



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Corso di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia

Dipartimento di Neuroscienze (DNS)

Direttore: Professore Raffaele De Caro

UOC Chirurgia Maxillo-Facciale

Direttore: Professore Stefano Fusetti

TESI DI LAUREA

VERIFICA DELL'ACCURATEZZA DELLA PIANIFICAZIONE DIGITALE IN CHIRURGIA ORTOGNATICA: CONFRONTO TRA TECNICHE *SPLINTLESS "MAXILLA FIRST" E "MANDIBLE FIRST"*

Relatore: Prof. Stefano Fusetti

Laureando: Stefano Tagliapietra

Correlatore: Dott. Luca Sedran

Matricola: 1151984

Anno accademico: 2021/2022

INDICE

1. INTRODUZIONE	9
1.1. Malocclusioni dentali	9
1.2. Storia della chirurgia ortognatica	13
1.2.1. Storia della chirurgia ortognatica mandibolare	13
1.2.2. Storia della chirurgia ortognatica mascellare	19
1.3. <i>Surgical planning</i>	21
1.3.1. <i>Traditional surgical planning (TSP)</i>	22
1.3.2. <i>Virtual surgical planning (VSP)</i>	24
1.4. Sequenze chirurgiche in chirurgia ortognatica	28
1.5. Complicanze in chirurgia ortognatica	29
2. OBIETTIVO	33
3. MATERIALI E METODI	35
3.1. Disegno dello studio	35
3.2. Procedura preoperatoria	36
3.2.1. Prima valutazione del paziente	36
3.2.2. Acquisizione imaging radiografico	36
3.2.3. Seconda valutazione del paziente	38
3.3. <i>Virtual surgical planning</i> del protocollo <i>splintless</i>	38
3.4. Programmazione e creazione dei dispositivi	39
3.5. Intervento chirurgico	41
3.5.1. Protocollo “ <i>splintless maxilla first</i> ”	41
3.5.2. Protocollo “ <i>splintless mandible first</i> ”	42
3.6. Procedura postoperatoria	43
3.7. Follow up dei pazienti e procedura finale di controllo	43
3.8. Acquisizione dei dati e analisi di accuratezza	44
3.8.1. Analisi vettoriale di superficie	44
3.8.2. Analisi dei dati	52
4. RISULTATI	53
5. DISCUSSIONE	61
5.1. Verifica di accuratezza	61
5.2. Analisi vettoriale di superficie	63

5.3. Analisi dei segmenti ossei	65
5.4. Sequenze chirurgiche	72
5.5. Punti di forza e debolezza dello studio e prospettive future	74
6. CONCLUSIONI	75
BIBLIOGRAFIA	77

ABSTRACT

Introduzione

La prevalenza stimata dalla WHO di pazienti affetti da malocclusioni dentali si aggira tra il 39% e il 93% nei bambini e negli adolescenti. La moltitudine di pazienti affetti da tali disturbi ha richiesto nel tempo un'evoluzione delle tecniche chirurgiche e delle metodiche di pianificazione preoperatoria con il fine di ottenere non solo una più corretta occlusione e un'armonica estetica facciale, ma anche una stabilità chirurgica migliore nel lungo termine.

La creazione di nuovi software digitali sempre più sofisticati ha permesso di effettuare una programmazione preoperatoria più precisa e rapida, ottenendo risultati migliori nel postoperatorio e permettendo di valutare l'evoluzione nel tempo dei pazienti operati.

Scopo

Un primo scopo dello studio è quello di confermare la validità di un nuovo protocollo di analisi vettoriale che permette di ottenere una sovrapposizione accurata e precisa tra le mesh ottenute dalle CT postoperatorie e post follow up, al fine di poterlo utilizzare come base per studi futuri.

Un secondo scopo è quello di verificare la stabilità del riposizionamento dei segmenti ossei mascellare e mandibolare in due coorti di pazienti sottoposti ad intervento chirurgico con tecnica “*splintless maxilla first*” o “*splintless mandible first*”, valutata a distanza di 1-2 anni dall'intervento stesso.

Un terzo scopo è quello di valutare se la sequenza chirurgica, “*maxilla first*” o “*mandible first*”, influisce sul riposizionamento postoperatorio.

Materiali e metodi

Lo studio pilota analizza due coorti, una composta da 6 pazienti trattati con tecnica “*splintless maxilla first*” e una composta da 3 pazienti trattati con tecnica “*splintless mandible first*”.

Per ciascun paziente, grazie all'utilizzo di un software digitale, sono stati messi a confronto i dati ricavati dai file DICOM delle CT eseguite ad un mese e a distanza di 1-2 anni dall'operazione.

Risultati

In entrambe le coorti le prime sovrapposizioni sono risultate accurate, rispettando la variazione massima di 0,30 mm riportata in letteratura.

I valori di “*surface to surface distance*” della seconda sovrapposizione suggeriscono come non ci siano differenze clinicamente significative tra le due coorti.

I valori di spostamento del segmento “mascellare” risultano essere mediamente inferiori rispetto ai valori degli spostamenti dei vari segmenti mandibolari.

I valori di spostamento dei segmenti “mascellare” e “mandibolare prossimale sinistro” non presentano differenze clinicamente rilevanti tra le due coorti.

I valori di spostamento dei segmenti “mandibolare prossimale destro” e “mandibolare distale” presentano una differenza tra le due coorti.

Conclusioni

Il nuovo protocollo di analisi vettoriale ha permesso di ottenere una sovrapposizione accurata e precisa e un’acquisizione dati riproducibile, per cui può essere utilizzato come base per studi futuri.

Gli spostamenti dei vari segmenti ossei nel periodo di follow up possono essere considerati come clinicamente non significativi, per cui sembra persistere una buona stabilità dei segmenti stessi nel medio termine, nonostante siano necessari ulteriori studi per confermare questa stabilità.

La sequenza chirurgica eseguita non sembra influenzare il riposizionamento postoperatorio.

La stabilità postoperatoria del segmento “mascellare” sembra essere maggiore rispetto a quella della mandibola, indipendentemente dalla sequenza chirurgica.

ABSTRACT

Introduction

The prevalence of patients with dental malocclusions estimated by WHO is between 39% and 93% in children and adolescents. The multitude of patients with these disorders has required over time the evolution of surgical techniques and preoperative planning methods with the aim of achieving not only a better occlusion and harmonious facial aesthetics, but also better long-term surgical stability.

The creation of new and more sophisticated digital software has allowed to perform more precise and rapid preoperative planning, achieving better results in the postoperative period and allowing the evaluation of the evolution of operated patients over time.

Purpose

A first purpose of the study is to confirm the validity of a new vector analysis protocol that allows accurate and precise superimposition between meshes obtained from postoperative and post follow-up CT scans, in order to use it as a basis for future studies.

A second purpose is to verify the stability of the repositioning of maxillary and mandibular segments in two cohorts of patients who underwent bimaxillary surgery with "splintless maxilla first" or "splintless mandible first" approach, evaluated 1-2 years after surgery.

A third purpose is to evaluate if the surgical sequence, "maxilla first" or "mandible first," affects postoperative repositioning.

Materials and Methods

The pilot study analyzes two cohorts, the first one including 6 patients who underwent "splintless maxilla first" surgery approach and the second one including 3 patients who underwent "splintless mandible first" surgery approach.

Using a digital software, data from CT's DICOM files performed one month and 1-2 years after surgery were compared for each patient.

Results

In both cohorts first superimposition resulted accurate, complying with the maximum variation of 0.30 mm reported in literature.

The "surface to surface distance" values of the second superimposition suggest that there are no clinically significant differences between the two cohorts.

The "maxillary" segment repositioning values appear to be lower on average than the values of the repositioning of the mandibular segments.

The "maxillary" and "left proximal mandibular" segments repositioning values show no clinically significant differences between the two cohorts.

The "right proximal mandibular" and "distal mandibular" segments repositioning values show a clinical difference between the two cohorts.

Conclusions

The new vectorial analysis protocol allowed to obtain accurate and precise superimposition and reproducible data acquisition, therefore it can be used as a basis for future studies.

The repositioning of the bone segments in the follow-up period can be considered clinically not significant, so stability of the segments seems to persist in the medium term, although further studies are needed to confirm this.

The surgical approach performed does not seem to affect postoperative repositioning.

The postoperative stability of the "maxillary" segment appears to be greater than the mandible one, regardless of the surgical approach.

1. INTRODUZIONE

La chirurgia ortognatica è quella branca della chirurgia maxillo-facciale che ha come obiettivo la correzione delle malformazioni dento-scheletriche maxillo-mandibolari (1).

Questa branca specialistica presenta numerosi obiettivi, di cui i più importanti sono di carattere sia funzionale che estetico:

- Ripristinare una corretta masticazione e deglutizione.
- Ripristinare una corretta fonazione.
- Ripristinare una corretta respirazione, nel caso in cui la malformazione causi alterazioni della via aerea faringea.
- Prevenire possibili future disfunzioni dell'articolazione temporo-mandibolare (ATM).

1.1. Malocclusioni dentali

Per “malocclusione dentale” si intende il contatto anomalo tra gli elementi dentali superiori e quelli inferiori, definita dalla Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO) come un'anomalia dento-facciale che può influenzare l'aspetto estetico, la funzione, l'armonia facciale e il benessere psicosociale (2). La WHO la considera una delle più importanti problematiche della salute orale dopo la carie e la malattia parodontale, con una prevalenza stimata tra il 39% e il 93% nei bambini e negli adolescenti (3).

L'eziologia delle malocclusioni è multifattoriale e può comprendere fattori ereditari, fattori ambientali o la combinazione di questi due. Alcune delle cause possono essere (2):

- Carie dentali.
- Lesioni pulpari e periapicali.
- Traumi dentali.
- Anomalie dello sviluppo (es. denti mancanti, palatoschisi).
- Discrepanza tra la dimensione dei mascellari e quella dei denti.

- Alcune abitudini orali (es. suzione del pollice, espulsione della lingua, succhiare o mordere le labbra o le guance, respirazione orale abituale, masticazione unilaterale).

Il primo a dare una classificazione delle malocclusioni è stato Angle nel 1899, il quale riteneva che, nella diagnosi dei casi di malocclusione, bisognasse considerare, in primo luogo, le relazioni mesio-distali delle arcate dentarie; in secondo luogo, le singole posizioni dei denti.

La classificazione di Angle suddivide le malocclusioni in tre classi:

1. Classe I (*Figura 1*): posizione relativa delle arcate dentarie, mesio-distale, normale, con malocclusione solitamente confinata ai denti anteriori.

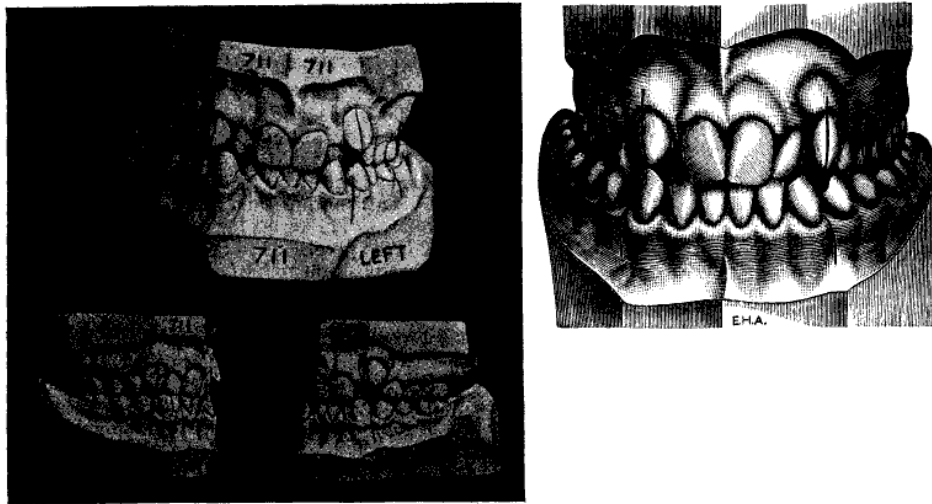


Figura 1. Classe I di Angle. (Da: Angle, Edward H., D.D.S. Classification of Malocclusion. Dental Cosmos. 1899)

2. Classe II (*Figura 2*): retrusione della mandibola, con occlusione distale dei denti inferiori.
 - Divisione 1:
 - a. Arcata superiore stretta, con incisivi superiori allungati e prominenti; mancanza di funzione nasale e labiale.
 - b. Come a, ma con solo una metà laterale dell'arco coinvolta, l'altra è normale.

- Divisione 2:
 - a. Leggero restringimento dell'arco superiore; rimbalzo degli incisivi superiori, con sovrapposizione e inclinazione linguale; normale funzione labiale e nasale.
 - b. Come *a*, ma con solo una metà laterale dell'arco coinvolta, l'altra è normale; normale funzione labiale e buccale.



Figura 2. Classe II di Angle. (Da: Angle, Edward H., D.D.S. *Classification of Malocclusion*. Dental Cosmos. 1899).

3. Classe III (Figura 3):
 - a. Protrusione della mandibola, con occlusione mesiale dei denti inferiori; incisivi inferiori e canini inclinati verso la lingua.
 - b. Come *a*, ma con solo una metà laterale dell'arco coinvolta, l'altra è normale. (4)

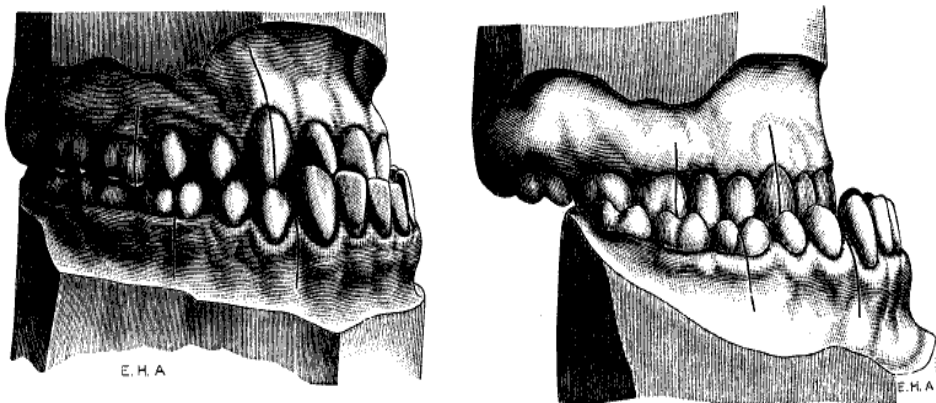


Figura 3. Classe III di Angle. (Da: Angle, Edward H., D.D.S. *Classification of Malocclusion*. Dental Cosmos. 1899)

Da un punto di vista epidemiologico, numerosi studi hanno indagato la prevalenza e l'incidenza delle varie classi di malocclusione, le quali possono variare da popolazione a popolazione.

Alhammadi et al., con una revisione sistematica, hanno cercato di raggruppare dati ricavati da 53 studi diversi, per determinare la distribuzione delle varie classi di malocclusione in tutto il mondo, sia in dentizione permanente che mista.

Da questa revisione è emerso che, in dentizione permanente, le distribuzioni globali di malocclusione di Classe I, Classe II e Classe III erano rispettivamente di 74,7% [31-97%], 19,56% [2-63%] e 5,93% [1-20%]. Nella dentizione mista, invece, erano rispettivamente di 73% [40-96%], 23% [2-58%] e 4% [0,7-13%].

Dalla stessa "review" è emerso che gli Africani hanno la più alta prevalenza di Classe I e morso aperto in dentizione permanente e mista, i Caucasicci hanno la più alta prevalenza di Classe II in dentizione permanente netta e mista, mentre i Mongoloidi hanno la più alta prevalenza di Classe III in dentizione mista (5).

Un ultimo aspetto importante riguarda il tipo di intervento di correzione chirurgica che viene eseguito più di frequente.

In uno studio retrospettivo trasversale svolto presso il principale ospedale universitario in Iran è stato dimostrato come l'osteotomia più diffusa (66%) fosse l'osteotomia bimascellare (6).

In uno studio svolto presso il centro per la ricerca e il trattamento delle deformità buccofacciali (*Centro de Pesquisa e Tratamento das Deformidades Bucofaciais*, CEDEFACE) nella città di Araraquara in Brasile è stato evidenziato come la maggior parte degli interventi chirurgici per la correzione delle deformità dentoscheletriche fossero stati combinati, coinvolgendo la mascella e la mandibola (7).

In un altro studio ancora, in cui sono stati confrontati 750 pazienti con malocclusione di Classe III sottoposti a chirurgia ortognatica in 10 ospedali universitari in Corea, è stato dimostrato come la chirurgia ortognatica bimascellare fosse più frequentemente effettuata rispetto alla chirurgia ortognatica del solo mascellare superiore o inferiore (75,2 contro 24,8%), nonostante le differenze regionali (8).

A fronte di questi studi, l'intervento più frequentemente effettuato sembrerebbe essere l'osteotomia bimascellare.

1.2. Storia della chirurgia ortognatica

La storia della chirurgia ortognatica può essere affrontata suddividendola in due sottoparagrafi, la storia della chirurgia ortognatica mandibolare e della chirurgia ortognatica mascellare.

1.2.1. Storia della chirurgia ortognatica mandibolare

La nascita della chirurgia ortognatica mandibolare si può far risalire al chirurgo Simon P. Hullihen nel 1847, anche se viene spesso attribuita alla collaborazione tra Vilray Blair, un chirurgo plastico di St Louis, e Edward Angle, dentista statunitense (9).

Hullihen trattò un prognatismo eseguendo una resezione a cuneo dell'osso mandibolare bilateralmente, combinata con quella che oggi è nota come osteotomia subapicale anteriore. Rimossi i cunei e completata l'osteotomia prese un'impronta della nuova occlusione mandibolare, creò un calco in pietra e fabbricò una placca d'argento, combinata con la fissazione maxillo-mandibolare per immobilizzare la mandibola anteriore nella nuova posizione.

Nel 1887, Vilray P. Blair, considerato da alcuni come il padre della chirurgia plastica americana e sicuramente come il più attivo e importante chirurgo ortognatico all'inizio del XX secolo, apportò delle modifiche all'intervento di Hullihen eseguendo una osteotomia segmentale del corpo mandibolare per la correzione di un prognatismo mandibolare (10).

Contemporaneamente in Europa, nel 1897, il francese Paul Berger descrisse una condilectomia bilaterale per la correzione di un prognatismo mandibolare tramite una incisione preauricolare (11). Questa tecnica venne sfruttata successivamente anche da Mathieu Jaboulay e Léon Béerard e utilizzata in Francia fino al 1950 (12), nonostante gli scarsi esiti occlusali a cui portava.

Tornando in America, intorno al XX secolo, diversi chirurghi, Angle in primis nel 1898 (13), riconosciuto da molti come il padre dell'ortodonzia moderna, J. W. Whipple sempre nel 1898 (14), Blair nel 1906 (15) e Max Ballin nel 1908 (16), descrissero dei casi di doppia resezione per la correzione di protrusione della mandibola.

Oltre a questo Blair, nel 1907, descrisse nel dettaglio delle operazioni sulla mandibola e sul viso (17), inclusa la sua osteotomia orizzontale del ramo mandibolare, localizzata tra l'incisura della mandibola ("*sigmoid notch*") e il forame mandibolare.

Qualche anno prima a Londra, nel 1905, Sir William Arbuthnot Lane descrisse un intervento simile, cioè un'osteotomia orizzontale del ramo per un arretramento della mandibola, che effettuò appena al di sopra del forame mandibolare (18).

Successivamente questa procedura fu utilizzata e modificata da numerosi chirurghi sia americani che europei, tra cui W. Wayne Babcock nel 1909 (19), Christian Bruhn nel 1921, Gunther Perthes nel 1922 e Varizad Kazanjian nel 1932 (20).

Nel 1912 William M. Harsha eseguì una osteotomia del corpo mandibolare con un approccio extraorale e fu il primo a enfatizzare e documentare l'importanza della preservazione del nervo alveolare inferiore (21) (22).

