analisi verticale dento-alveolare valuta la distanza verticale tra la cuspidi del canino superiore e la cuspidi mesiovestibolare del primo molare superiore e il piano di Francoforte.

Strictly Vertical Parameters	
U3 - FH	Distance between U3 cusp (left and right) and FH (mm).
U6 - FH	Distance between U6 mesiovestibular cusp (left and right) and FH (mm).
Δ U3 - FH	Difference in distance between U3 cusp (left and right) and FH (mm).
Mean U3 - FH	Mean of the distances between U3 cusp (left and right) and FH (mm).
Δ U6 - FH	Difference between U6 mesiovestibular cusp (left and right) and FH (mm).
Mean U6 - FH	Mean of the distances between U6 mesiovestibular cusp (left and right) and FH (mm).

- PIANIFICAZIONE VIRTUALE

PIANIFICAZIONE ORTODONTICA VIRTUALE (VOP)

Per ogni paziente è stato pianificato un trattamento ortodontico personalizzato (VOP), per simulare il decompenso ortodontico e per guidare l'occlusione durante la pianificazione dei movimenti scheletrici. Con il VOP, i denti vengono posizionati in un'arcata virtuale ideale (IVA). Le IVA sono state registrate alla base scheletrica in modo compatibile con le arcate native (Fig.45 a-c).

PIANIFICAZIONE CHIRURGICA VIRTUALE (VSP)

In VSP, vengono eseguite le osteotomie virtuali (Fig. 45 d-e) delle basi scheletriche facciali (ad esempio, LeFort1, BSSO o osteotomia segmentale) e il successivo riposizionamento dei segmenti scheletrici. Il riposizionamento mira a soddisfare i criteri estetici e cefalometrici. Innanzitutto, il mascellare superiore viene riposizionato (Fig. 45 f) con l'arcata dentale nativa e l'IVA superiore. Quindi la mandibola viene riposizionata per simulare un'occlusione virtuale ideale (IVO) mediante il coordinamento degli IVA superiori e inferiori. (Fig. 45 g).

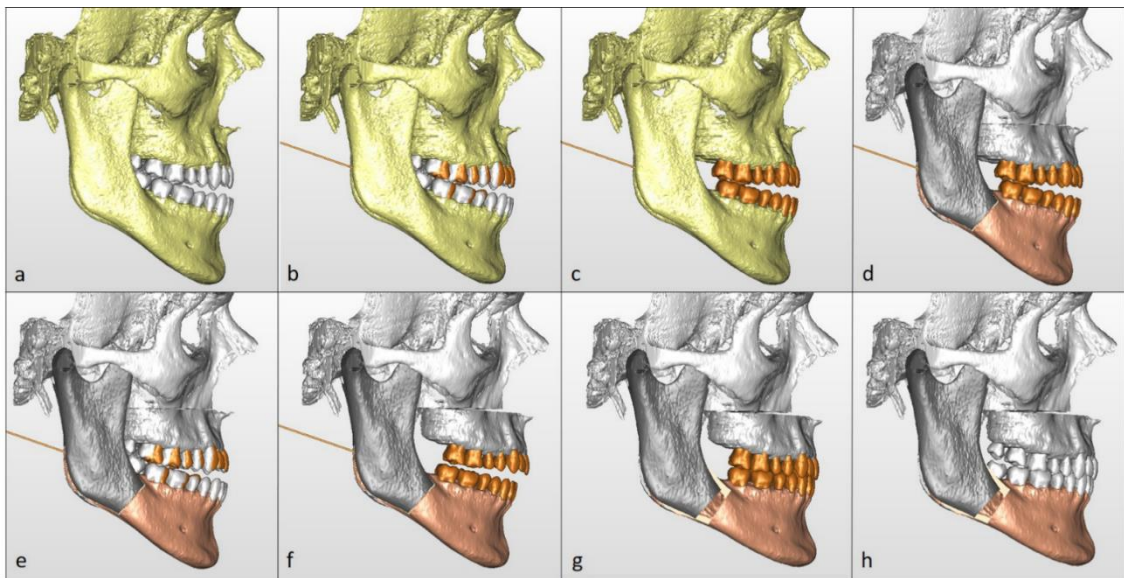


Figura 45 A, Ricostruzione paziente 3D; B, le arcate virtuali ideali sono state registrati sulla base scheletrica, sovrapposti alle arcate native; C, base scheletrica con arcate virtuali ideali; D,E, osteotomia virtuale delle basi scheletriche con

arcate virtuali ideali e native; F, piano chirurgico virtuale: riposizionamento della mascella superiore, seguito dagli archi dentali virtualmente pianificati; G, Posizionamento della mandibola in riferimento all'occlusione virtuale ideale; e H pianificazione virtuale chirurgica con arcate native

CEFALOMETRIA 3D VOP E VSP

Dopo la simulazione, è stata eseguita una nuova cefalometria 3D sul modello di setup virtuale (basato su VOSP).

- ORTODONZIA PRELIMINARE

L'ortodonzia preoperatoria era rappresentata solo dal posizionamento di un filo per arcata passiva 48 ore prima dell'intervento. Non abbiamo utilizzato dispositivi di ancoraggio temporanei o miniplacche e non abbiamo eseguito corticotomie.

- CHIRURGIA E ORTODONZIA POST-CHIRURGICA

Le osteotomie mascellari sono state eseguite senza l'utilizzo di guide chirurgiche di taglio o piezochirurgia computer assistita⁹⁸, né navigazione intraoperatoria né impianti individualizzati^{89 77}. Le fissazioni mascellari e mandibolari sono state eseguite utilizzando placche e viti in titanio standard commerciali. I pazienti hanno indossato lo splint chirurgico finale per 30 giorni (12-24 ore / giorno) nella fase post-operatoria. Successivamente, il trattamento ortodontico post-operatorio è iniziato con la sostituzione dei fili ortodontici ogni 2-3 settimane.

Al termine del trattamento, tutti i pazienti sono stati sottoposti a una nuova CBCT (senza apparecchio, in massima intercuspide) oltre a una nuova scansione digitale delle arcate dentali. Questi set di dati sono stati utilizzati per ottenere una ricostruzione 3D dei tessuti molli e duri, al fine di eseguire un nuovo studio cefalometrico 3D postoperatorio (POSTOP). Configurazione e analisi cefalometrica 3D post-trattamento sono state eseguite con il software di pianificazione Simplant O&O. Sono state considerate le deviazioni medie e standard dei valori ottenuti. I risultati dei 2 campioni sono stati quindi confrontati.

ANALISI STATISTICA

Le statistiche descrittive (media e deviazione standard) sono state utilizzate per riassumere i dati, confrontando l'analisi cefalometrica VOSP e POSTOP. Tutte le

misure di simmetria sono state tabulate sia come valori con segno che come valori assoluti, ad eccezione dell'indice Wits. Il test Wilcoxon non parametrico è stato utilizzato per confrontare le analisi cefalometriche. Il livello di significatività è stato impostato ad $\alpha=0,05$.

Risultati

I dati cefalometrici 3D di VOSP e POSTOP sono elencati nella Tabella 4.

3D Cephalometric measurements		NORM	VOSP Avg	VOSP S.D.	POSTOP Avg	POSTOP S.D.	WILCOXON P value
SAGITTAL SKELETAL	WITS (mm)	0±2	-3.24	3.33	-4.14	2.58	0.033
	A/McNamara (mm)	2 ± 2	5.05	2.64	4.1	2.6	0.053
	B/ McNamara (mm)	0 ± 2	6.01	3.73	5.68	3.77	0.398
	Pog/McNamara (mm)	4	8.05	4.82	7.98	5.94	0.794
	Facial Axis Angle (°)	90 ± 3	89.23	4.05	90.35	3.56	0.091
	Tweed Mandibular angle (°)	26 ± 4	21.61	4.36	23.6	3.83	0.227
	PFH/AFH	0.65 - 0.75	0.67	0.04	0.64	0.04	0.01
	Mean Maxillary Length (mm)	n.a.	98.97	6.58	98.49	5.79	0.136
	△ Maxillary Length (mm)	n.a.	1.64	1.26	1.64	1.45	0.984
	Mean Mandibular Length (mm)	n.a.	130.29	11.14	130.71	10.88	0.52
	△ Mandibular Length (mm)	0	2.52	2.03	1.91	1.71	0.277
	Mean Md Body Length (mm)	n.a.	77.83	8.28	78.62	6.15	0.904
	△ Md Body Length (mm)	0	2.04	1.95	2.27	1.83	0.845
	Mean Gonial Angle (°)	n.a.	59.03	5.91	57.08	5.86	0.098
	△ Gonial Angle (°)	0	2.14	1.45	1.93	1.30	0.748
FRONTAL SKELETAL	ANS - SagPL (mm)	0	1.2	1.57	1.01	0.92	0.687
	A - SagPL (mm)	0	1.41	1.95	0.98	0.72	0.687
	B - SagPL (mm)	0	1.94	3.16	1.38	0.94	0.381
	Pog - SagPL (mm)	0	2.64	3.96	1.71	1.25	0.952
	△ Go - SagPL (mm)	0	3.91	4.66	2.63	2.02	0.334
	△ J - SagPL (mm)	0	2.67	3.21	2.22	1.45	0.872
	△ Zy - SagPL (mm)	0	1.52	1.39	1.01	1	0.327
VERTICAL SKELETAL	Facial ratio	n.a.	0.96	0.07	0.97	0.06	0.063
	Mandibular ratio	n.a.	1.3	0.14	1.3	0.13	0.647
	Mean Md Ramus Length (mm)	n.a.	62.8	7.5	61.21	7.86	0.099
	△ Md Ramus Length (mm)	0	2.11	1.87	1.81	1.41	0.573
SAGITTAL DENTOALVEOLAR	Incisal Protrusion (mm)	4-6	5.68	2.56	6.53	2.63	0.084
	Uls/Occlusal Plane Angle (°)	54± 2	59.65	4.94	53.85	4.77	0
	IMPA (°)	90 ± 5	91.32	6.93	92.12	6.17	0.243
	Overbite (mm)	2.5 ± 2	1.67	0.88	1.89	0.88	0.243
	Overjet (mm)	2.5 ± 2	1.93	0.84	3.11	0.8	0.001
	Occlusal Plane Inclination (°)	6 ± 5	5.31	2.77	6.05	3.27	0.777
	Lls/B-plane Angle (°)	25 ± 4	19.28	5.21	19.59	7.04	0.601
FRONTAL DENTOALVEOLAR	Uls - SagPL (mm)	0	1.76	2.39	1.52	1.04	0.355
	Lls - SagPL (mm)	0	1.7	2.44	1.77	1.35	0.133
	U3 - SagPL Mean (mm)	n.a.	17.45	1.37	17.58	1.12	0.856
	△ U3 - SagPL (mm)	0	3.08	3.39	3.04	2.73	0.546
	U6 - SagPL Mean (mm)	n.a.	26.64	1.43	26.74	1.97	0.936
	△ U6 - SagPL (mm)	0	2.77	2.95	2.54	2.19	0.904

VERT. D.A.	△ U3 - FH (mm)	0	0.88	1.27	0.93	0.66	0.067
	△ U6 - FH (mm)	0	1.37	1.85	0.76	0.55	0.199

Secondo l'analisi scheletrica sagittale, sia nel VOSP che nel POSTOP i mascellari erano, in media, in una posizione bi-protrusa: le distanze dei punti A, B e Pog dalle loro proiezioni sul piano McNamara erano, infatti, aumentate rispetto ai rispettivi standard. Tuttavia, il mascellare superiore post-operatorio sembrava rimanere retruso rispetto alla posizione prevista. Questo spostamento, rappresentato dalla distanza A/McNamara, è vicino alla significatività statistica ($p = 0,053$).

In media, abbiamo osservato una leggera tendenza verso la III classe scheletrica valori di Wits sia del VOSP che POSTOP. Se confrontati, i risultati ottenuti sembrano essere significativamente diversi da quelli pianificati ($p = 0,033$).

L'analisi Dento-Alveolare Sagittale ha mostrato che l'incisivo superiore è più protruso nel campione post-trattamento e leggermente al di fuori degli intervalli normali descritti da James A. McNamara Jr. Di conseguenza, l'inclinazione incisiva superiore (UI/Occulsal) è significativamente più acuta dopo il trattamento ($p < 0.001$).

Per quanto riguarda l'angolo mandibolare di Tweed abbiamo ottenuto una tendenza media all'ipodivergenza, ma il valore della norma si trova ancora all'interno della deviazione standard della nostra coorte.

L'Analisi Scheletrica Frontale, e in particolare i valori strettamente frontali (Deviazione Sub-nasale (ANS - SagPL), Deviazione Mascellare (A - SagPL), Deviazione Mandibolare (B - SagPL), Deviazione Mentale (Pog - SagPL)), ha

mostrato un aumento proporzionale della deviazione dal piano sagittale in direzione cranio-caudale, sia nel VOSP che nel POSTOP.

L'analisi Frontale Dento-Alveolare ha mostrato un incremento della deviazione della mediana inter-incisale nell'esito postoperatorio rispetto alla pianificazione, tuttavia, non è statisticamente significativa.

La distanza media dal piano sagittale e il delta di canini e molari non mostrano valori statisticamente significativi. Lo stesso vale per l'analisi verticale Dento-Alveolare.

L'Overbite è esitato in una lieve diminuzione nel VOSP, mentre nell'analisi Overjet la differenza tra pianificato e risultato è stata vicina a 1 mm, ma solo quest'ultima è stata statisticamente significativa.

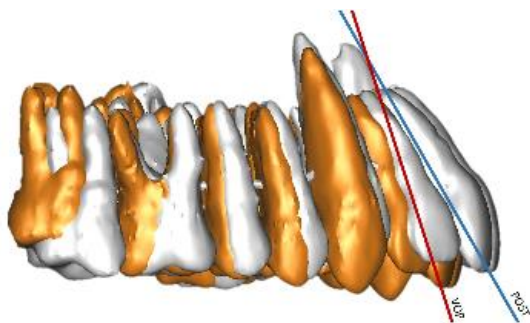
Discussione

Sebbene sia già un approccio diffuso e approvato, alcuni aspetti della SF necessitano di ulteriori indagini per migliorarne l'affidabilità. In particolare, ci siamo concentrati sulla descrizione delle sue carenze nella riproducibilità del Piano Chirurgico Virtuale per mezzo della cefalometria tridimensionale. La 3DCA è scarsamente descritta in letteratura e non è stato raggiunto alcun consenso generale per quanto riguarda i punti di riferimento standard da adottare^{16,96,99}. Per quanto ne riguarda, nessuno studio descrive un'analisi cefalometrica 3D da impiegare come strumento diagnostico e di pianificazione con particolare attenzione all'approccio SF.

Nella coorte considerata, la posizione mascellare era, in media, meno avanzata rispetto alla pianificazione chirurgica virtuale, come dimostra la differenza in A - SagPL vicina alla significatività statistica ($p = 0,053$). Il mascellare superiore è risultato più di 1 mm posteriore spostato rispetto a VSP (Fig. 46).



Questo risultato può essere in parte attribuito alla stabilità occlusale meno salda durante il periodo peri-chirurgico, in parte a uno spostamento posteriore del punto A per la gestione estetica intraoperatoria, e in parte allo spostamento condilare posteriore nella fossa quando si guida la mascella superiore in posizione ¹⁰⁰. La posizione retrusa della mascella è indicata dal valore dato dall'analisi Dento-Alveolare Sagittale della protrusione incisale, che è maggiore del previsto ($5,68 \pm 2,56$ mm) nel risultato post-operatorio ($6,53 \pm 2,63$ mm). Ciò può essere spiegato dall'inevitabile compensazione ortodontica che deve essere eseguita dopo il riposizionamento mascellare. L'ortodontista dovrebbe impostare un torque positivo sugli incisivi centrali, al fine di ottenere una corretta relazione occlusale. Questi dati



trovano ulteriore conferma nel valore di inclinazione incisale, che è più acuto nel post-trattamento ($53,85 \pm 4,77$ °) rispetto a quello previsto ($59,65 \pm 4,94$ °) (Fig. 47), e nel valore di overjet significativamente

umentato nel risultato postoperatorio (VOSP: $1,93 \pm 0,84$ mm; POSTOP: $3,11 \pm 0,8$ mm).

Inoltre, l'instabilità oclusale è probabile che richieda una maggiore compensazione mandibolare. Nel complesso, si può ipotizzare che l'imprevedibilità inerente a Surgery-First possa portare a una leggera sotto-correzione del dismorfismo.

Anche se il mascellare superiore era meno avanzato del previsto, i pazienti hanno mostrato, in media, la protrusione maxillo-mandibolare considerato il piano di riferimento di McNamara. Questa constatazione è conforme alla letteratura disponibile, che riporta che questa tendenza è per lo più prevalente nei pazienti più giovani (cioè la biprotrusione giovanile)¹⁰¹. Tale constatazione può anche essere giustificata da una preferenza estetica per una leggera biprotrusione nei paesi mediterranei, come riportato da Pironi et al⁹⁷

La maggior parte dei pazienti ha mostrato una tendenza verso la classe scheletrica III nell'analisi cefalometrica post-trattamento, secondo l'indice Wits. Tuttavia, va notato che il 65% del campione aveva una malocclusione scheletrica di classe III prima del trattamento: spesso i pazienti di classe III tendono a mostrare tratti lievi di classe III anche dopo l'intervento chirurgico, a causa di limitazioni chirurgiche e anatomiche come riportato in modo simile nella letteratura^{102,103}. Nel suo genere, l'indice Wits essendo una misura di costruzione, non può rappresentare l'unica guida all'interno della pianificazione globale dei casi, in cui è necessario considerare l'intero risultato estetico; pertanto, un compromesso sul risultato cefalometrico può essere accettato.

Nella coorte analizzata, la simmetria frontale tende a diminuire nella direzione cranio-caudale. Questo fenomeno può essere nuovamente correlato alla scarsa stabilità oclusa peri-operatoria, che può provocare un allineamento imperfetto delle linee mediane incisive. Infatti, una volta che il mascellare superiore è correttamente centrato, gli altri valori di simmetria frontale possono essere ancora

più inclini a essere spostati durante la finalizzazione ortodontica post-operatoria. Un altro motivo per la sotto-correzione delle asimmetrie mandibolari è la possibile presenza di lievi deformità della regione mentale che non possono essere completamente corrette con la sola chirurgia BSSO; pertanto, gli unici punti della linea mediana mandibolare cefalometrici possono risultare inaffidabili per una valutazione del risultato.

Una possibile limitazione di questo studio è legata alla non omogeneità del campione, a causa del fatto che la maggior parte dei pazienti soffriva di deformità di classe III. Tuttavia, è più probabile che i pazienti scheletrici di classe III si sottopongano a chirurgia SF rispetto ai pazienti di classe II ¹⁰⁴.

CONCLUSIONI

Nella nostra esperienza, abbiamo trovato la SF essere inevitabilmente legata a una serie di carenze, a causa della prevedibilità inferiore di previsione del risultato complessivo. All'interno del nostro campione, il riposizionamento sagittale del mascellare rappresenta il principale fattore di imprevedibilità, in quanto mostra, in media, una tendenza ad essere sottocorretto, rimanendo così retruso rispetto alla pianificazione. Questo deve essere compensato ortodonticamente tramite protrusione e proclinazione incisale, portando ad un overjet complessivo aumentato.

La nostra 3DCA offre in ogni caso una valida guida nell'esecuzione della pianificazione ortodontica e chirurgica virtuale e aiuta chirurghi e ortodontisti a pianificare e analizzare le procedure di chirurgia ortognatica soprattutto in SF. Tuttavia, è necessario valutare l'esperienza dell'operatore, l'uniformità globale dei punti di riferimento e l'efficienza dei tempi nell'esecuzione della 3DCA.

**Capitolo 4: Progetti di ricerca attivi
nell'ambito dell'utilizzo dei PSI mandibolari
in chirurgia ortognatica**

“Validation of a patient-specific system for mandible-first bimaxillary surgery: ramus and implant positioning precision assessment and guide design comparison”

Introduzione

I dispositivi CAD / CAM, ampiamente noti come impianti paziente-specifici (PSI), sono stati sempre più adottati in chirurgia ortognatica e, come da recenti evidenze in Letteratura, sono in grado di ottenere una migliore precisione per il trasferimento della pianificazione virtuale sul paziente (Gander 2015, Lin 2015) ^{105,106}. Diversi autori hanno descritto e /o convalidato l'uso di PSI per l'osteotomia mascellare e il suo riposizionamento (Mazzoni 2015, Kraeima 2016, Suojanen 2016, Xue 2018) ^{77,107-109}. Al contrario, pochi autori, hanno descritto l'uso dei PSI per l'osteotomia bilaterale della mandibola (BSSO) (Savoldelli, Li, Suojanen, Brunso) ^{78,79,110,111}, il che appare coerente con la necessità di una riproduzione accurata dei movimenti complessi e in parte incontrollati del segmento condilare. Inoltre, ancora meno autori descrivono l'applicazione dei PSI nella chirurgia ortognatica bimascellare, anche se non sono state completamente studiate le potenziali imprecisioni della fissazione CAD / CAM mascellare e mandibolare (Li 2018, Suojanen 2017) ^{78,111}. Lo scopo di questo studio è dimostrare che l'approccio Mandible First con la fissazione CAD / CAM nella osteotomia mandibolare (BSSO) potrebbe aiutare a superare l'inapplicabilità dei PSI nelle chirurgie bimascellari combinate. Lo scopo di questo lavoro è misurare la riproducibilità della pianificazione digitale in una coorte di pazienti trattati con questo approccio. Nello specifico, ci siamo concentrati sull'accuratezza della riproduzione dell'anatomia mandibolare pianificata. Sono stati confrontati tre diversi modelli di guide di posizionamento PSI in termini di accuratezza nel trasferimento del piano chirurgico virtuale al paziente.

Metodi

Abbiamo incluso prospettivamente 22 pazienti - sette maschi e quindici femmine, età media 26 (range 18-43), sottoposti a chirurgia ortognatica bimascellare presso l'Unità di Chirurgia Orale e Maxillo-Facciale dell'Ospedale Universitario Sant'Orsola-Malpighi (Bologna, Italia) tra Luglio 2017 e Giugno 2019. A otto pazienti è stata diagnosticata una deformità scheletrica di classe 2 (uno con asimmetria facciale combinata), a dieci è stata diagnosticata una classe scheletrica 3 (sei con asimmetria combinata), a tre pazienti è stata diagnosticata un'asimmetria facciale di classe 1 e uno con morso aperto anteriore. Il presente protocollo è stato approvato dal Comitato Etico dell'Ospedale Universitario Sant'Orsola-Malpighi (n. Approvazione 238/2012/0 / Disp PL02, modificato il 18/10/2016); lo studio era conforme ai principi della Dichiarazione di Helsinki. Il consenso informato è stato ottenuto da tutti i pazienti al momento dell'arruolamento nello studio.

Il flusso di lavoro dello studio consisteva nelle seguenti fasi:

- (1) acquisizione dei dati,
- (2) pianificazione virtuale,
- (3) progettazione computer assistita e stampa 3D di guide di posizionamento e impianti personalizzati,
- (4) chirurgia ortognatica,
- (5) valutazione dei risultati.

Acquisizione dei dati

I pazienti sono stati arruolati quando il trattamento ortodontico preoperatorio era stato completato o quando era stata raggiunta un'occlusione adeguata e stabile. Tutti i pazienti hanno eseguito una scansione CBCT preoperatoria (NewTom VGI Evo— Gruppo Cefla, Imola, Italia), (FOV 24 × 19 cm, voxel 0,3 mm) in una posizione naturale della testa (NHP) determinata clinicamente e utilizzando un morso in cera

ottenuto in relazione centrica stabilita clinicamente (con l'aiuto della manovra di Dawson), 1 mese prima dell'intervento.

I modelli digitali dentali sono stati acquisiti utilizzando lo scanner intraorale CS 3600 (Carestream Health Inc, Rochester, NY, USA) per produrre file .STL e ottenere un modello virtuale delle arcate dentali. I modelli digitali sono stati stampati in 3D utilizzando una stampante stereolitografica (Form 2, Formlabs Inc., Somerville, MA, USA) e l'occlusione finale è stata determinata manualmente. I modelli in occlusione finale sono stati nuovamente scansionati ottenendo il corrispondente modello digitale (formato .STL).