L'anno successivo, nel 1913, Matthew H. Cryer modificò questa tecnica utilizzando incisioni semicircolari a livello degli angoli della mandibola, portando in avanti il corpo con i denti e producendo un'occlusione anteriore e morso aperto, con il vantaggio, rispetto all'utilizzo di un'incisione dritta, di non richiedere la rimozione di una sezione a forma di V (23).

Nel 1917, Thomas G. Aller descrisse un'osteotomia a cuneo tramite un approccio per via transorale (24).

Alla fine del 1920 Varizad Kazanjian eseguì delle osteotomie utilizzando una sega di Gigli e uno splint ortodontico che è stato cementato sui denti dopo il trattamento chirurgico per un prognatismo mandibolare (20).

Nel 1928 Alexander Limberg (25) descrisse un'osteotomia posteriore del ramo verticale eseguita tramite un approccio esterno per la correzione di malocclusioni a morso aperto, approccio che venne documentato e modificato nel corso degli anni successivi da numerosi chirurghi. Nel 1951 A. C. Sloan descrisse un'osteotomia del ramo verticale, eseguita tramite un approccio intraorale, come trattamento per il prognatismo. Ma è a Jack C. Caldwell e Gordon S. Lettermann a cui viene generalmente attribuita la documentazione della prima vera osteotomia del ramo verticale, chiamata "osteotomia subsigmoidea verticale", eseguita con un approccio extraorale nel 1954 (26). Questa tecnica si differenzia dalle precedenti osteotomie del ramo mandibolare in quanto il taglio inferiore dell'osso si estendeva anteriormente all'angolo goniaco, angolo che viene a formarsi tra il corpo e il ramo

della mandibola. Hinds et al. apportarono una modifica a tale tecnica tramite un approccio intraorale (27).

Nel 1927 Martin Wassmund a Berlino e nel 1928 Hans Pichler a Vienna descrissero quella che oggi è conosciuta come “osteotomia a L rovesciata” (“*inverted-L osteotomy*”). L’aspetto innovativo della loro tecnica risiedeva nell’avanzamento della mandibola tramite l’esecuzione di un’incisione transcervicale e con l’interposizione di un innesto osseo. Molti anni più tardi, nel 1968, Caldwell et al. modificarono la loro osteotomia verticale sulla base della tecnica di Wassmund e Pichler, divenendo conosciuta con il nome di “osteotomia a C” (28). Infine, nel 1976 Richard Topazian descrisse un’osteotomia a L rovesciata con un approccio intraorale (29).

In Europa due sono le scuole considerate la culla della moderna chirurgia ortognatica: la scuola di chirurgia maxillo-facciale di Vienna, fondata da Hans Pichler, e la scuola tedesca, fondata a Berlino da Martin Wassmund.

Pichler fu succeduto dal suo allievo Richard Trauner nel 1955, il quale diede numerosi contributi alla chirurgia maxillo-facciale e istruì due importantissimi chirurghi, Heinz Köle e Hugo Obwegeser.

Köle descrisse diverse nuove procedure per modificare la posizione del processo alveolare (osteotomie subapicali) (30) e descrisse il primo intervento di chirurgia bimascellare, incluso il trattamento della protrusione bimascellare tramite l’esecuzione di osteotomie subapicali con o senza estrazione dei premolari.

Obwegeser, insieme a Trauner, dapprima riproposero l’intervento di “osteotomia a L rovesciata”, come si evidenzia in “*Figura 4 A*”, mentre in “*Figura 4 B*” si evince come venissero mantenuti assieme i due frammenti tramite un filo metallico dopo che il segmento anteriore veniva posizionato lingualmente al segmento posteriore (31).

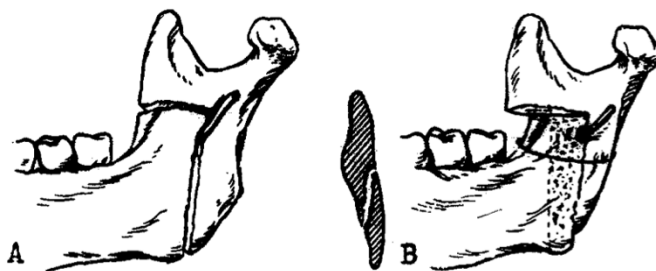


Figura 4. Inverted L shape osteotomy di Trauner. (Da Trauner R, Obwegeser H. The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. I. Surgical procedures to correct mandibular prognathism and reshaping of the chin). Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1957.

Successivamente descrissero quella che è diventata ad oggi la tecnica chirurgica più utilizzata per la correzione delle deformità mandibolari, l'osteotomia sagittale con split bilaterale ("*Bilateral Sagittal Split Osteotomy, BSSO*"), sia per la sua versatilità e predicibilità, sia per i suoi risultati funzionali ed estetici (31).

Questa tecnica, riportata nelle *Figure 5 e 6*, prevedeva che, dopo un'incisione della mucosa e del periostio per via orale, l'osso della mandibola a livello del ramo, nella sua faccia laterale, venisse inciso orizzontalmente (*Figura 5 A*). Successivamente veniva effettuato un taglio nella faccia mediale del ramo, appena sotto l'incisura mandibolare, ad una profondità tale da lasciare intatta sola la corteccia laterale (*Figura 5 B*). Entrambe le incisioni venivano poi collegate da un terzo taglio quasi verticale e parallelo al ramo della mandibola, in modo da poter dividere i due segmenti, prossimale e distale, con un osteotomo (*Figura 5 C*). A questo punto, per correggere il prognatismo mandibolare, il segmento distale veniva fatto arretrare (*Figura 5 D*); per correggere la retrognazia mandibolare, il segmento distale veniva fatto avanzare (*Figura 5 E*); mentre, per correggere il morso aperto, il segmento distale veniva fatto ruotare. Infine veniva effettuata una sutura ossea per mantenere la correzione.

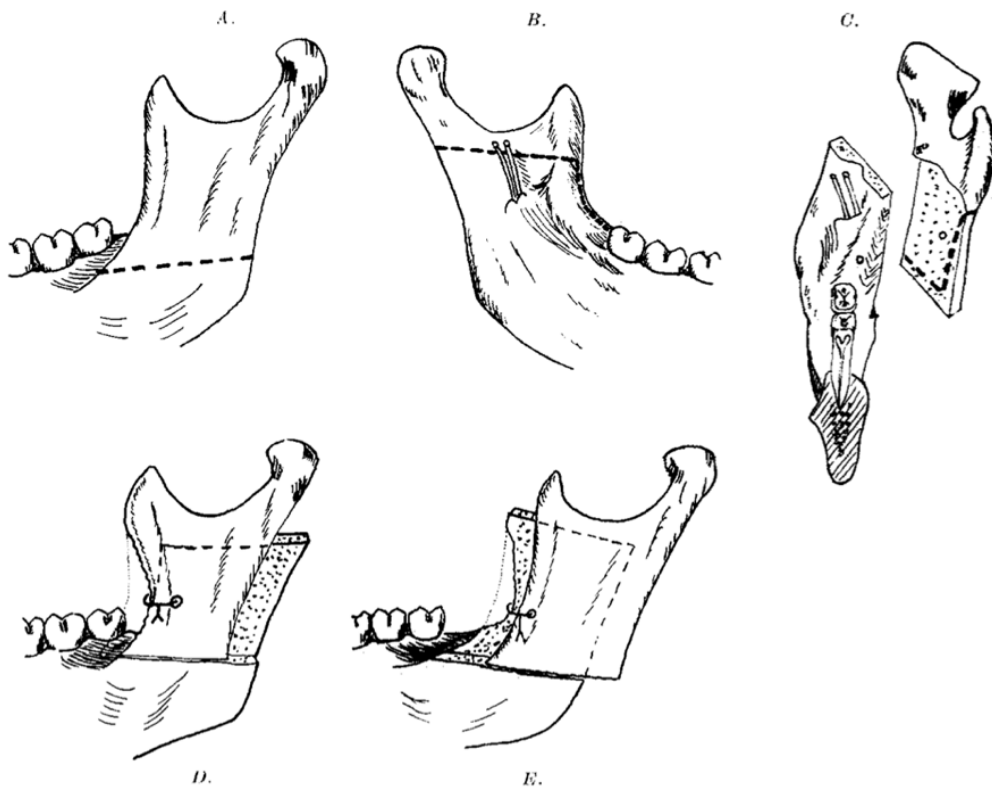
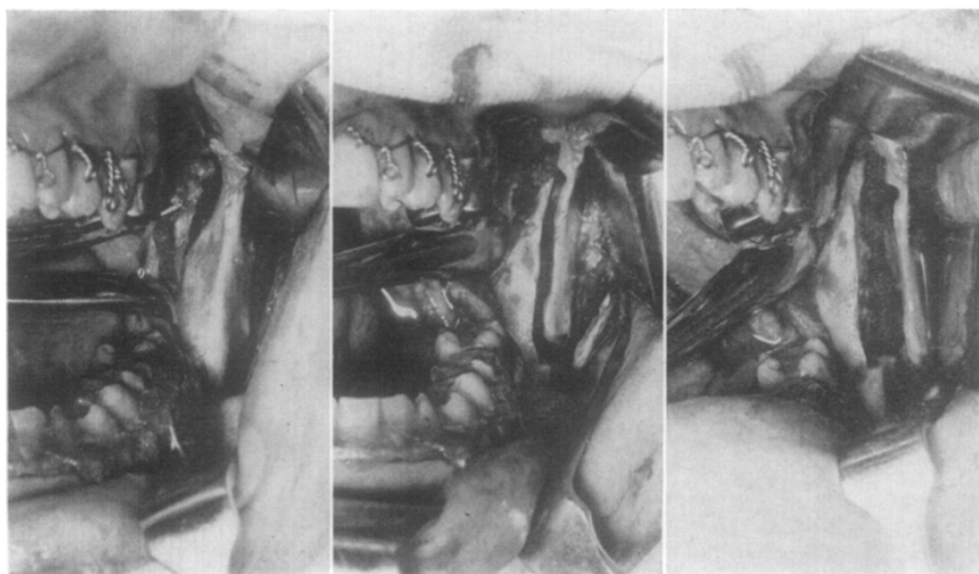


Figura 5. Bilateral sagittal split osteotomy. (Da: Trauner R, Obwegeser H. The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. I. Surgical procedures to correct mandibular prognathism and reshaping of the chin. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1957)



A.

B.

C.

Figura 6. Differenti steps chirurgici della tecnica di Obwegeser. A, esposizione del ramo della mandibola; B, incisione corticale; C, superfici ossee dopo lo split del ramo. (Da: Trauner R, Obwegeser H. The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. I. Surgical procedures to correct mandibular prognathism and reshaping of the chin. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1957)

La BSSO di Obwegeser fu modificata nel 1958 da un chirurgo italiano, Giorgio Dal Pont, il quale spostò l'incisione orizzontale dalla faccia laterale del ramo mandibolare alla faccia laterale del corpo mandibolare, effettuando un taglio verticale tra il primo e il secondo molare (32), come riportato in *Figura 7*.

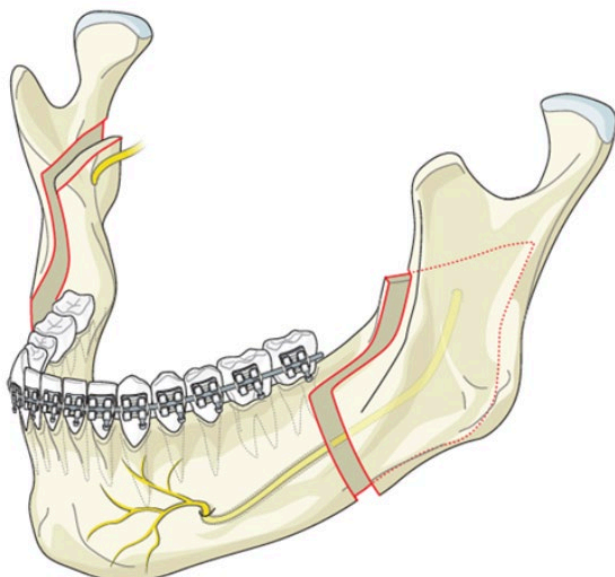
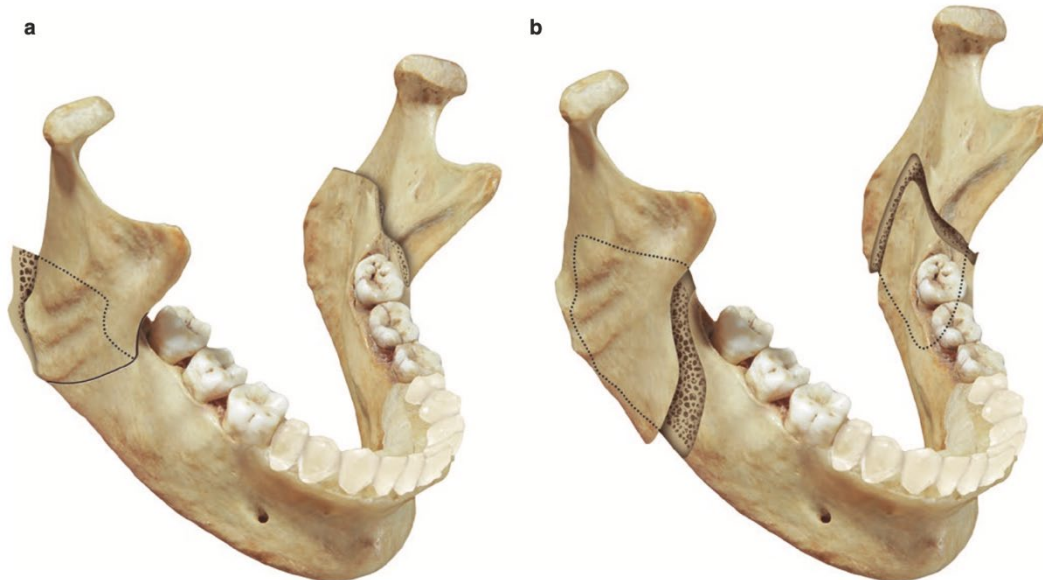


Figura 7. BSSO di Obwegeser modificata da Dal Pont. (Da: Giorgio, Dal Pont. L'osteotomia retromolare per la correzione della prognia. Minerva Chir. 1958)

Nel 1968 Ervin E. Hunsuck modificò a sua volta la tecnica di Obwegeser, questa volta per quanto riguarda il taglio nella corteccia mediale del ramo verticale, effettuando il taglio stesso appena dietro il forame mandibolare (*Figura 8 b*), riducendo in questo modo le complicanze postoperatorie (33) (34).



©Association of Oral and Maxillofacial Surgeons of India

Figura 8. Confronto tra BSSO con split di Obwegeser (a) e BSSO con split di Hunsuck (b). (Da: Varghese Mani, Orthognathic Surgery for Mandible. Oral and Maxillofacial Surgery for the Clinician. 2021)

La variante di Hunsuck è la tecnica che viene utilizzata oggi e prevede 3 corticotomie:

1. La prima corticotomia viene effettuata attraverso la corteccia linguale, appena sopra al forame mandibolare parallelamente all'occlusione, estendendosi dal bordo anteriore del ramo fino ad appena dietro l'ingresso del canale alveolare inferiore.
2. La seconda corticotomia viene effettuata attraverso la corteccia buccale in direzione verticale a livello del primo o del secondo molare.
3. La terza corticotomia collega le prime due lungo il bordo anteriore del ramo ascendente.

La scissione finale viene completata con un osteotomo che divide l'intero ramo ascendente dal bordo anteriore a quello posteriore del ramo.

1.2.2. Storia della chirurgia ortognatica mascellare

Le prime osteotomie mascellari vengono fatte risalire alla metà del XIX secolo, anche se queste non furono eseguite per la correzione di deformità dentofacciali, ma per ottenere una via di accesso per la rimozione di alcuni tumori. Il primo ad aver descritto un'osteotomia mascellare fu il chirurgo tedesco Bernard Von Langenbeck nel 1859, seguito, nello stesso periodo, da Theodor Billroth (10). Nel 1867, David W. Cheever eseguì una procedura mascellare per la rimozione di un polipo nasofaringeo, la quale verrebbe oggi descritta come un'osteotomia totale di tipo Le Fort I (35).

Diversi anni più tardi, nel 1921, Cohn-Stock eseguì la prima osteotomia mascellare segmentale anteriore per correggere un overjet e un overbite (36). Nel 1927 Martin Wassmund, studente di Cohn-Stock, eseguì la prima vera osteotomia mascellare anteriore senza disgiunzione o mobilizzazione dei processi pterigoidei, seguita dall'utilizzo di una trazione elastica per la correzione di un open bite anteriore.

Nel 1934 Axhausen descrisse un avanzamento della mascella a livello di Le Fort I, questa volta con disgiunzione dei processi pterigoidei, sempre completata dalla trazione elastica postoperatoria (37).

Nel 1955 Karl Schuchardt descrisse un'osteotomia mascellare posteriore in 2 tempi per la correzione di open bite anteriore.

Nel 1964 Obwegeser migliorò l'osteotomia di Le Fort I eseguendo una completa mobilizzazione del mascellare in modo da ottenere il riposizionamento senza tensione (38).

Qualche anno più tardi, sempre Obwegeser eseguì il primo intervento bi-mascellare combinato, riportato in *Figura 9*, tramite una simultanea osteotomia sagittale con split bilaterale e osteotomia di tipo Le Fort I. Dopo la scissione fissò i due corpi liberi ottenuti (mascella e mandibola) tra loro, ricreando la corretta occlusione, che andò a disporre e successivamente fissare nella corretta posizione, ricavata da un'attenta analisi clinica, estetica e radiografica cefalometrica (39).

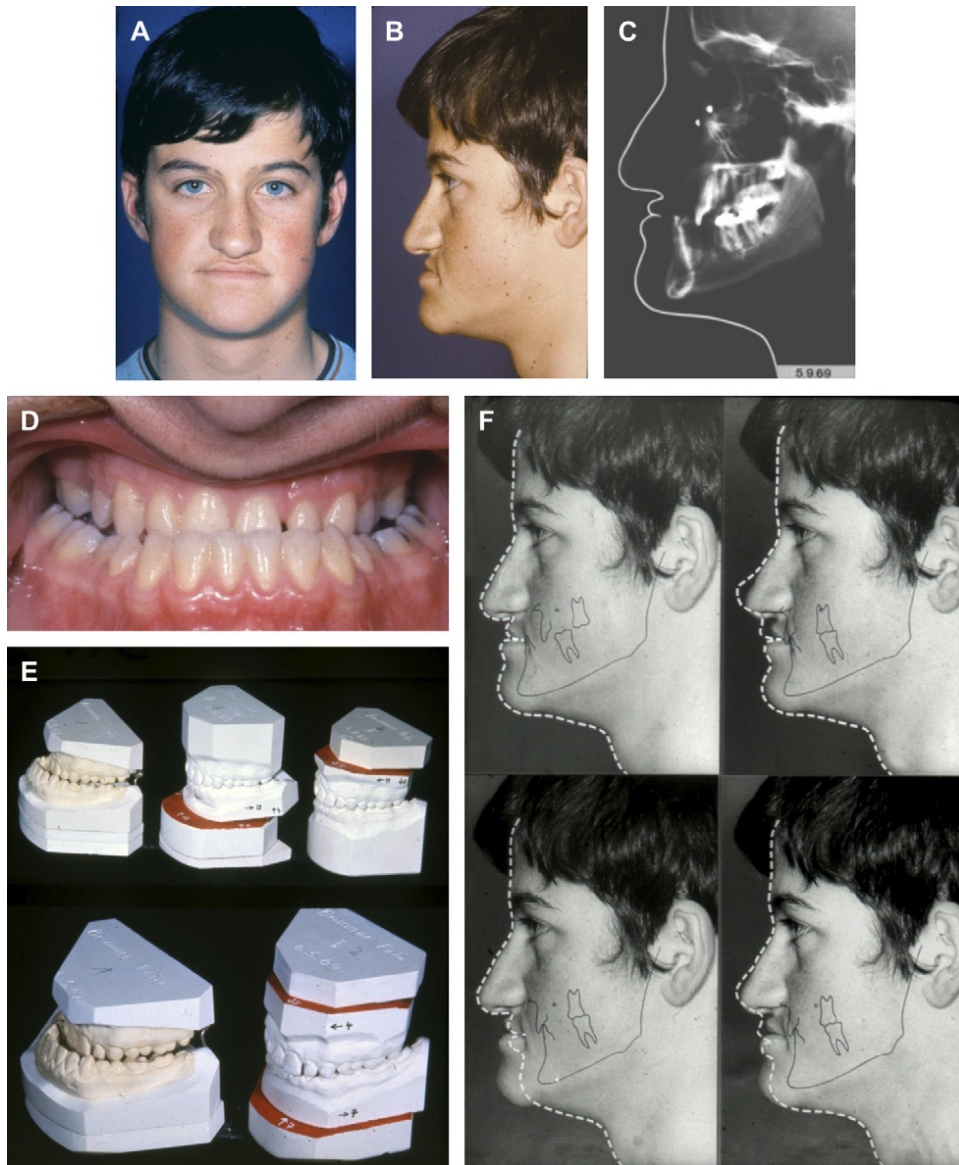


Figura 9. Primo intervento bi-mascellare combinato. (A, B) Aspetto del paziente, (C) cefalogramma laterale e (D) occlusione. (E) La chirurgia del modello e la pianificazione utilizzando fotografie cliniche con tracciati sovrapposti del cefalogramma laterale (F). (G) Illustrazione della procedura pianificata con arretramento mandibolare transorale e avanzamento mascellare su due piani con innesto osseo. (H, I) Il risultato postoperatorio, (J) cefalogramma laterale e (K) occlusione. (Da: HL., Obwegeser. Orthognathic surgery and a tale of how three procedures came to be: a letter to the next generations of surgeons. Clin Plast Surg. 2007)

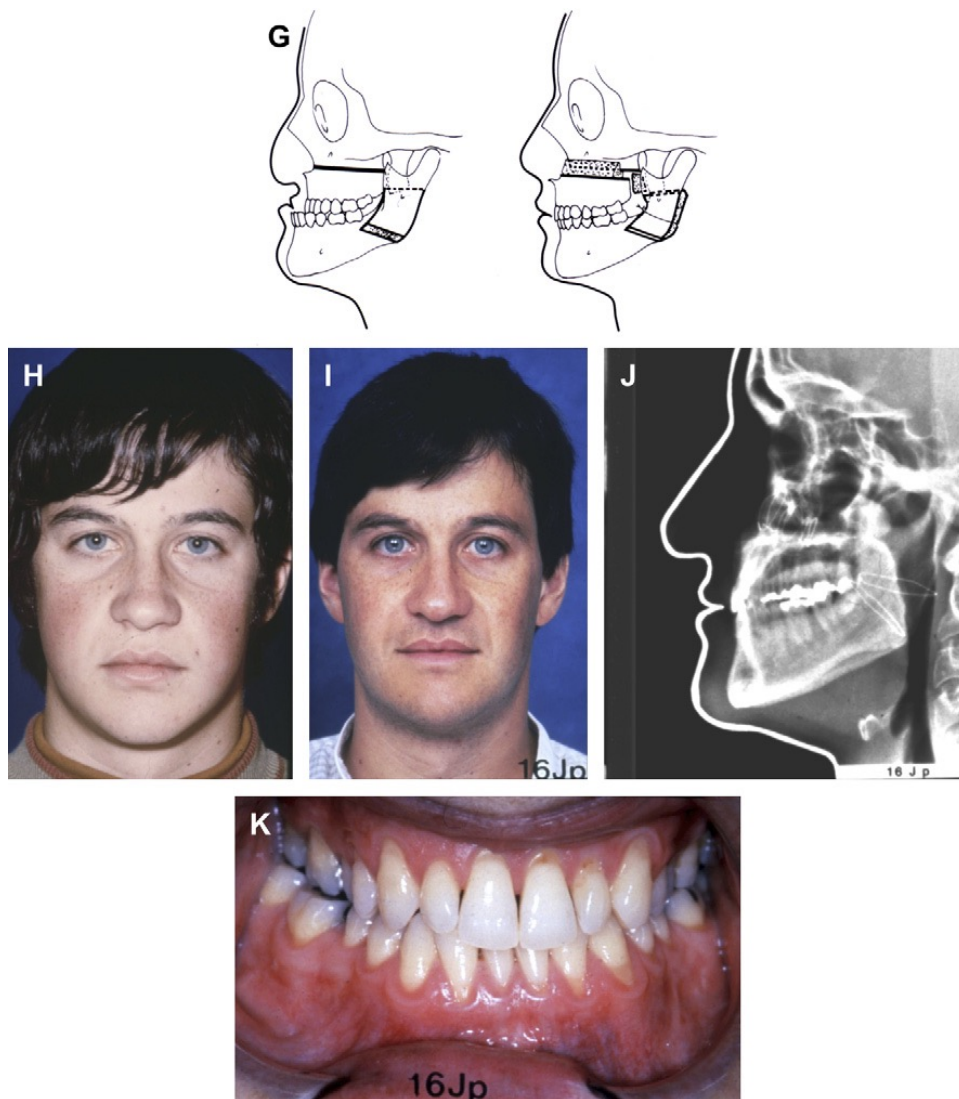


Figura 9. (Continuazione)

1.3. *Surgical planning*

Per arrivare ad una pianificazione del trattamento chirurgico è necessario eseguire una serie di passaggi fondamentali, così da conseguire gli obiettivi prefissati dalla chirurgia ortognatica riportati all'inizio del paragrafo 1: ripristinare una corretta masticazione, deglutizione, fonazione, respirazione e prevenire possibili future disfunzioni dell'articolazione temporo-mandibolare.

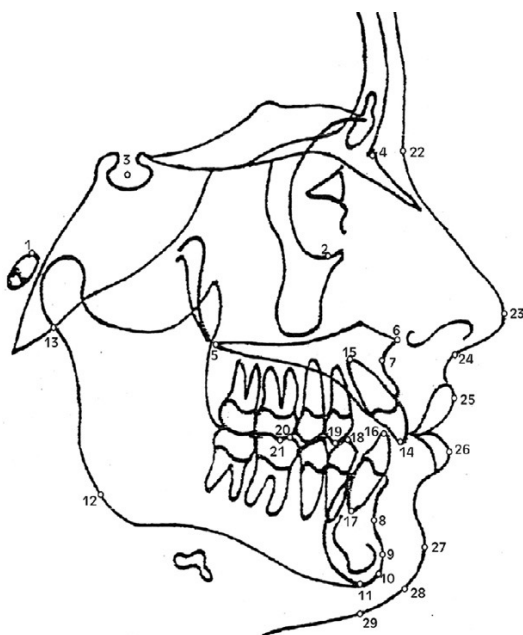
Anche la pianificazione chirurgica, nel corso del tempo, è andata incontro a numerose modifiche ed evoluzioni, e si è passati da una “*traditional surgical planning*” (TSP) a una “*virtual surgical planning*” (VSP).

1.3.1. Traditional surgical planning (TSP)

Per quanto concerne la “*traditional surgical planning*”, il primo passo si basa sulla valutazione clinica sistematica del volto del paziente, una delle più preziose procedure diagnostiche (34). Questa si esplica osservando e fotografando il volto del paziente a riposo e con sorriso, da diversi punti di vista (frontale, di profilo e di tre quarti), cercando di identificare il tipo di dismorfismo dento-scheletrico e la classe scheletrica di appartenenza.

Per quanto importante e obbligatoria, la sola valutazione e diagnosi clinica, non può essere sufficiente, ma a questa si devono aggiungere valutazioni effettuate tramite radiografie cefalometriche bidimensionali e panoramiche.

Osservando le radiografie e utilizzando specifici landmarks (*esempio di landmarks in Figura 10* (40)) localizzati su precise strutture ossee e dentali standardizzate, si ricavano i tracciati cefalometrici. Queste valutazioni consentono un’analisi quantitativa che permette a sua volta di identificare la relazione occlusale esistente tra mascella e mandibola e la loro posizione all’interno del massiccio facciale.



Landmarks of lateral cephalometric radiographs identified during the process of cephalometric analysis and used in statistical analysis [1: porion (Po), 2: orbitale (Or), 3: sella (S), 4: nasion (N), 5: posterior nasal spine (PNS), 6: anterior nasal spine (ANS), 7: A point (A), 8: B point (B), 9: pogonion (Pog), 10: gnathion (Gn), 11: menton (Me), 12: gonion (Go), 13: articulare (Ar), 14: upper inc. tip, 15: upper inc. apex, 16: lower inc. tip, 17: lower inc. apex, 18: lower 1st prem. cusp, 19: upper 1st prem. cusp, 20: lower molar M. cusp, 21: upper molar M. cusp, 22: soft nasion (N), 23: soft pronasale (pronasale), 24: soft subnasale (Sn), 25: soft labrale sup. (Ls), 26: soft labrale Inf. (Li), 27: soft pogonion (Pog), 28: soft gnathion (Gn), 29: soft menton (Me)]

Figura 10. (Da: Giannopoulou MA, Kondylidou-Sidira AC, Papadopoulos MA, Athanasiou AE. Are orthodontic landmarks and variables in digital cephalometric radiography taken in fixed and natural head positions reliable? *Int Orthod.* 2020)

A questo punto vengono prese le impronte mascellari e mandibolari per realizzare i modelli in gesso (*Figure 11-14*), i quali vengono montati su un articolatore anatomico o un articolatore semi-regolabile per gli interventi più complessi bimascellari (41). Simulando la procedura osteotomica che si effettuerà durante il trattamento chirurgico, si realizzano gli splint chirurgici intermedio e finale con

composti acrilici, fondamentali per l'ottenimento di un'occlusione ottimale dei due monconi ossei.

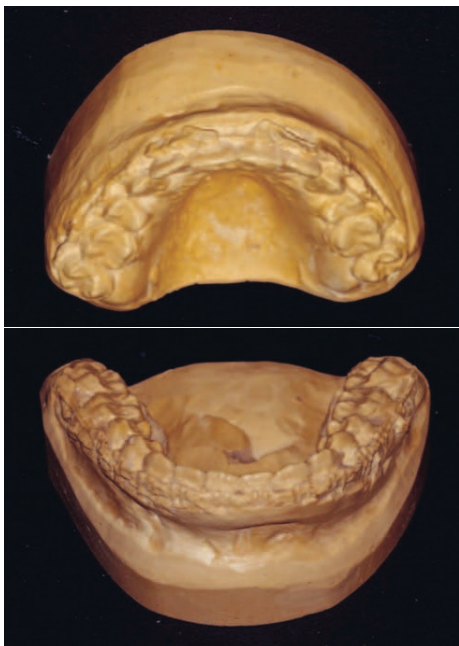


Figura 11. Modelli della mascella e della mandibola.

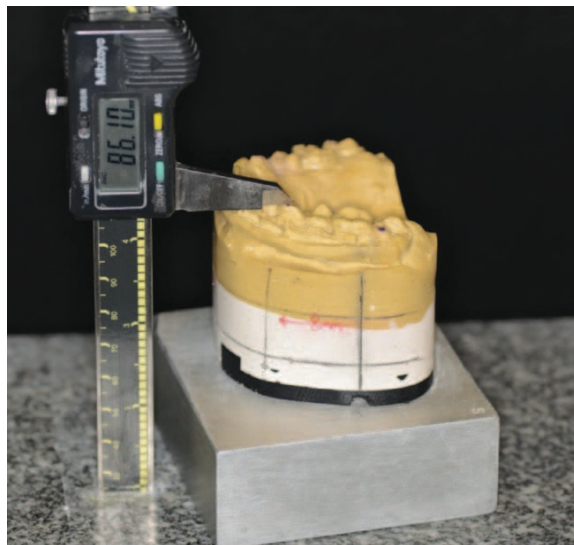


Figura 12. Segni nel modello mascellare.

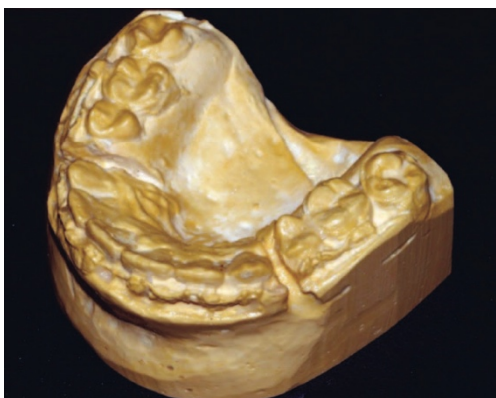


Figura 13. Segmentazione del modello mascellare.

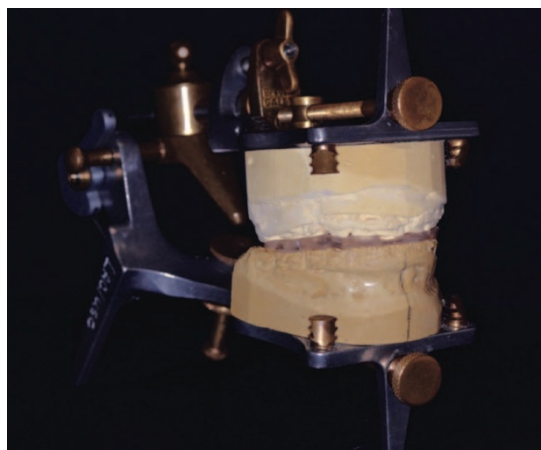


Figura 14. Modelli mascellare e mandibola montati con lo splint acrilico finale.

(Da: Hammoudeh JA, Howell LK, Boutros S, Scott MA, Urata MM. Current Status of Surgical Planning for Orthognathic Surgery: Traditional Methods versus 3D Surgical Planning. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2015)

Quanto segue spiega il razionale dietro questi splint.

Dopo aver eseguito la prima osteotomia, sia essa sul mascellare (*maxilla first*) o sulla mandibola (*mandible first*), il segmento osseo viene riposizionato e stabilizzato nella corretta posizione finale. A questo punto viene creato lo splint intermedio, calibrato sul segmento osseo appena riposizionato correttamente e sull'arcata antagonista. Questo splint sarà fondamentale per poter posizionare correttamente il primo segmento durante l'intervento chirurgico. Successivamente si esegue la seconda osteotomia sull'osso non ancora osteotomizzato, dove viene

riposizionato e stabilizzato nella corretta posizione finale anche il secondo segmento osseo, creando così lo splint finale, calibrato sulla posizione oclusale finale. Questo splint sarà fondamentale per poter posizionare correttamente il secondo segmento durante l'intervento chirurgico. Gli splints (*Figura 15*) rappresentano quindi delle vere e proprie guide nel processo di riposizionamento intraoperatorio dei due segmenti ossei (42).



Figura 15. Splints acrilici utilizzati nella chirurgia tradizionale: (A) splint intermedio, (B) splint finale, (C) splint finale montato sullo splint intermedio. (Da: Hammoudeh JA, Howell LK, Boutros S, Scott MA, Urata MM. Current Status of Surgical Planning for Orthognathic Surgery: Traditional Methods versus 3D Surgical Planning. Plast Reconstr Surg Glob Open. 2015)

Viste le innumerevoli analisi necessarie per raggiungere questa fase, l'analisi clinica, l'analisi cefalometrica e radiografica e la realizzazione dei modelli in gesso con i relativi splints, è logico pensare come possano scaturire incongruenze con quanto programmato inizialmente, senza contare i possibili errori intrinseci dell'intervento chirurgico stesso.

Per ottenere una migliore pianificazione del trattamento, intesa come rapidità dell'operato, riduzione degli errori e, ovviamente, come miglior outcome postoperatorio, è stata introdotta la “*virtual surgical planning*”.

1.3.2. *Virtual surgical planning* (VSP)

L'avvento delle nuove tecniche diagnostiche e di imaging, come la tomografia computerizzata (CT) e, in particolare, la tomografia computerizzata a fascio conico (*Cone Beam Computed Tomography*, CBCT), l'imaging 3D e la VSP (*Virtual Surgical Planning*), ha permesso di ottenere qualità superiori rispetto alle radiografie (43) e ha permesso di ottenere un risultato ottimale dal punto di vista oclusale, funzionale ed estetico (44), migliorando l'efficienza del lavoro prechirurgico (45) e la prevedibilità degli esiti postoperatori (46).

La VSP prevede, tramite l'utilizzo di software di progettazione e modellazione assistita da computer CAD/CAM (*Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing*), l'ottenimento di una CT maxillo-facciale con slice di 1 mm e l'importazione dei dati CT bidimensionali (2D) in formato DICOM (*Digital*

Imaging and COmmunications in Medicine), per creare rappresentazioni 3D accurate dello scheletro facciale e dei relativi tessuti molli.

I dati possono essere utilizzati per stampare un modello stereolitografico (STL) o per la manipolazione virtuale del modello 3D mediante segmentazione, inserimento o riposizionamento dei segmenti 3D. Questa manipolazione virtuale è fondamentale per la pianificazione del trattamento e per la valutazione dell'accuratezza della pianificazione del trattamento chirurgico stesso tramite sovrapposizioni tra i modelli tridimensionali dello stesso paziente, effettuati prima e dopo l'intervento chirurgico (47).

Un esempio di pianificazione preoperatoria su modelli 3D viene riportato nelle *Figure 16-18*.

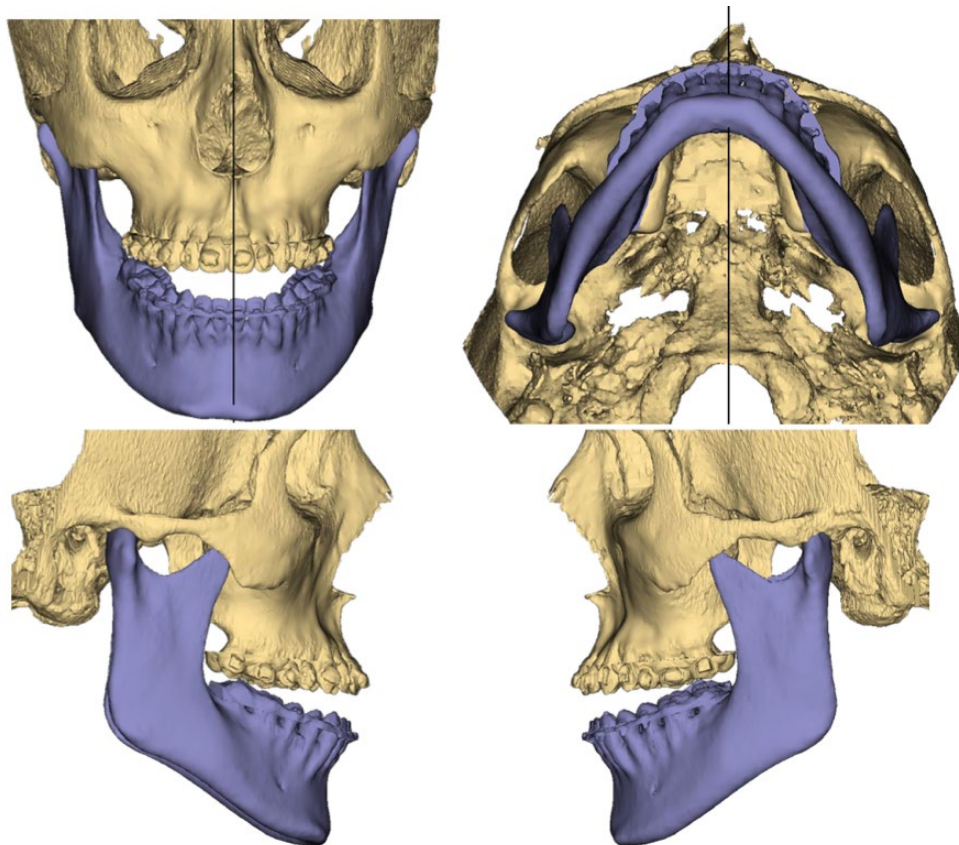


Figura 16. Posizione preoperatoria di un paziente affetto da open bite trattato con protocollo splint "mandible first".