Pianificazione virtuale

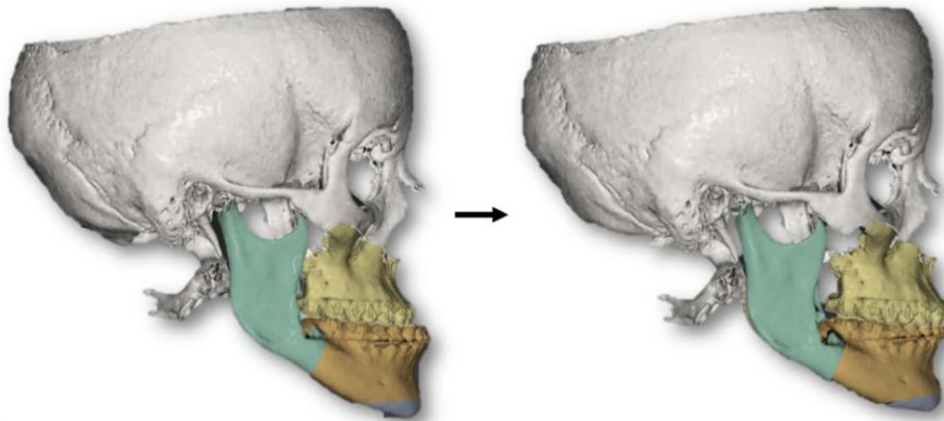
I set di dati CT Cone-beam (esportati in formato DICOM) e i dati delle scansioni intraorali sono stati elaborati dal chirurgo utilizzando il software IPS Case Designer (KLS Martin, Tuttlingen, Germania). Questo software ha permesso di segmentare i tessuti duri facciali del paziente e registrare i modelli digitali dentali con un algoritmo semiautomatico. Inoltre, ha permesso di eseguire un'analisi cefalometrica tridimensionale, secondo Swennen ¹¹², la BSSO virtuale è stata progettata per replicare l'osteotomia ottenibile attesa. L'équipe chirurgica ha realizzato la pianificazione chirurgica virtuale secondo parametri estetici e misurazioni cefalometriche. Ciò ha permesso di pianificare gli aggiustamenti del frammento di condilo / ramo fissato sul centro geometrico della testa condilare, con i seguenti obiettivi:

- (1) evitare l'interferenza con il frammento dento-portatore;
- (2) individuare le interferenze del frammento linguale da gestire con osteotomie aggiuntive selettive ;
- (3) allineare i bordi inferiori sul piano sagittale;
- (4) ottenere il minor spostamento condilare possibile compatibile con le regolazioni del ramo richieste.

Sulla base del piano chirurgico virtuale sono stati progettati gli splint chirurgici (intermedio e finale). La chirurgia mandibolare è stata concepita come un intervento potenzialmente senza splint, sono stati tuttavia prodotti gli splint chirurgici per avere una soluzione di backup in caso di fallimento intraoperatorio del sistema. Infine, lo splint intermedio è stato sistematicamente utilizzato per mantenere stabile il frammento dento portatore durante le fasi di fissazione.



A



B

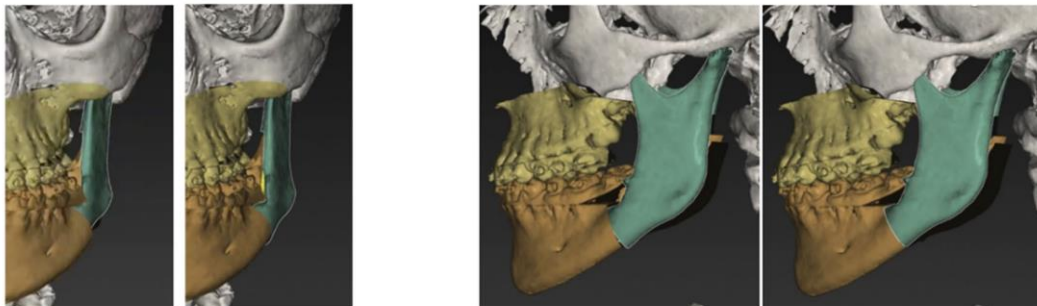


Figura 448 (A) Osteotomie virtuali in IPS CaseDesigner. (B) Virtual surgery planning in IPS CaseDesigner. (C) Posizionamento dei rami in IPS CaseDesigner

Progettazione e produzione dei PSI e delle guide di posizionamento

Il piano chirurgico è stato caricato come formato proprietario (.ips per la pianificazione, .spl per gli splint) al servizio tecnico attraverso la piattaforma web IPS Gate (KLS Martin, Tuttlingen, Germania). Sono stati caricati anche i set di dati originali (scansione CBCT e modelli digitali). Successivamente, il servizio tecnico di KLS Martin, con la guida del chirurgo, ha progettato le guide di posizionamento mandibolari personalizzate, le placche paziente-specifiche e gli splint. Le guide di posizionamento sono state progettate per guidare con precisione le osteotomie; le guide per le viti di fissazione sono state progettate in modo da evitare le radici dei denti e il nervo alveolare inferiore.

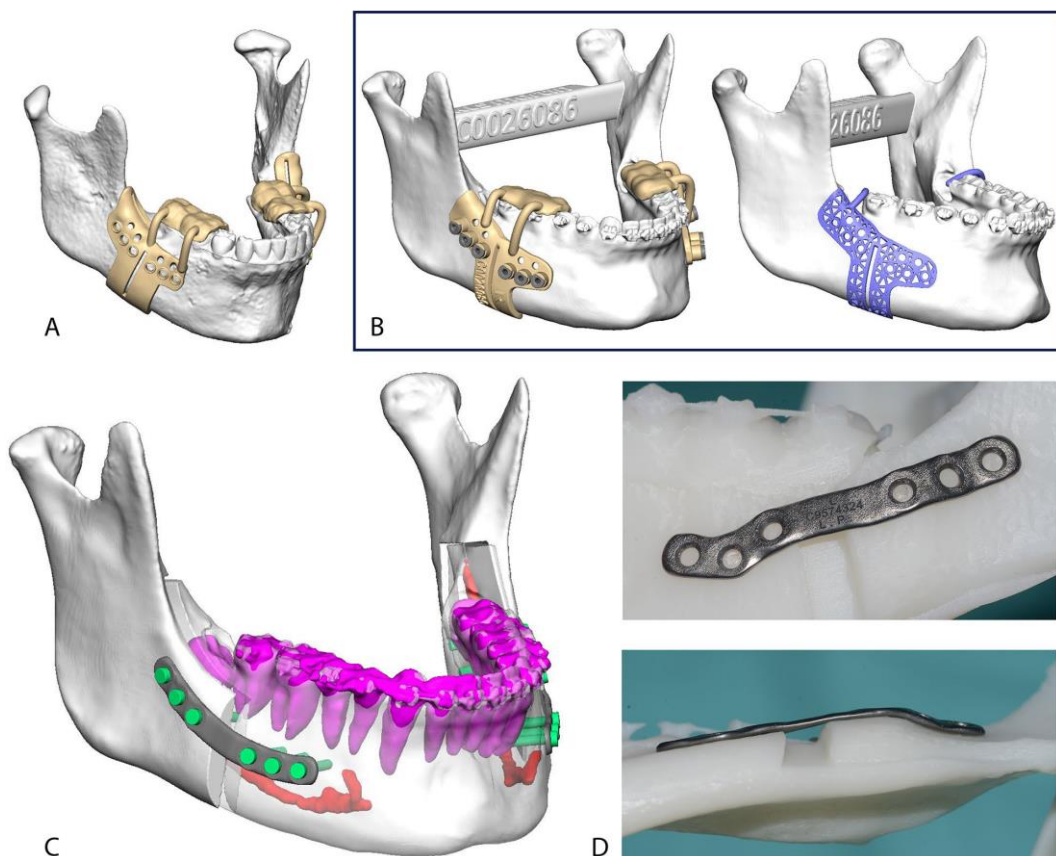


Figura 4945 (A) Design A. della guida (B) Design B e C (C) Placca mandibolare disegnata nel rispetto delle radici degli elementi dentali e del nervo alveolare inferiore (D) Esempio di placca

Sono state utilizzate tre tipologie di guide in tutto il processo: il modello A è stato realizzato in poliammide selettiva sinterizzata al laser (SLS) ed era composto da uno “scudo” mandibolare con una scanalatura per l'osteotomia verticale e una scanalatura per l'osteotomia sagittale; un gancio inferiore per il bordo inferiore; fori per le viti di guida (1,5 mm) e per il trasferimento delle placche su misura (2,0 mm); un braccio di riferimento era aderente alla superficie oclusale degli ultimi due elementi dentali dell'arcata del paziente al fine di massimizzare la precisione e la stabilità della guida durante l'intervento. Il design B era analogo al design A tranne che per l'introduzione di manicotti in acciaio inossidabile lunghi 7 mm nei fori di trasferimento e il taglio della parte più linguale dello scudo. Il Design C è stato realizzato in lega di titanio Direct Metal sinterizzata al laser (DMLS) (Ti6Al4V), sostituendo il guscio solido con una maglia triangolare. Il riferimento dentale è stato sostituito da un gancio che si agganciava all'ultimo o al penultimo dente dell'arcata dentale del paziente; è stato evitato in questo design un riferimento dentale dettagliato a causa della possibile inapplicabilità della guida, dei costi di produzione e per limitare il contatto tra il titanio e lo smalto dei denti. Le placche in titanio personalizzate sono state progettate per riposizionare i frammenti mandibolari prossimali e distali nelle loro posizioni pianificate, utilizzando i fori precedentemente praticati (2.0 mm) per la fissazione delle viti come riferimento. Le placche sono state prodotte utilizzando la stampa 3D in lega di titanio (Ti6Al4V) con tecnica Direct Metal Laser Sintering (DLMS) . Gli splint sono stati prodotti utilizzando resina dentale stampata in 3D. KLS Martin ha fornito anche modelli digitali tridimensionali dei frammenti ossei e delle placche (in formato .STL).

Chirurgia

Tutti i pazienti sono stati operati dallo stesso chirurgo attraverso un approccio Mandible First, utilizzando il sistema individualizzato prima descritto.

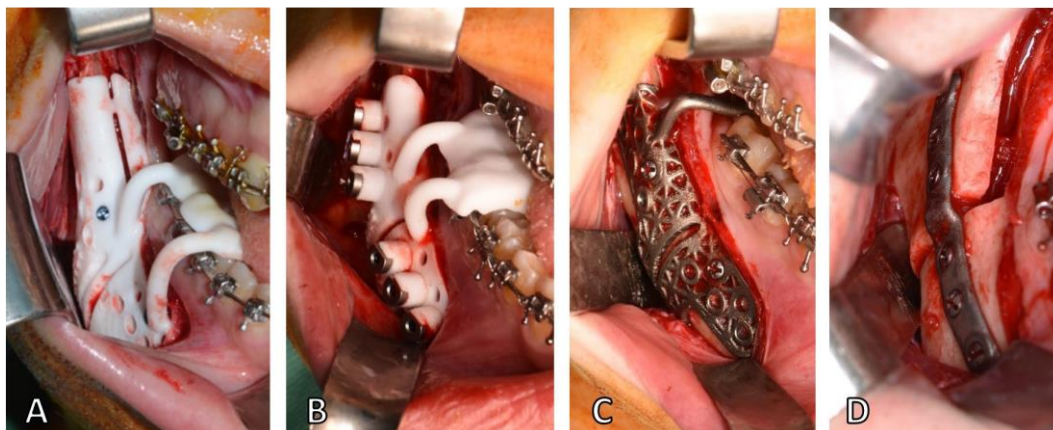


Figura 5046 Visione intraoperatoria del design A di guida (A), design B (B), design C (C) e placca posizionata (D).

La superficie ossea mandibolare è stata esposta con incisione vestibolare convenzionale per eseguire BSSO. La guida è stata fissata alla mandibola con due viti in titanio utilizzando i fori di fissazione progettati (1,5 mm) per evitare qualsiasi mobilizzazione durante l'osteotomia. Con la guida in posizione, il chirurgo ha contrassegnato le linee osteotomiche utilizzando strumenti ad ultrasuoni (Piezo-Surgery, Mectron SpA, Cerasco, Italia) e ha praticato i fori di trasferimento per la placca utilizzando una fresa angolata "Angulus 2" (KLS Martin, Tuttlingen, Germania). Quindi la guida è stata rimossa per completare l'osteotomia. Alla fine, i frammenti prossimale e distale sono stati fissati nella posizione pianificata utilizzando le placche paziente-specifiche sotto la guida dei fori di trasferimento pre-forati (2,0 mm). Lo splint CAD / CAM intermedio è stato utilizzato per massimizzare la stabilità del frammento dento portatore durante l'esecuzione dell'osteosintesi. Il mascellare superiore è stato gestito secondo planning e fissato utilizzando miniplacche in titanio standard piegate manualmente e viti sotto la guida dello splint CAD / CAM finale.

Le guide del modello A sono state utilizzate su entrambi i lati della mandibola per i primi 12 pazienti. Per gli ultimi dieci pazienti, le guide dei modelli B e C sono state utilizzate seguendo una procedura a split mouth; una volta tracciate le linee osteotomiche e praticati i fori delle viti con un tipo di guida, la guida è stata rimossa

ed è stata applicata la guida analogica di design opposto per effettuare un controllo incrociato dei fori e delle linee osteotomiche.

Sono stati valutati anche i fallimenti e le complicanze intraoperatorie.

Valutazione dei risultati

Tutti i pazienti sono stati sottoposti a imaging post-operatorio con una CBCT 1 mese dopo l'intervento chirurgico, prima dell'inizio del trattamento ortodontico post-operatorio e di eventuali movimenti dentali, utilizzando la stessa macchina e gli stessi parametri preoperatori e il mantenimento dell'occlusione alla massima intercuspide. I dati DICOM post-operatori sono stati elaborati per ottenere un modello 3D del cranio, della mandibola e delle placche mandibolari post-operatorie con il software DICOM to Print (3D Systems, Rock Hill, SC, USA) ed esportato in formato STL. In questo primo studio ci siamo concentrati sulla mandibola. Le mesh pianificate e post-operatorie sono state confrontate utilizzando il software open source CloudCompare (CloudCompare Project, cloudcompare.org): i frammenti dento portatori sono stati registrati con un metodo di allineamento iterativo closest point (ICP) (Fig. 51 A), e successivamente ispezionati visivamente tramite generazione di mappe colorimetriche di superficie per verificare l'allineamento (Fig. 52 B). Abbiamo quindi valutato la discrepanza tra la posizione post-operatoria pianificata e ottenuta delle placche e dei rami mandibolari analizzando le discrepanze in termini di rotazione (rollio, beccheggio e imbardata) e traslazione (antero-posteriore, laterale e verticale). Questi movimenti sono stati determinati incorporando i segmenti in bounding boxes omologhe, allineando il modello pianificato al risultato postoperatorio tramite ICP e mappa colorimetrica (Fig. 53 C, D), valutando quindi lo spostamento traslazionale del centro geometrico e lo spostamento rotazionale del modello secondo la convenzione degli angoli di Eulero.

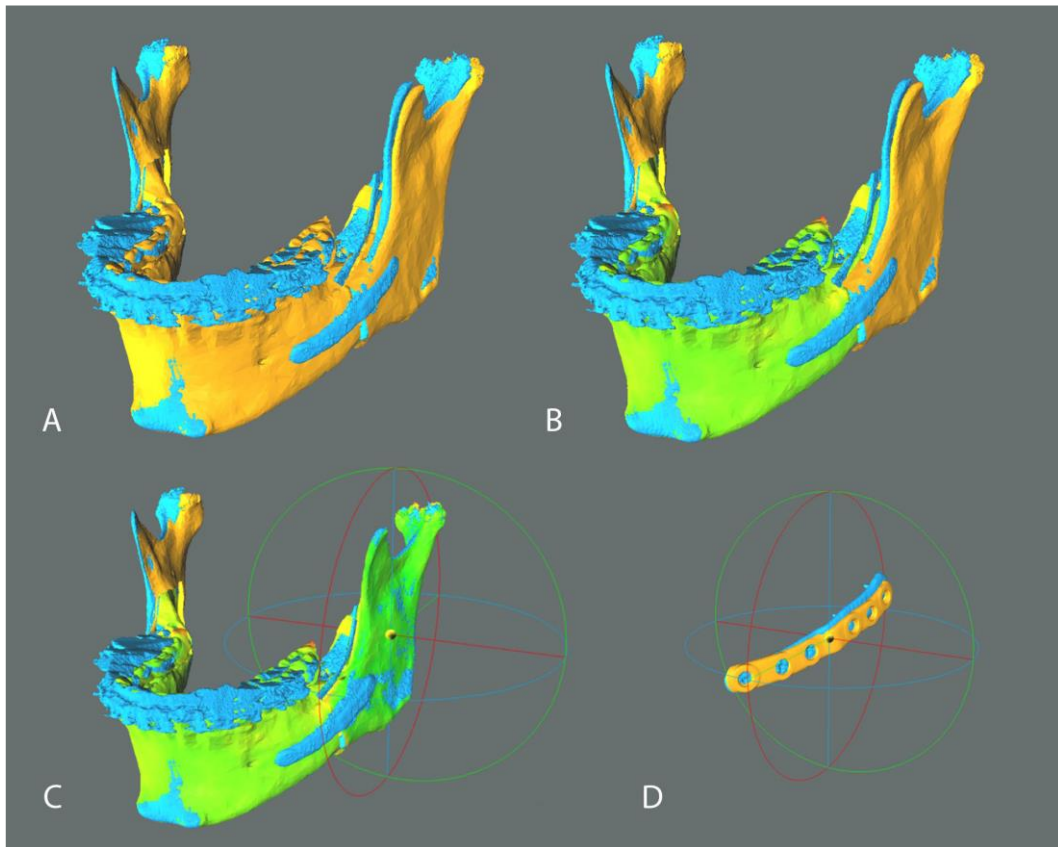


Figura 5147 Metodo di analisi con CloudCompare v2.9.1. I modelli pianificati (arancione) sono allineati ai post-operatori (blu) sulla base del segmento dento portatore (A). Le mappe colorimetriche di superficies ono state utilizzate per valutare l'allineamento (B). I rami pianificati sono stati allineati a quelli post-operatori registrando la matrice di spostamento e verificati con mappa colorimetrica di superficie (C). Lo stesso procedimento è stato attuato per i PSI (D).

Le discrepanze trovate sono state considerate e tabulate in base al lato del paziente (destro o sinistro) applicando una convenzione medio-laterale. I valori con segno positivo identificano le traslazioni in avanti, verso l'alto e laterali; un angolo di beccheggio positivo identifica una rotazione in senso orario vista dal lato destro laterale del paziente; un angolo di rollio positivo identifica uno spostamento laterale del margine caudale del ramo; un angolo di imbardata positivo indica uno spostamento laterale del margine anteriore del ramo. Questa convenzione ha consentito il confronto tra i lati mandibolari opposti.

Per ottenere una descrizione completa dello spostamento angolare e traslazionale di ogni modello 3D considerato, sono stati definiti altri due parametri: errore angolare totale ed errore traslazionale totale. Il primo è l'angolo nella rappresentazione asse-

angolo di una trasformazione del corpo rigido, mentre il secondo è il modulo del vettore di traslazione. Entrambe le misure sono sempre positive per definizione e sono state utilizzate per evitare che gli spostamenti positivi e negativi si annullino a vicenda nella descrizione media dello spostamento.

Lo stesso protocollo è stato applicato per confrontare la scansione CBCT preoperatoria e il pianificato, al fine di quantificare lo spostamento tridimensionale pianificato per ciascun ramo mandibolare rispetto alla posizione preoperatoria. Per eseguire questa valutazione, l'allineamento ICP è stato eseguito facendo riferimento alla base cranica come riferimento fisso.

Sono stati valutati anche i fallimenti e le complicanze postoperatori.

Analisi statistiche

Data la dimensione limitata del campione ($n = 44$), tutte le misure sono state riassunte utilizzando l'intervallo mediano e interquartile (IQR). Tuttavia, per consentire il confronto con la letteratura esistente, sono state fornite anche la media e la deviazione standard per ciascuna misura. Sono stati utilizzati i boxplot per visualizzare la distribuzione di frequenza delle misure. In tutti i casi sono stati utilizzati test non parametrici a due code a causa della dimensione limitata del campione e della teorica distribuzione asimmetrica degli errori angolari e traslazionali totali.

Poiché in un'analisi preliminare (Mann-Whitney U-Test) eseguita sui primi 12 pazienti non è stata riscontrata alcuna differenza significativa nella precisione dei rami e nel posizionamento della placca tra i lati sinistro e destro, i rami e le placche sono stati considerati entità separate, senza riferimento dei lati.

Il coefficiente di correlazione di Spearman ($n = 44$) è stato utilizzato per esaminare la misura in cui imprecisioni nella posizione finale della placca erano associate a imprecisioni nella posizione del ramo. Allo stesso modo, è stata studiata la correlazione tra le trasformazioni preoperatorie e pianificate dei rami e l'imprecisione nella posizione finale dei rami, al fine di determinare se maggiori spostamenti pianificati potessero aumentare l'inesattezza del risultato.

È stato eseguito il test di Kruskal – Wallis (n = 44) seguito da confronti a coppie per analizzare le differenze nella posizione post-operatoria di rami e placche tra i disegni delle guide.

Per eseguire le analisi è stato utilizzato IBM SPSS Statistics 25 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Per tutti i test il livello di significatività è stato impostato su $\alpha = 0,05$.

Risultati

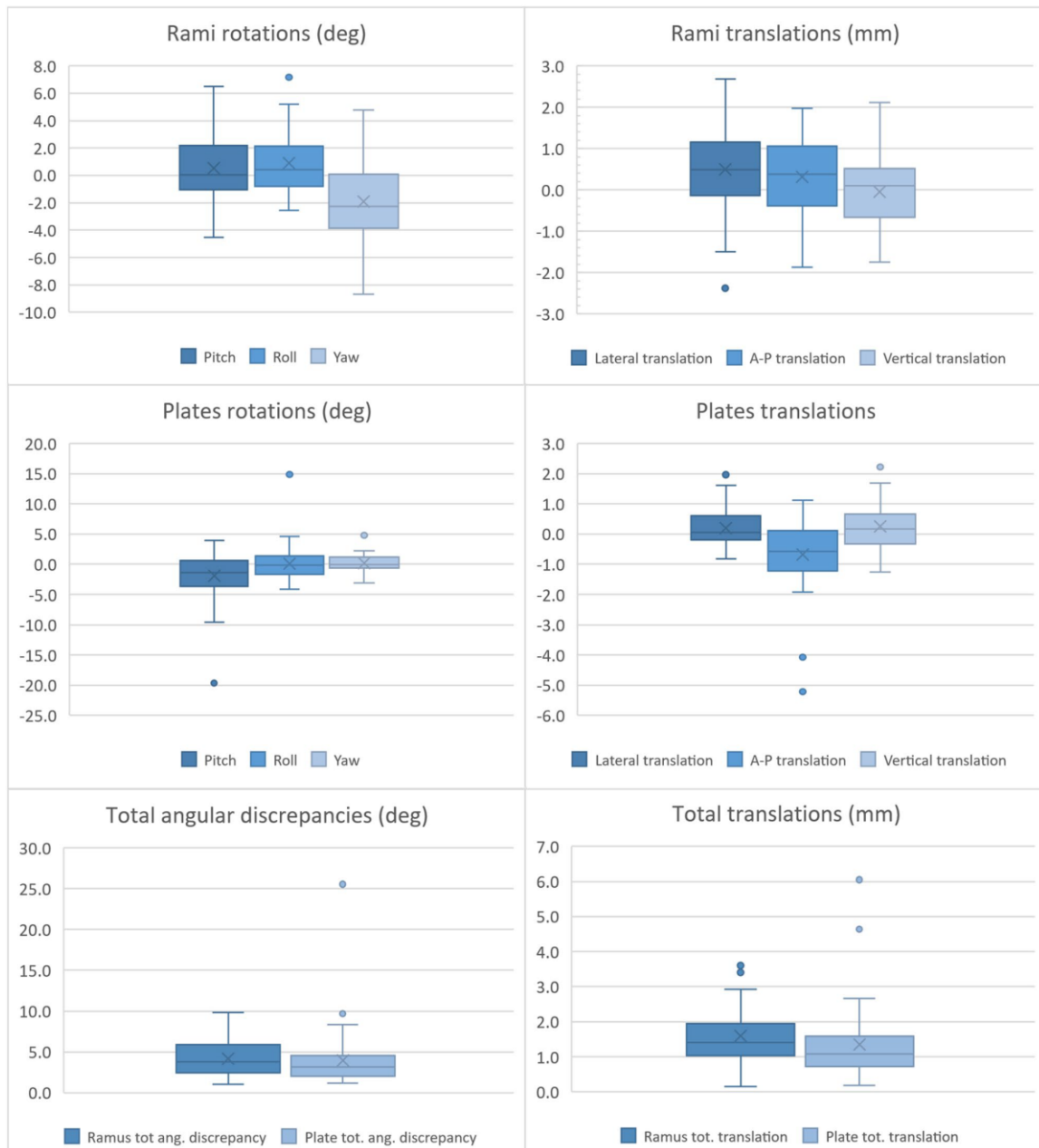
Intraoperatoriamente, il sistema ha avuto successo in tutti i casi, senza la necessità di ritornare al metodo convenzionale con le placche in titanio piegate manualmente. Da un punto di vista clinico, il risultato in termini di verticalità, allineamento della linea mediana incisale, esposizione incisale e simmetria complessiva è stato ritenuto soddisfacente in tutti i pazienti. Il follow-up medio è di 14 mesi (range 5-29). La frequenza degli eventi avversi postoperatori è riportata nella tabella sottostante.