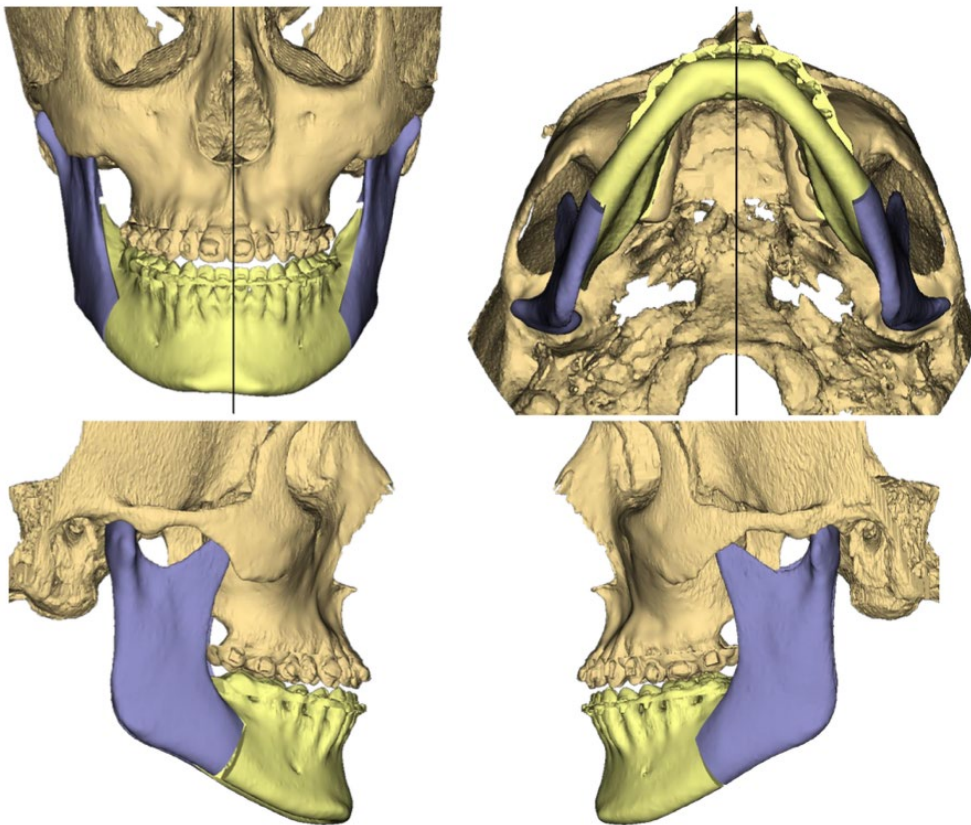


Figura 17. Posizione intermedia nel planning di un paziente affetto da open bite trattato con protocollo splint "mandible first".

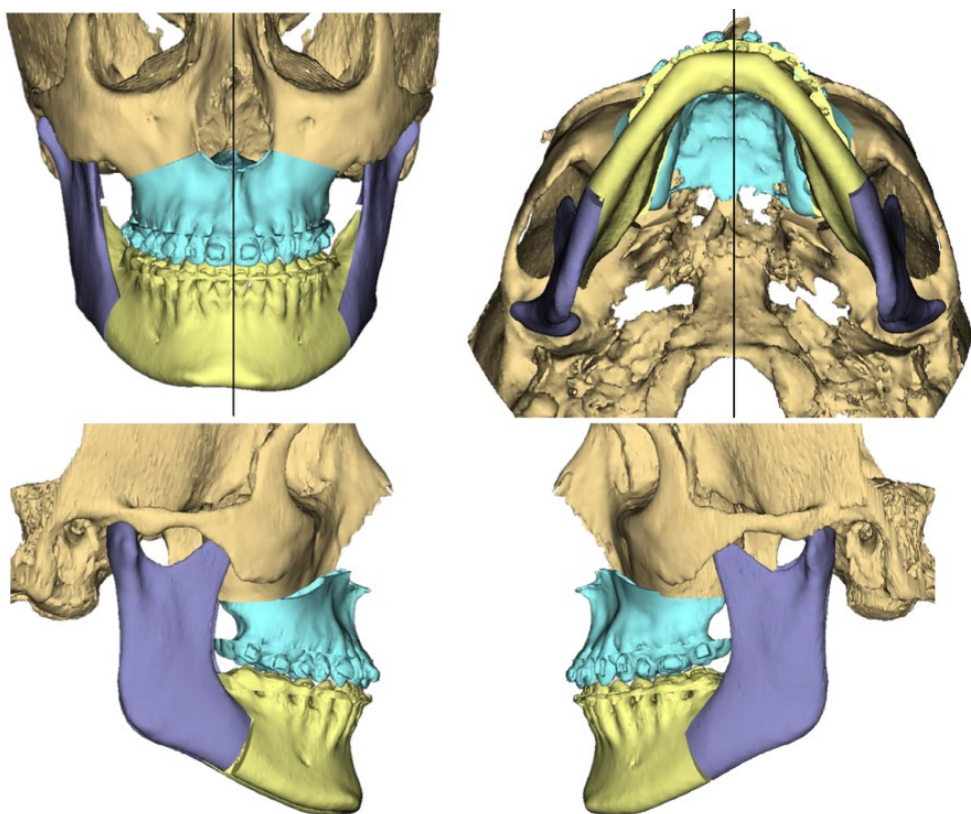


Figura 18. Posizione finale nel planning di un paziente affetto da open bite trattato con protocollo splint "mandible first".

Da questa analisi cefalometrica tridimensionale è possibile creare, sfruttando la tecnologia CAD/CAM, o gli splint occlusali nei protocolli “splint” o le dime di taglio e di foro nei protocolli “*splintless*”.

Il protocollo che utilizza splint occlusali CAD/CAM è sovrapponibile a quello utilizzato nella TSP, anche se non prevede l'utilizzo di splint tradizionali creati su modelli in gesso, ma la progettazione e la creazione degli splint sui modelli 3D virtuali.

Né gli splint tradizionali né gli splint CAD/CAM forniscono una guida per l'osteotomia, perciò è stata introdotta la procedura “*splintless*”, utilizzata per la prima volta da Li et al. nel 2013 (48).

Il protocollo “*splintless*” prevede, invece, la creazione e l'utilizzo di dime di taglio e di foro tramite la tecnologia CAD/CAM.

Nelle figure successive sono riportati degli esempi di splint CAD/CAM (Figura 19), dime di taglio e foro (Figura 20) e fissazione tramite placche e viti (Figura 21).

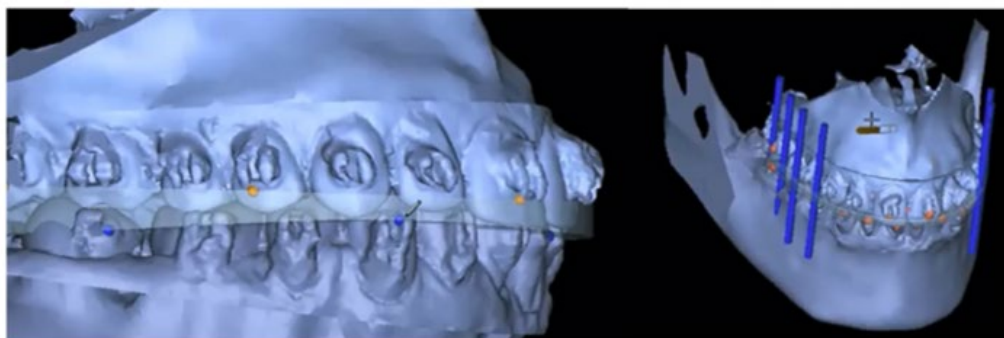


Figura 19. *Planning virtuale degli splint CAD/CAM. (Da: Karanxha L, Rossi D, Hamanaka R, Gianni AB, Baj A, Moon W, Del Fabbro M, Romano M. Accuracy of splint vs splintless technique for virtually planned orthognathic surgery: A voxel-based three-dimensional analysis. J Craniomaxillofac Surg. 2021)*

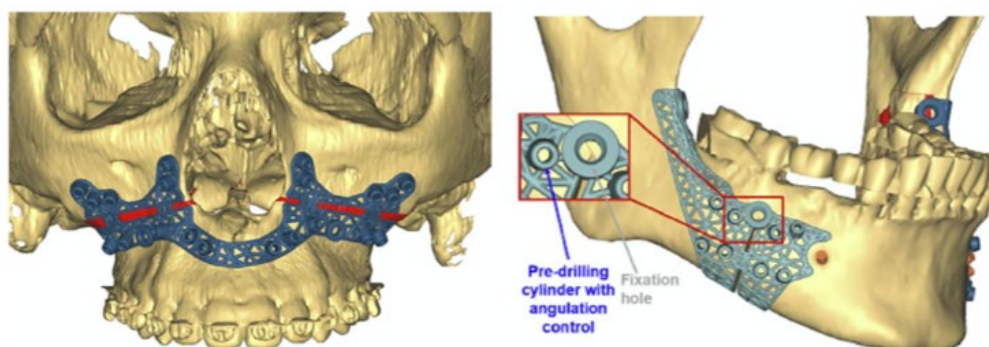


Figura 20. *Guide chirurgiche customizzate in titanio per la mascella e la mandibola. (Da: Karanxha L, Rossi D, Hamanaka R, Gianni AB, Baj A, Moon W, Del Fabbro M, Romano M. Accuracy of splint vs splintless technique for virtually planned orthognathic surgery: A voxel-based three-dimensional analysis. J Craniomaxillofac Surg. 2021)*

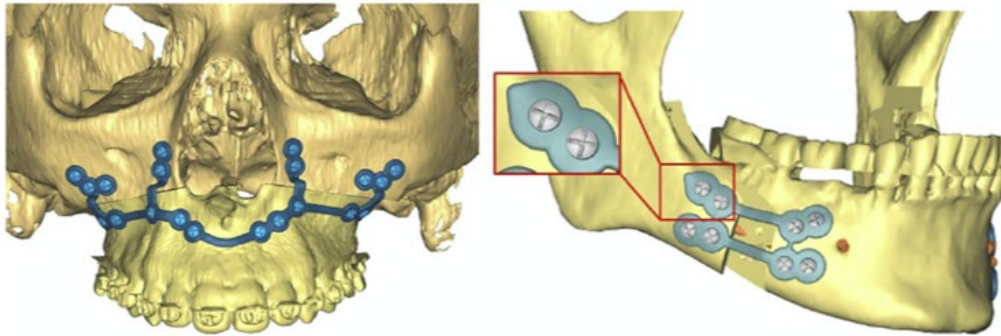


Figura 21. Placche e viti in titanio per la fissazione della mascella e della mandibola. (Da: Karanxha L, Rossi D, Hamanaka R, Gianni AB, Baj A, Moon W, Del Fabbro M, Romano M. Accuracy of splint vs splintless technique for virtually planned orthognathic surgery: A voxel-based three-dimensional analysis. J Craniomaxillofac Surg. 2021)

1.4. Sequenze chirurgiche in chirurgia ortognatica

Negli ultimi decenni si è discusso molto, nel campo della chirurgia ortognatica bimascellare, su quale fosse l'approccio chirurgico migliore: “*maxilla first*” o “*mandible first*”.

L'approccio tradizionalmente utilizzato per la chirurgia bimascellare consiste nel riposizionare prima la mascella, stabilizzarla e quindi riposizionare la mandibola, chiamato per questo “*maxilla first*”. Con la nascita e l'affermazione della VSP è diventato di interesse l'approccio “*mandible first*” che consiste, invece, nel riposizionare prima la mandibola, stabilizzarla e quindi riposizionare la mascella.

I numerosi studi a riguardo non hanno evidenziato una netta superiorità di una tecnica rispetto all'altra, ma si è constatato, come riportato da Naran, Steinbacher e Taylor, che in alcuni casi è preferenziale l'utilizzo della tecnica “*maxilla first*” e in altri la tecnica “*mandible first*”. La prima si utilizza nei casi di rotazione oraria del piano oclusale, nelle osteotomie non segmentarie della mascella, quando non è possibile effettuare prima la fissazione della mandibola, nella “*maxillary impaction*” e nei piccoli avanzamenti maxillo-mandibolari, mentre la seconda si utilizza nei casi di rotazione antioraria del piano oclusale, nelle osteotomie segmentarie della mascella, nella schisi della mascella, nel “*downgrafting*” della regione mascellare posteriore, nei grandi avanzamenti maxillo-mandibolari e nell'open bite anteriore (49).

1.5. Complicanze in chirurgia ortognatica

Nonostante i numerosi benefici associati alla chirurgia ortognatica, questa non risulta priva di rischi, come qualsiasi altra chirurgia.

In relazione a questo c'è un crescente interesse nel conoscere e comprendere i meccanismi che determinano l'instaurarsi di tali complicanze, con il fine ultimo di ridurne e, se possibile, prevenirne l'insorgenza.

Molteplici sono gli studi che affrontano questa tematica e valutano le complicanze più frequenti associate alla chirurgia ortognatica.

Nello studio retrospettivo effettuato da Ferri J. et al. nel 2017, si sono riscontrate le seguenti complicanze nei 5025 casi analizzati (50):

- Complicanze vascolari.
Tra le complicanze vascolari sono stati riportati casi di epistassi, principalmente dovuta o alla presenza di falsi aneurismi (51) (52) o a lesioni verificatesi durante le osteotomie mascellari e casi di ischemia, verificatesi soprattutto durante gli interventi chirurgici segmentali (53), per esempio per interruzione vascolare dell'intera o di una parte della mascella.
- Complicanze oftalmologiche.
Tra le complicanze oftalmologiche sono stati riportati casi di traumi diretti del nervo ottico e/o dei nervi oculomotori (54) e lesioni dei dotti lacrimali (55).
- Fratture della base cranica.
- Pseudoartrosi.
La pseudoartrosi è oggi una complicanza più rara rispetto al passato e i quadri che possono determinare questa interruzione del processo di guarigione possono essere: contatto insufficiente tra le superfici di taglio, malocclusione postoperatoria e fissazioni non adeguatamente rigide.
- Infezioni maxillomandibolari.
Tra le infezioni maxillomandibolari sono stati riportati casi di infezioni del sito di osteotomia, complicanza più frequente (56). Nello studio sono state riportate esclusivamente infezioni mandibolari, nonostante in letteratura siano riportate anche infezioni mascellari (57).

- Complicanze polmonari.

Nello studio non sono stati riportati casi con complicanze polmonari, ma in letteratura sono riportati anche casi di pneumotorace e pneumomediastino, dovuti alla diffusione di aria lungo la fascia cervico-toracica (58).

Nello studio effettuato da Young-Kyun Kim et al. nel 2017, si sono riscontrate le seguenti complicanze nei 686 casi analizzati (59):

- Complicanze intraoperatorie:
 - Emorragie.
Gravi sanguinamenti possono verificarsi a seguito di un danno a carico di alcuni vasi: alveolare inferiore, alveolare superiore, mascellare, retromandibolare, facciale e sottolinguale.
 - *Bad splitting*/fratture dei segmenti.
Per “*bad splitting*” si fa riferimento alla frattura indesiderata della mandibola a livello del segmento prossimale o distale.
- Complicanze postoperatorie:
 - Ricadute.
Numerosi sono i fattori che possono indurre delle ricadute dopo l'intervento chirurgico. Nello studio sono stati riportati i più frequenti: gap tra i vari segmenti ossei dopo le varie osteotomie (influenzato anche dalla direzione della rotazione ossea e dalla quantità di movimento osseo), malposizionamento del condilo, cambiamenti nella posizione dei denti dopo l'intervento chirurgico, malocclusione postoperatoria, tensione pterigomasseterina dopo gli spostamenti ossei che influenzano il funzionamento dei muscoli masticatori, tipo di fissazione e splint finale prodotto in modo improprio.
 - Lesioni neurologiche.
Le lesioni neurologiche più frequentemente associate alla chirurgia ortognatica interessano principalmente il nervo alveolare inferiore. Altri nervi che possono essere danneggiati sono: il nervo mentoniero, il nervo incisivo, il nervo infraorbitario e occasionalmente il nervo facciale.
 - Dolore muscoloscheletrico e dolore neuropatico.
La maggior parte dei pazienti che hanno riportato dolore come complicanza presentava un dolore di tipo muscoloscheletrico e la

minoranza un dolore neuropatico. Teerijoki-Oksa et al., in un loro studio del 2011, hanno affermato che il dolore che persiste fino a un mese dopo l'intervento chirurgico indica un danno assonale, che può perpetrarsi anche fino ad un anno (60).

- Cambiamenti morfologici nasali: allargamento e deviazione nasale.
- Disordini temporomandibolari (TMDs).
- Necrosi del segmento osseo.

Kim et al. hanno riportato rari casi di necrosi dei segmenti prossimali nei pazienti sottoposti a osteotomia del ramo verticale transorale (61).

- Ritardata unione o pseudoartrosi del sito osteotomico.

Il rischio di pseudoartrosi è più alto quando viene eseguita una fissazione inadeguata utilizzando materiali non rigidi o quando lo spostamento anteriore di un segmento osseo è importante, come riportato nello studio precedentemente citato (50).

- Infezione.

Le infezioni postoperatorie più frequenti comprendono cellulite, ascessi, sinusite mascellare e osteomielite, fortunatamente ridotte grazie alla profilassi antibiotica, alle tecniche asettiche e alle migliori capacità dei chirurghi.

- Alcuni pazienti hanno presentato anche altre complicanze meno frequenti, come per esempio: insufficienza respiratoria dovuta a ostruzione delle vie aeree, atelettasia, polmonite, pneumomediastino e pneumotorace; complicanze cardiache come asistolia, bradicardia e aritmie cardiache; pseudoaneurismi; disarticolazione vomero-sfenoidale; lesioni dentali; vertigine parossistica posizionale benigna; tromboembolismo venoso; otite media; nausea e vomito, OSAS; problemi all'udito.

In un altro studio effettuato da Daniel G.E. Thiem et al. nel 2021, sono state riportate anche le complicanze persistenti a una distanza media di 59 mesi dall'intervento: lesioni ai nervi persistenti (infraorbitario, linguale, alveolare inferiore, buccale e facciale), disfunzione dell'ATM e della muscolatura masticatoria (muscoli temporali, masseteri, pterigoidei mediali e laterali, ventre anteriore e posteriore dei digastrici), e ricadute (62).

2. OBIETTIVO

Un primo scopo dello studio è quello di confermare la validità di un nuovo protocollo di analisi vettoriale che permette di ottenere una sovrapposizione accurata e precisa tra le mesh ottenute dalle CT postoperatorie e post follow up, al fine di poterlo utilizzare come base per studi futuri.

Un secondo scopo è quello di verificare la stabilità del riposizionamento dei segmenti ossei mascellare e mandibolare in due coorti di pazienti sottoposti ad intervento chirurgico con tecnica “*splintless maxilla first*” o “*splintless mandible first*”, valutata a distanza di 1-2 anni dall’intervento stesso.

Un terzo scopo è quello di valutare se la sequenza chirurgica, “*maxilla first*” o “*mandible first*”, influisce sul riposizionamento postoperatorio.

3. MATERIALI E METODI

3.1. Disegno dello studio

Il lavoro consiste in uno studio pilota che analizza due coorti di pazienti trattate presso l'Unità Operativa Complessa (UOC) di Chirurgia Maxillo-Facciale dell'Azienda Ospedaliera di Padova: la prima è composta da 6 pazienti trattati con tecnica "*splintless maxilla first*" e la seconda è composta da 3 pazienti trattati con tecnica "*splintless mandible first*".

I criteri di inclusione allo studio sono stati:

- Età anagrafica > 18 e completamento dello sviluppo scheletrico.
- Presenza di dismorfismo facciale e malocclusione clinicamente rilevanti.
- Acquisizione del consenso informato all'iter ortodontico-chirurgico e al protocollo di studio.
- Possibilità di eseguire osteotomia combinata dei mascellari con sequenza "*maxilla first*" o "*mandible first*".

I criteri di esclusione allo studio sono stati:

- Controindicazioni all'esecuzione di un intervento di osteotomia combinata dei mascellari per patologie sistemiche.
- Necessità ad eseguire bi- o tri-partizione del mascellare.
- Presenza di dismorfismo legato a quadri sindromici.
- Pregressa terapia chirurgica del mascellare, sia ortognatica che espansiva.