Media follow up (range)	14 mesi (5-29)
Fallimenti intra-operatori	0
Infezioni post-operatorie	2
Fallimenti a lungo termine tali da richiedere la rimozione	0
Lesioni nervose	0
Sintomi ATM recenti	2
Sintomi ATM tardivi	2

Le statistiche descrittive sono riportate nella tabella sottostante.

		Pitch angle	Roll angle	Yaw angle	Total angular discrepancy	Lateral translation	A-P translation	Vertical translation	Total translation
		deg				mm			
Rami Δ plan- outcome	Median	0.03	0.42	-2.26	3.77	0.49	0.38	0.10	1.41
	IQR	3.09	2.60	3.80	3.45	1.28	1.37	1.12	0.86
	Mean	0.52	0.90	-1.91	4.17	0.49	0.32	-0.04	1.59
	StDev	2.39	2.15	2.70	2.19	1.05	0.92	0.94	0.77
Plates Δ plan- outcome	Median	-1.35	-0.14	-0.03	3.14	0.05	-0.58	0.18	1.08
	IQR	3.98	3.00	1.64	2.46	0.78	1.29	0.96	0.78
	Mean	-1.93	0.13	0.20	3.97	0.20	-0.68	0.26	1.35
	StDev	3.89	3.04	1.41	3.82	0.64	1.18	0.79	1.06
Rami Δ original- plan	Median	2.56	0.53	0.03	4.10	0.57	1.28	0.78	3.01
	IQR	4.04	1.78	0.44	2.58	1.57	1.86	1.44	2.36
	Mean	2.59	1.09	0.35	4.30	0.59	1.37	0.78	3.49
	StDev	2.62	2.23	1.98	2.23	1.18	1.22	1.06	2.07

Discrepanze tra la posizione programmata e ottenuta delle placche e dei rami sono riportati nei grafici sottostanti.



Per quanto riguarda il posizionamento dei rami, abbiamo ottenuto un errore angolare totale mediano di 3,77 ° (IQR 3,45 °) e un errore traslazionale totale mediano di 1,41 mm (IQR 0,86 mm). Fatta eccezione per l'angolo di yaw (mediana

- 2,26 °, IQR 3,81 °), le discrepanze rotazionali mediane segnate erano entro 0,5 ° dalla posizione pianificata e i rispettivi IQR erano inferiori a 4 °; le discrepanze traslazionali segnate mediane sono rimaste entro 0,5 mm dalla posizione pianificata (la traslazione medio-laterale è la più lontana dalla pianificata a + 0,49 mm) con IQR inferiori a 1,5 mm. Le discrepanze medie rotazionali e traslazionali sono state applicate per creare una rappresentazione grafica esempio che è servita a creare una mappa colorimetrica di confronto fra il risultato mediano simulato e il piano chirurgico con interesse sui rami.

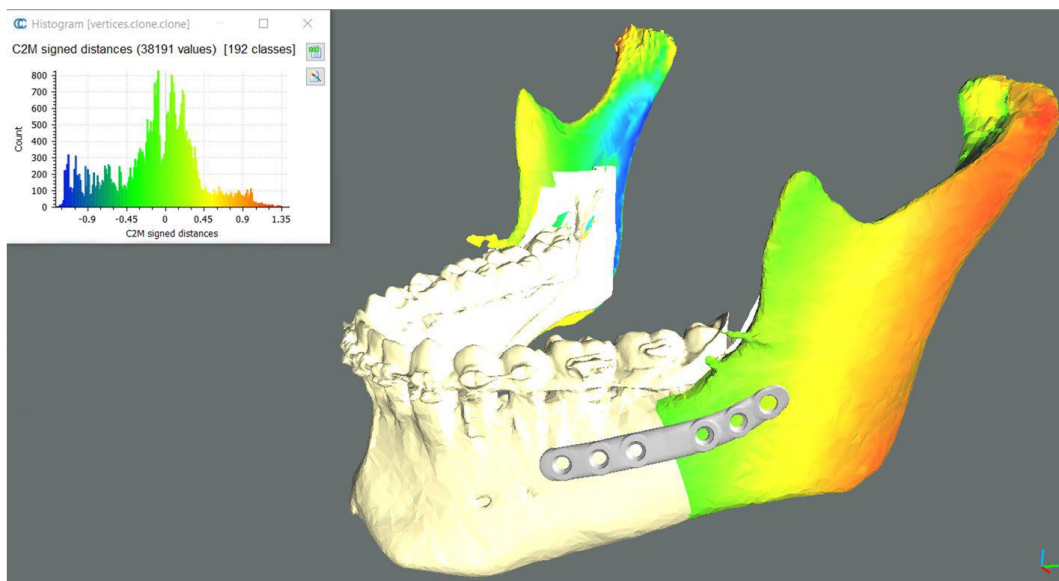


Figura 52 Simulazione della discrepanza media dei rami super-imposta al pianificato.

Nel posizionamento delle placche, l'errore angolare totale mediano era 3,14 ° (IQR 2,46 °) e l'errore traslazionale totale mediano era 1,08 mm (IQR 0,78 mm). A parte l'inclinazione (mediana - 1,34 °, IQR 3,98 °), le discrepanze rotazionali mediane segnate erano entro 0,15 ° dalla posizione pianificata con IQR inferiori a 4 °. Le discrepanze traslazionali erano entro 0,6 mm dalla posizione pianificata (antero-posteriore è la più lontana a - 0,58 mm) con IQR inferiori a 1,5 mm.

I coefficienti di correlazione di Spearman sono riportati nelle tabelle sottostanti.

(a)

			Section A: plates position discrepancy (Δ plan-outcome)						Section B: rami planned displacement (Δ original-plan)					
			Pitch angle	Roll angle	Yaw angle	Lateral trans.	A-P trans.	Vert. trans.	Pitch angle	Roll angle	Yaw angle	Lateral trans.	A-P trans.	Vertical trans.
Rami position discrepancy (Δ plan-outcome)	Pitch angle	Corr. Coeff.	0.070	0.145	0.022	-0.046	-0.112	0.030	-0.184	-0.127	-0.140	-0.148	-0.284	-0.307*
		Significance	0.653	0.347	0.888	0.767	0.470	0.849	0.231	0.410	0.364	0.339	0.061	0.043
	Roll angle	Corr. Coeff.	0.014	.666**	-0.211	0.105	-.327*	.319*	-.448**	-.375*	-0.128	-0.284	-.434**	-.440**
		Significance	0.926	0.000	0.169	0.497	0.030	0.035	0.002	0.012	0.408	0.062	0.003	0.003
	Yaw angle	Corr. Coeff.	0.151	0.051	0.116	-0.045	0.117	-0.210	.329*	0.017	-0.213	-0.094	.314*	.324*
		Significance	0.328	0.742	0.453	0.774	0.451	0.172	0.029	0.910	0.165	0.545	0.038	0.032
	Lateral translation	Corr. Coeff.	-0.214	-.638**	-0.135	0.162	0.164	-0.005	-0.033	0.268	.444**	.320*	-0.023	0.023
		Significance	0.163	0.000	0.381	0.294	0.288	0.972	0.832	0.079	0.003	0.034	0.883	0.883
	A-P translation	Corr. Coeff.	-0.242	-0.067	-0.076	-0.152	0.221	0.175	-0.030	0.040	.302*	0.207	0.012	0.036
		Significance	0.113	0.668	0.622	0.326	0.150	0.255	0.847	0.795	0.046	0.178	0.940	0.817
	Vertical translation	Corr. Coeff.	-.568**	0.268	-0.078	0.136	-0.043	-.654**	0.035	0.099	0.260	0.289	0.059	0.033
		Significance	0.000	0.079	0.616	0.379	0.780	0.000	0.824	0.523	0.089	0.057	0.703	0.834

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).
 **. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

(b)

			Section A Plates Δ plan-outcome		Section B Rami Δ original-plan	
			Total ang. error	Total transl.	Tot. ang. discrepancy	Total transl.
Rami Δ plan-outcome	Total ang. error	Corr. Coeff.	0.251	.349*	-0.257	-.373*
		Significance	0.100	0.020	0.092	0.013
	Total transl.	Corr. Coeff.	.398**	0.243	-0.072	-0.258
		Significance	0.007	0.112	0.644	0.090

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).
 **. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Sono state trovate forti correlazioni positive significative tra la placca e l'angolo di rollio del ramo (0,666, $p < 0,001$) e tra la placca e la traslazione verticale del ramo (0,654; $p < 0,001$). Sono state trovate forti correlazioni negative tra la traslazione verticale dei rami e l'angolo di inclinazione delle placche (- 0,568; $p < 0,001$), e tra la traslazione mediolaterale dei rami e l'angolo di rollio delle placche (- 0,638; $p < 0,001$). Correlazioni significative più deboli sono state trovate tra l'angolo di rollio dei rami e la traslazione sia antero-posteriore (- 0,327; $p = 0,03$) che verticale (0,319; $p = 0,035$). In termini di precisione, sono state trovate correlazioni positive tra l'errore angolare totale dei rami e l'errore di traslazione totale delle placche (0,349; $p = 0,02$) e tra l'errore di traslazione totale dei rami e l'errore angolare totale delle placche (0,398; $p = 0,007$).

Sono state trovate correlazioni significative sia positive che negative tra lo spostamento dei rami originali al pianificato e lo spostamento dei rami pianificati al risultato, attraverso tutti i valori rotazionali e traslazionali. Poiché sono state utilizzate durante la pianificazione per modificare la posizione dei rami solo le trasformazioni rotazionali sulla testa del condilo, le traslazioni dall'originale al pianificato sono state trattate come secondarie del cambiamento del centro di rotazione nel nostro metodo di analisi. Sono state trovate correlazioni negative tra

l'angolo di rollio dei rami dal pianificato al risultato e gli angoli di rollio e beccheggio pianificati (- 0,448; $p = 0,002$ e - 0,375; $p = 0,012$ rispettivamente); anche l'angolo di beccheggio pianificato era positivamente correlato all'angolo di imbardata dal pianificato al risultato (0,329; $p = 0,029$). L'angolo di imbardata pianificato era correlato positivamente alla traslazione lateromediale e antero-posteriore dei rami pianificata rispetto al risultato (0,444; $p = 0,003$ e 0,302; $p = 0,046$ rispettivamente). La traslazione centrale del riquadro di delimitazione dei rami durante la pianificazione era correlata negativamente con l'errore angolare totale dei rami (- 0,373; $p = 0,013$). La correlazione totale tra l'angolo originale e il pianificato con l'errore angolare totale tra il pianificato e il risultato è stata analogamente negativa (- 0,257; $p = 0,092$), sebbene non siano riusciti a raggiungere la significatività statistica.

Nessuna differenza significativa sia nella posizione che nella precisione del posizionamento del ramo è stata trovata tra i disegni delle guide, mentre sono state trovate differenze significative nella posizione finale della placca (traslazione mediolaterale $p = 0,015$, traslazione antero-posteriore $p = 0,005$), con i disegni A, B e C che portano ad una rispettiva traslazione mediolaterale mediana di + 0,51 mm, - 0,06 mm e - 0,26 mm e una rispettiva traslazione mediana anteroposteriore di - 1,03 mm, - 0,19 mm e + 0,07 mm.

Sono state riscontrate differenze significative anche nei valori di precisione di posizionamento delle placche (errore angolare totale $p = 0,006$, errore traslazionale totale $p = 0,001$). Differenze significative ($p < 0,01$) sono state trovate tra i disegni A e B nell'errore angolare totale e nell'errore traslazionale totale. I disegni da A a C differivano nell'errore angolare totale ($p = 0,038$) e i disegni da B a C nell'errore di traslazione totale ($p = 0,019$).

Il design B ha mostrato l'errore di rotazione mediano, (2,03 mm rispetto al design A = 4,35 mm e il design C = 2,65 mm) e l'errore di traslazione (0,64 mm rispetto al design A = 1,44 mm e il design C = 1,02 mm) più basso.

		Rami		Plates	
		Tot. ang. Error	Total translation	Tot. ang. Error	Total translation
Kruskal-Wallis test significance		0.069	0.966	0.006	0.001
Post-hoc Mann-Whitney A-B test significance				0.003	<0.001
Post-hoc Mann-Whitney A-C test significance				0.038	0.186
Post-hoc Mann-Whitney B-C test significance				0.684	0.019
Design A (n=24)	Median	4.68°	1.41mm	4.36°	1.44mm
	IQR	3.62°	0.76mm	1.91°	0.96mm
Design B (n=10)	Median	3.68°	1.48mm	2.03°	0.64mm
	IQR	0.99°	0.76mm	1.15°	0.45mm
Design C (n=10)	Median	2.24°	1.41mm	2.66°	1.03mm
	IQR	2.26°	0.93mm	2.25°	0.67mm

Discussione

Per quanto riguarda l'uso dei PSI nella chirurgia ortognatica mandibolare, la più grande coorte trattata con PSI mandibolari è quella descritta da Suojanen et al., (N = 30)¹¹¹, in cui l'unico risultato considerato era l'applicabilità clinica dei PSI, e non è stata eseguita alcuna valutazione dell'accuratezza del trasferimento del piano chirurgico. La più ampia analisi di precisione sui pazienti trattati con PSI è stata condotta da Li et al.⁷⁸, che ha determinato la precisione da pianificata a post-operatoria del posizionamento dei rami mandibolari con una metodica simile alla nostra (n = 10).

Brunso et al.⁷⁹ hanno riportato l'uso di diversi modelli di guida, tuttavia, non è stato effettuato alcun confronto sulla precisione dei risultati tra casi trattati con modelli diversi e, a nostra conoscenza, nessuno studio ha riportato questo tipo di confronto e / o valutazione del posizionamento della placca.

Una procedura bimascellare senza splint guidata da PSI, come riportato da Li et al.⁷⁸, non consente errori di pianificazione e la correzione del piano intraoperatoriamente, con conseguente possibile inapplicabilità del PSI. Inoltre, la rigidità della lega di titanio sinterizzato rende quasi impossibile la modifica di tali PSI.

Una procedura guidata da PSI mandibolari in Mandible First, pur richiedendo una pianificazione accurata dell'anatomia mandibolare e la previsione delle interferenze del segmento osseo lungo la superficie dell'osteosintesi, è comunque

sufficientemente flessibile da consentire la correzione della verticalità intraoperatoria secondo principi estetici.

Per quanto riguarda l'esito anatomico mandibolare, la discrepanza rispetto alla pianificazione era piccola per tutte le variabili considerate. La tendenza riscontrata di una discrepanza negativa di yaw può essere attribuita a interferenze non completamente gestibili dalla BSSO.

Anche il posizionamento delle placche si è dimostrato accurato e la tendenza a un angolo di beccheggio positivo può essere attribuita alla tendenza delle guide ad assumere una posizione simile inclinata a causa della mancanza di caratteristiche dell'aspetto vestibolare della mandibola.

In particolare, non tutte le discrepanze delle placche dalla posizione progettata erano direttamente correlate a una discrepanza simile nella posizione del ramo, con l'angolo di rollio e la traslazione verticale che erano le uniche positivamente correlate tra rami e placche. Le correlazioni negative tra la rotazione delle placche e la traslazione dei rami possono essere spiegate geometricamente con uno spostamento nella posizione del centro della bounding box del ramo, e un'interpretazione simile può essere data alle correlazioni tra l'angolo di rollio dei rami e le traslazioni antero-posteriori e verticali della placca.

I valori di precisione delle placche e dei rami (errore angolare totale ed errore traslazionale totale) erano cross-correlati ma non direttamente correlati, sebbene entrambi i coefficienti di correlazione diretta raggiungessero valori vicini a 0,25, con p-value prossimi a 0,1.

Per quanto riguarda la correlazione tra lo spostamento dei rami durante la pianificazione e l'errore di risultato, sono state trovate correlazioni sia positive che negative. In primo luogo, è stata trovata una correlazione negativa tra l'errore angolare totale dei rami e la traslazione totale del ramo pianificato, che può essere interpretata come un aumento dell'errore in caso di posizione pianificata del ramo

eccessivamente conservativa, che a sua volta può portare a interferenze ossee non pianificate e meno gestibili. Una tendenza simile può essere osservata tra lo spostamento angolare totale del ramo dalla posizione originale e l'errore angolare totale nella posizione del ramo post-operatorio, sebbene questa correlazione non raggiunga la significatività statistica. L'angolo di rollio sembra essere il più sensibile a una correzione del ramo eccessivamente conservativa, mentre la correzione dell'angolo di yaw del ramo è positivamente correlata a una traslazione laterale e anteriore, probabilmente a causa della simulazione imperfetta del comportamento meccanico dell'ATM del paziente nel software di pianificazione. Allo stesso modo, è stata trovata una correlazione positiva tra la correzione del rollio e la traslazione laterale, sebbene non raggiungesse la significatività statistica ($p = 0,079$).

La debole correlazione tra la placca e la posizione del ramo può parzialmente spiegare perché, mentre un design di guida (B) ha portato a un posizionamento della placca significativamente più preciso, il posizionamento del ramo non è stato influenzato da diversi modelli di guida. Nella nostra interpretazione, un fattore che può aver contribuito alla maggiore precisione di posizionamento della placca con le guide Design B sono i manicotti dei fori di trasferimento: sebbene aumentassero l'ingombro della guida, il diametro inferiore dei manicotti aiutava a centrare la punta nei fori di trasferimento. Da un punto di vista chirurgico, le guide Design C erano le più facili da posizionare e, grazie al design della mesh, era più facile controllare se la guida era completamente a contatto con la mandibola. L'ingombro ridotto ha facilitato la perforazione dei fori e il tracciamento delle linee osteotomiche.

Questi risultati suggeriscono che le imprecisioni del sistema PSI potrebbero non essere il determinante principale dell'errore di posizionamento del segmento prossimale: l'interferenza dei segmenti ossei, la segmentazione, le imprecisioni del software e di pianificazione, le viti, gli strumenti giocano tutti un ruolo. Il più grande errore di posizione nel posizionamento di una placca (errore angolare totale

= 25,5 °, errore traslazionale totale = 6 mm) è stato ottenuto in un paziente in cui il ramo corrispondente non si è spostato nella posizione pianificata. Questo risultato potrebbe essere spiegato da un certo grado di compensazione dell'errore che può essere intrinseco al sistema PSI o può essere dovuto all'esperienza chirurgica dell'operatore e alla conoscenza della pianificazione virtuale.

Conclusioni

I nostri risultati suggeriscono che la procedura guidata dal PSI in Mandible First è accurata e trasferisce l'anatomia mandibolare virtualmente pianificata al paziente. I diversi design delle guide di posizionamento non hanno influenzato la precisione della riproduzione dell'anatomia mandibolare, tuttavia le guide del design B hanno portato a un posizionamento della placca leggermente più preciso, che a sua volta potrebbe contribuire a una procedura complessivamente più accurata. Data la limitata dimensione del campione, non si possono escludere ulteriori differenze di precisione tra le guide; fino a che non si studierà una coorte più ampia di pazienti, la scelta tra i diversi tipi di guida analizzati può essere determinata esclusivamente dal costo e dalla preferenza del chirurgo.

Tra i molti fattori che contribuiscono al risultato in una procedura guidata da PSI, quello che deve essere pianificato e gestito accuratamente è l'interferenza tra il frammento dento portatore il frammento condilo portatore. I nostri dati mostrano che una pianificazione della posizione del ramo eccessivamente conservativa potrebbe portare a una maggiore interferenza e all'inesattezza dei risultati. L'imperfetta simulazione del software dei tessuti molli e dell'ATM durante la pianificazione può aumentare l'imprecisione dei risultati. In ogni caso, mentre tutti i fattori sopra menzionati devono essere presi in considerazione nella pianificazione del caso e nella chirurgia PSI, le limitate imprecisioni del sistema sembrano essere ben compensate e il risultato è stato clinicamente soddisfacente in tutti i pazienti.

“PSI-guided bilateral sagittal split osteotomy: assessment of maxillomandibular position accuracy and adaptability in a Mandible First hybrid approach.”

Introduzione

L'approccio Mandible First per la chirurgia ortognatica è una procedura alternativa al più diffuso approccio Maxilla First, che porta una serie di vantaggi teorici, come ad esempio ridurre il caondilar sag e lo sforzo sulle miniplacche mascellari durante l'esecuzione della BSSO mandibolare, migliorando di conseguenza la qualità della riproduzione del planning ¹¹³.

Anche se parte dei vantaggi non è stata dimostrata, la maggiore flessibilità intraoperatoria offerta da questo approccio in termini di correzione della verticalità è controbilanciata dalla sua dipendenza alla perfetta della relazione spaziale tra i segmenti mandibolari prossimale e distale post-osteosintesi.

Nella ricerca di una soluzione a tale problema, abbiamo combinato l'approccio Mandible First con una procedura guidata da PSI mandibolari, che dovrebbe, secondo la nostra ipotesi, aumentare la precisione della riproduzione dell'anatomia mandibolare pianificata, che a sua volta porterebbe a un risultato più soddisfacente, compensando la mancanza di flessibilità insita in una procedura guidata da PSI bimascellari. Pochi autori descrivono l'applicazione dei PSI nella chirurgia ortognatica bimascellare e le potenziali imprecisioni e la conseguente inapplicabilità dei PSI causate da questo approccio non sono mai state del tutto indagate (Li et al, 2017; Suojanen et al, 2017)^{78,111}.

Lo scopo di questo studio è dimostrare che l'approccio Mandible First con l'utilizzo di mezzi di fissazione CAD / CAM nella sola BSSO potrebbe aiutare a superare inapplicabilità di utilizzo dei PSI dovute alle inaccuratezze di fissazione combinate mascellare e mandibolare. Lo scopo di questo documento è valutare la posizione post-operatoria del mascellare superiore e del frammento mandibolare dento

portatore su una coorte di pazienti trattati con questo approccio, valutando precisione e flessibilità dell'approccio stesso.

Materiali e metodi

Sono stati inclusi nello studio 22 pazienti sottoposti a chirurgia ortognatica bimascellare nell' Unità Operativa di Chirurgia Orale e Maxillo-Facciale dell'Ospedale Universitario Sant'Orsola-Malpighi (Bologna, Italia) tra luglio 2017 e giugno 2019, sette maschi e quindici femmine, età media 26 (range 18-43).

Otto pazienti sono stati diagnosticati con deformità scheletrica di classe 2 (uno con asimmetria facciale), a dieci è stata diagnosticata la classe scheletrica 3 (sei con asimmetria combinata), a tre pazienti è stata diagnosticata un'asimmetria facciale di classe 1 e una con morso aperto anteriore. Il presente protocollo è stato approvato dal Comitato Etico del Policlinico Universitario di Etica Sant'Orsola-Malpighi (numero di approvazione 238/2012/0 / Disp PL02, modificata il 18/10/2016); lo studio si è conformato ai principi della Dichiarazione di Helsinki. Il consenso informato scritto è stato ottenuto da tutti i pazienti al momento dell'arruolamento nella sperimentazione.

Il flusso di lavoro dello studio consisteva nei seguenti passaggi:

- 1) Acquisizione dei dati,
- 2) Pianificazione chirurgica virtuale,
- 3) Progettazione computer assistita e stampa 3D di guide di posizionamento personalizzate e placche,
- 4) Chirurgia
- 5) Valutazione dei risultati.

I primi quattro passaggi sono comuni al lavoro precedentemente descritto su questa coorte di pazienti ¹¹⁴, in cui sono stati valutati l'accuratezza della riproduzione dell'anatomia mandibolare pianificata e l'impatto di diversi modelli di guide di posizionamento.

1) Acquisizione dati

Il requisito fondamentale per l'arruolamento del paziente era una configurazione dentale che potesse consentire un'occlusione postoperatoria stabile. Un mese prima dell'intervento tutti i pazienti sono stati sottoposti a una scansione CBCT preoperatoria (NewTom VGI Evo - Gruppo Cefla, Imola, Italia), (FOV 24x19 cm, voxel 0,3 mm) in NHP della testa determinata clinicamente e utilizzando un morso in cera ottenuto in relazione centrica condilare stabilita clinicamente.

Contestualmente, i modelli digitali dentali sono stati acquisiti utilizzando lo scanner intraorale CS 3600 (Carestream Health Inc, Rochester, NY, USA) e stampati in 3D utilizzando una stampante stereolitografica (Form 2, Formlabs Inc., Somerville, MA, USA). L'occlusione finale è stata determinata sui modelli stampati e trasformati in modelli digitali tramite ri-scansione.

2) Pianificazione chirurgica virtuale

Il software IPS Case Designer (KLS Martin, Tuttlingen, Germania) è stato utilizzato per eseguire una cefalometria tridimensionale secondo Swennen¹¹² e pianificare i movimenti scheletrici .

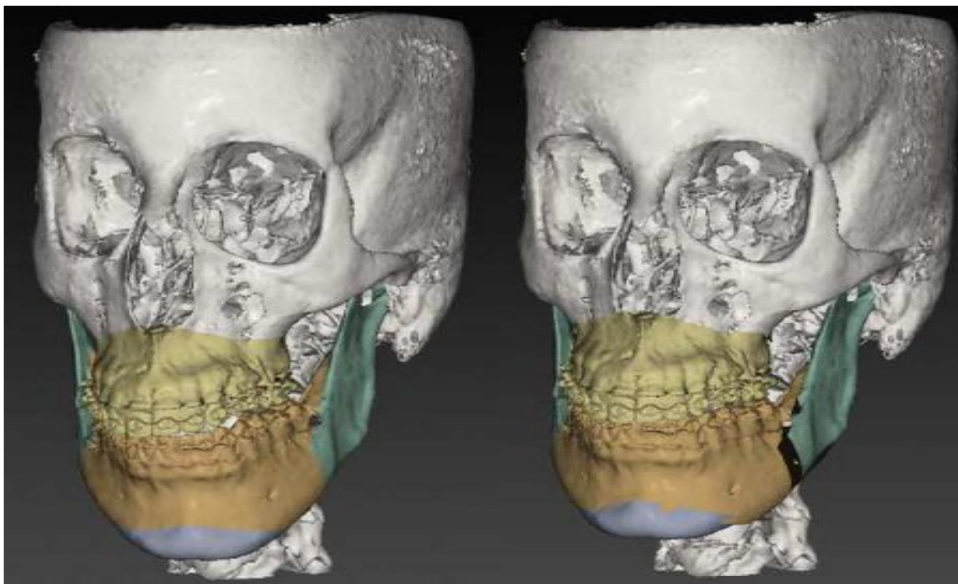


Figura 53 Pianificazione chirurgica virtuale

Dato l'uso di PSI mandibolari per la procedura, i segmenti mandibolari prossimali e distali sono stati posizionati in modo da ridurre le interferenze e minimizzare la discontinuità del bordo inferiore mandibolare.

Gli splint chirurgici intermedi e finali sono stati progettati sulla base del piano chirurgico virtuale. Sebbene la procedura mandibolare sia stata concepita come un intervento chirurgico potenzialmente senza splint, sono stati prodotti gli splint chirurgici come soluzione di riserva in caso di fallimento intraoperatorio del sistema.

Alla fine, lo splint intermedio è stato sistematicamente utilizzato per stabilizzare il frammento dento-portatore durante la fissazione.

3) Progettazione e produzione di PSI e guide di posizionamento

Sulla base del VSP, gli ingegneri biomedici di KLS Martin hanno progettato le guide di posizionamento individualizzate della mandibola, le placche e gli splint specifici per il paziente sotto la guida del chirurgo. Le guide di posizionamento sono state progettate per guidare le osteotomie buccali e sagittali e il livello dell'osteotomia linguale per riprodurre la BSSO progettata digitalmente. Le traiettorie delle viti sono state progettate in modo da evitare le radici dei denti e il nervo alveolare inferiore.

Tre tipi di guida sono stati utilizzati durante lo studio e sono stati confrontati nel precedentemente su questa coorte di pazienti ¹¹⁴.

Le placche in lega di titanio stampate in 3D personalizzate sono state progettate per fissare i frammenti mandibolari prossimali e distali nelle posizioni pianificate, utilizzando guide di posizionamento per praticare fori (2,0 mm) per la fissazione delle viti da utilizzare come riferimento. Le placche sono state prodotte utilizzando resina dentale stampata in 3D. KLS Martin ha fornito anche modelli digitali tridimensionali di frammenti ossei e placche (in formato .STL) per la valutazione dei risultati.

4) Chirurgia

Tutti i pazienti sono stati operati dallo stesso chirurgo (GB) attraverso un approccio Mandible First, utilizzando il sistema individualizzato. La superficie ossea della mandibola è stata esposta secondo l'incisione vestibolare convenzionale per eseguire BSSO. La guida è stata fissata alla mandibola con due viti in titanio utilizzando i fori di fissazione progettati (1,5 mm) per evitare qualsiasi

mobilizzazione durante l'osteotomia. Con la guida in posizione, il chirurgo ha contrassegnato le linee dell'osteotomia utilizzando strumenti per il taglio dell'osso ad ultrasuoni (Piezo-Surgery, Mectron SpA, Cerasco, Italia) e ha praticato i fori di trasferimento per la placca utilizzando una fresa angolata Angulus2 (KLS Martin, Tuttlingen, Germania). Quindi la guida è stata rimossa per completare l'osteotomia. Alla fine, i frammenti prossimali e distali sono stati fissati nella posizione pianificata utilizzando le placche specifiche del paziente sotto la guida dei fori di trasferimento preforati (2,0 mm). Lo splint intermedio è stato utilizzato per massimizzare la stabilità del frammento dento portatore durante l'esecuzione dell'osteosintesi. Il mascellare superiore è stato gestito secondo la migliore posizione verticale e fissata utilizzando miniplacche in titanio standard piegate manualmente e viti sotto la guida dello splint CAD / CAM finale.

5) Valutazione dei risultati

Tutti i pazienti sono stati sottoposti a imaging post-operatorio con una CBCT un mese dopo l'intervento, prima che si verificassero movimenti dentali, a causa dell'ortodonzia e dell'uso quotidiano dello splint finale.

Sono stati utilizzati la stessa macchina e gli stessi parametri dell'acquisizione preoperatoria; l'occlusione è stata mantenuta alla massima intercuspidação. La scansione CBCT post-operatoria è stata elaborata per ottenere un modello 3D del cranio, della mandibola e delle placche mandibolari post-operatorie utilizzando il software DICOM to Print (3D Systems, Rock Hill, SC, USA) ed esportato in formato STL.

Sono state effettuate due analisi: cefalometrica e di trasformazione di corpo rigido. Le mesh pianificate e post-operatorie sono state confrontate utilizzando il software open source CloudCompare (Progetto CloudCompare, www.cloudcompare.org): per fissare un quadro di riferimento, i modelli di base cranica pianificati e ottenuti sono stati registrati con un metodo di allineamento del punto iterativo più vicino (ICP), e successivamente ispezionato visivamente tramite la generazione di mappe di superficie colorimetriche per verificare l'allineamento. Abbiamo quindi valutato la discrepanza tra la posizione post-operatoria pianificata e ottenuta del frammento

dento portatore mandibolare e del mascellare superiore analizzando lo spostamento in termini di rotazione (rollio, beccheggio e imbardata) e traslazione (antero-posteriore, laterale e verticale). Questi movimenti sono stati determinati allineando il modello pianificato al risultato post-operatorio tramite allineamento ICP e ispezione della mappa colorimetrica, quindi valutando lo spostamento traslazionale e la rotazione del modello secondo la convenzione degli angoli di Eulero.

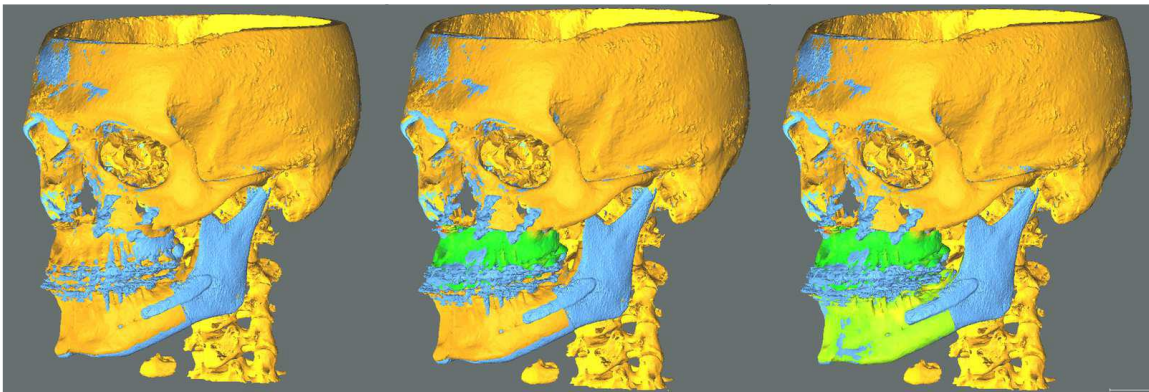


Figura 54 La maschera del pianificato e del postoperatorio vengono dapprima registrate sul cranio. Si procede poi a sovrapporre il segmento mascellare e di seguito il dento portatore mandibolare ricavando la matrice di movimento

Le discrepanze ottenute sono state tabulate applicando segni convenzionali. I valori con segno positivo identificano le traslazioni laterali in avanti, verso l'alto e sinistra; un angolo di beccheggio positivo identifica una rotazione in senso orario vista dall'aspetto laterale destro del paziente; un angolo di rollio positivo identifica una rotazione in senso orario vista di fronte al paziente; un angolo di imbardata (yaw) positivo indica una rotazione in senso orario vista caudalmente al paziente.

Per ottenere una descrizione completa dello spostamento angolare e traslazionale di ogni modello 3D considerato, sono stati definiti altri due parametri: errore angolare totale ed errore traslazionale totale. Il primo è l'angolo nella rappresentazione asse-angolo di una trasformazione del corpo rigido, mentre il secondo è il modulo del vettore di traslazione. Entrambe le misure sono sempre positive per definizione e sono state utilizzate per evitare che gli spostamenti positivi e negativi si annullino a vicenda in media nella descrizione dello spostamento.

È stata eseguita un'analisi cefalometrica tridimensionale su modelli 3D pianificati e postoperatori. I dati cefalometrici considerati sono riportati si seguito in tabella.

Considered cephalometric measurements	
A/Sag	Distance of point A from the Sagittal Plane (Maxillary Deviation)
B/Sag	Distance of point B from the Sagittal Plane (Mandibular Deviation).
Pog/Sag	Distance of Pogonion from the Sagittal Plane (Mental Deviation).
UIs/Sag	Distance from Upper Incisors midpoint to Sagittal plane.
LIIs/Sag	Distance in millimeters from Lower Incisors midpoint to Sagittal plane.
ΔGo/Sag	Difference between left and right Gonion to Sagittal plane distances in millimeters.
ΔU3/Sag	Difference between left and right Upper canine to Sagittal plane distances.
ΔU6/Sag	Difference between left and right first Upper molars to Sagittal plane distances.
A/McNamara	Distance of point A from McNamara plane.
Incisal Protrusion	Distance in millimeters of the Upper Incisors midpoint to plane A (plane parallel to McNamara plane passing though point A).

6) Analisi statistiche

Data la dimensione limitata del campione ($n = 22$), tutte le misure sono state riassunte utilizzando l'intervallo mediano e interquartile (IQR). Tuttavia, per consentire il confronto con la letteratura esistente, sono state fornite anche la media e la deviazione standard per ciascuna misura. In tutti i casi sono stati utilizzati test a due code non parametrici a causa della dimensione limitata del campione.

Al fine di valutare come la correzione del piano chirurgico intraoperatoriamente impattasse sulla simmetria, sul risultato e la precisione complessiva, è stata calcolata una matrice di correlazione di Spearman ($n = 22$) per ogni rotazione, traslazione e piano cefalometrico considerato rispetto alla differenza postoperatoria. Le discrepanze rotazionali e traslazionali tra VSP e risultati postoperatori sono state considerate come valori sia con segno che assoluti.

Per eseguire le analisi è stato utilizzato IBM SPSS Statistics 25 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Per tutti i test il livello di significatività è stato impostato su $\alpha = 0,05$.

Risultati

Intraoperatoriamente, il sistema è stato utilizzato con successo in tutti i casi. Il follow-up medio è di 22 mesi (range 13-37). Le statistiche descrittive sono riportate nelle tabelle sottostanti.

		Pitch	Pitch abs.	Roll	Roll abs.	Yaw	Yaw abs.	Tot. Ang. Displ.	Lateral	Lat. abs.	Ant.-Post.	A-P abs.	Vertical	Vert. abs.	Total trans.
Maxilla	Average	-0.90	1.54	-0.06	0.93	-0.02	0.91	2.33	-0.08	1.05	-1.45	1.70	-0.78	1.14	2.58
	St.Dev.	1.65	1.06	1.21	0.75	1.20	0.76	0.91	1.28	0.70	1.87	1.64	1.37	1.08	1.70
	Median	-0.92	1.52	0.00	0.78	-0.28	0.72	2.31	-0.23	0.99	-1.27	1.39	-0.78	0.93	2.03
	IQR	2.50	1.53	1.55	0.60	1.50	0.69	1.41	1.86	0.99	2.46	2.38	1.07	0.77	1.83
Mandible	Average	0.83	1.53	0.39	0.96	0.73	1.13	2.55	-0.32	1.14	-1.26	1.49	-0.61	1.05	2.51
	St.Dev.	1.88	1.34	1.24	0.85	1.33	0.99	1.20	1.50	1.00	1.78	1.59	1.51	1.23	1.81
	Median	0.36	1.20	0.46	0.75	0.41	0.75	2.34	-0.18	0.93	-0.84	0.99	-0.26	0.71	2.02
	IQR	2.59	1.52	1.04	0.72	2.00	1.38	1.30	1.54	0.91	1.41	1.18	1.05	1.20	1.35

	A/Sag	A/Sag abs.	B/Sag	B/Sag abs.	Pog/Sag	Pog/Sag abs.	Δ Go/Sag	Δ Go/Sag abs.	Uls/Sag	Uls/Sag abs.	Lls/Sag	Lls/Sag abs.	Δ U3/Sag	Δ U3/Sag abs.	Δ U6/Sag	Δ U6/Sag abs.
Average	0.52	0.96	0.86	1.31	1.00	1.67	-0.56	2.40	0.88	1.20	0.71	1.02	0.17	2.89	-0.39	2.10
St.Dev.	1.17	0.83	1.36	0.91	1.91	1.33	3.26	2.23	1.30	0.99	1.29	1.04	3.55	1.97	2.70	1.68
Median	0.30	0.83	1.10	1.19	1.04	1.50	-0.48	1.35	0.71	1.02	0.44	0.58	0.12	2.78	-0.54	1.65
IQR	1.30	1.15	1.41	1.12	2.38	2.16	2.65	2.90	1.30	1.01	0.82	1.01	5.40	3.58	3.09	1.85

Per quanto riguarda il posizionamento del segmento mascellare, abbiamo ottenuto un errore angolare totale mediano di 2,31 ° (IQR 1,41 °) e un errore traslazionale totale mediano di 2,03 mm (IQR 1,83 mm). Ad eccezione dell'angolo di beccheggio (valore assoluto mediano 1,51 °), la cui alterazione è compatibile con la correzione della verticalità intraoperatoria basata sull'autorotazione della mandibola, i valori assoluti mediani degli spostamenti rotazionali sono stati intorno a 0,75 ° rispetto al pianificato (rollio 0.78°, yaw 0,72°). Le discrepanze mediane traslazionali erano tutte entro 1,5 mm in valore assoluto dal piano. La discrepanza maggiore si riscontra nella traslazione antero-posteriore con una mediana di 1,39 mm in valore assoluto e una tendenza alla retrusione, con una mediana con segno di -1,27 mm.

Nel posizionamento del frammento dento portatore mandibolare, l'errore angolare totale mediano era 2,34 ° (IQR 1,30 °) e l'errore traslazionale totale mediano era

2,02 mm (IQR 1,35 mm). Analogamente al mascellare superiore, l'angolo di beccheggio mediano era di 1,2 ° in valore assoluto, con imbardata e rollio entrambi di 0,75 ° in valore assoluto. Anche le traslazioni mediane in valore assoluto erano intorno a 1 mm (laterale 0,93 mm, antero-posteriore 1 mm, verticale 0,70 mm). Le rototraslazioni mascellari e mandibolari mediane ottenute sono simulate su un caso esempio ed è stata calcolata una mappa colorimetrica della superficie tra la posizione spostata pianificata e simulata; Il risultato è mostrato in Fig. 55.

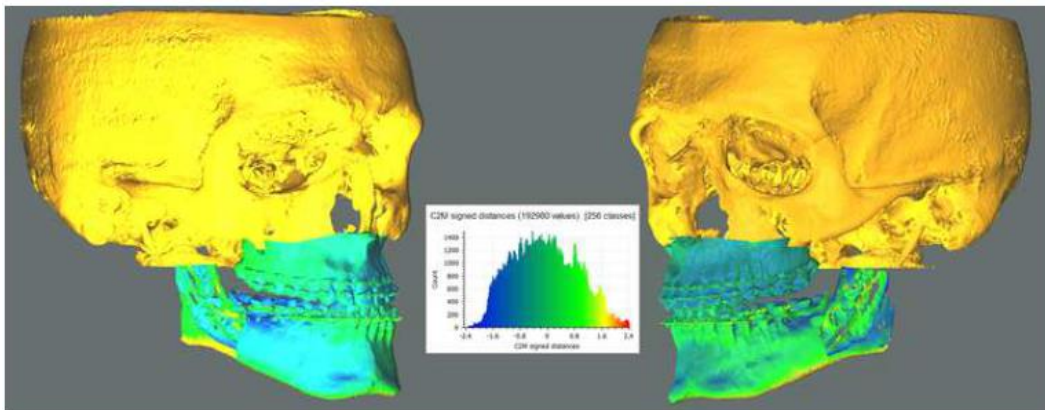


Figura 5548 Sovrapposizione tra maschera simulata sui valori mediani e maschera di spostamento

Le misure cefalometriche di simmetria frontale considerate in valore assoluto hanno prodotto risultati mediani inferiori a 1,5 mm sulle misure della linea mediana (A / Sag, B / Sag, Pog / Sag, UIs / Sag e LIs / Sag) e sul Δ Go / Sag. La discrepanza mediana più grande è stata ottenuta nel Δ U3 / Sag a 2,78 mm mentre il Δ U6 / Sag mediano era 1,65 mm.

I coefficienti di correlazione di Spearman ritenuti clinicamente significativi sono stati estrapolati dalla matrice di correlazione e riportati nella tabella sottostante.

Mx pitch	corr. coeff.	-0.008
A/Sag	Sig.2-tail	0.970
Mx pitch	corr. coeff.	-0.221
B/Sag	Sig.2-tail	0.323
Mx pitch	corr. coeff.	-0.317
Pog/Sag	Sig.2-tail	0.151
Mx pitch	corr. coeff.	0.018
Δ Go/Sag	Sig.2-tail	0.938
Mx pitch	corr. coeff.	0.318
Uls/Sag	Sig.2-tail	0.149
Mx pitch	corr. coeff.	-0.053
Lis/Sag	Sig.2-tail	0.816
Mx pitch	corr. coeff.	0.220
Δ U3/Sag	Sig.2-tail	0.326
Mx pitch	corr. coeff.	0.307
Δ U6/Sag	Sig.2-tail	0.165
Md pitch	corr. coeff.	0.020
A/Sag	Sig.2-tail	0.930
Md pitch	corr. coeff.	-0.037
B/Sag	Sig.2-tail	0.871
Md pitch	corr. coeff.	-0.167
Pog/Sag	Sig.2-tail	0.459
Md pitch	corr. coeff.	0.084
Δ Go/Sag	Sig.2-tail	0.710
Md pitch	corr. coeff.	0.169
Uls/Sag	Sig.2-tail	0.453
Md pitch	corr. coeff.	-0.109
Lis/Sag	Sig.2-tail	0.629
Md pitch	corr. coeff.	-0.012
Δ U3/Sag	Sig.2-tail	0.958
Md pitch	corr. coeff.	0.047
Δ U6/Sag	Sig.2-tail	0.836
Mx pitch	corr. coeff.	.523*
Md pitch	Sig.2-tail	0.012
Mx roll	corr. coeff.	.729**
Md roll	Sig.2-tail	0.000
Mx yaw	corr. coeff.	.613**
Md yaw	Sig.2-tail	0.002
Mx lat	corr. coeff.	.581**
Md lat	Sig.2-tail	0.005
Mx a-p	corr. coeff.	.819**
Md a-p	Sig.2-tail	0.000
Mx vert	corr. coeff.	.648**
Md vert	Sig.2-tail	0.001
Mx pitch	corr. coeff.	-.461*
Md a-p	Sig.2-tail	0.031
Mx pitch	corr. coeff.	-.522*
Md vert	Sig.2-tail	0.013
Md pitch	corr. coeff.	-.542**
Mx A-P	Sig.2-tail	0.009
Md pitch	corr. coeff.	-.612**
Mx vert	Sig.2-tail	0.002
A/McN	corr. coeff.	-.519*
Inc. Prot.	Sig.2-tail	0.013

Tutti i seguenti riferimenti alle misurazioni cefalometriche sono da intendersi come differenza tra la posizione pianificata e quella post-operatoria.

Sono state trovate forti correlazioni positive tra analoghi valori di traslazione e rotazione del mascellare superiore e del frammento dento portatore mandibolare, che vanno da 0,523 con $p = 0,012$ per il pitch a 0,819 con $p < 0,001$ per la traslazione antero-posteriore.

I valori cefalometrici A-McNamara e protrusione incisale sono negativamente correlati (-0,519, $p = 0,013$) come previsto in una situazione in cui la discrepanza antero-posteriore è in parte dovuta alla modifica intraoperatoria della verticalità. Questo risultato è supportato anche dalla correlazione tra il beccheggio mandibolare e la traslazione antero-posteriore mascellare (-0,542, $p = 0,009$) In particolare, non sono state trovate correlazioni significative tra gli indicatori cefalometrici di

simmetria (deviazione mascellare, deviazione mandibolare, deviazione mentale, UI / piano sagittale, Lis / piano sagittale, U3 / piano sagittale e U6 / piano sagittale) e il pitch o traslazione verticale.