Ciascun paziente ha seguito un percorso diagnostico, terapeutico e di follow up comune a tutti i pazienti dello studio, che prevede le seguenti fasi:

- Procedura preoperatoria.
- *Virtual surgical planning* del protocollo *splintless*.
- Programmazione e creazione dei dispositivi.
- Intervento chirurgico.
- Procedura postoperatoria.
- Follow up dei pazienti e procedura finale di controllo.
- Acquisizione dei dati e analisi di accuratezza.

3.2. Procedura preoperatoria

3.2.1. Prima valutazione del paziente

Per ciascun paziente è stata eseguita una valutazione preoperatoria negli ambulatori dedicati ai distorsioni cranio-facciali presso l'Unità Operativa Complessa (UOC) di Chirurgia Maxillo-Facciale dell'Azienda Ospedaliera di Padova.

La valutazione era comprendente di:

- Anamnesi clinica medica e odontoiatrica.
- Inquadramento clinico del distorsione dento-scheletrico.
- Discussione con il paziente del possibile iter terapeutico per la correzione del distorsione.
- Consegna dell'impegnativa per la CT o la CBCT (*Cone Beam Computed Tomography*) da eseguire dopo i trattamenti ortodontici, un mese prima dell'intervento chirurgico.
- Acquisizione del consenso alla partecipazione allo studio.

3.2.2. Acquisizione imaging radiografico

Per l'acquisizione delle scansioni CT o CBCT è stato utilizzato un protocollo che descrive delle linee guida che permettono di ottenere un modello, una guida chirurgica e/o un impianto più accurati dal punto di vista anatomico.

La preparazione del paziente prevede:

- Rimuovere eventuali protesi metalliche non fisse o gioielli che potrebbero interferire con la regione da scansionare.
- Durante la scansione possono essere indossate protesi non metalliche.
- Mettere a proprio agio il paziente e istruirlo a non muoversi durante la procedura. La respirazione normale è consentita, ma qualsiasi altro movimento, come l'inclinazione e/o la rotazione della testa, possono causare artefatti da movimento che compromettono le immagini ricostruite, richiedendo una nuova scansione del paziente.
- Stabilizzare la relazione delle mascelle durante la scansione. Il paziente viene preferibilmente scansionato con un "bite wafer" molto sottile che non influisca sui tessuti molli del viso.

La ricostruzione delle immagini (CT o CBCT) prevede:

- Utilizzare un algoritmo di ricostruzione dell'immagine appropriato per ottenere immagini nitide e riformattate per localizzare le strutture interne come i nervi alveolari.
- Ricostruire le immagini con una matrice di 512 x 512 pixel per le CT e con una matrice di 768 x 768 pixel per le CBCT.
- Sono necessarie solo le immagini assiali, non è necessario eseguire un'ulteriore riformattazione delle immagini.
- Salvare le immagini in formato DICOM in modalità “*lossless*” (senza perdita di dati).

Nel caso in cui sia stata eseguita la CT per l’acquisizione delle scansioni, sono state rispettate le seguenti indicazioni:

- La scansione dev’essere effettuata “*full face*”, dalla sede sovraorbitaria fino all’osso ioide.
- Il setup del software CT deve rispettare i parametri riportati in *Tabella I*.

Parametri CT	
Inclinazione gantry	0°
Matrice	512 x 512
Spessore slices	< 1 mm
Avanzamento per giro	< 1 mm
Incremento di ricostruzione	< 1 mm
Algoritmo di ricostruzione	Risoluzione per osso o alta risoluzione

Tabella I. Parametri per l’acquisizione delle CT.

Nel caso in cui sia stata eseguita la CBCT per l’acquisizione delle scansioni, sono state rispettate le seguenti indicazioni:

- La scansione dev’essere effettuata “*full face*”, dalla sede sovraorbitaria fino all’osso ioide.
- Il setup del software CBCT deve rispettare i parametri riportati in *Tabella II*.

Parametri CBCT	
Matrice	768 x 768
Campi di vista (FoV)	Il più largo possibile
Tempo di scan	Il più lungo possibile
Dimensione dei voxel	0.3 mm
Incremento di ricostruzione	< 0.3 mm
Esportazione del file	DICOM

Tabella II. Parametri per l'acquisizione delle CBCT.

3.2.3. Seconda valutazione del paziente

La seconda valutazione è stata eseguita una volta terminata la terapia ortodontica e prevede:

- Raccolta di un numero minimo di 12 immagini fotografiche, sia intra-orali che extra-orali. Le immagini intra-orali sono state realizzate mediante l'utilizzo di apri-bocca e specchi, e prevedono fotografie del paziente in proiezione oclusale frontale, laterale destra e sinistra e a tre quarti a destra e a sinistra. Le immagini extra-orali prevedono fotografie del paziente sia con labbra rilassate sia con sorriso, in visione frontale, laterale destra e sinistra e a tre quarti a destra e a sinistra.
- Raccolta, tramite apposito modulo preformato, delle informazioni necessarie al VSP con una valutazione estetica del paziente, ancora una volta secondo varie posizioni: frontale a riposo e con sorriso, laterale a riposo e con sorriso.
- Raccolta e catalogazione dei file DICOM delle CT/CBCT.
- Raccolta degli accertamenti preoperatori e della valutazione anestesiológica.

3.3. *Virtual surgical planning* del protocollo *splintless*

Una volta ottenuti dall'acquisizione delle scansioni CT o CBCT, i file DICOM sono stati inviati all'azienda DePuy Synthes TRUMATCH Solutions© (Leuven, Belgio) e sono stati convertiti in file STL ("*Stereo Lithography interface format*" o acronimo di "*Standard Triangulation Language*" o in alternativa "*Standard*

Tasselation Language”) dagli ingegneri tramite l’utilizzo del software DPS PROPLAN CMF® (Leuven, Belgio).

I file STL ottenuti sono stati confrontati con i file STL dei modelli in gesso tramite “*surface best fit technique*”, creando così un modello tridimensionale dello scheletro facciale, incluse le arcate dentarie.

Successivamente, attraverso un meeting virtuale con il chirurgo, si è eseguita un’analisi cefalometrica digitale per la programmazione degli spostamenti ossei e la simulazione dell’osteotomia mascellare secondo Le Fort I e l’osteotomia sagittale con split bilaterale (BSSO). Con questa simulazione le basi ossee hanno subito rototraslazioni virtuali nei sei gradi di libertà fino ad ottenere la posizione finale desiderata. Viene riportato un esempio del risultato di una VSP in *Figura 22*.

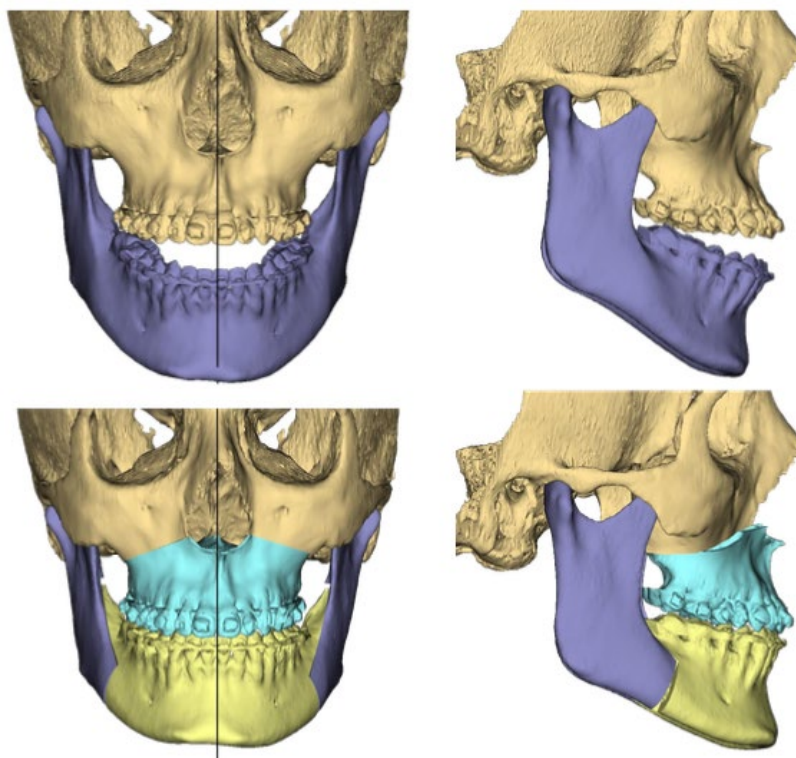


Figura 22. Prima e dopo una VSP.

Le due immagini in alto rappresentano il modello tridimensionale di un paziente con open bite anteriore prima degli spostamenti ossei virtuali.

Le due immagini in basso rappresentano il modello tridimensionale dello stesso paziente dopo gli spostamenti ossei virtuali.

3.4. Programmazione e creazione dei dispositivi

Sfruttando il modello chirurgico tridimensionale appena ricavato dalla VSP, sono stati programmati i dispositivi impiantabili tramite il programma 3-Matic® sviluppato da Materialise© (Leuven, Belgio).

La fissazione rigida mandibolare è stata ottenuta mediante il posizionamento di due dime di taglio, ciascuna con otto fori, due dei quali utilizzati per la stabilizzazione e sei per la fissazione finale con miniplacche. I fori sono stati realizzati a livello di zone a maggior resistenza, i pilastri naso-mascellare e zigomatico-mascellare, dove fosse presente uno spessore osseo appropriato e dove fossero sufficientemente distanti dalle radici dentali.

Per quanto riguarda la fissazione dell'osso mascellare è stata realizzata una singola dima di taglio in titanio inerte e biocompatibile Ti 6Al-4V, caratterizzata dalla presenza di due fori, uno per lato, necessari per la stabilizzazione.

Viene riportato un esempio di dima di taglio e foro in *Figura 23*.

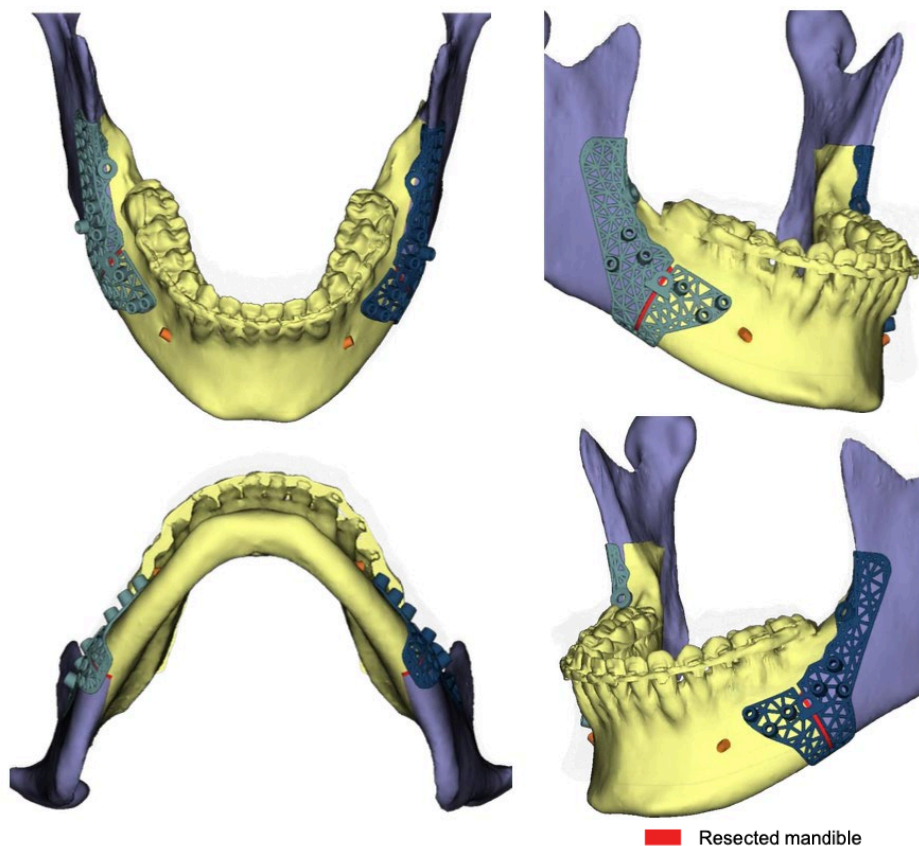


Figura 23. Esempio di guide 3D in titanio per la mandibola.

A questo punto sono stati riposizionati i segmenti ossei nella loro posizione di partenza e, sfruttando i fori appena realizzati, è stata realizzata un'ultima placca di osteosintesi definitiva, sempre in titanio inerte e biocompatibile Ti 6Al-4V.

Questo progetto digitale è stato infine inviato a DePuy Synthes TRUMATCH Solutions© (Leuven, Belgio), che ha creato la suddetta placca occlusale finale in resina inerte e biocompatibile con tecnologia CAM, mediante stampante 3D e sinterizzazione laser.

Viene riportato un esempio di splint occlusale finale in *Figura 24*.

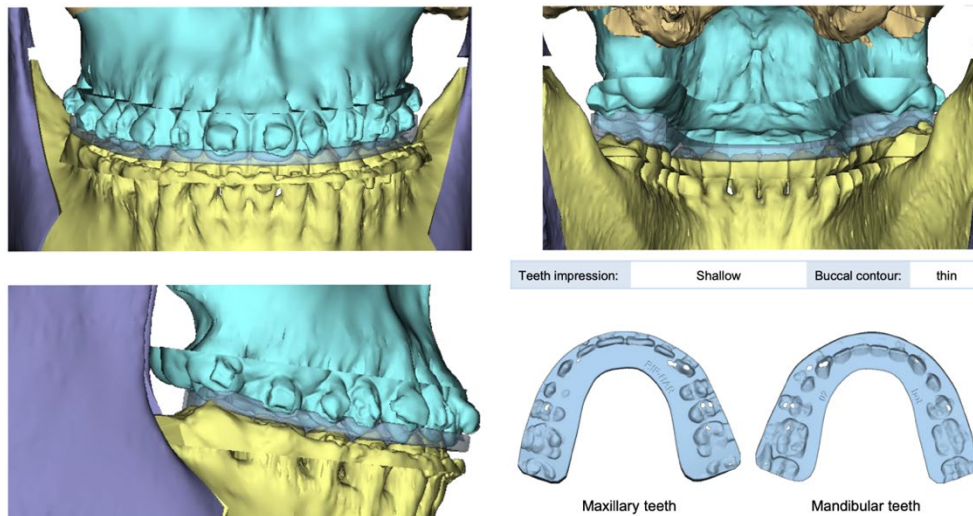


Figura 24. Esempio di placche 3D in titanio per la mandibola.

I dispositivi realizzati sono stati spediti presso l'unità operativa di riferimento tramite corriere.

3.5. Intervento chirurgico

Completata la procedura preoperatoria, attraverso la valutazione complessiva del paziente, l'acquisizione dell'imaging radiografico, la *Virtual Surgical Planning* e la programmazione e creazione dei dispositivi, si è proceduto con l'esecuzione degli interventi chirurgici.

Tutti gli interventi, indipendentemente dalla coorte di appartenenza del paziente, sono stati eseguiti in anestesia generale con intubazione rino-tracheale e conseguente anestesia circumvestibolare plessica con l'associazione anestetico locale/vasocostrittore (Optocain 20 mg/mL, 1:100.000; mepivacaina cloridrato/adrenalina). A questo punto ogni paziente ha seguito un percorso diverso in base al protocollo “*splintless*” di appartenenza, “*maxilla first*” o “*mandible first*”.

3.5.1. Protocollo “*splintless maxilla first*”

Il protocollo “*splintless maxilla first*” prevede le seguenti fasi:

- Incisione circumvestibolare mucoperiosteale a livello del fornice superiore del mascellare, con successiva scheletrizzazione del mascellare stesso ed emostasi puntuale.

- Posizionamento della dima di taglio e foro individualizzata attraverso l'adattamento univoco alla superficie ossea e successiva stabilizzazione mediante due viti, una per lato, posizionate con l'aiuto dei rispettivi fori.
- Sfruttando le precise posizioni degli altri fori presenti sulla dima, realizzazione dei fori nella struttura scheletrica, necessari per la fissazione della placca di osteosintesi finale.
- Sfruttando le precise linee di taglio presenti sulla dima, esecuzione delle linee osteotomiche secondo LeFort I mediante sega sagittale o strumento piezoelettrico.
- Rimozione delle viti di stabilizzazione e della dima utilizzati in precedenza, con successivo completamento dell'osteotomia mascellare, in modo da ottenere la mobilizzazione completa del segmento mascellare superiore.
- Posizionamento della placca in titanio e sua fissazione finale con viti, prima attraverso i fori realizzati precedentemente sul segmento mascellare superiore mobile, poi attraverso i fori realizzati precedentemente sulla parte complementare non mobile dell'osso mascellare.
- Si procede con il tempo chirurgico mandibolare, come riportato al paragrafo 3.5.2.

3.5.2. Protocollo “*splintless mandible first*”

Il protocollo “*splintless mandible first*” prevede le seguenti fasi:

- Incisione mucoperiosteica agli angoli mandibolari, distalmente al secondo premolare, con successiva scheletrizzazione bilaterale della superficie laterale del corpo della mandibola, eseguita fino al margine mandibolare inferiore, e puntuale emostasi.
- Posizionamento delle dime di taglio e foro, bilateralmente, individualizzate attraverso l'adattamento univoco alla superficie ossea e successiva stabilizzazione mediante viti, posizionate con l'aiuto dei rispettivi fori.
- Sfruttando le precise posizioni degli altri fori presenti sulla dima, realizzazione dei fori nella struttura scheletrica, necessari per la fissazione delle placche mandibolari finali.
- Sfruttando la precisa linea di taglio presente sulla dima viene realizzata la linea osteotomica verticale, da ciascun lato.

- Rimozione delle viti di stabilizzazione e della dima utilizzati in precedenza, con successivo completamento dell'osteotomia e *splitting* mandibolare bilaterale.
- Rimozione di possibili precontatti ossei con successivo posizionamento sulla superficie laterale del corpo mandibolare della placca di osteosintesi customizzata, una per ciascuna emimandibola.
- Sfruttando i fori precedentemente realizzati, vengono stabilizzate le placche mandibolari con viti in titanio, prima sul segmento distale e poi sul segmento prossimale.
- Si procede con il tempo chirurgico mascellare, come riportato al paragrafo 3.5.1.

3.6. Procedura postoperatoria

Terminato il trattamento chirurgico, ogni paziente è stato trattato, indipendentemente dalla coorte di appartenenza, con antibioticoterapia, antidolorifici, corticosteroidi, gastroprotettori e risciacqui con collutorio a base di clorexidina. Inoltre, nel corso della prima giornata postoperatoria, è stata posizionata una guida elastica in occlusione.

Successivamente, dopo un adeguato periodo di ricovero, ogni paziente è stato dimesso con precise indicazioni sulla terapia domiciliare, norme igienico-comportamentali da rispettare, appuntamenti per i controlli clinici fissati a 7-14-30 giorni presso gli ambulatori della UOC di Chirurgia Maxillo-Facciale di riferimento e appuntamento per l'esecuzione della CT/CBCT di controllo al 30° giorno (con l'utilizzo degli stessi parametri riportati in *Tabella I* e in *Tabella II*).

3.7. Follow up dei pazienti e procedura finale di controllo

Una volta completata anche la procedura postoperatoria ogni paziente è stato seguito nel tempo con controlli clinici seriat, sempre presso gli ambulatori della UOC di Chirurgia Maxillo-Facciale di riferimento, fissati prima a 1, poi 3 e infine 6 mesi per circa 2 anni dal postoperatorio.

Limitatamente al periodo in cui ogni paziente è stato sottoposto all'intervento e alle tempistiche dello studio in questione, ognuno di essi ha eseguito un'ulteriore CT/CBCT di controllo a distanza di 1-2 anni dall'intervento, sempre utilizzando i parametri precedentemente esposti. In questa occasione il paziente ha eseguito un'ulteriore visita di controllo, nella quale sono state acquisite immagini fotografiche, sia intra-orali che extra-orali, con le stesse modalità riportate al paragrafo 3.2.3.