Discussione

Il dibattito tra l'approccio Maxilla First e Mandible First è in corso da decenni e, sebbene l'approccio Maxilla First sia più ampiamente utilizzato, l'approccio Mandible First è preferibile in una serie di casi per il fatto che fornisce un maggiore punto di riferimento utilizzando il mascellare superiore come guida. Inoltre, eseguendo prima la BSSO si evita lo stress causato sulle miniplacche utilizzate per la fissazione mascellare e teoricamente si riduce lo spostamento condilare causato dalla posizione supina del paziente e dall'anestesia. Tuttavia, come Borba et al. dichiarano nella loro revisione sistematica in materia, pochi dati sono disponibili a sostegno di queste affermazioni¹¹³.

Sebbene l'uso dei PSI nella chirurgia mascellare sia già ben documentato^{77,107-109} il loro uso nella chirurgia ortognatica mandibolare è segnalato meno frequentemente, principalmente a causa della difficoltà di ottenere un riferimento stabile per la fissazione della placca sull'aspetto mandibolare laterale^{79,110}. Suojanen et al.¹¹¹, in uno studio di coorte su 30 pazienti, hanno riportato una percentuale significativa di casi in cui i PSI erano inapplicabili o necessitavano di modifiche. Studi più recenti, tuttavia, non riportano questo evento, sebbene esaminino coorti più piccole di pazienti.

Li et al.⁷⁸ hanno riportato i risultati di precisione ottenuti su una coorte di pazienti che utilizzavano PSI bimascellari (n = 10).

Una procedura bimascellare senza splint guidata da PSI, come riportato da Li et al.⁷⁸, consente un errore di pianificazione minimo o nullo e l'impossibilità di correzione del planning intraoperatoriamente, con conseguente inapplicabilità del PSI. Inoltre, la rigidità e la relativa fragilità della lega di titanio sinterizzato rende quasi impossibile la modifica di impianti su misura. Le soluzioni PSI nel mascellare e nella mandibola assieme sono anche significativamente più costose dell'uso del

PSI su un singolo mascellare, un fattore che influisce sull'adozione di questo approccio.

I dati pubblicati sulla chirurgia ortognatica mandibolare guidata da PSI suggeriscono che questo approccio non è mai stato proposto prima. Secondo i nostri risultati precedenti su questa coorte di pazienti¹¹⁴, questa procedura ha prodotto un'accurata riproduzione dell'anatomia mandibolare, sebbene necessiti di una pianificazione più approfondita, rispetto al posizionamento empirico del frammento prossimale, per evitare interferenze tra i segmenti ossei lungo la superficie dell'osteosintesi della BSSO; interferenze che potrebbero a loro volta portare a uno spostamento condilare nella fossa glenoidea.

Da un punto di vista clinico, il risultato estetico è stato positivo in tutti i pazienti, in parte grazie alla correzione del piano intraoperatorio in cui si è potuto tenere conto in tempo reale della modificazione dei tessuti molli. Le infezioni delle placche (4,5%) sono alla pari con il tasso osservato nei pazienti in cui sono state utilizzate piastre in titanio convenzionali¹¹⁵.

La precisione complessiva della procedura, anche tenendo conto della correzione verticale, è molto soddisfacente. Sebbene l'autorotazione mandibolare del valore assoluto mediano fosse di soli 1,51 °, fornendo una correzione della verticalità mediana di 0,93 mm in valore assoluto, non è stata trovata alcuna correlazione tra le misure di spostamento della simmetria frontale e il pitch o la traslazione verticale in un intervallo di autorotazione compreso tra -4,03 ° e + 2,24°, consentendo una correzione del piano verticale tra -5,31 mm e + 1,79 mm.

La nostra interpretazione dei valori traslazionali mascellari ottenuti suggerisce che una quota di spostamento antero-posteriore (mediana -1,27 mm) potrebbe essere in parte un sottoprodotto della correzione della verticalità tramite autorotazione (il pitch mandibolare e la traslazione antero-posteriore mascellare sono correlati con un coefficiente di -0,542 e $p = 0,009$) e in parte da attribuire a una quota di cedimento o spostamento condilare nella fossa, a causa della posizione supina del paziente e del miorilassamento. Questo spostamento, per quanto misurabile, non era clinicamente significativo e non ha influito sull'occlusione risultante.

I risultati nella matrice di correlazione secondo cui sia il mascellare superiore che il frammento dento portatore mandibolare di sono spostati in modo coordinato aumenta ulteriormente la accuratezza degli splint CAD-CAM, in questo caso principalmente lo splint finale.

A seguito del nostro precedente lavoro in materia, i risultati descritti aumentano il concetto che la procedura proposta Mandible First guidata dal PSI mandibolare produce un risultato positivo senza sacrificare l'adattabilità e riducendo il rischio di inapplicabilità del PSI.

La correzione del piano intraoperatorio verticale tramite autorotazione mandibolare non è correlata allo spostamento della linea mediana, consentendo una correzione verticale sicura compresa tra -5,31 e +1,79 mm, sebbene nella maggior parte dei casi il piano chirurgico possa essere eseguito con un alto livello di precisione senza la necessità di correzione intraoperatoria. In particolare, questa procedura ha ottenuto una correzione accurata della componente di imbardata delle asimmetrie, la meno controllabile nella chirurgia guidata da soli splint.

**Capitolo 5: Progetto di ricerca “Full-3D
Workflow Computer-Assistito Per la Diagnosi
e la Correzione delle Deformità Dentofacciali”**

Introduzione

Come discusso nei precedenti capitoli l'innovazione digitale ha comportato innumerevoli sviluppi nel campo della chirurgia ortognatica.

L'idea insita nel mio progetto di ricerca è stata quella di creare un laboratorio, il Face 3D Lab, dove potessero concentrarsi tutte le tecnologie 3D attualmente disponibili al servizio del paziente ortognatico per garantire una diagnosi e una pianificazione accurata sin dalla prima visita.

In Letteratura, infatti, non vi sono testi che analizzano la bontà della pianificazione ortodontico chirurgica digitale già dal momento denominato in questo lavoro "T0", e ciò può compromettere il dialogo iniziale medico-paziente e chirurgo-ortodontista.

Moltissimi autori, invece, hanno scritto sui sistemi di pianificazione tridimensionali e su come ottenere maggiori livelli di accuratezza in chirurgia ortognatica nel momento pre-operatorio ^{76,77,80}.

Diverse sono le modalità descritte in Letteratura per la misurazione dell'accuratezza fra Virtual Surgery Planning (VSP) e risultato post-operatorio.

Stokbro (2014)⁷⁴, Haas Jr (2015)¹¹⁶, Gaber (2017)¹¹⁷ nelle loro revisioni sistematiche, hanno analizzato i diversi metodi tridimensionali di valutazione del VSP, generalmente non trovando un consensus metodologico, ma considerando il Computer-aided planning uno strumento accurato in chirurgia ortognatica nella previsione dell'outcome.

Il metodo più comune di analisi è basato sulla misurazione lineare e angolare degli scostamenti delle basi ossee e sono spesso basati su punti cefalometrici. Questo metodo tuttavia è suscettibile all'errore umano di identificazione dei landmark¹¹⁸.

Nel presente studio è stato usato un metodo di analisi di superficie basato sull'algoritmo di registrazione delle basi scheletriche chiamato Iterative Closest Point (ICP) che permette di creare una mappa colorimetrica di sovrapposizione con l'identificazione di medie, deviazione standard e Root Mean Square (RMS) degli

oggetti 3D in esame¹¹⁹. Tale metodo è considerato più semplice, clinicamente utile e meno gravoso informaticamente rispetto agli altri disponibili¹²⁰.

Scopo di questo lavoro è valutare e integrare le informazioni di accuratezza del planning ortodontico chirurgico con approccio Orthodontic First già dal momento definito “T0” confrontandolo con la fasi diagnostiche pre-operatorie “T1” e post-operatorie “T2” al fine di considerare questo momento clinico fondamentale per la pianificazione complessiva di tutto il trattamento ortodontico- chirurgico.

Obiettivo dello studio

Il principale obiettivo dello studio è quello di valutare la metodica di pianificazione 3D ortodontico-chirurgica nei pazienti sottoposti a chirurgia ortognatica con approccio Orthodontic First [per la definizione delle fasi di trattamento nel paziente Orthodontic First si rimanda al Capitolo I].

Obiettivi primari dello studio sono:

- Analizzare il set-up ortodontico chirurgico al tempo T0 (fase pre-trattamento) in relazione all’ortodonzia di decompenso effettivamente realizzata ed alla chirurgia effettivamente pianificata al tempo T1 (fase pre-operatoria).
- Valutare inoltre l’accuratezza dei set-up ortodontico-chirurgici realizzati al tempo T0 e T1 in relazione ai risultati ottenuti alla fine del trattamento nel paziente al tempo T2 (paziente che ha concluso il trattamento ortodontico chirurgico).

Obiettivi secondari dello studio:

- Valutare l’efficacia e i benefici del FULL 3D WORKFLOW esitato dallo studio del paziente nei momenti T0, T1, T2 nell’approccio del paziente ortodontico chirurgico.
- Valutare le differenze insite nel campione oggetto dello studio fra le metodiche “Maxilla First” e “Mandibular Frist”.

Materiale e metodi

La metodica di pianificazione e programmazione interamente digitale, il FULL 3D WORKFLOW, descritta nel Capitolo 2 – “Il Face 3D Lab” è stata utilizzata per lo studio dei pazienti arruolati nel protocollo di ricerca intitolato:

“Full-3D Workflow Computer-Assistito per la Diagnosi e la Correzione delle Deformità Dentofacciali”

Il presente protocollo è stato approvato dal Comitato Etico del Policlinico Universitario di Etica Sant'Orsola-Malpighi (numero di approvazione 692/2020/Oss/AOUBo); lo studio si è conformato ai principi della Dichiarazione di Helsinki.

Lo studio in oggetto è esplorativo osservazionale retrospettivo, monocentrico.

Sono stati presi in considerazione 26 pazienti operati dal Gennaio 2015 e che hanno terminato il follow up “T2” entro il 30 Maggio 2020, presso il reparto di Chirurgia Maxillo-Facciale (Prof. Claudio Marchetti) del Policlinico Universitario S.Orsola-Malpighi, Bologna, che hanno seguito il normale percorso assistenziale previsto nei casi di dismorfosi dento-scheletrica, che consisteva in:

- “T0”: Studio 3D iniziale (prima dell’inizio del trattamento ortodontico): CBCT del massiccio facciale, scansione digitale delle arcate dentali, foto standard e foto 3D, pianificazione computerizzata della chirurgia e dell’ortodonzia;
- “T1”: Studio 3D preoperatorio (a 1 mese dalla chirurgia): CBCT del massiccio facciale, scansione digitale delle arcate dentali, foto standard e foto, 3D pianificazione computerizzata della chirurgia, produzione di guide chirurgiche occlusali;
- “T2”: Studio 3D finale (al termine del trattamento ortodontico post-operatorio ad apparecchio rimosso): CBCT del massiccio facciale, scansione digitale delle arcate dentali, foto standard e foto 3D.

Tutti i pazienti, dunque, hanno seguito le fasi diagnostiche e di pianificazione comprese nel FULL 3D WORKFLOW precedentemente descritte. In particolare, sono stati raccolti i planning ortodontico chirurgici nei momenti T0 e T1 e rapportati all'esito finale del trattamento al tempo T2.

I criteri di inclusione ed esclusione sono segnati in Tabella A.

<i>Criteri di inclusione</i>	<i>Criteri di esclusione</i>
Pazienti affetti da dismorfia dento-scheletrica.	Pazienti che abbiano subito altri interventi chirurgici al volto nel periodo del trattamento.
Pazienti sottoposti a chirurgia ortognatica.	Pazienti che non hanno seguito le fasi di raccolta dati previste nello Studio 3D.
Pazienti tra 18 e 60 anni di età al momento dell'intervento di chirurgia ortognatica.	
Ottenimento consenso informato.	

Tabella A Criteri di inclusione e esclusione

Sono state considerate per ciascun paziente le variabili descritte in Tabella B:

<i>Età al momento della chirurgia</i>	Range (18-60)
<i>Sesso</i>	M, F
<i>Tipologia di classe scheletrica</i>	classe 1, classe 2, classe 3
<i>Tipologia di intervento:</i>	- Osteotomia di LeFort 1: (Monopartita, Bipartita, Tripartita) - BSSO - Genioplastica
<i>Metodica</i>	“Maxilla First” o “Mandible First”
<i>CBCT</i>	T0, T1, T2
<i>Scansione digitale delle arcate dentali</i>	T0, T1, T2
<i>Foto standard 2D (viso e denti)</i>	T0, T1, T2
<i>Foto 3D (viso)</i>	T0, T1, T2
<i>Ricostruzione 3D CAD dei tessuti scheletrici e dentali</i>	T0, T1, T2

Tabella B Variabili considerate nello studio

I dati ottenuti dagli esami previsti nello studio 3D (CBCT – scannerizzazione delle arcate – foto standard e 3D) sono stati processati e fusi insieme all'interno di software dedicati al fine di ottenere un modello 3D virtuale completo del paziente (Simplant O&O®, Materialise (Leuven; Belgio); IPS®, KLS Martin Group, GERMANIA).

I software in oggetto hanno permesso di simulare gli spostamenti ortodontici con movimenti lineari e rotazionali dei singoli denti nei 3 piani dello spazio e le linee osteotomiche con riposizionamento delle basi ossee secondo le esigenze.

Nello specifico è stato analizzato:

- Studio 3D iniziale – piano di trattamento con previsione del risultato finale.
- Studio 3D preoperatorio – valutazione dell'ortodonzia pre-chirurgica e pianificazione della chirurgia con costruzione degli splint chirurgici;
- Studio 3D postoperatorio – verifica dell'outcome al termine del trattamento.

Per valutare i benefici ottenuti dallo studio e dalla pianificazione dei pazienti con il FULL 3D WORKFLOW si è proceduto ad un'analisi qualitativa di confronto dei planning ortodontico- chirurgici nelle diverse fasi (T0, T1, T2) e quantitativa dei risultati avvenuta mediante sovrapposizione delle maschere 3D.

I file DICOM della CBCT e gli STL della scansione intraorale sono serviti a ricreare la maschera 3D del paziente (maschera 3D-STL). La maschera post-ortodonzia è stata utilizzata come confronto da sovrapporre alla maschera dei planning (overlapping).

Il confronto, eseguito nei 26 pazienti, è avvenuto mediante software di CAD (Geomagic® Design X™) e ha permesso di valutare le differenze tra i setup virtuali T0 e T1 e la maschera 3D-STL a fine trattamento ortodontico (T2).

Il confronto è avvenuto mediante superimposizione degli oggetti 3D, allineati secondo il cranio del paziente (oggetto 3D fisso, non spostato durante l'intervento), e valutando la deviazione tra le diverse ricostruzioni tridimensionali (mascellare superiore e mandibola).

Questo software CAD dell'algoritmo ICP e si avvale della funzione di Hausdorff che ha permesso di calcolare la deviazione tra le due superfici. Tale differenza è stata rappresentata sia con una mappa colorimetrica sia con relativo grafico di deviazione (curva gaussiana).

Dall'analisi dei risultati è stato possibile determinare la media dei valori di scostamento dei due oggetti 3D, la distribuzione degli scostamenti delle due basi e fare una stima dell'errore di pianificazione del trattamento.

Nello specifico è stato possibile valutare:

- A. Errore di scostamento tra il set-up pre-trattamento ed il set-up chirurgico pre-operatorio;
- B. Errore di scostamento tra il setup al tempo T1 pre-operatorio e il risultato a fine trattamento;
- C. Errore di scostamento tra il set-up pre-trattamento e il risultato a fine trattamento.

Nell'ambito del lavoro in oggetto sono state considerate le basi scheletriche senza le arcate dentarie poiché segmentate in modo differente nei 3 momenti (T0, T1, T2) e causa di possibile errore durante la comparazione. Si proceduto altresì a una valutazione qualitativa del rispetto del trattamento ortodontico pianificato al tempo T0 in relazione alle fasi T1 e T2.

L'errore di sovrapposizione delle immagini del progetto viene espressa con una immagine unica di sovrapposizione con scala colorimetrica e in numero percentuale (0-100%: 0 - nessuna sovrapposizione 100% - sovrapposizione completa). L'analisi statistica condotta per valutare l'accuratezza del planning ortodontico chirurgico ha considerato:

- Medie (in valore assoluti), deviazioni standard (SD), RMS;
- PRECISIONE: percentuale di valori di scostamento inclusi in un range definito (-2mm, +2mm);
- ACCURATEZZA: la discrepanza media assoluta dal valore ottimale (0 = massima accuratezza).

Dato il numero ridotto del campione di è proceduto al test statistico non parametrico per campioni appaiati di Wilcoxon per confrontare i risultati rispetto al timing di trattamento. Il livello di significatività è stato posto a $p = 0.05$.

Risultati

I pazienti reclutati nello studio, tutti di etnia caucasica, sono stati 26 con età media di 28 anni (17 donne e 9 uomini) la discrepanza scheletrica di partenza era così distribuita: n.2 I classi open bite, n.8 II classi, n.16 III classi. Di questo pool di pazienti n.16 presentavano una asimmetria. (Tabella C)

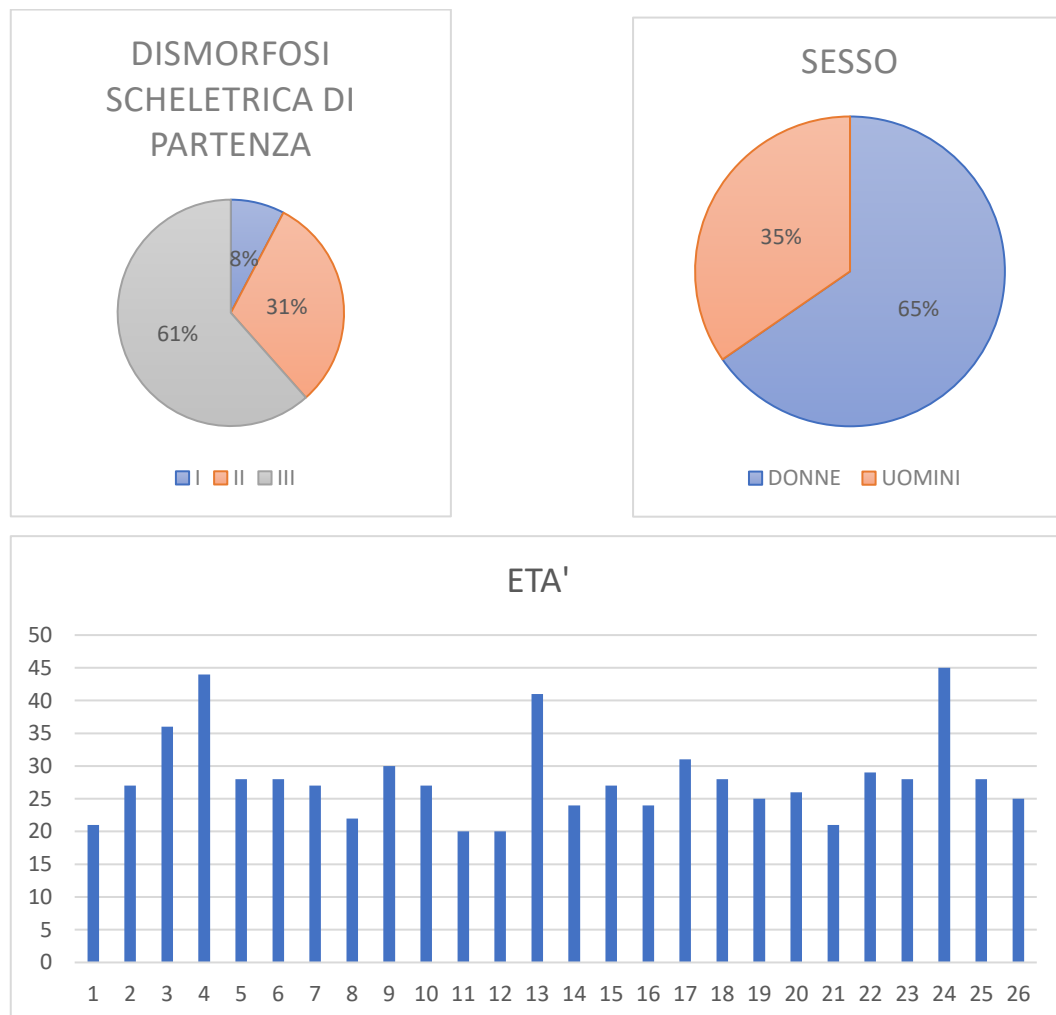


Tabella C Dismorfosi scheletrica di partenza, Sesso ed Età dei pazienti

Sono state eseguite n.26 chirurgie bimaxillari e n.4 genioplastiche. Dei 26 pazienti n°4 sono stati sottoposti a chirurgia segmentaria del mascellare superiore (2 bipartite e 2 tripartite). N.5 pazienti erano stati precedentemente sottoposti a intervento di espansione del mascellare superiore chirurgicamente assistita.

Due gruppi di n.13 soggetti ciascuno sono stati operati rispettivamente con modalità “Maxilla First” e “Mandible First”. Nello specifico, i pazienti del primo gruppo sono stati pianificati in T1 con il programma Siplant O&O®, Materialise (Leuven; Belgio), mentre i pazienti del secondo gruppo sono stati pianificati con il software IPS®, KLS Martin Group, GERMANIA con la costruzione di psi mandibolari di guida e fissazione ¹¹⁴.

Dal punto di vista ortodontico e qualitativo tutti i pazienti hanno rispettato la pianificazione ortodontica discussa al momento di presa in carico del paziente (T0). Relativamente all’atto chirurgico, tutti gli interventi pianificati hanno coinvolto entrambe le basi scheletriche mascellare e mandibolare (BIMAX), vi sono tuttavia margini di variabilità in relazione ai casi di chirurgia mascellare pluripartita (BIPARTITO, TRIPARTITO) e alla realizzazione o meno della genioplastica (GENIO).

In Tabella D è descritto il pianificato in ciascun momento operativo, in arancione i pazienti (n. 9) che hanno subito modifiche in corso di trattamento.

PAZIENTE	PLAN T0	PLAN T1	T2
1	BIMAX	BIMAX	BIMAX
	TRIPARTITO	TRIPARTITO	TRIPARTITO
2	BIMAX	BIMAX	BIMAX
3	BIMAX	BIMAX	BIMAX
4	BIMAX	BIMAX + GENIO	BIMAX + GENIO
5	BIMAX	BIMAX + GENIO	BIMAX + GENIO
6	BIMAX	BIMAX	BIMAX
7	BIMAX	BIMAX + GENIO	BIMAX
8	BIMAX	BIMAX + GENIO	BIMAX

9	BIMAX	BIMAX + GENIO	BIMAX
10	BIMAX	BIMAX	BIMAX
11	BIMAX	BIMAX	BIMAX
12	BIMAX	BIMAX + GENIO	BIMAX
13	BIMAX	BIMAX	BIMAX
	TRIPARTITO	BIPARTITO	BIPARTITO
14	BIMAX	BIMAX	BIMAX
15	BIMAX	BIMAX	BIMAX
16	BIMAX	BIMAX	BIMAX
17	BIMAX + GENIO	BIMAX + GENIO	BIMAX + GENIO
18	BIMAX	BIMAX	BIMAX
		TRIPARTITO	TRIPARTITO
19	BIMAX	BIMAX	BIMAX
20	BIMAX	BIMAX	BIMAX
	BIPARTITO	BIPARTITO	BIPARTITO
21	BIMAX	BIMAX	BIMAX
22	BIMAX	BIMAX	BIMAX
23	BIMAX	BIMAX	BIMAX
24	BIMAX	BIMAX	BIMAX
25	BIMAX	BIMAX + GENIO	BIMAX + GENIO
26	BIMAX	BIMAX	BIMAX

Tabella D Progetto chirurgico nella pianificazione T0 e T1 rispetto al realizzato in T2

Successivamente si è proceduto all'analisi quantitativa delle informazioni raccolte attraverso la sovrapposizione delle maschere 3D di mascellare e mandibola sovrapposte allineando il cranio del paziente. Considerato come assodato e trascurabile l'errore di sovrapposizione dei crani, sono stati valutati media di scostamento, RMS e deviazione standard del mascellare superiore e della mandibola con confronto T0-T1 (Tabella E), T1-T2 (Tabella F), T0-T2 (Tabella G).