3.8. Acquisizione dei dati e analisi di accuratezza

La verifica dell'accuratezza è avvenuta tramite il confronto dei dati ottenuti tramite la sovrapposizione del modello 3D ricavato dalla CT/CBCT postoperatoria a 1 mese con il modello 3D ricavato dalla CT/CBCT a 1-2 anni dall'intervento.

Per ottenere questo risultato, nel presente studio, è stato utilizzato un protocollo di analisi vettoriale ideato e realizzato dal Dott. Federico Apolloni in associazione al team di ingegneri del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale guidato dal Prof. Gianmaria Concheri.

Il suddetto protocollo di "analisi vettoriale di superficie", descritto nel paragrafo successivo, è stato applicato ad ognuno dei pazienti in studio, indipendentemente dalla coorte di appartenenza.

3.8.1. Analisi vettoriale di superficie

Il protocollo prevede:

- Produzione dei file STL a partire dai dati DICOM.

Utilizzando il software VGstudio MAX 2.1® (Heidelberg, Germania) prodotto da Volume Graphics© (Heidelberg, Germania) è stato possibile creare i file STL ("*Stereo Lithography interface format*" o "*Standard Triangulation Language*" o in alternativa "*Standard Tasselation Language*") a partire dai dati DICOM delle CT/CBCT postoperatorie e post follow up.

I file DICOM interessati sono stati importati nel software VGstudio MAX 2.1® e successivamente sono stati impostati un valore soglia di 560.00 HU e dimensioni dei triangoli formanti le mesh tali da cercare di ridurre il più

possibile l'errore cordale. In questo modo si è riusciti a creare ed esportare i file "STL post-op" o i file "STL post-fu".

In *Figura 25* è riportato un esempio di mesh ottenuta con questo software.

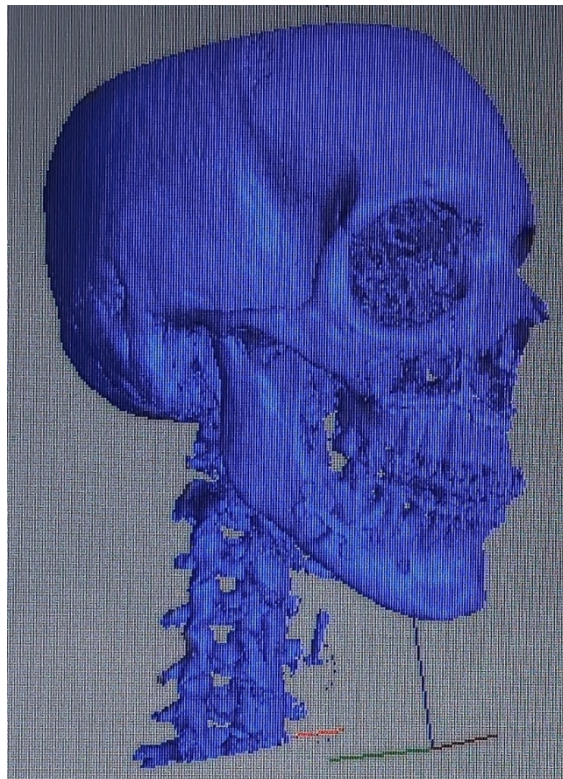


Figura 25. Esempio di mesh ottenuta con VGstudio MAX 2.1®.

- Raccolta dei file STL.

Per ognuno dei pazienti, indipendentemente dalla coorte di appartenenza, sono stati creati e raccolti due file diversi, un file "STL post-op" relativo alla CT/CBCT eseguita a 1 mese dall'operazione e un file "STL post-fu" relativo alla CT/CBCT eseguita a 1-2 anni dall'operazione.

- Pulizia del file "STL post-op".

Il file "STL post-op" del paziente è stato importato nel software Geomagic Studio® (Geomagic, Morrisville, NC, USA), mediante il quale si è effettuata l'analisi di accuratezza vera e propria.

Una prima pulizia della mesh è stata effettuata mediante una funzione precisa del software, chiamata "Mesh Doctor", la quale consente di eliminare imperfezioni dovute ad artefatti metallici.

Una seconda pulizia è stata effettuata rimuovendo le regioni anatomiche non utili al fine dello studio in questione, come la colonna cervicale, l'osso ioide

e le porzioni di cranio posteriormente al CUE (condotto uditivo esterno) e superiormente alla glabella.

In *Figura 26* è riportato un esempio di pulizia del file “STL post-op”.

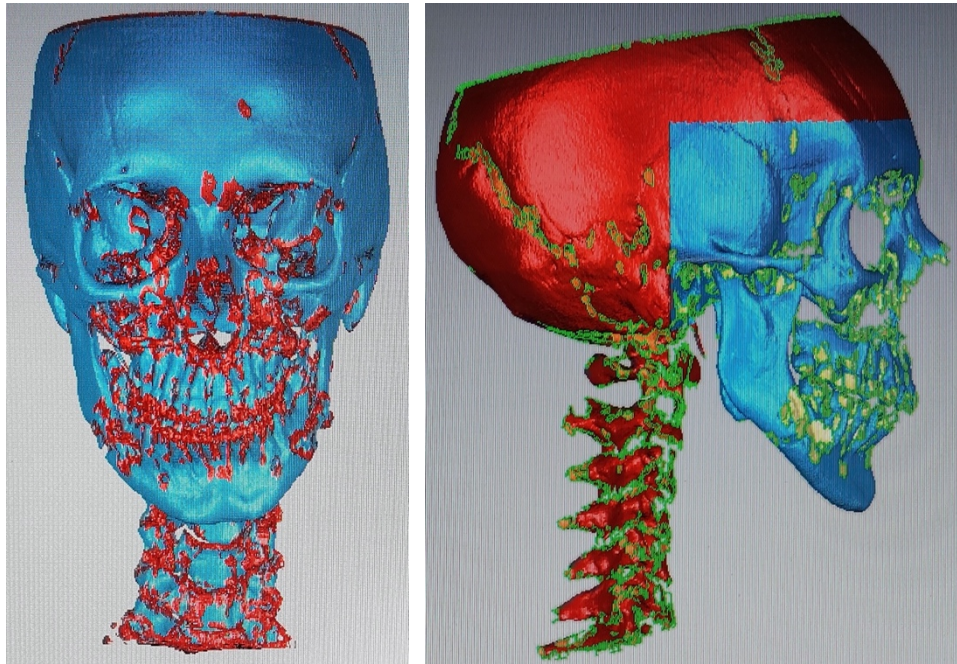


Figura 26. A sinistra: esempio di una pulizia del file “STL post-op” effettuata con la funzione “Mesh Doctor”. In rosso sono rappresentate le imperfezioni della mesh che vengono rimosse. A destra: esempio di una pulizia del file “STL post-op” effettuata manualmente. In rosso sono rappresentate le regioni anatomiche che vengono rimosse.

Infine è stata ripetuta un’ultima pulizia con la funzione “Mesh Doctor” per eliminare eventuali imperfezioni dovute a una incompleta pulizia manuale effettuata precedentemente.

La pulizia delle mesh rappresenta un passaggio fondamentale per ottenere successivamente delle sovrapposizioni ottimali.

- Creazione di un sistema di riferimento nella mesh “STL post-op”.

Sfruttando una precisa funzione del software è stata orientata la mesh “STL post-op” in funzione di tre assi di riferimento ortogonali tra loro. La mesh è stata orientata identificando inizialmente un “punto A cefalometrico”, corrispondente con la spina nasale anteriore, che è stato traslato nello spazio fino a farlo coincidere con l’origine degli assi. Si è poi verificata la perfetta congruenza tra l’asse Y e la base del setto nasale e si è ricercata la v-NHP (*Virtual-Natural Head Position*).

In *Figura 27* è riportato un esempio di sistema di riferimento nella mesh “STL post-op”.

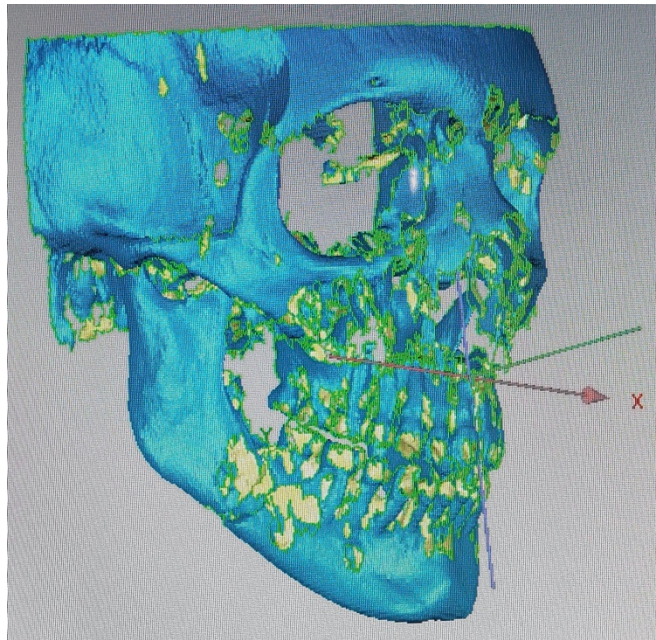


Figura 27. Esempio di sistema di riferimento posizionato con l'origine degli assi a livello della spina nasale anteriore nella mesh "STL post-op".

- Prima sovrapposizione.

E' stato importato nel software Geomagic Studio® il file "STL post-fu" ed è stata eseguita una pulizia del file con le stesse modalità con cui è stata effettuata per il file "STL post-op".

Utilizzando successivamente una precisa funzione di allineamento del software si è effettuata una sovrapposizione "surface best fit" tra le mesh "STL post-op" e "STL post-fu". Nello specifico è stato eseguito un primo allineamento manuale basato sulla sovrapposizione di regioni anatomiche non trattate chirurgicamente, sedi periorbitario-zigomatiche e sede frontale, risultante in un processo operatore dipendente. Successivamente è stato effettuato un secondo allineamento "globale" automatico, utilizzando anche in questo caso come riferimento le regioni orbito-frontali non modificate dalla chirurgia, risultante in un processo non operatore dipendente.

Nelle *Figure 28* e *29* sono riportati rispettivamente un esempio di allineamento manuale e di allineamento "globale" tra le mesh "STL post-op" e "STL post-fu."



Figura 28. Esempio di allineamento manuale tra la mesh “STL post op”, a sinistra, e la mesh “STL post-fu”, a destra. In basso sono rappresentate le due mesh sovrapposte.

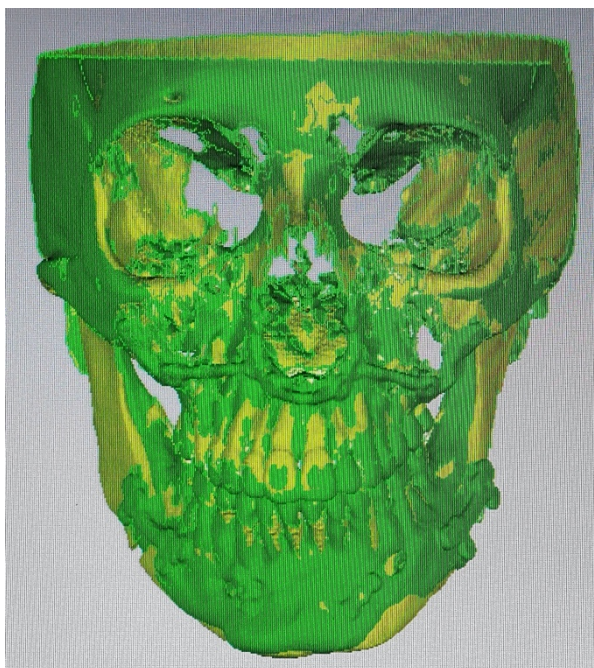


Figura 29. Esempio di allineamento “globale” tra le mesh “STL post op” e “STL post-fu”.

Da queste sovrapposizioni sono stati ricavati dei valori di “*surface to surface distance*”, accettando solamente valori con una variazione massima di 0,30 mm tra il cranio della mesh “STL post-op” e della mesh “STL post-fu”, tenendo in considerazione piccole differenze dovute alla segmentazione, al protocollo di scansione e alla qualità di entrambe le CT, come riportato nello studio di Heufelder (63).

Con l’obiettivo di ottenere una più accurata sovrapposizione possibile sono state rispettate le seguenti indicazioni:

- Esecuzione di CT/CBCT postoperatoria e post follow up con identici criteri e valori di acquisizione (mA e kV) e spessore delle slices.
- Produzione dei file STL con identici criteri, valori soglia, errori cordali e protocollo di pulizia.
- Esecuzione delle sovrapposizioni basandosi solo sulle superfici esterne delle regioni anatomiche periorbitarie, zigomatiche e frontale.
- Duplicazione e segmentazione della mesh “STL post-fu”.

A questo punto, tramite un’altra funzione del software in grado di duplicare le mesh importate, sono state prodotte quattro copie identiche e analogamente orientate della mesh “STL post-fu”. Tramite una segmentazione manuale delle mesh, la prima delle quattro copie è stata segmentata in modo da ottenere il segmento mascellare, la seconda il segmento mandibolare prossimale destro, la terza il segmento mandibolare sinistro e la quarta il segmento mandibolare distale.

Ognuno di questi segmenti è stato ripulito con l’apposita funzione “Mesh Doctor” e sono state rimosse, dove presenti, le placche chirurgiche di osteosintesi. La rimozione di queste ultime è fondamentale per non imbattersi in errori di stima della “*surface to surface distance*” calcolata durante la seconda sovrapposizione esposta al punto successivo.

In *Figura 30* sono riportati degli esempi di questo processo di segmentazione delle copie della mesh “STL post-fu”.

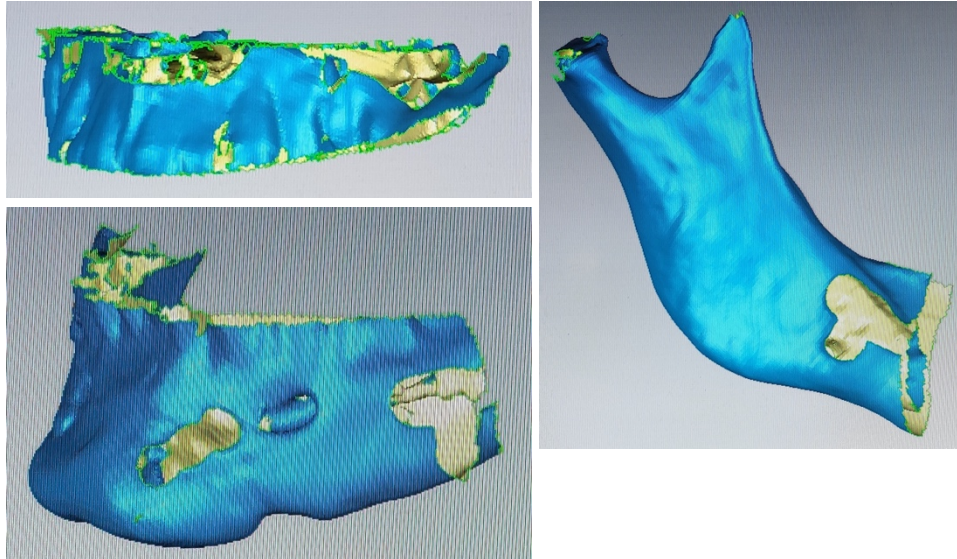


Figura 30. In alto a sinistra è riportato un esempio di segmento mascellare. A destra è riportato un esempio di segmento mandibolare prossimale di destra. In basso a sinistra è riportato un esempio di segmento mandibolare distale.

- Seconda sovrapposizione.

Ognuno dei segmenti appena creati è stato sovrapposto singolarmente con la mesh “STL post-op”, allineamento avvenuto tramite la funzione di allineamento “globale” automatico del software.

In *Figura 31* sono riportati degli esempi di sovrapposizione tra le mesh dei segmenti mascellare, mandibolare prossimale destro e mandibolare distale con la mesh “STL post-op”.

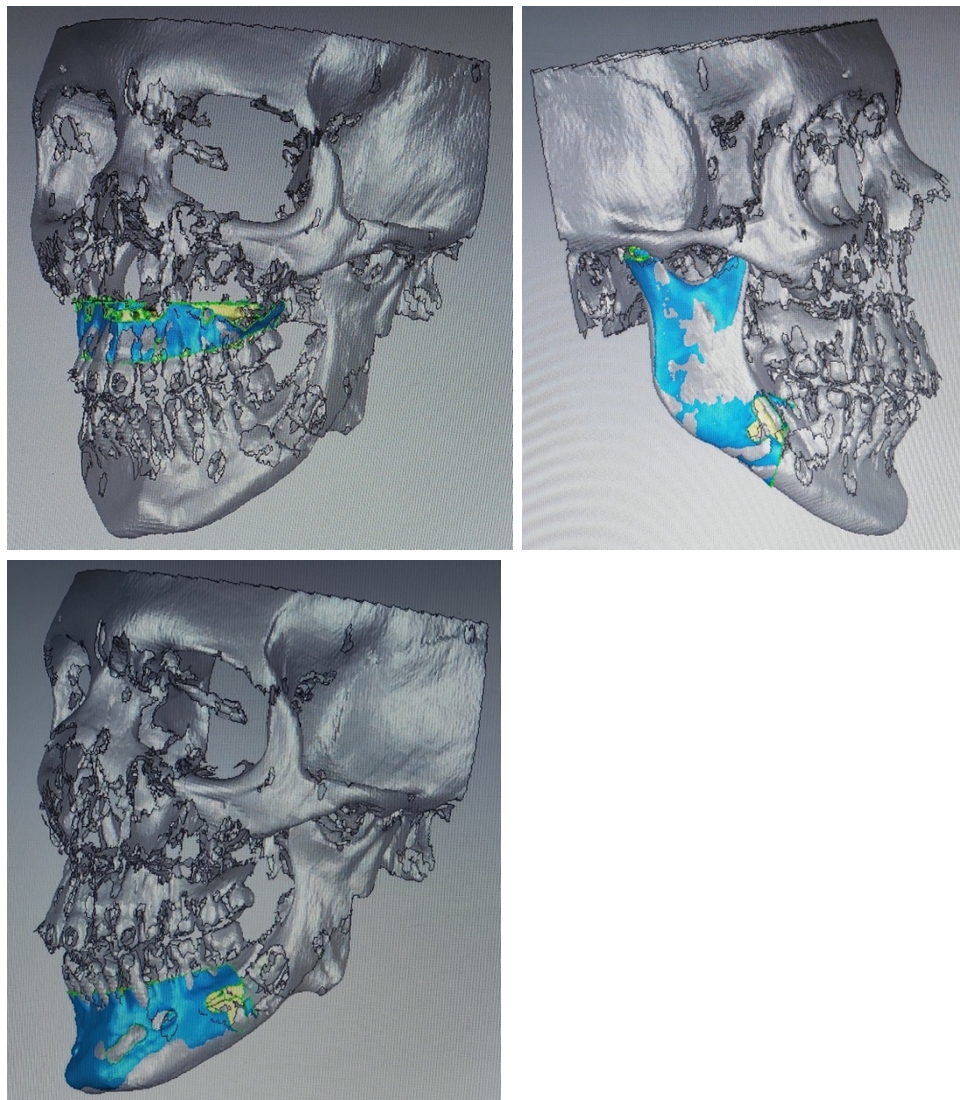


Figura 31. In alto a sinistra esempio di sovrapposizione tra il segmento mascellare e la mesh “STL post-op”. A destra esempio di sovrapposizione tra il segmento mandibolare prossimale destro e la mesh “STL post-op”. In basso a sinistra esempio di sovrapposizione tra il segmento mandibolare distale e la mesh “STL post-op”.

- Acquisizione della matrice di roto-traslazione.

Lo spostamento a cui è stato sottoposto ciascun segmento è stato registrato dal software ed evidenziato mediante una matrice di roto-traslazione. Per ognuno dei segmenti sono stati ricavati sei valori, tre corrispondenti alle componenti di traslazione nello spazio (trasversalità X, profondità Y, verticalità Z) e tre corrispondenti alle componenti di rotazione nello spazio (“pitch” x° , “roll” y° , “yaw” z°).