T0-T1						
PAZIENTE	MEDIA mx	RMS	SD mx	MEDIA md	RMS	SD md
1	1.5675	1.9585	1.1741	1.3124	1.6398	0.9832
2	1.4393	1.7866	1.0584	1.457	1.8182	1.0877
3	1.4501	1.82	1.0999	1.4333	1.7208	0.9523
4	1.5217	1.8713	1.0892	1.3688	1.7174	1.0372
5	1.4417	1.8114	1.0967	1.427	1.7468	1.0075
6	1.4592	1.8272	1.0997	1.2991	1.6698	1.0491
7	1.483	1.8205	1.056	1.631	2.0069	1.1693
8	1.7934	2.1587	1.2016	1.7079	2.0944	1.2123
9	1.604	1.9894	1.1768	1.3671	1.7092	1.0259
10	1.2996	1.6536	1.0225	1.3676	1.7535	1.0974
11	1.6803	2.0528	1.1791	1.3616	1.698	1.0147
12	1.3133	1.6608	1.0166	1.5616	1.9482	1.1647
13	1.9068	2.2888	1.2659	1.6997	2.0609	1.1656
14	1.8946	2.2665	1.244	1.6808	2.0317	1.1414
15	1.3754	1.7437	1.0718	1.2833	1.6195	0.9878
16	1.2741	1.5906	0.9523	1.8541	2.2357	1.2493
17	0.8861	1.2628	0.8998	1.0353	1.3684	0.8949
18	1.9044	2.3077	1.3034	1.8675	2.236	1.2297
19	1.4059	1.7666	1.0697	1.6256	1.9919	1.151
20	1.4251	1.7733	1.0553	1.5199	1.8861	1.1169
21	1.2139	1.5852	1.0195	1.1081	1.3687	0.8034
22	0.8426	1.1522	0.7859	1.1283	1.462	0.9297
23	1.5412	1.9239	1.1515	1.5062	1.9397	1.2223
24	1.6086	1.9769	1.1491	1.5661	1.9336	1.134
25	1.2294	1.5598	0.9599	1.3364	1.657	0.9797
26	1.6833	2.055	1.1788	1.5982	1.9536	1.1235
	1.470942	1.833223	1.091442	1.465535	1.817992	1.07425

Tabella E Media, RMS e SD in mascellare e mandibola nel confronto T0-T1

T1-T2						
PAZIENTE	MEDIA mx	RMS	SD mx	MEDIA md	RMS	SD md
1	1.3015	1.6405	0.9987	1.115	1.4883	0.9858
2	1.4974	1.8312	1.0542	1.3932	1.7528	1.0635
3	1.2568	1.5867	0.9685	1.5676	1.937	1.1378
4	1.0952	1.4412	0.9368	1.4596	1.7883	1.0333
5	1.2522	1.5959	0.9894	1.3486	1.7101	1.0516
6	1.2115	1.5243	0.925	1.2826	1.6316	1.0085
7	1.5929	1.9257	1.082	1.699	2.0291	1.1093
8	1.7336	2.093	1.1727	1.7336	2.093	1.1727
9	1.3101	1.6581	1.0163	1.4019	1.7458	1.0404
10	1.525	1.8606	1.066	1.46	1.8124	1.0739
11	1.7706	2.1194	1.1649	1.6102	1.9568	1.112
12	1.55	1.8697	1.0456	1.091	1.4981	1.0267
13	1.781	2.1089	1.1294	1.8219	2.1696	1.1781
14	1.2866	1.6473	1.0287	1.8667	2.2045	1.1728
15	0.9669	1.2717	0.8261	1.2851	1.6739	1.0726
16	1.2469	1.5649	0.9456	1.9159	2.2873	1.2493
17	1.3941	1.7525	1.062	1.7186	2.0964	1.2005
18	1.4284	1.8175	1.1238	1.6998	2.0469	1.1405
19	1.3454	1.6844	1.0134	1.2583	1.6285	1.0338
20	1.211	1.5466	0.9621	1.5588	1.9403	1.1554
21	1.2883	1.6914	1.0959	1.2768	1.6616	1.0633
22	1.2915	1.6378	1.0072	1.2885	1.6905	1.0943
23	1.5112	1.9024	1.1557	1.4115	1.7602	1.0515
24	1.3927	1.7296	1.0257	1.6364	1.9786	1.1123
25	1.3955	1.7578	1.0689	1.4555	1.7944	1.0496
26	1.515	1.8807	1.1144	1.262	1.6432	1.0524
	1.390435	1.736146	1.037654	1.485312	1.846892	1.093919

Tabella F Media, RMS e SD in mascellare e mandibola nel confronto T1-T2

T0-T2						
PAZIENTE	MEDIA mx	RMS	SD mx	MEDIA md	RMS	SD md
1	1.4774	1.8796	1.162	1.3388	1.6659	0.9915
2	1.4282	1.8054	1.1044	1.6484	2.0295	1.184
3	1.504	1.8655	1.1036	1.54	1.9401	1.18
4	1.6527	2.023	1.1666	1.365	1.713	1.0351
5	1.4782	1.8401	1.0958	1.6076	1.9657	1.1312
6	1.517	1.8964	1.1379	1.4048	1.7895	1.1086
7	1.5021	1.8652	1.1057	1.439	1.8035	1.0872
8	1.7694	2.1505	1.2222	1.7084	2.0851	1.1955
9	1.6745	2.0397	1.1646	1.5099	1.8552	1.0781
10	1.7006	2.0596	1.1618	1.5706	1.9502	1.1561
11	1.9473	2.3416	1.3004	1.7725	2.162	1.2378
12	1.2913	1.6318	0.9977	1.6056	1.9942	1.1826
13	1.7138	2.1054	1.223	1.9085	2.2906	1.2668
14	1.8514	2.2126	1.2116	1.9184	2.2746	1.2221
15	1.0867	1.4376	0.941	1.528	1.868	1.0745
16	1.463	1.7997	1.0482	1.2216	1.6193	1.0629
17	0.9675	1.3235	0.9031	1.3881	1.7835	1.12
18	1.8192	2.198	1.2337	1.5891	1.9784	1.1784
19	1.1244	1.4837	0.9681	1.5172	1.8945	1.1345
20	1.5405	1.8654	1.0518	1.2181	1.5243	0.9163
21	1.2926	1.6785	1.0707	1.2435	1.6166	1.0329
22	1.0318	1.3464	0.8649	1.4558	1.8686	1.1714
23	1.7305	2.0808	1.1556	1.3342	1.7454	1.1253
24	1.4567	1.8134	1.08	1.3434	1.7234	1.0794
25	1.2386	1.5885	0.9946	1.4246	1.7879	1.0804
26	1.2177	1.589	1.0209	1.5507	1.9249	1.1405
	1.479888	1.843112	1.095765	1.505838	1.878996	1.122042

Tabella G Media, RMS e SD in mascellare e mandibola nel confronto T0-T2

I grafici A, B, C sottostanti mostrano in dettaglio la media di scostamento di ciascun paziente con relativa deviazione standard del mascellare e della mandibola nel confronto T0-T1, T1-T2, T0-T2.

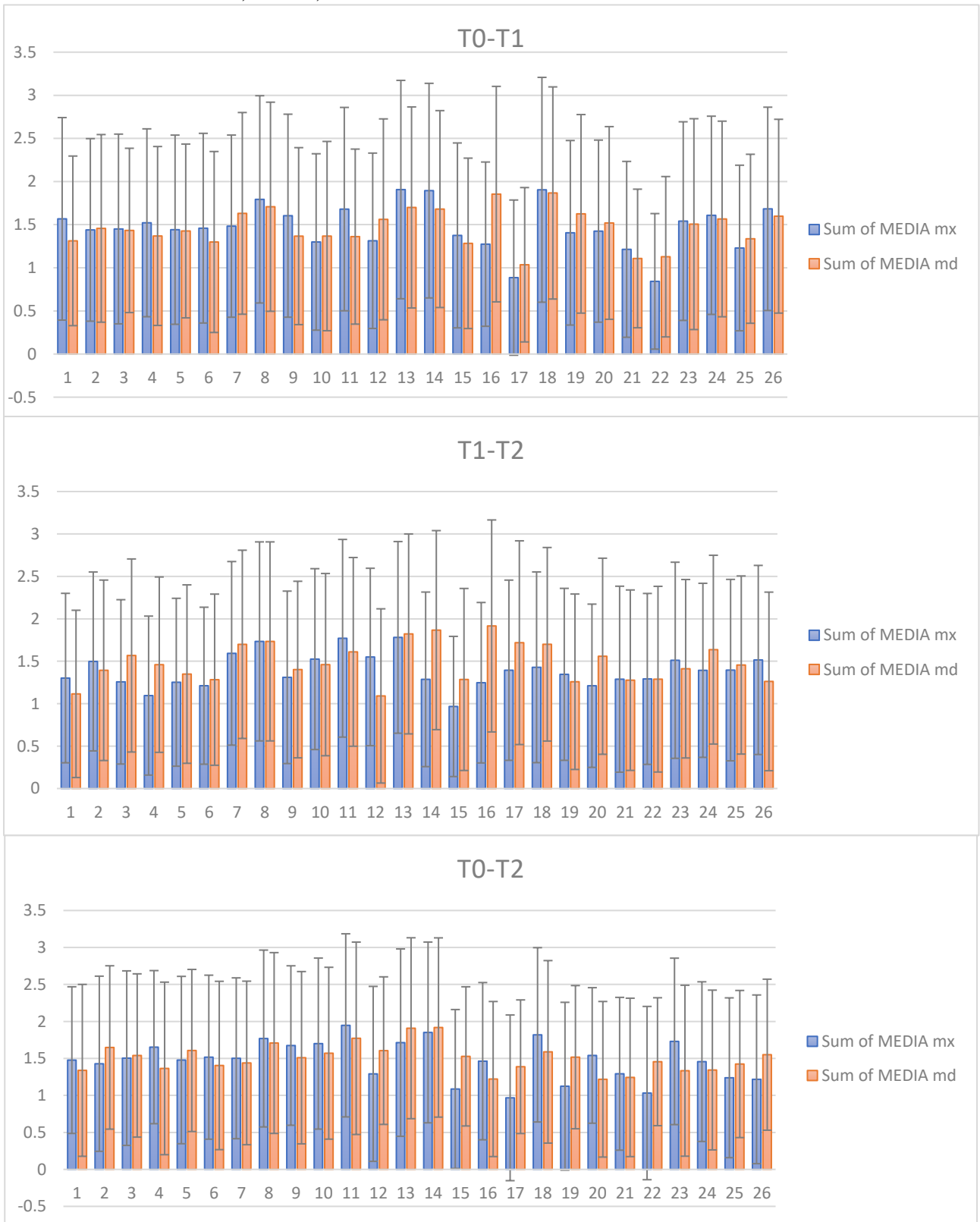
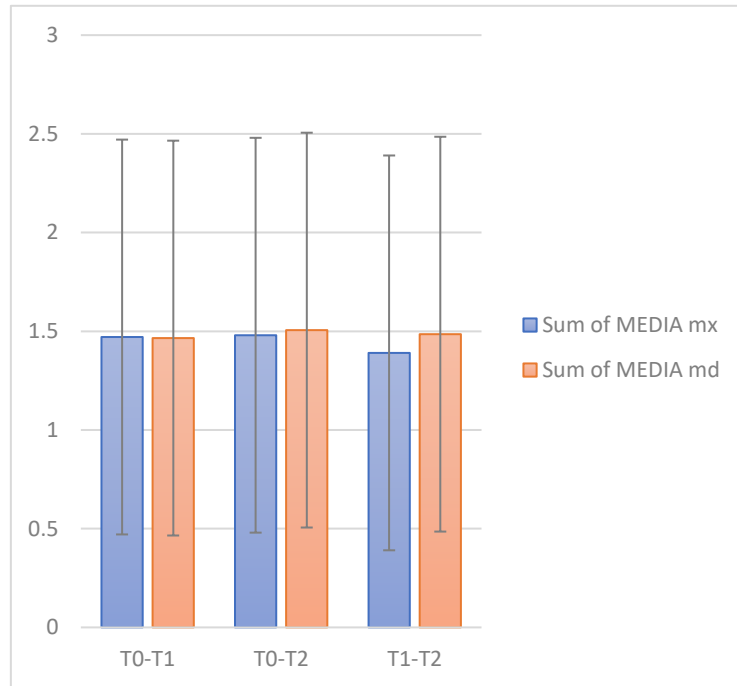


Grafico A B C Media e SD dei pazienti nel confronto T0-T1, T1-T2, T0-T2

Nello specifico il grafico D sottostante mostra i valori medi risultanti dalla media di tutti i pazienti con relativa media delle deviazioni standard di mascellare e mandibola nel confronto T0-T1, T1-T2, T0-T2.

In tutti i casi l'accuratezza delle pianificazioni misurata attraverso la media di scostamento totale si attesta al di sotto dell'1.5 mm.



	MX	MD
T0-T1	1.47 ± 1.09 mm	1.46 ± 1.07
T1-T2	1.39 ± 1.04 mm	1.48 ± 1.09 mm
T0-T2	1.48 ± 1.09 mm	1.5 ± 1.12 mm

Grafico B Valori medi di Media e SD di mascellare e mandibola in T0-T1, T1-T2, T0-T2

È stato eseguito test statistico non parametrico per campioni appaiati di Wilcoxon sia per le medie sia per le deviazioni standard in mascellare e mandibola. I risultati non sono stati statisticamente significativi eccetto che nel confronto fra le deviazioni standard (T0-T2) - (T1-T2) con p value di 0.011 in mascellare e 0.022 in mandibola ($p < 0.05$). (Grafico E)

Wilcoxon Test MAXILLA			
AVG	(T1-T2) -(T0-T1)	(T0-T2) -(T0-T1)	(T0-T2) -(T1-T2)
P value	0.101	0.732	0.124
SD	(T1-T2) -(T0-T1)	(T0-T2) -(T0-T1)	(T0-T2) - (T1-T2)
P value	0.016	0.657	0.011

Wilcoxon Test MANDIBILE			
AVG	(T1-T2) -(T0-T1)	(T0-T2) -(T0-T1)	(T0-T2) -(T1-T2)
P value	0.829	0.354	0.517
SD	(T1-T2) -(T0-T1)	(T0-T2) -(T0-T1)	(T0-T2) - (T1-T2)
P value	0.869	0.069	0.022

Grafico C Wilcoxon Test in mascellare e mandibola

Sono stati inoltre calcolati i valori medi di RMS come nel grafico F.

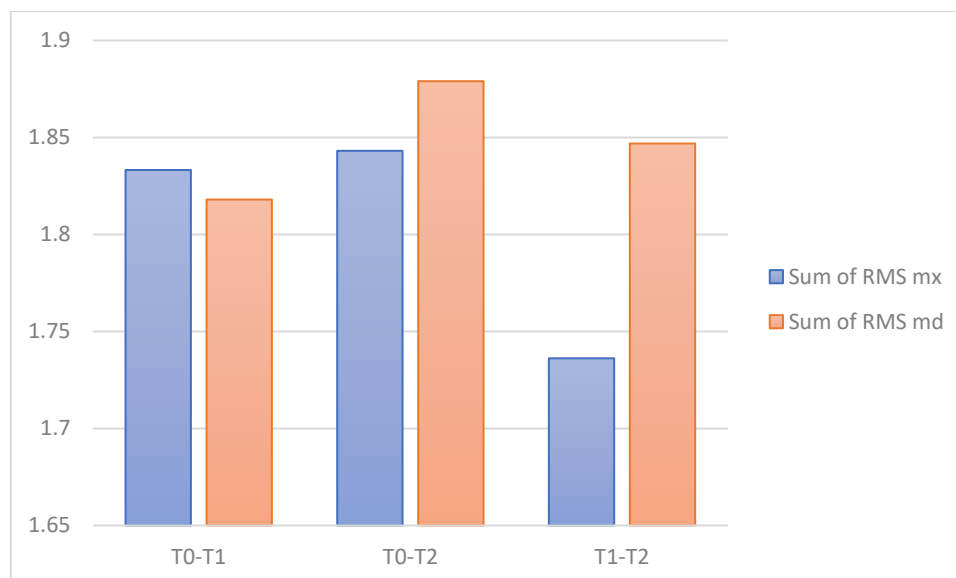


Grafico D Valori medi di RMS

La precisione dei planning è stata misurata attraverso una sovrapposizione delle maschere tridimensionali e misurando la percentuale di valori di scostamento inclusi in un range definito (-2mm, +2mm). (Figura 56)

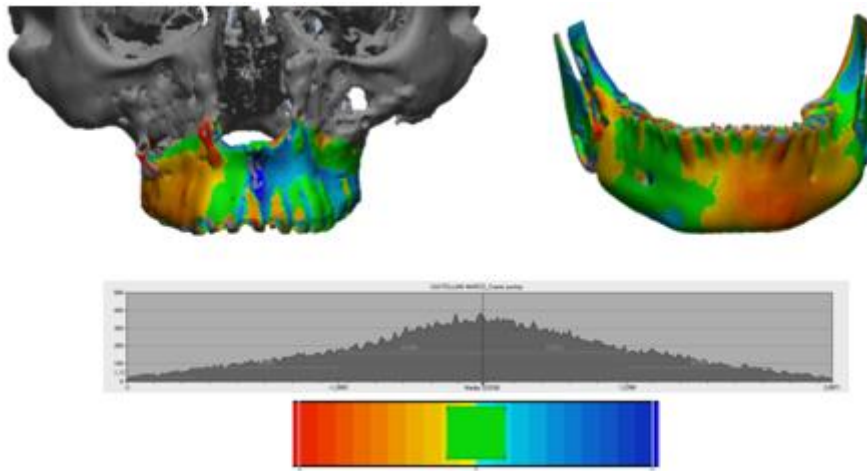


Figura 56 Maschere 3D sovrapposte

Nel grafico G sono riportati le percentuali di scostamento del mascellare superiore e mandibola di ciascun paziente nei momenti T0-T1, T1-T2, T0-T2.

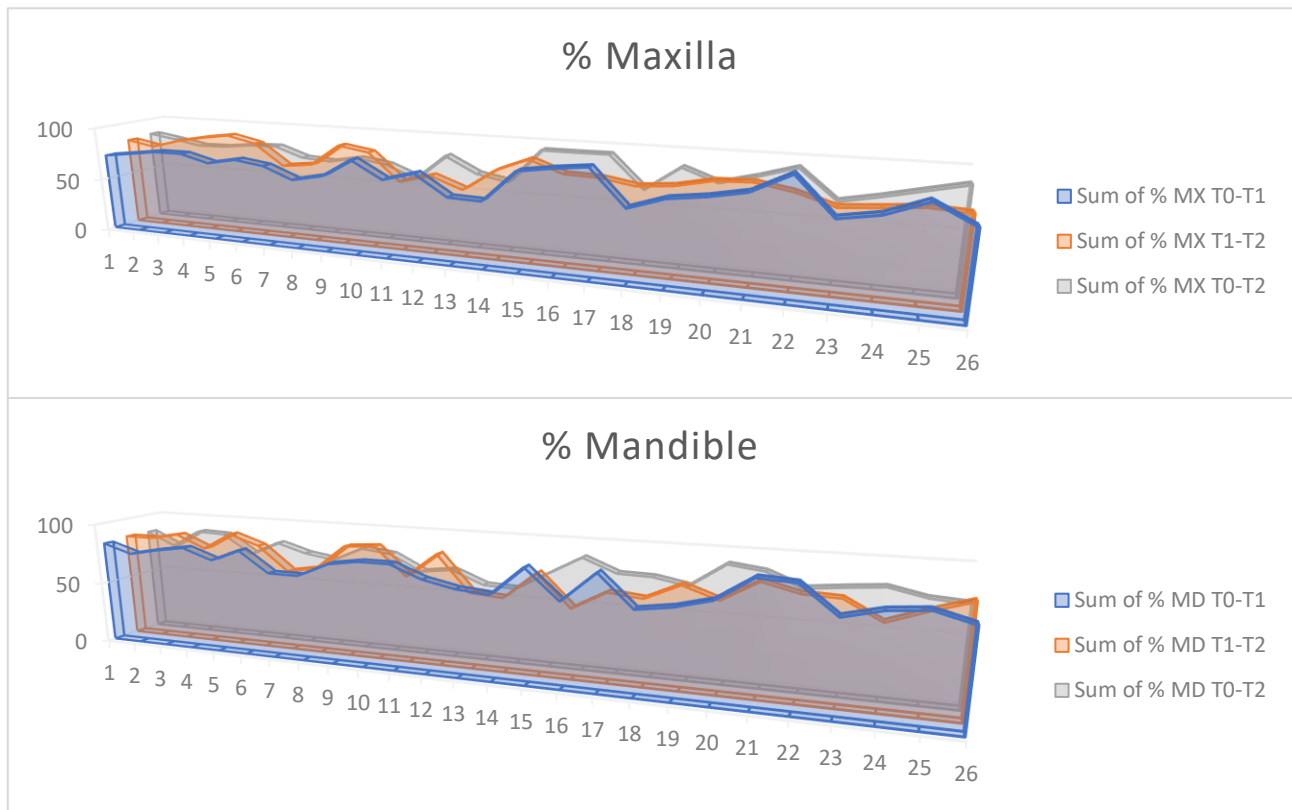
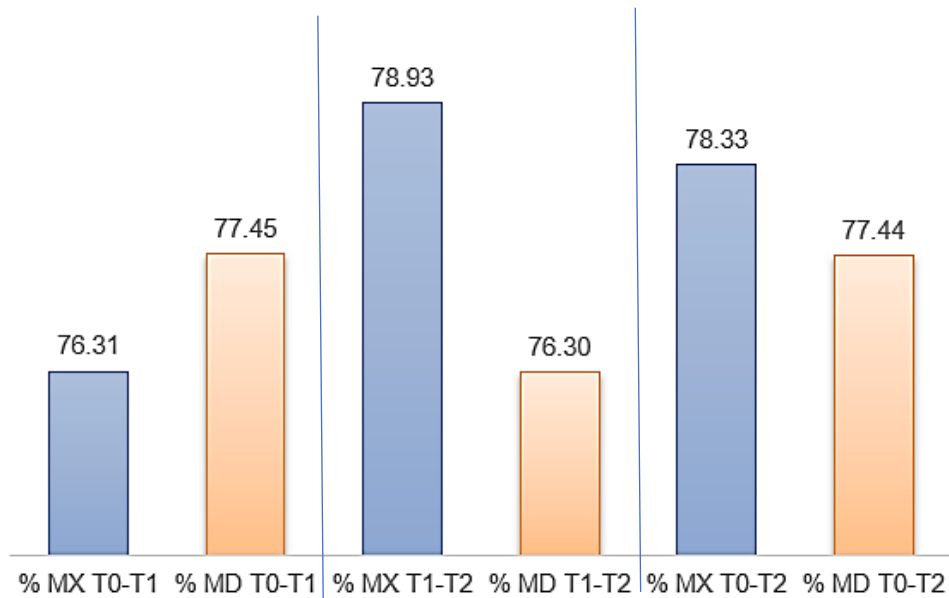


Grafico E Percentuale di scostamento dei pazienti nel confronto T0-T1, T1-T2, T0-T2

I valori medi percentuali per base scheletrica e per timing sono riportati di seguito.
(Grafico H)



	MX	MD
T0-T1	76.30%	77.40%
T1-T2	78.90%	76.20%
T0-T2	78.30%	77.40%

Grafico F Valori medi percentuali in mascellare e mandibola nel T0-T1, T1-T2, T0-T2

È stato eseguito test statistico non parametrico per campioni appaiati di Wilcoxon che non ha dato risultati statisticamente significativi ($p > 0.05$). (Grafico I)

Wilcoxon Test			
MAXILLA	(T1-T2)-(T0-T1)	(T0-T2)-(T0-T1)	(T0-T2)-(T1-T2)
P value	0.182	0.131	0.770
MANDIBLE	(T1-T2)-(T0-T1)	(T0-T2)-(T0-T1)	(T0-T2)-(T1-T2)
P value	0.675	0.939	0.737

Grafico G Wilcoxon test in mascellare e mandibola

Obiettivo secondario del lavoro è il confronto fra i due gruppi operati con tecnica “Maxilla First” (MXF) e “Mandible First” (MDF) analizzando accuratezza e precisione delle due metodiche.

Dal grafico J è possibile valutare lo scostamento medio del riposizionamento del mascellare in MXF e MDF: l’accuratezza della tecnica MXF appare migliore in T0-T1, T1-T2, T0-T2.

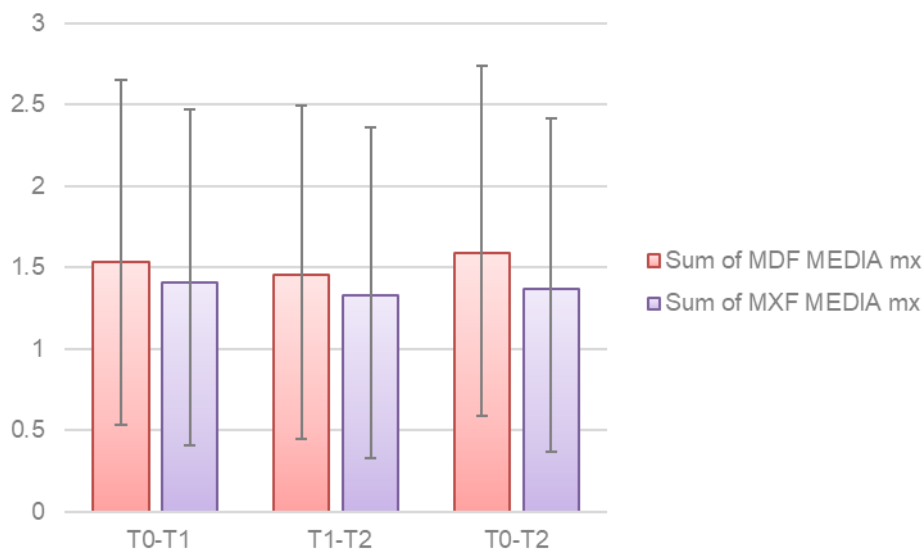


Grafico J Media e SD del riposizionamento mascellare delle tecniche MXF e MDF nel T0-T1, T1-T2.

Analogamente si è proceduto con il Test di Wilcoxon per valutare le differenze fra i due campioni in esame. Sono state valutate differenze statisticamente significative nel confronto T0-T2 sia per la media sia per la deviazione standard ($p < 0.05$).

TIMING	MDF avg	MXF avg	P value
T0-T1	1.54	1.41	0.152
T1-T2	1.45	1.33	0.087
T0-T2	1.59	1.37	0.033

TIMING	MDF SD	MXF SD	P value
T0-T1	1.12	1.06	0.152
T1-T2	1.04	1.03	0.087
T0-T2	1.15	1.04	0.011

Grafico K Media e SD e p value mascellari delle tecniche MXF e MDF nel T0-T1,

Il grafico L invece descrive l'errore medio di sovrapposizione della mandibola in T0-T1, T1-T2, T0-T2 nelle due tecniche. Di seguito i valori derivati dal test di Wilcoxon che non hanno dato risultati statisticamente significativi ($p > 0.05$)

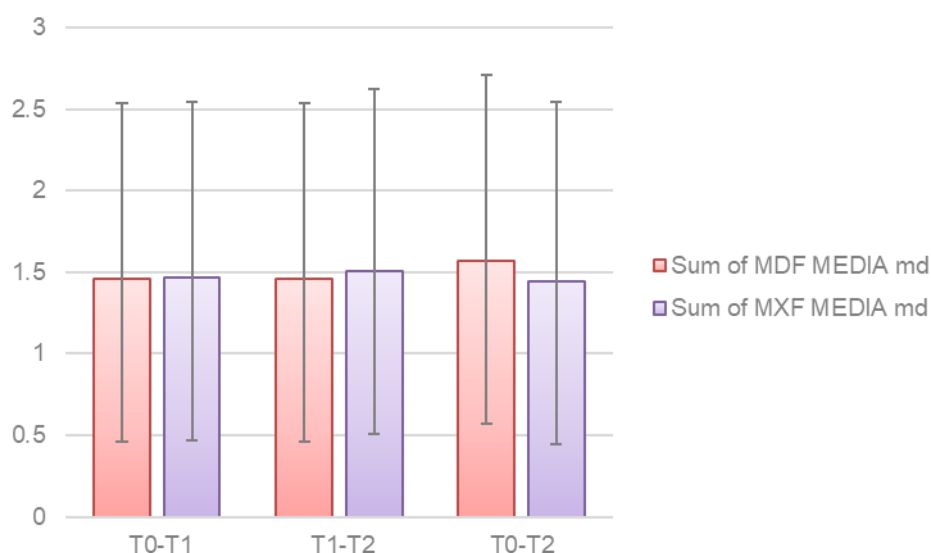


Grafico L Media e SD del riposizionamento mandibolare delle tecniche MXF e MDF nel T0-T1, T1-T2.

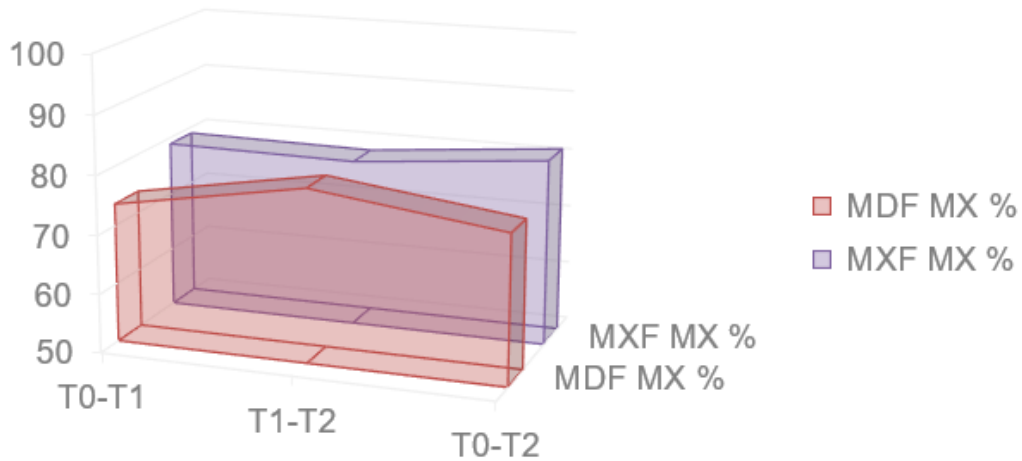
TIMING	MDF avg	MXF avg	P value
T0-T1	1.46	1.07	0.972
T1-T2	1.46	1.08	0.807
T0-T2	1.57	1.14	0.064

TIMING	MDF SD	MXF SD	P value
T0-T1	1.07	1.47	0.753
T1-T2	1.08	1.51	0.116
T0-T2	1.14	1.44	0.173

Grafico M Media e SD e p value mandibolare delle tecniche MXF e MDF nel T0-

La precisione delle due tecniche è stata valutata anch'essa nel mascellare superiore e nella mandibola.

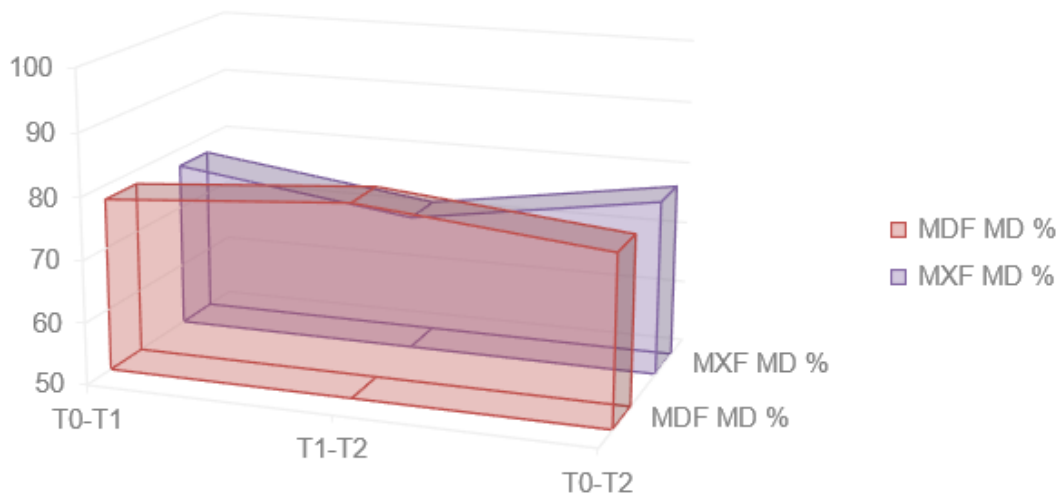
Il grafico N descrive le percentuali di sovrapposizione del mascellare in MXF e MDF nei momenti T0-T1, T1-T2, T0-T2 e il p value che non denota risultati statisticamente significativi.



	MDF	MXF	P VALUE
T0-T1	73.69%	78.92%	0.221
T1-T2	79.33%	78.54%	0.972
T0-T2	75.18%	81.48%	0.133

Grafico N Media delle percentuali di sovrapposizione e p value delle tecniche MXF e MDF In mascellare nel T0-T1, T1-T2, T0-T2

Il grafico O analogamente descrive le percentuali di sovrapposizione mandibolare e analogamente non vi sono risultati statisticamente significativi.



	MDF	MXF	P value
T0-T1	77.79%	77.12%	0.753
T1-T2	80.74%	71.85%	0.064
T0-T2	76.93%	77.95%	0.701

Grafico O Media delle percentuali di sovrapposizione e p value delle tecniche MXF e MDF in mandibola nel T0-T1, T1-T2, T0-T2

Discussione e Conclusioni

A differenza di molti lavori che affermano la bontà della pianificazione digitale, soprattutto se comparata allo studio bidimensionale e con modelli in gesso nel momento pre-operatorio (T1)^{93,102}, la letteratura attuale è povera di informazioni riguardanti le potenzialità intrinseche nello studio 3D del paziente dismorfo sin dal momento iniziale della diagnosi e della pianificazione terapeutica (T0).

In particolare, il planning ortodontico chirurgico al tempo T0 è stato già investigato dal nostro gruppo nell'approccio Surgery First⁸⁰, il quale non prevede una fase ortodontica pre-chirurgica. La pianificazione in Surgery First ha consentito di

visualizzare con anticipo l'esito del trattamento, ottenendo valori di accuratezza nel mascellare di 0.0702 ± 2.0724 mm e nella mandibola di 0.2811 ± 1.9993 mm e di precisione rispettivamente in mascellare e mandibola del 75.3% e del 74.0%, nel range di ± 2 -mm.

In questo lavoro si è proceduto alla valutazione di ciascuno dei momenti di pianificazione (T0, T1) atti al raggiungimento del risultato finale (T2) misurando l'accuratezza e la precisione dei setup diagnostici. Secondariamente, si è analizzata la bontà della pianificazione digitale in funzione del tipo di chirurgia eseguita, sia essa Maxilla First oppure Mandible First.

Dei planning dei 26 pazienti solo 9 hanno avuto delle modificazioni del planning rispetto al T2, la maggior parte delle modifiche riguardava la pluripartizione del mascellare superiore o la realizzazione o meno della genioplastica. Queste scelte sono imputabili al livello di ortodonzia di decompenso e alla imprevedibilità dei tessuti molli¹²¹. Di fatto software attuali sono ancora carenti nel decifrare i possibili cambiamenti morfologici dei tessuti molli, componente fondamentale per il buon esito del trattamento ortodontico chirurgico stesso. (esempio. Genioplastica, profilo mandibolare) .

I risultati di accuratezza e precisione ottenuti dal confronto dei tre tempi terapeutici hanno mostrato effetti a favore della pianificazione digitale. Nel pool complessivo dei 26 pazienti oggetto della ricerca, l'accuratezza media del planning si è dimostrata in tutte le fasi al di sotto degli 1.5 mm sia nel mascellare sia nella mandibola, con valori leggermente migliori di pianificazione del mascellare superiore (T0-T1: MX = 1.47 ± 1.09 mm, MD = 1.46 ± 1.07 mm; T1-T2: MX = 1.39 ± 1.04 mm, MD = 1.48 ± 1.09 mm; T0-T2: MX = 1.48 ± 1.09 mm, MD = 1.5 ± 1.12 mm) . Un'accuratezza inferiore a 2 mm fra il planning e l'outcome delle superfici delle basi scheletriche è considerata clinicamente accettata in letteratura^{52,122}.

In relazione alla precisione ottenuta nel range di ± 2 mm i valori medi sono stati T0-T1: MX = 76.3%, MD = 77.4%; T1-T2: MX = 78.9%, MD = 76.2%; T0-T2: MX =

78.3%, MD = 77.4% anche questi ultimi possono considerarsi in accordo con la letteratura^{52,122}

Dato il numero ridotto del campione di è proceduto al test statistico di Wilcoxon per confrontare i timing di trattamento: i risultati non sono stati statisticamente significativi sia per Media sia per SD ($p > 0.05$), ne consegue che il planning T0 è risultato tanto accurato nel predire l'outcome finale in T2 quanto il planning T1.

Analizzando i risultati, le variazioni nel confronto T0-T1 possono essere dovute all'ortodonzia preparatoria, che può essere condizionata dal biotipo parodontale del paziente e dalla capacità fisiologica dei denti di seguire i movimenti ortodontici in maniera predicibile, e ai tessuti molli la cui modificazione nel tempo può influenzare la pianificazione nel momento peri operatorio.

Resta altresì di conforto che l'accuratezza e la precisione T0-T2 non si discosti significativamente dal confronto degli alti momenti di trattamento, suggerendo che la pianificazione iniziale è stata da guida nella gestione della terapia.

Anche nel confronto T1-T2 vi è una buona precisione e accuratezza probabilmente per l'uso degli splint cad cam e per l'utilizzo in alcuni casi di PSI^{11,114}.

Per quanto riguarda il confronto fra le due tecniche MXF e MDF, la Letteratura non è ancora concorde su quale sia la tecnica chirurgica da prediligere in chirurgia ortognatica. Borba et al ¹¹³ nella loro revisione sistematica affermano che la base scheletrica da operare per prima è spesso scelta sulla base del planning chirurgico stesso e soprattutto sulla base dell'expertise e delle preferenze del chirurgo.

Allo stesso modo non vi sarebbero differenze statisticamente significative nel confronto fra le due tecniche nel risultato postoperatorio¹²³.

Nel nostro pool di pazienti la precisione di riposizionamento mandibolare nel gruppo MDF è risultata maggiore. Questo è presumibilmente dovuto all'utilizzo di PSI¹¹⁴, come nel campione in oggetto. Nella normale pratica clinica, tuttavia, bisogna considerare i costi elevati dei PSI e fare un bilancio costi benefici riservandoli a casi selezionati (ex asimmetrie).

Infatti, l'utilizzo di PSI, come anche di apparecchi ortodontici customizzati¹²⁴ che possano realizzare fedelmente la pianificazione 3D sin dal primo momento T0 è auspicabile nei futuri trattamenti.

Per quanto riguarda il riposizionamento del mascellare superiore state valutate differenze statisticamente significative in termini di accuratezza nel confronto T0-T2 sia per la media sia per la deviazione standard ($p < 0.05$), questo potrebbe essere dovuto all'abitudine del team chirurgico di pianificare il caso pensando a un approccio MXF al tempo T0.

L'analisi di superficie oggetto del lavoro, presenta tuttavia il limite di non descrivere in maniera esaustiva le deviazioni fra le maschere 3D in termini traslazionali e rotazionali (basate sugli assi e le coordinate x, y, z). Inoltre, il principale difetto dell'algoritmo ICP risiede nel fatto che le distanze di scostamento sono calcolate tra i due punti più vicini delle due mesh di superficie (deviazioni minime tra i vertici delle maglie adiacenti), e non vi è corrispondenza fra punti anatomici¹¹⁹.

Con il presupposto che sono necessari ulteriori studi per integrare i risultati ottenuti dal presente lavoro, resta comunque certo il vantaggio che risiede nella pianificazione virtuale al tempo T0 come guida e aiuto ai clinici per garantire risultati elevati in termini di accuratezza e precisione ai pazienti ortognatici.

Bibliografia

1. Proffit WR, White RP, Sarver DM. *Contemporary Treatment of Dentofacial Deformity.*; 2004. www.jco-online.com. Accessed March 31, 2020.
2. Phillips C, Bennett ME, Broder HL. Dentofacial disharmony: Psychological status of patients seeking treatment consultation. doi:10.1043/0003-3219(1998)068<0547:DDPSOP>2.3.CO;2
3. Steinhauser EW. Historical development of orthognathic surgery. *J Cranio-Maxillo-Facial Surg.* 1996;24(4):195-204. doi:10.1016/s1010-5182(96)80002-3
4. Angle EH. Some studies in occlusion. *Angle Orthod.* 1968;38(1):79-81. doi:10.1043/0003-3219(1968)038<0079:SSIO>2.0.CO;2
5. Andrews LF. The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod.* 1972;62(3):296-309. doi:10.1016/S0002-9416(72)90268-0
6. Olsen DG. New definition of orthodontics. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1994;105(1):20A. doi:10.1016/s0889-5406(05)81152-7
7. Obwegeser HL, Makek MS. Hemimandibular hyperplasia - Hemimandibular elongation. *J Maxillofac Surg.* 1986;14(C):183-208. doi:10.1016/S0301-0503(86)80290-9
8. Posnick JC. *Orthognathic Surgery: Principles and Practice.* Elsevier Inc.; 2013. doi:10.1016/C2011-1-04193-0
9. Worms FW, Isaacson RJ, Speidel TM. Surgical orthodontic treatment planning: profile analysis and mandibular surgery. *Angle Orthod.* 1976;46(1):1-25. doi:10.1043/0003-3219(1976)046<0001:SOTPPA>2.0.CO;2

10. Luther F, Morris DO, Hart C. Orthodontic preparation for orthognathic surgery: How long does it take and why? A restrospective study. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2003;41(6):401-406. doi:10.1016/S0266-4356(03)00163-3
11. Hernández-Alfaro F, Guijarro-Martínez R. New protocol for three-dimensional surgical planning and CAD/CAM splint generation in orthognathic surgery: An in vitro and in vivo study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2013;42(12):1547-1556. doi:10.1016/j.ijom.2013.03.025
12. Huang CS, Hsu SSP, Chen YR. Systematic review of the surgery-first approach in orthognathic surgery. *Biomed J.* 2014;37(4):184-190. doi:10.4103/2319-4170.126863
13. Epker BN, Fish LC. Surgical-orthodontic correction of open-bite deformity. *Am J Orthod.* 1977;71(3):278-299. doi:10.1016/0002-9416(77)90188-9
14. Assael LA. The Biggest Movement: Orthognathic Surgery Undergoes Another Paradigm Shift. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008;66(3):419-420. doi:10.1016/j.joms.2008.01.001
15. NAGASAKA HIROSHI, SUGAWARA JUNJI, KAWAMURA HIROSHI NR. "Surgery First" Skeletal Class III Correction Using the Skeletal Anchorage System. *J Clin Orthod.* 2017;51(9):598-601.
16. Rossini G, Cavallini C, Cassetta M, Barbato E. 3D cephalometric analysis obtained from computed tomography. Review of the literature. *Ann Stomatol (Roma).* 2011;2(3-4):31-39. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22545187>. Accessed March 27, 2020.
17. Smektała T, Jędrzejewski M, Szyndel J, Sporniak-Tutak K, Olszewski R. Experimental and clinical assessment of three-dimensional cephalometry:

- A systematic review. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2014;42(8):1795-1801.
doi:10.1016/j.jcms.2014.06.017
18. White CS, Dolwick MF. Prevalence and variance of temporomandibular dysfunction in orthognathic surgery patients. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 1992;7(1):7-14.
 19. Westermark A, Shayeghi F, Thor A. Temporomandibular dysfunction in 1,516 patients before and after orthognathic surgery. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.* 2001;16(2):145-151.
 20. Wolford LM, Reiche-Fischel O, Mehra P. Changes in temporomandibular joint dysfunction after orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2003;61(6):655-660. doi:10.1053/joms.2003.50131
 21. Onizawa K, Schmelzeisen R, Vogt S. Alteration of temporomandibular joint symptoms after orthognathic surgery: comparison with healthy volunteers. *J Oral Maxillofac Surg.* 1995;53(2):117-121; discussion 122-3. doi:10.1016/0278-2391(95)90383-6
 22. Gill DS. *The Management of Temporomandibular Disorders and Occlusion.* Vol 10.; 2004. doi:10.1111/j.1601-0825.2004.01034.x
 23. Schiffman E, Ohrbach R, Truelove E, et al. Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (DC/TMD) for Clinical and Research Applications: Recommendations of the International RDC/TMD Consortium Network* and Orofacial Pain Special Interest Group†. *J Oral Facial Pain Headache.* 2014;28(1):6-27. doi:10.11607/jop.1151
 24. Incorvati C, Romeo A, Fabrizi A, et al. Effectiveness of physical therapy in addition to occlusal splint in myogenic temporomandibular disorders: Protocol of a randomised controlled trial. *BMJ Open.* 2020;10(8). doi:10.1136/bmjopen-2020-038438

25. B. Jankelson. Neuromuscular aspects of occlusion. Effects of occlusal position on the physiology and dysfunction of the mandibular musculature. *Dent Clin North Am.* 1979;23(2):157-168.
26. Bazzotti L BR. *Principi Di Occlusione Neuromuscolare.* (Casa Editrice Ambrosiana, ed.); 1990.
27. Jankelson B. Electronic control of muscle contraction--a new clinical era in occlusion and prosthodontics. *Sci Educ Bull.* 1969;2(1):29-31.
<https://europepmc.org/article/med/4949886>. Accessed November 12, 2020.
28. Jankelson B, Radke JC. The myo-monitor: its use and abuse (I). *Quintessence Int Dent Dig.* 1978;9(2):47-52.
29. Eble OS, Jonas IE, Kappert HF. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS): its short-term and long-term effects on the masticatory muscles. *J Orofac Orthop.* 2000;61(2):100-111. doi:10.1007/BF01300352
30. Moorrees CFA, Kean MR. Natural head position, a basic consideration in the interpretation of cephalometric radiographs. *Am J Phys Anthropol.* 1958;16(2):213-234. doi:10.1002/ajpa.1330160206
31. Jacobson A, Jacobson RL. *Radiographic Cephalometry : From Basics to 3-D Imaging.* Quintessence Pub; 2006.
32. Arnett GW, Jelic JS, Kim J, et al. Soft tissue cephalometric analysis: diagnosis and treatment planning of dentofacial deformity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;116(3):239-253. doi:10.1016/S0889-5406(99)70234-9
33. Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography): I. Description of system. *Br J Radiol.* 1973;46(552):1016-1022.
doi:10.1259/0007-1285-46-552-1016
34. Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Tinazzi Martini P, Bergamo Andreis IA.