In Figura 32 è riportato un esempio dell’orientamento degli assi nello spazio, attraverso il quale sono calcolate le sei componenti di roto-traslazione.

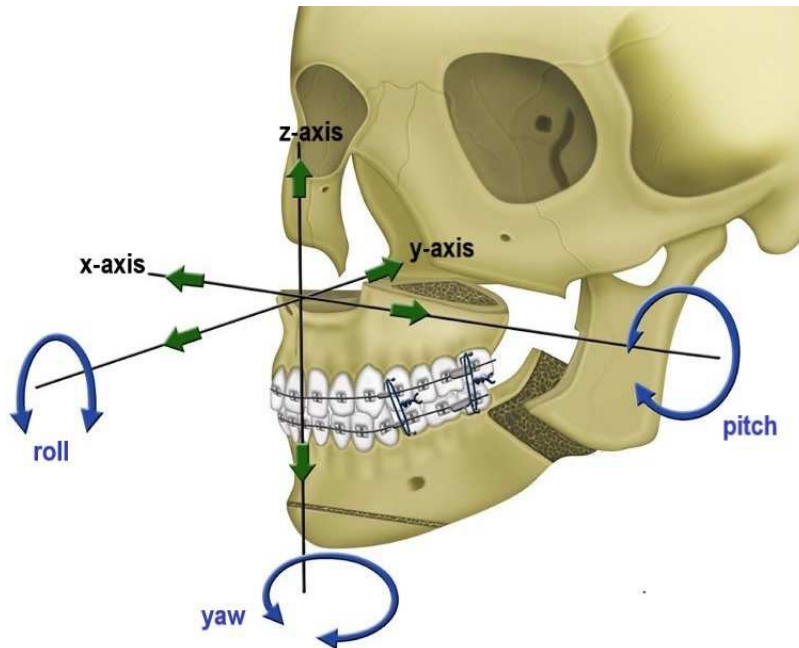


Figura 32. Esempio dell'orientamento degli assi nello spazio con le rispettive componenti di roto-traslazione.

3.8.2. Analisi dei dati

Data la numerosità del campione in studio è stato eseguito uno studio pilota tramite un'applicazione iniziale su piccola scala di un protocollo di studio, al fine di verificarne l'adeguatezza, stabilirne la fattibilità e ricavare informazioni che permettano di determinare l'ordine di grandezza del campione di un possibile studio definitivo.

Quindi sono stati discussi e comparati i risultati ottenuti, determinandone la rilevanza clinica e ottenendo informazioni utili al fine di un futuro studio su più larga scala.

4. RISULTATI

In questo studio sono stati arruolati 9 pazienti, 6 femmine e 3 maschi, affetti da dismorfismo dento-scheletrico, il quale necessitava di un trattamento chirurgico.

In tutte le tabelle riportate successivamente i pazienti sono numerati in ordine crescente da 1 a 9. I numeri dall'1 al 6 individuano i pazienti appartenenti alla prima coorte, trattata con protocollo “*splintless maxilla first*”, mentre i numeri dal 7 al 9 i pazienti appartenenti alla seconda coorte, trattata con protocollo “*splintless mandible first*”.

Nella *Tabella III* sono riportati i dati anagrafici dei pazienti e il dismorfismo dento-scheletrico di cui erano affetti.

I pazienti presentano un'età compresa tra 23 e 33 anni (media 26). 7 pazienti erano affetti da malocclusione di III classe secondo Angle, mentre 2 da malocclusione di II classe secondo Angle. 5 pazienti presentavano anche asimmetria facciale.

Infine solo un paziente presentava una comorbidità, nello specifico era affetto da sindrome da apnee ostruttive nel sonno (*Obstructive Sleep Apnea Syndrome, OSAS*).

Coorte	Pazienti	Età	Sesso	Occlusione	Asimmetria	Comorbidità
<i>Splintless Maxilla First</i>	1	27	F	III classe	NO	NO
	2	33	F	III classe	SI	NO
	3	24	M	II classe	NO	OSAS
	4	23	F	III classe	SI	NO
	5	27	M	III classe	NO	NO
	6	25	M	III classe	SI	NO
<i>Splintless Mandible First</i>	7	23	F	III classe	SI	NO
	8	27	F	II classe	NO	NO
	9	25	F	III classe	SI	NO

Tabella III. Dati anagrafici e caratteristiche cliniche dei pazienti in studio.

Tutti i pazienti in studio sono stati sottoposti a intervento di osteotomia combinata dei mascellari, con osteotomia secondo LeFort I per il mascellare superiore e BSSO per il mascellare inferiore, presso l'Unità Operativa Complessa (UOC) di Chirurgia Maxillo-Facciale dell'Azienda Ospedaliera di Padova.

Nella *Tabella IV* sono riportate alcune informazioni riguardo l'intervento chirurgico e la degenza postoperatoria.

La durata degli interventi chirurgici di entrambe le coorti è stata in media di 261,7 \pm 63,8 minuti. Analizzando le due coorti separatamente si evidenzia una durata media inferiore nella prima corte (250,8 \pm 63,9 minuti) rispetto alla seconda (283,3 \pm 70,9 minuti). Nessuno degli interventi ha presentato complicanze.

La durata dei giorni di degenza di entrambe le coorti è stata in media di 2,3 \pm 0,5 giorni.

Coorte	Indici statistici	Tempo chirurgico (min)	Giorni di degenza
<i>Splintless Maxilla First</i>	Media	250,8	2,5
	Mediana	247,5	2,5
	Max	340,0	3,0
	Min	160,0	2,0
	DS	63,9	0,5
<i>Splintless Mandible First</i>	Media	283,3	2,0
	Mediana	270,0	2,0
	Max	360,0	2,0
	Min	220,0	2,0
	DS	70,9	0

Tabella IV. Dati relativi all'intervento e alla degenza.

Nella *Tabella V* sono riportati i valori degli indici statistici (media, mediana, spostamento massimo, spostamento minimo e deviazione standard) della “*surface to surface distance*”, misurati in millimetri, ricavati dalla prima sovrapposizione effettuata tra le mesh “STL post-op” e “STL post-fu” sia per la coorte “*splintless maxilla first*” sia per la coorte “*splintless mandible first*”.

In entrambe le coorti sono state ottenute delle sovrapposizioni accurate, con una media di $0,160 \pm 0,049$ mm nella prima corte e di $0,169 \pm 0,056$ mm nella seconda coorte, rispettando la variazione massima di 0,30 mm riportata in letteratura. (63)

Sovrapposizione tra le mesh “STL post-op” e “STL post-fu”		
Coorte	Indici statistici	Surface to surface distance (mm)
<i>Splintless Maxilla First</i>	Media	0,160
	Mediana	0,155
	Max	0,235
	Min	0,105
	DS	0,049
<i>Splintless Mandible First</i>	Media	0,169
	Mediana	0,144
	Max	0,234
	Min	0,130
	DS	0,056

Tabella V. Valori di “surface to surface distance” della sovrapposizione tra le mesh “STL post-op” e “STL post-fu”.

Nella *Tabella VI* sono riportati i valori degli indici statistici della “surface to surface distance”, misurati in millimetri, ricavati dalla seconda sovrapposizione effettuata tra la mesh “STL post-op” e, rispettivamente, le mesh dei segmenti “mascellare”, “mandibolare prossimale destro”, “mandibolare prossimale sinistro” e “mandibolare distale”.

I dati ottenuti suggeriscono come non ci siano differenze clinicamente significative tra le due coorti.

		<i>Surface to surface distance (mm)</i>			
Coorte	Indici statistici	Mascellare	Mand. pross. destra	Mand. pross. sinistra	Mand. distale
<i>Splintless Maxilla First</i>	Media	0,271	0,278	0,308	0,292
	Mediana	0,303	0,263	0,279	0,204
	Max	0,329	0,366	0,590	0,562
	Min	0,139	0,201	0,181	0,138
	DS	0,074	0,063	0,145	0,188
<i>Splintless Mandible First</i>	Media	0,301	0,311	0,334	0,231
	Mediana	0,311	0,259	0,359	0,191
	Max	0,337	0,437	0,413	0,377
	Min	0,256	0,237	0,229	0,124
	DS	0,041	0,110	0,095	0,131

Tabella VI. Valori di “surface to surface distance” della sovrapposizione tra la mesh “STL post-op” e le mesh “mascellare”, “mandibolare prossimale destra”, “mandibolare prossimale sinistra” e “mandibolare distale”.

Nelle *Tabelle VII-X* sono riportati i valori degli indici statistici ricavati dall’analisi vettoriale di superficie, includendo le sei componenti della matrice di roto-traslazione. Nello specifico, i valori X, Y e Z rappresentano i valori di traslazione lungo i tre assi cartesiani, riportati in millimetri, mentre i valori x° , y° e z° rappresentano i valori di rotazione lungo i tre medesimi assi, rispettivamente “pitch”, “roll” e “yaw”, riportati in gradi.

Tutti questi valori possono assumere un valore positivo o negativo in base alla traslazione o alla rotazione lungo gli assi, essendo l’origine di questi ultimi coincidente con il “punto A cefalometrico”, cioè la spina nasale anteriore.

I dati ottenuti suggeriscono come i valori di spostamento del segmento mascellare risultino essere mediamente inferiori rispetto ai valori degli spostamenti dei vari segmenti mandibolari.

Mascellare							
Coorte	Indici statistici	X	Y	Z	x°	y°	z°
<i>Splintless</i> <i>Maxilla</i> <i>First</i>	Media	-0,057	-0,141	0,282	-0,390	-0,255	-0,007
	Mediana	0,0165	-0,083	0,325	-0,480	-0,155	0,025
	Max	0,435	0,389	0,650	0,860	0,170	0,270
	Min	-0,815	-0,669	-0,159	-1,530	-1,090	-0,480
	DS	0,415	0,370	0,316	0,929	0,477	0,281
<i>Splintless</i> <i>Mandible</i> <i>First</i>	Media	0,016	-0,008	0,404	-0,590	-0,067	-0,067
	Mediana	0,012	-0,039	0,321	-0,780	0,010	-0,020
	Max	0,346	0,438	0,597	-0,180	0,050	0,110
	Min	-0,309	-0,422	0,294	-0,810	-0,260	-0,290
	DS	0,328	0,431	0,168	0,355	0,169	0,204

Tabella VII. Dati della matrice di roto-traslazione dell'analisi vettoriale di superficie, ricavati dal confronto tra le mesh "STL post-op" e "mascellare".

Mandibolare prossimale destra							
Coorte	Indici statistici	X	Y	Z	x°	y°	z°
<i>Splintless</i> <i>Maxilla</i> <i>First</i>	Media	0,475	1,035	-1,586	0,940	0,382	1,028
	Mediana	0,502	0,742	-0,954	0,315	0,465	0,795
	Max	0,812	2,821	1,462	4,350	1,340	1,850
	Min	-0,056	0,338	-7,397	-0,090	-0,960	0,290
	DS	0,302	0,896	3,001	1,681	0,757	0,617
<i>Splintless</i> <i>Mandible</i> <i>First</i>	Media	0,917	0,912	-0,801	-0,473	-0,323	1,287
	Mediana	1,013	0,749	-0,981	0,150	-0,440	1,340
	Max	1,028	1,479	0,309	0,740	0,190	1,860
	Min	0,709	0,507	-1,731	-2,310	-0,720	0,660
	DS	0,180	0,506	1,032	1,618	0,466	0,602

Tabella VIII. Dati della matrice di roto-traslazione dell'analisi vettoriale di superficie, ricavati dal confronto tra le mesh "STL post-op" e "mandibolare prossimale destra".

Mandibolare prossimale sinistra							
Coorte	Indici statistici	X	Y	Z	x°	y°	z°
<i>Splintless</i> <i>Maxilla</i> <i>First</i>	Media	-0,843	0,960	0,004	0,088	0,453	-0,985
	Mediana	-0,551	1,085	-0,850	0,380	-0,075	-0,870
	Max	0,089	1,676	2,450	0,490	5,890	-0,080
	Min	-2,900	0,126	-1,338	-1,200	-2,260	-2,480
	DS	1,130	0,598	1,638	0,652	2,847	0,922
<i>Splintless</i> <i>Mandible</i> <i>First</i>	Media	-0,788	0,029	-1,235	-0,087	-0,660	-1,013
	Mediana	-0,833	0,755	-1,259	-0,180	-0,590	-0,660
	Max	0,408	1,114	-0,438	0,390	-0,420	-0,250
	Min	-1,939	-1,782	-2,009	-0,470	-0,970	-2,130
	DS	1,174	1,579	0,786	0,438	0,282	0,989

Tabella IX. Dati della matrice di roto-traslazione dell'analisi vettoriale di superficie, ricavati dal confronto tra le mesh "STL post-op" e "mandibolare prossimale sinistra".

Mandibolare distale							
Coorte	Indici statistici	X	Y	Z	x°	y°	z°
<i>Splintless</i> <i>Maxilla</i> <i>First</i>	Media	-0,031	1,474	0,806	-1,895	-0,505	0,108
	Mediana	0,065	0,416	0,633	-0,140	-0,330	0,245
	Max	2,049	5,789	4,455	0,930	1,360	3,180
	Min	-2,477	0,076	-1,021	-10,41	-2,650	-2,230
	DS	1,471	2,216	1,985	4,291	1,495	1,872
<i>Splintless</i> <i>Mandible</i> <i>First</i>	Media	-0,223	-0,060	-0,430	-0,700	-0,257	-0,377
	Mediana	0,255	0,132	-0,418	0,200	-0,320	-0,240
	Max	0,331	0,228	-0,230	0,260	-0,050	0,190
	Min	-1,256	-0,541	-0,643	-2,560	-0,400	-1,080
	DS	0,895	0,419	0,207	1,611	0,183	0,646

Tabella X. Dati della matrice di roto-traslazione dell'analisi vettoriale di superficie, ricavati dal confronto tra le mesh "STL post-op" e "mandibolare distale".

Nella *Tabella XI* sono riportati i valori ottenuti dalla somma vettoriale (SV) delle tre componenti di traslazione X, Y e Z, calcolata con la seguente formula matematica: $SV = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$. Tale dato è stato ricavato per tutti i segmenti considerati nello studio di ogni paziente.

Il valore ottenuto può essere considerato come lo spostamento effettivo nello spazio del segmento in analisi rispetto alla posizione dello stesso nel postoperatorio.

I dati ottenuti suggeriscono:

- Per quanto riguarda i segmenti “mascellare” e “mandibolare prossimale sinistro” non ci sono differenze clinicamente rilevanti tra le due coorti in studio.
- Per quanto riguarda i segmenti “mandibolare prossimale destro” e “mandibolare distale” si può evidenziare una differenza tra le due coorti per quanto riguarda i valori degli indici statistici di media, mediana e deviazione standard. Questo aspetto verrà discusso successivamente, preannunciando che la differenza riscontrata potrebbe essere solo apparente perché in un solo paziente della prima coorte si sono ottenuti valori di spostamento molto discordanti rispetto a quelli degli altri pazienti, valori che hanno alterato i risultati finali.

		Somma vettoriale			
Coorte	Indici statistici	Mascellare	Mand. pross. destra	Mand. pross. sinistra	Mand. distale
<i>Splintless Maxilla First</i>	Media	0,580	2,428	2,114	2,594
	Mediana	0,673	1,402	1,921	1,643
	Max	0,991	7,958	3,442	7,318
	Min	0,110	0,846	1,000	0,819
	DS	0,359	2,721	0,955	2,515
<i>Splintless Mandible First</i>	Media	0,583	1,701	2,228	0,911
	Mediana	0,631	1,423	2,279	0,728
	Max	0,794	2,492	2,716	1,330
	Min	0,324	1,187	1,688	0,675
	DS	0,239	0,695	0,516	0,364

Tabella XI. Dati della somma vettoriale ricavati dal confronto tra la mesh “STL post-op” e le mesh “mascellare”, “mandibolare prossimale destra”, “mandibolare prossimale sinistra” e “mandibolare distale”.

5. DISCUSSIONE

Lo scopo principale del presente studio è quello di verificare la stabilità del riposizionamento dei segmenti ossei mascellare e mandibolare in due coorti di pazienti sottoposti ad intervento chirurgico con tecnica “*splintless maxilla first*” o “*splintless mandible first*”, valutata a distanza di 1-2 anni dall’intervento stesso.

Diverse sono le caratteristiche chiave alla base dell’elaborato che hanno permesso una più accurata analisi possibile. In primis l’utilizzo della CT o CBCT per l’acquisizione delle scansioni ha permesso di ottenere un modello, una guida chirurgica e/o un impianto più accurati dal punto di vista anatomico. Accanto a questo, l’avvento della “*virtual surgical planning*” ha permesso una migliore pianificazione del trattamento, intesa come rapidità dell’operato, riduzione degli errori e, ovviamente, come miglior outcome postoperatorio. Infine, l’utilizzo di un nuovo protocollo di analisi ha permesso di ottenere una sovrapposizione accurata e precisa e un’acquisizione dati riproducibile.

5.1. Verifica di accuratezza

Inizialmente, con l’introduzione delle metodiche digitali per la pianificazione chirurgica, il tema più affrontato era il confronto tra la “*traditional surgical planning*” e la “*virtual surgical planning*”, come esaminato in uno dei primi studi da Gateno et al. (64) e da numerosi studi successivi.

Una minoranza erano gli studi che affrontavano, invece, la tematica di verifica di accuratezza della pianificazione digitale in chirurgia ortognatica, uno tra i temi più affrontati al giorno d’oggi, sul quale, purtroppo, non esistono ancora dei consensi univoci sui metodi di valutazione e validazione dei dati ottenuti.

Nel 2017 Gaber et al. hanno effettuato una revisione sistematica di alcuni studi con lo scopo di raggiungere un consenso su un protocollo di valutazione che potesse offrire il minor margine di errore possibile e che potesse essere utilizzato universalmente (65). Il protocollo da loro proposto prevede, tramite l’utilizzo di uno o più software, tre fasi distinte: una prima fase di “*registration*”, una seconda di “*assessment*” e una terza di “*validation*”.

Per quanto riguarda la fase di “*registration*” ad oggi esistono tre metodi con cui sovrapporre il modello postoperatorio con il modello pianificato nel preoperatorio. Un primo metodo si basa sulla sovrapposizione manuale soggettiva di più punti cefalometrici, considerato il meno accurato (65) (66). Un secondo metodo, definito “*surface to surface*” o “*surface best fit*”, considerato più accurato del precedente, si basa sulla sovrapposizione automatizzata di superfici. Infine, un terzo metodo, introdotto per la prima volta da Cevidane et al. (67), si basa sulla sovrapposizione volumetrica definita “*voxel-based registration*”, ottenendo una sovrapposizione con differenze non statisticamente significative rispetto alla metodica di “*surface based registration*” (68).

Anche per quanto riguarda la fase di “*assessment*” si sono susseguite diverse metodiche di valutazione. Alcune erano più suscettibili ad errori perché richiedevano l’identificazione di punti di riferimento cefalometrici sia sul modello pianificato preoperatoriamente sia sul modello postoperatorio ed erano basate su misurazioni lineari e angolari, come quelle utilizzate negli studi di Aboul-Hosn Centenero e Hernández-Alfaro (69) e di Zinser et al. (70). Hsu et al. hanno misurato, invece, le differenze tra i baricentri di 3 punti di riferimento per asse (x, y, z) in modo lineare e angolare per quantificare, in ciascuna dimensione dello spazio, il movimento del mascellare (71). Infine Baan et al. hanno sviluppato uno strumento basato su triangoli virtuali, chiamato “*OrthoGnathicAnalyser*”, in cui vengono identificati 3 punti di riferimento nel preoperatorio e, successivamente, tale software misura automaticamente i cambiamenti lineari e angolari per “*pitch*”, “*roll*” e “*yaw*” in modo clinicamente rilevante, eliminando l’errore operatore dipendente (72).

Infine per quanto riguarda la fase di “*validation*” i metodi più utilizzati sono gli indici di correlazione intraclasse e interclasse, i quali valutano rispettivamente la riproducibilità della raccolta dati effettuata più volte dallo stesso operatore e la riproducibilità della raccolta dati effettuata da due operatori diversi, applicati da Baan et al. (72) e Zinser et al. (70).