- A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: Preliminary results. *Eur Radiol.* 1998;8(9):1558-1564.
doi:10.1007/s003300050586
35. Mangano -> Monografia F. *GLI SCANNER INTRAORALI.*; 2017.
 36. Kihara H, Hatakeyama W, Komine F, et al. Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. *J Prosthodont Res.* 2020;64(2):109-113. doi:10.1016/j.jpjor.2019.07.010
 37. Plooij JM, Maal TJJ, Haers P, Borstlap WA, Kuijpers-Jagtman AM, Bergé SJ. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011;40(4):341-352.
doi:10.1016/j.ijom.2010.10.013
 38. Hans MG, Palomo JM, Valiathan M. History of imaging in orthodontics from Broadbent to cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2015;148:914-921. doi:10.1016/j.ajodo.2015.09.007
 39. Broadbent BH. A NEW X-RAY TECHNIQUE and ITS APPLICATION TO ORTHODONTIA. *Angle Orthod.* 1931;1(2):45-66. doi:10.1043/0003-3219(1931)001<0045:anxtai>2.0.co;2
 40. Downs WB. Variations in facial relationships: Their significance in treatment and prognosis. *Am J Orthod.* 1948;34(10):812-840.
doi:10.1016/0002-9416(48)90015-3
 41. Steiner CC. Cephalometrics for you and me. *Am J Orthod.* 1953;39(10):729-755. doi:10.1016/0002-9416(53)90082-7
 42. Broadbent BHJ. GWH. BRGMD. BOLTON STANDARDS OF DENTOFACIAL DEVELOPMENT GROWTH : Plastic and Reconstructive Surgery. *Plast Reconstr Surg.* 1977;59(1):115.

https://journals.lww.com/plasreconsurg/Citation/1977/01000/BOLTON_STANDARDSD_OF_DENTOFACIAL_DEVELOPMENT_GROWTH.23.aspx
. Accessed April 29, 2020.

43. Ricketts RM. The Influence Of Orthodontic Treatment On Facial Growth And Development. *Angle Orthod*. 1960;30(3):103-133. doi:10.1043/0003-3219(1960)030<0103:tiooto>2.0.co;2
44. McNamara JA. A method of cephalometric evaluation. *Am J Orthod*. 1984;86(6):449-469. doi:10.1016/S0002-9416(84)90352-X
45. Tweed CH. The frankfort-mandibular plane angle in orthodontic diagnosis, classification, treatment planning, and prognosis. *Am J Orthod Oral Surg*. 1946;32(4):175-230. doi:10.1016/0096-6347(46)90001-4
46. Holdaway RA. A soft-tissue cephalometric analysis and its use in orthodontic treatment planning. Part II. *Am J Orthod*. 1984;85(4):279-293. doi:10.1016/0002-9416(84)90185-4
47. Palomo JM, Valiathan M, Hans MG. 3D Orthodontic Diagnosis and Treatment Planning. In: *Cone Beam Computed Tomography in Orthodontics: Indications, Insights, and Innovations*. Wiley Blackwell; 2014:221-246. doi:10.1002/9781118674888.ch11
48. Marmulla R, Niederdellmann H. Surgical Planning of Computer-Assisted Repositioning Osteotomies. *Plast Reconstr Surg*. 1999;104(4):938-944. doi:10.1097/00006534-199909040-00007
49. Hassfeld S, Mühling J. Computer assisted oral and maxillofacial surgery--a review and an assessment of technology. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2001;30(1):2-13. doi:10.1054/ijom.2000.0024
50. Xia J, Ip HHS, Samman N, et al. Three-dimensional virtual-reality surgical planning and soft-tissue prediction for orthognathic surgery. *IEEE Trans*

- Inf Technol Biomed.* 2001;5(2):97-107. doi:10.1109/4233.924800
51. Gateño J, Teichgraeber JF, Aguilar E. Computer planning for distraction osteogenesis. *Plast Reconstr Surg.* 2000;105(3):873-882. doi:10.1097/00006534-200003000-00008
 52. Marchetti C, Bianchi A, Bassi M, Gori R, Lamberti C, Sarti A. Mathematical modeling and numerical simulation in maxillo-facial virtual surgery (VISU). *J Craniofac Surg.* 2006;17(4):661-667. doi:10.1097/00001665-200607000-00009
 53. Swennen GRJ, Mollemans W, Schutyser F. Three-Dimensional Treatment Planning of Orthognathic Surgery in the Era of Virtual Imaging. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009;67(10):2080-2092. doi:10.1016/j.joms.2009.06.007
 54. Choi JY, Song KG, Baek SH. Virtual model surgery and wafer fabrication for orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2009;38(12):1306-1310. doi:10.1016/j.ijom.2009.06.009
 55. Nadjmi N, Mollemans W, Daelemans A, Van Hemelen G, Schutyser F, Bergé S. Virtual occlusion in planning orthognathic surgical procedures. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2010;39(5):457-462. doi:10.1016/j.ijom.2010.02.002
 56. Cevidanes LHC, Tucker S, Styner M, et al. Three-dimensional surgical simulation. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2010;138(3):361-371. doi:10.1016/j.ajodo.2009.08.026
 57. Aboul-Hosn Centenero S, Hernández-Alfaro F. 3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results - Our experience in 16 cases. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2012;40(2):162-168. doi:10.1016/j.jcms.2011.03.014
 58. Swennen GRJ. Timing of three-dimensional virtual treatment planning of

- orthognathic surgery: A prospective single-surgeon evaluation on 350 consecutive cases. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2014;26(4):475-485. doi:10.1016/j.coms.2014.08.001
59. Xia JJ, Gateno J, Teichgraeber JF, et al. Algorithm for planning a double-jaw orthognathic surgery using a computer-aided surgical simulation (CASS) protocol. Part 1: Planning sequence. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015;44(12):1431-1440. doi:10.1016/j.ijom.2015.06.006
 60. Kihara T, Tanimoto K, Michida M, et al. Construction of orthodontic setup models on a computer. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2012;141(6):806-813. doi:10.1016/j.ajodo.2011.10.027
 61. Camardella LT, Rothier EKC, Vilella O V., Ongkosuwito EM, Breuning KH. Virtual setup: application in orthodontic practice. *J Orofac Orthop.* 2016;77(6):409-419. doi:10.1007/s00056-016-0048-y
 62. 607 VOLUME XLVIII NUMBER 10 2014 JCO Study of Orthodontic Diagnosis and Treatment Procedures Part 1 Results and Trends.; 2013. www.jco-online.com. Accessed June 16, 2020.
 63. Fleming PS, Marinho V, Johal A. Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: A systematic review. *Orthod Craniofacial Res.* 2011;14(1):1-16. doi:10.1111/j.1601-6343.2010.01503.x
 64. Beers AC, Choi W, Pavlovskiaia E. Computer-assisted treatment planning and analysis. *Orthod Craniofacial Res.* 2003;6(SUPPL1):117-125. doi:10.1034/j.1600-0544.2003.224.x
 65. Loubele M, Maes F, Schutyser F, Marchal G, Jacobs R, Suetens P. Assessment of bone segmentation quality of cone-beam CT versus multislice spiral CT: a pilot study. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2006;102(2):225-234. doi:10.1016/j.tripleo.2005.10.039

66. Baumgaertel S, Palomo JM, Palomo L, Hans MG. Reliability and accuracy of cone-beam computed tomography dental measurements. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2009;136(1):19-25. doi:10.1016/j.ajodo.2007.09.016
67. Liu Y, Olszewski R, Alexandroni ES, Enciso R, Xu T, Mah JK. The validity of in vivo tooth volume determinations from cone-beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2010;80(1):160-166. doi:10.2319/121608-639.1
68. Garino F GG. Digital Treatment Objectives: Procedure and Clinical Application. *Prog Orthod.* <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15546015/>. Published 2004. Accessed June 16, 2020.
69. Aldrees AM. Do customized orthodontic appliances and vibration devices provide more efficient treatment than conventional methods? *Korean J Orthod.* 2016;46(3):180-185. doi:10.4041/kjod.2016.46.3.180
70. Hajeer MY, Millett DT, Ayoub AF, Siebert JP. Current products and practices: Applications of 3D imaging in orthodontics: Part I. *J Orthod.* 2004;31(1):62-70. doi:10.1179/146531204225011346
71. Ellis E. Accuracy of model surgery: Evaluation of an old technique and introduction of a new one. *J Oral Maxillofac Surg.* 1990;48(11):1161-1167. doi:10.1016/0278-2391(90)90532-7
72. Cercenelli L, Carbone M, Condino S, et al. The Wearable VOSTARS System for Augmented Reality-Guided Surgery: Preclinical Phantom Evaluation for High-Precision Maxillofacial Tasks. *J Clin Med.* 2020;9(11):3562. doi:10.3390/jcm9113562
73. Ghai S, Sharma Y, Jain N, Satpathy M, Pillai AK. Use of 3-D printing technologies in craniomaxillofacial surgery: a review. *Oral Maxillofac Surg.* 2018;22(3):249-259. doi:10.1007/s10006-018-0704-z

74. Stokbro K, Aagaard E, Torkov P, Bell RB, Thygesen T. Virtual planning in orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2014;43(8):957-965. doi:10.1016/j.ijom.2014.03.011
75. Schneider D, Kämmerer PW, Hennig M, Schön G, Thiem DGE, Bschorer R. Customized virtual surgical planning in bimaxillary orthognathic surgery: a prospective randomized trial. *Clin Oral Investig.* 2019;23(7):3115-3122. doi:10.1007/s00784-018-2732-3
76. Zinser M, Zoeller J. Computer-Designed Splints for Surgical Transfer of 3D Orthognathic Planning. *Facial Plast Surg.* 2015;31(5):474-490. doi:10.1055/s-0035-1565010
77. Mazzoni S, Bianchi A, Schiariti G, Badiali G, Marchetti C. Computer-aided design and computer-aided manufacturing cutting guides and customized titanium plates are useful in upper maxilla waferless repositioning. *J Oral Maxillofac Surg.* 2015;73(4). doi:10.1016/j.joms.2014.10.028
78. Li B, Shen S, Jiang W, et al. A new approach of splint-less orthognathic surgery using a personalized orthognathic surgical guide system: A preliminary study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017;46(10):1298-1305. doi:10.1016/j.ijom.2017.03.025
79. Brunso J, Franco M, Constantinescu T, Barbier L, Santamaría JA, Alvarez J. Custom-Machined Miniplates and Bone-Supported Guides for Orthognathic Surgery: A New Surgical Procedure. *J Oral Maxillofac Surg.* 2016;74(5):1061.e1-1061.e12. doi:10.1016/j.joms.2016.01.016
80. Badiali G, Costabile E, Lovero E, et al. Virtual Orthodontic Surgical Planning to Improve the Accuracy of the Surgery-First Approach: A Prospective Evaluation. *J Oral Maxillofac Surg.* 2019;77(10). doi:10.1016/j.joms.2019.04.017

81. Peiró-Guijarro MA, Guijarro-Martínez R, Hernández-Alfaro F. Surgery first in orthognathic surgery: A systematic review of the literature. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2016;149(4):448-462.
doi:10.1016/j.ajodo.2015.09.022
82. Janakiraman N, Feinberg M, Vishwanath M, et al. Integration of 3-dimensional surgical and orthodontic technologies with orthognathic “surgery-first” approach in the management of unilateral condylar hyperplasia. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2015;148(6):1054-1066.
doi:10.1016/j.ajodo.2015.08.012
83. Uribe F, Janakiraman N, Shafer D, Nanda R. Three-dimensional cone-beam computed tomography-based virtual treatment planning and fabrication of a surgical splint for asymmetric patients: Surgery first approach. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2013;144(5):748-758.
doi:10.1016/j.ajodo.2012.10.029
84. Hernández-Alfaro F, Guijarro-Martínez R, Peiró-Guijarro MA. Surgery first in orthognathic surgery: What have we learned? A comprehensive workflow based on 45 consecutive cases. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014;72(2):376-390. doi:10.1016/j.joms.2013.08.013
85. Im J, Kang SH, Lee JY, Kim MK, Kim JH. Surgery-first approach using a three-dimensional virtual setup and surgical simulation for skeletal class III correction. *Korean J Orthod.* 2014;44(6):330-341.
doi:10.4041/kjod.2014.44.6.330
86. Kim JH, Park YC, Yu HS, Kim MK, Kang SH, Choi YJ. Accuracy of 3-Dimensional Virtual Surgical Simulation Combined With Digital Teeth Alignment: A Pilot Study. *J Oral Maxillofac Surg.* 2017;75(11):2441.e1-2441.e13. doi:10.1016/j.joms.2017.07.161
87. Okumura H, Chen LH, Tsutsumi S, Oka M. Three-dimensional virtual

- imaging of facial skeleton and dental morphologic condition for treatment planning in orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;116(2):126-131. doi:10.1016/S0889-5406(99)70208-8
88. Liu XJ, Li QQ, Zhang Z, Li TT, Xie Z, Zhang Y. Virtual occlusal definition for orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2016;45(3):406-411. doi:10.1016/j.ijom.2015.07.022
89. Badiali G, Roncari A, Bianchi A, Taddei F, Marchetti C, Schileo E. Navigation in Orthognathic Surgery: 3D Accuracy. *Facial Plast Surg.* 2015;31(5):463-473. doi:10.1055/s-0035-1564716
90. Jeong WS, Choi JW, Kim DY, Lee JY, Kwon SM. Can a surgery-first orthognathic approach reduce the total treatment time? *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017;46(4):473-482. doi:10.1016/j.ijom.2016.12.006
91. Verna C. Regional Acceleratory Phenomenon. *Front Oral Biol.* 2015;18:28-35. doi:10.1159/000351897
92. Yang L, Xiao Y dong, Liang Y jie, Wang X, Li J yuan, Liao G qing. Does the Surgery-First Approach Produce Better Outcomes in Orthognathic Surgery? A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Oral Maxillofac Surg.* 2017;75(11):2422-2429. doi:10.1016/j.joms.2017.06.002
93. Swennen GRJ. *3D Virtual Treatment Planning of Orthognathic Surgery.*; 2016. doi:10.1007/978-3-662-47389-4_3
94. De Oliveira Lisboa C, Masterson D, da Motta AFJ, Motta AT. Reliability and reproducibility of three-dimensional cephalometric landmarks using CBCT: A systematic review. *J Appl Oral Sci.* 2015;23(2):112-119. doi:10.1590/1678-775720140336
95. Dos Santos RMG, De Martino JM, Haiter Neto F, Passeri LA. Cone-beam computed tomography-based three-dimensional McNamara cephalometric

- analysis. *J Craniofac Surg*. 2018;29(4):895-899.
doi:10.1097/SCS.00000000000004248
96. Pittayapat P, Limchaichana-Bolstad N, Willems G, Jacobs R. Three-dimensional cephalometric analysis in orthodontics: A systematic review. *Orthod Craniofacial Res*. 2014;17(2):69-91. doi:10.1111/ocr.12034
97. Pironi M.; Bianchi A.; Lancellotti L.; Giorgini F.; Morselli-Labate A. M.; Marchetti C. 3D cephalometric mean values in a postsurgical esthetically balanced Italian sample - Italian Journal of Maxillofacial Surgery 2012 December;23(1-3):39-48 - Minerva Medica - Journals. Italian Journal of Maxillofacial Surgery.
<https://www.minervamedica.it/en/journals/chirurgia-maxillo-facciale/article.php?cod=R42Y2012N01A0039>. Published 2012. Accessed March 26, 2020.
98. Bianchi A, Badiali G, Piersanti L, Marchetti C. Computer-Assisted piezoelectric surgery: A navigated approach toward performance of craniomaxillofacial osteotomies. *J Craniofac Surg*. 2015;26(3).
doi:10.1097/SCS.0000000000001360
99. De Oliveira Lisboa C, Masterson D, da Motta AFJ, Motta AT. Reliability and reproducibility of three-dimensional cephalometric landmarks using CBCT: A systematic review. *J Appl Oral Sci*. 2015;23(2):112-119.
doi:10.1590/1678-775720140336
100. Hoffmannová J, Foltán R, Vlk M, Klíma K, Pavlíková G, Bulík O. Factors affecting the stability of bilateral sagittal split osteotomy of a mandible. *Prague Med Rep*. 2008;109(4):286-297.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19537679/>. Accessed November 10, 2020.
101. Sforza C, Laino A, D'Alessio R, Grandi G, Binelli M, Ferrario VF. Soft-tissue facial characteristics of attractive Italian women as compared to

- normal women. *Angle Orthod.* 2009;79(1):17-23. doi:10.2319/122707-605.1
102. De Riu G, Viridis PI, Meloni SM, Lumbau A, Vaira LA. Accuracy of computer-assisted orthognathic surgery. *J Cranio-Maxillofacial Surg.* 2018;46(2):293-298. doi:10.1016/j.jcms.2017.11.023
 103. Georgalis K, Woods MG. A study of Class III treatment: orthodontic camouflage vs orthognathic surgery. *Aust Orthod J.* 2015;31(2):138-148.
 104. Park JK, Choi JY, Yang IH, Baek SH. Patient's satisfaction in skeletal class III cases treated with two-jaw surgery using orthognathic quality of life questionnaire: Conventional three-stage method versus surgery-first approach. *J Craniofac Surg.* 2015;26(7):2086-2093. doi:10.1097/SCS.0000000000001972
 105. Gander T, Bredell M, Eliades T, Rucker M, Essig H. Splintless orthognathic surgery: a novel technique using patient-specific implants (PSI). *J cranio-maxillo-facial Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-Facial Surg.* 2015;43(3):319-322. doi:10.1016/j.jcms.2014.12.003
 106. Lin H-H, Chang H-W, Lo L-J. Development of customized positioning guides using computer-aided design and manufacturing technology for orthognathic surgery. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2015;10(12):2021-2033. doi:10.1007/s11548-015-1223-0
 107. Kraeima J, Jansma J, Schepers RH. Splintless surgery: does patient-specific CAD-CAM osteosynthesis improve accuracy of Le Fort I osteotomy? *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2016;54(10):1085-1089. doi:10.1016/j.bjoms.2016.07.007
 108. Suojanen J, Leikola J, Stoor P. The use of patient-specific implants in orthognathic surgery: A series of 32 maxillary osteotomy patients. *J cranio-maxillo-facial Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-Facial*

- Surg.* 2016;44(12):1913-1916. doi:10.1016/j.jcms.2016.09.008
109. Xue C, Xu H, Tian Y, Yang X, Luo E, Bai D. Precise control of maxillary multidirectional movement in Le Fort I osteotomy using a surgical guiding device. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2018;56(9):797-804. doi:10.1016/j.bjoms.2018.08.013
 110. Savoldelli C, Vandersteen C, Dassonville O, Santini J. Dental occlusal-surface-supported titanium guide to assist cutting and drilling in mandibular bilateral sagittal split osteotomy. *J Stomatol oral Maxillofac Surg.* 2018;119(1):75-78. doi:10.1016/j.jormas.2017.10.009
 111. Suojanen J, Leikola J, Stoor P. The use of patient-specific implants in orthognathic surgery: A series of 30 mandible sagittal split osteotomy patients. *J cranio-maxillo-facial Surg Off Publ Eur Assoc Cranio-Maxillo-Facial Surg.* 2017;45(6):990-994. doi:10.1016/j.jcms.2017.02.021
 112. Swennen GRJ, Schutyser F, Hausamen JE, Van Cleynenbreugel J. *Three-Dimensional Cephalometry: A Color Atlas and Manual.* Springer Berlin Heidelberg; 2006. doi:10.1007/3-540-29011-7
 113. Borba AM, Borges AH, Cé PS, Venturi BA, Naclério-Homem MG, Miloro M. Mandible-first sequence in bimaxillary orthognathic surgery: A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2016;45(4):472-475. doi:10.1016/j.ijom.2015.10.008
 114. Badiali G, Bevini M, Ruggiero F, et al. Validation of a patient-specific system for mandible-first bimaxillary surgery: ramus and implant positioning precision assessment and guide design comparison. *Sci Rep.* 2020;10(1):1-11. doi:10.1038/s41598-020-70107-w
 115. O'Connell J, Murphy C, Ikeagwuani O, Adley C, Kearns G. The fate of titanium miniplates and screws used in maxillofacial surgery: a 10 year retrospective study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2009;38(7):731-735.

doi:10.1016/j.ijom.2009.02.016

116. Haas OL, Becker OE, De Oliveira RB. Computer-aided planning in orthognathic surgery - Systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2015;44(3):329-342. doi:10.1016/j.ijom.2014.10.025
117. Gaber RM, Shaheen E, Falter B, et al. A Systematic Review to Uncover a Universal Protocol for Accuracy Assessment of 3-Dimensional Virtually Planned Orthognathic Surgery. *J Oral Maxillofac Surg*. 2017;75(11):2430-2440. doi:10.1016/j.joms.2017.05.025
118. Xi T, van Luijn R, Baan F, et al. Landmark-Based Versus Voxel-Based 3-Dimensional Quantitative Analysis of Bimaxillary Osteotomies: A Comparative Study. *J oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2020;78(3):468.e1-468.e10. doi:10.1016/j.joms.2019.10.019
119. Marlière DAA, Demétrio MS, Schmitt ARM, Lovisi CB, Asprino L, Chaves-Netto HDDM. Accuracy between virtual surgical planning and actual outcomes in orthognathic surgery by iterative closest point algorithm and color maps: A retrospective cohort study. *Med Oral Patol Oral y Cir Bucal*. 2019;24(2):e243-e253. doi:10.4317/medoral.22724
120. Jabar N, Robinson W, Goto TK, Khambay BS. The validity of using surface meshes for evaluation of three-dimensional maxillary and mandibular surgical changes. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2015;44(7):914-920. doi:10.1016/j.ijom.2015.02.005
121. Knoops PGM, Borghi A, Ruggiero F, et al. A novel soft tissue prediction methodology for orthognathic surgery based on probabilistic finite element modelling. *PLoS One*. 2018;13(5):e0197209. doi:10.1371/journal.pone.0197209
122. Ritto FG, Schmitt ARM, Pimentel T, Canellas J V, Medeiros PJ.

Comparison of the accuracy of maxillary position between conventional model surgery and virtual surgical planning. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2018;47(2):160-166. doi:10.1016/j.ijom.2017.08.012

123. Liebrechts J, Baan F, van Lierop P, et al. One-year postoperative skeletal stability of 3D planned bimaxillary osteotomies: maxilla-first versus mandible-first surgery. *Sci Rep.* 2019;9(1):1-9. doi:10.1038/s41598-019-39250-x
124. Ali SAAH, Miethke HR. Invisalign®, an innovative invisible orthodontic appliance to correct malocclusions: Advantages and limitations. *Dent Update.* 2012;39(4):254-260. doi:10.12968/denu.2012.39.4.254

Abstract del progetto di ricerca

Questo lavoro descrive l'attività del Face 3D LAB, al fine di analizzare le funzionalità di tale struttura e di promuovere la ricerca scientifica e tecnologica 3D e garantendo servizi sempre più efficienti per il paziente dismorfico.

Il **Face 3D Lab** è un servizio del Dipartimento di Scienze Biomediche e Neuromotorie dell'Università di Bologna e del Reparto di Chirurgia Orale della Clinica Odontoiatrica Universitaria, che nasce per mettere le tecnologie digitali 3D a disposizione dei chirurghi e degli odontoiatri per la diagnosi, il planning e il trattamento delle malformazioni scheletriche del volto e delle altre necessità specialistiche ad esso connesse.

Ogni paziente che accede al Face 3D Lab viene inserito in un “*workflow*” standardizzato che lo accompagna dalla diagnosi alla pianificazione del progetto ortodontico e chirurgico, fino all'intervento ed al follow-up.

Gli ambiti di lavoro su cui si è concentrata la ricerca si sono basati sull'attività clinica di studio e di analisi dei pazienti dismorfici attraverso la piattaforma Face 3D Lab. Si è potuto così approfondire diversi aspetti relativi all'approccio “Surgery First” in chirurgia ortognatica, all'utilizzo di PSI nel riposizionamento del segmento mandibolare prossimale in tecnica “Mandible First” e procedere con un'analisi retrospettiva del risultato ortodontico-chirurgico in termini di accuratezza e precisione dei pazienti che hanno avuto accesso al Face 3D Lab e che, eseguendo tutte le fasi diagnostiche e di pianificazione previste, hanno completato in trattamento ortodontico-chirurgico.

I risultati di questi lavori si sono rivelati a favore della pianificazione digitale permettendo outcome migliori in termini di accuratezza e precisione sia in fase diagnostica sia in fase di trattamento e follow-up. Secondariamente hanno avvalorato l'attività del Face 3D Lab: utile a ortodontista e chirurgo nell'accompagnare il paziente durante tutto il trattamento.