Con l’obiettivo di eliminare i possibili errori derivanti dall’identificazione manuale di punti cefalometrici, ottenendo così una sovrapposizione accurata e precisa, e con l’obiettivo di ottenere una metodica di acquisizione dati riproducibile, nel presente studio è stato utilizzato un nuovo protocollo di analisi, definito “analisi vettoriale di superficie”.

5.2. Analisi vettoriale di superficie

Il protocollo di analisi vettoriale di superficie è stato ideato e realizzato dal Dott. Federico Apolloni in associazione al team di ingegneri del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale guidato dal Prof. Gianmaria Concheri.

Tale protocollo è nato con lo scopo di essere utilizzato per misure di accuratezza attraverso la sovrapposizione di file “STL planning” e “STL postoperatori”. Sfruttandone la versatilità, questo protocollo può inoltre essere utilizzato per misure di movimento chirurgico attraverso la sovrapposizione di file “STL preoperatori” e “STL postoperatori”, per misure di movimento chirurgico pianificato attraverso la sovrapposizione di file “STL preoperatori” e “STL planning” o, come nel presente studio, per misure di riposizionamento dei segmenti operati attraverso la sovrapposizione di file “STL postoperatori” e “STL post follow up” a distanza di mesi-anni dall’operazione.

Inoltre, la necessità di sfruttare questo protocollo di analisi è nata dal fatto che in letteratura non sono presenti protocolli standardizzati e universali per questo tipo di valutazioni.

Le caratteristiche che differenziano questa analisi da quelle esposte precedentemente sono:

- L’origine del sistema di riferimento viene posizionato identificando un “punto A cefalometrico”, corrispondente con la spina nasale anteriore, che si trova alla minore distanza possibile dal segmento mascellare, limitando il più possibile l’errore sulla componente di traslazione.
- Successivamente all’identificazione del “punto A cefalometrico” viene verificata la perfetta congruenza tra l’asse Y e la base del setto nasale, ricercando poi la v-NHP (*Virtual-Natural Head Position*).
- I vari segmenti analizzati (mascellare, mandibolari prossimali destro e sinistro e mandibolare distale) vengono segmentati in maniera tale da non contenere né le corone degli elementi, riducendo il più possibile l’errore derivante da spostamenti dentari conseguenti ad operazioni successive, né eventuali placche chirurgiche di osteosintesi, altra fonte di errori di stima della “*surface to surface distance*”.

- L'identificazione automatica del baricentro dei segmenti analizzati da parte del software e il “*best-fitting*” semi-automatico delle superfici ossee garantiscono la ripetibilità di analisi per un definito dataset.

Una prima importante valutazione deve essere effettuata per quanto riguarda i valori di “*surface to surface distance*”. Come detto in precedenza è fondamentale ricavare una buona sovrapposizione tra i modelli oggetto di studio in modo da ottenere un'analisi di accuratezza ottimale.

Le sovrapposizioni devono essere eseguite in regioni anatomiche non chirurgicamente trattate (65). Il rationale sta nel fatto che queste regioni, teoricamente, dovrebbero risultare perfettamente sovrapponibili non essendo state coinvolte da interventi chirurgici.

Negli studi di Baan et al. (72), Stokbro et al. (73), Nada et al. (74) e Hajeer et al. (75) viene riportata una variazione massima consentita di 0,50 mm. Nel presente studio, invece, sono stati ricavati valori di “*surface to surface distance*” accettando solamente valori con una variazione massima di 0,30 mm tra il cranio della mesh “STL post-op” e della mesh “STL post-fu”, come riportato nello studio di Heufelder (63). Per valori inferiori a 0,30 mm le differenze di sovrapposizione dei due modelli sono considerate clinicamente non rilevanti, in quanto è accettabile il verificarsi di piccole differenze dovute alla segmentazione, al protocollo di scansione e alla qualità di entrambe le CT.

La metodica di “analisi vettoriale di superficie” utilizzata nel presente elaborato ha permesso di ottenere, nella prima sovrapposizione effettuata tra la mesh “STL post-op” e “STL post-fu”, dei valori di “*surface to surface distance*” inferiori a 0,30 mm. Dall'osservazione di questi valori si può affermare come le sovrapposizioni, in tutti i pazienti, siano state accettabili e soprattutto accurate, ottenendo un valore massimo di 0,235 mm e un valore minimo di 0,105 mm. La media della “*surface to surface distance*” misurata nella prima coorte è di $0,160 \pm 0,049$ mm, mentre nella seconda coorte è di $0,169 \pm 0,056$ mm. Già da questo confronto si può constatare come non ci siano differenze clinicamente rilevanti tra le due coorti in studio, ma, data la numerosità del campione, risulta spesso più veritiero il confronto tra le mediane. In questo caso la mediana della prima coorte è di 0,155 mm e la mediana della seconda coorte è di 0,144 mm, confermando quanto detto precedentemente.

Osservando la *Figura 33*, invece, dove è rappresentato un istogramma con le mediane dei valori di “*surface to surface distance*” della seconda sovrapposizione, effettuata tra la mesh “STL post-op” e le mesh dei segmenti “*mascellare*”, “*mandibolare prossimale destro*”, “*mandibolare prossimale sinistro*” e “*mandibolare distale*”, si può constatare come non ci siano differenze clinicamente significative tra le due coorti. Da ciò si può assumere come le due tecniche possano essere considerate sovrapponibili e che il riposizionamento dei vari segmenti ossei, a distanza di tempo dall’intervento, subisca variazioni simili sia che il paziente venga trattato con un protocollo chirurgico sia che venga trattato con l’altro.

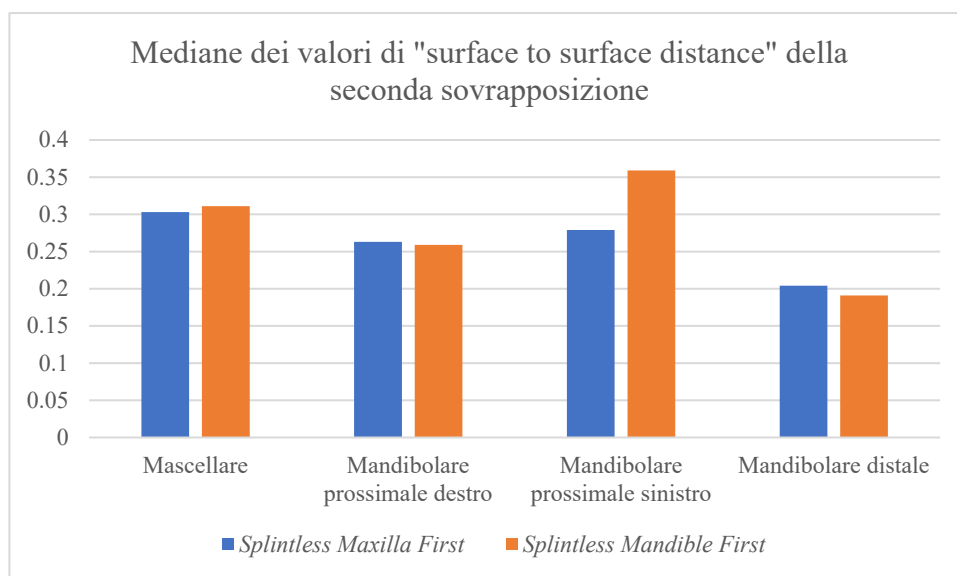


Figura 33. Istogramma delle mediane dei valori di “surface to surface distance” della seconda sovrapposizione, comprendente tutti i segmenti ossei di entrambe le coorti.

5.3. Analisi dei segmenti ossei

Gli studi presenti in letteratura si sono ad oggi maggiormente focalizzati sull’analisi di accuratezza tra ciò che era stato pianificato con il planning chirurgico e l’effettivo risultato nel postoperatorio. Sono, invece, una minoranza gli studi focalizzati sul confronto tra il risultato postoperatorio e la stabilità dell’intervento a distanza di tempo.

Nello studio di Proffit et al. (76) viene definito come sia importante differenziare la stabilità chirurgica, intesa come i cambiamenti che accorrono nel primo anno post-chirurgico e che sono dovuti alla guarigione chirurgica, a eventuali trattamenti ortodontici post trattamento o all’adattamento fisiologico a breve termine, dalla

stabilità del trattamento, intesa come i cambiamenti che accorrono oltre un anno dall'intervento e che sono dovuti principalmente all'adattamento a lungo termine. La gerarchia delle procedure presentate nello studio di Proffit et al. si basa sulla percentuale di pazienti che hanno presentato degli spostamenti di almeno 2 millimetri. Gli spostamenti inferiori a 2 mm vengono considerati nel range di errore metodico e clinicamente non significativi, gli spostamenti tra 2 e 4 mm vengono considerati potenzialmente clinicamente significativi e gli spostamenti maggiori a 4 mm vengono considerati altamente clinicamente significativi.

Proffit et al. suddividono ulteriormente la stabilità chirurgica nel primo anno postoperatorio in altamente stabile, stabile, stabile solo con fissazione rigida e problematica, facendo rientrare l'intervento di osteotomie combinate dei mascellari all'interno della categoria "stabile solo con fissazione rigida", nella quale solo nel 20% dei pazienti si è verificato uno spostamento maggiore di 2 mm. Risultati equiparabili vengono riportati in un altro studio di Proffit, Phillips e Turvey (77) e in uno di Turvey, Zaytoun Jr, Phillips e Proffit (78). Nello studio di Bailey et al. (79) è riscontrato uno spostamento medio di 3 mm ad un anno, nello studio di Marchetti et al. (80) è riportato uno spostamento medio di 2,2 mm e nello studio di Costa et al. (81) è riportato uno spostamento medio di 2-4 mm.

Il problema principale nel comparare i dati ottenuti nel presente elaborato con quelli riportati negli studi precedentemente citati, nonostante presentino dei range di riferimento per definire uno spostamento come clinicamente significativo o meno, è che in questi ultimi la raccolta dati è avvenuta con l'utilizzo di radiografie cefalometriche, sicuramente meno accurate rispetto alla raccolta dati mediante le nuove tecnologie di imaging e di software ingegneristici.

In un articolo più recente, uno dei pochi presenti in letteratura, Liebregts et al. hanno analizzato la stabilità scheletrica ad un anno dall'operazione in pazienti operati con osteotomie combinate dei mascellari con pianificazione digitale, confrontando i due tempi chirurgici "*maxilla first*" e "*mandible first*". Nel loro studio vengono riportati dei valori soglia per definire lo spostamento come clinicamente rilevante, maggiore di 2 mm per la traslazione e maggiore di 2° per la rotazione (46).

Nel presente studio, per ognuno dei segmenti ossei considerati e per entrambi i protocolli chirurgici, considerando il valore assoluto delle mediane di spostamento, si sono ottenuti valori inferiori ai 2 mm di traslazione e inferiori ai 2° di rotazione, come si può osservare nelle *Figure 34-37*. Questi dati suggeriscono, quindi, come non ci siano delle differenze clinicamente rilevanti tra le due coorti per ognuno dei segmenti considerati.

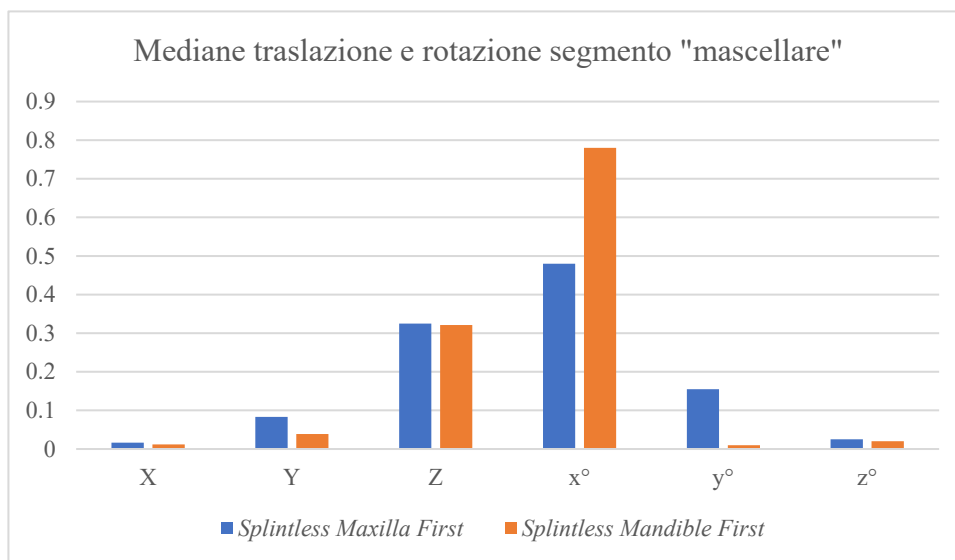


Figura 34. Istogramma delle mediane dei valori di traslazione e rotazione del segmento "mascellare".

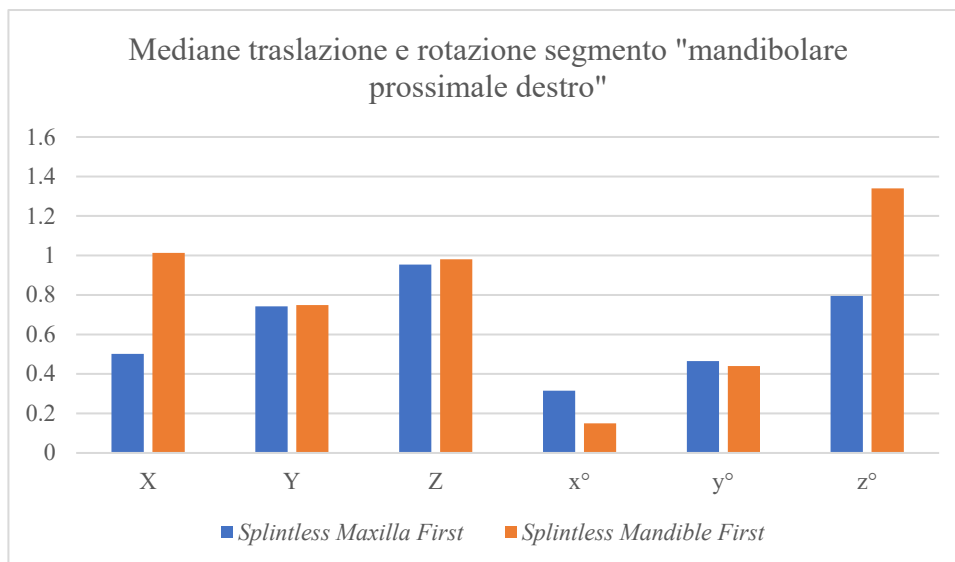


Figura 35. Istogramma delle mediane dei valori di traslazione e rotazione del segmento "mandibolare prossimale destro".

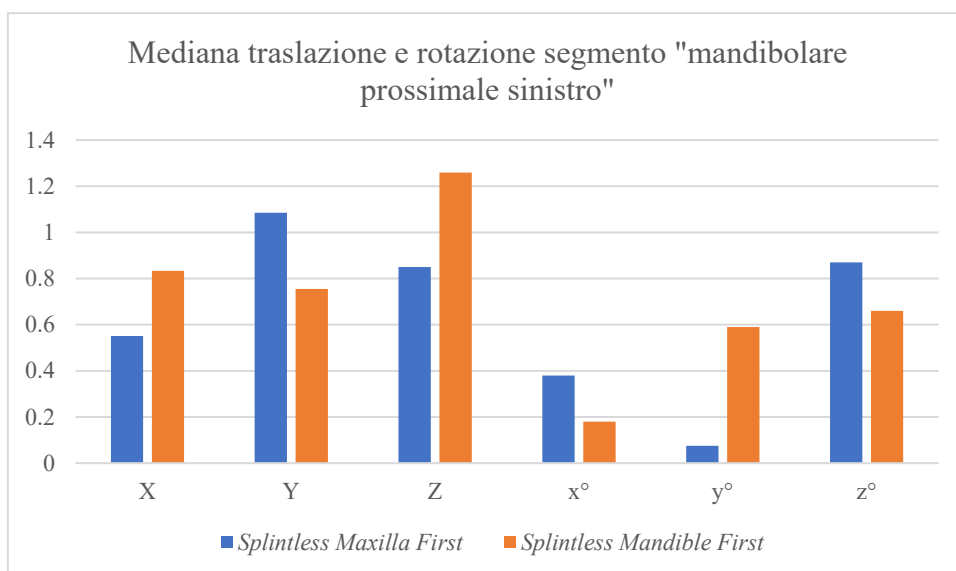


Figura 36. Istogramma delle mediane dei valori di traslazione e rotazione del segmento "mandibolare prossimale sinistro".

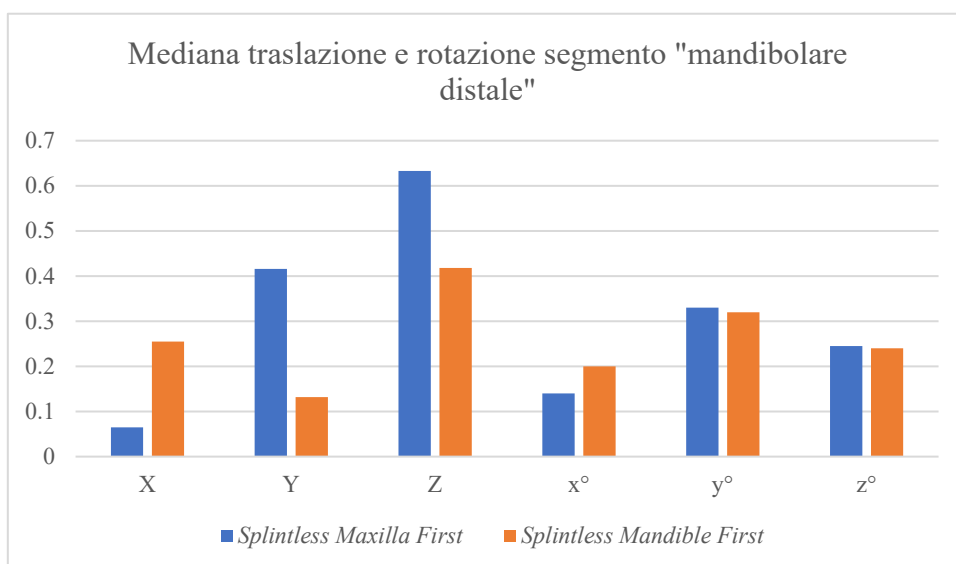


Figura 37. Istogramma delle mediane dei valori di traslazione e rotazione del segmento "mandibolare distale".

Se si considerano i valori di ogni paziente, però, si individuano delle singole misurazioni che eccedono questi valori soglia. Nello specifico, sempre considerando il valore assoluto dei dati ricavati, si evidenziano uno spostamento massimo nella componente di traslazione sull'asse X di 2,900 mm nel segmento mandibolare prossimale sinistro in un paziente della prima coorte, sull'asse Y di 5,789 mm nel segmento mandibolare distale in un paziente della prima coorte e sull'asse Z di 7,397 mm nel segmento mandibolare prossimale destro in un paziente della prima coorte. Per quanto riguarda la componente rotazionale si evidenziano un valore massimo di "pitch" di 10,40° nel segmento mandibolare distale in un paziente della prima coorte, di "roll" di 5,89° nel segmento mandibolare prossimale

sinistro in un paziente della prima coorte e di “yaw” di 3,18° nel segmento mandibolare distale in un paziente della prima coorte.

Uno dei pazienti della prima coorte rappresenta un caso particolare, perché presenta dei valori che si discostano dalla mediana dei valori degli altri pazienti. La numerosità del campione in studio, però, non permette di capire se si tratti di un caso isolato, raro, o se possa essere un campione rappresentativo di una popolazione più ampia. Infatti questi valori discordanti potrebbe essere dovuti o a un errore di misura, o a fattori intrinseci al paziente stesso che potrebbero aver portato a un maggior spostamento dei segmenti nel postoperatorio o a un effettivo riposizionamento dei segmenti ossei clinicamente significativo. Tale aspetto rappresenta uno dei motivi per cui sarà fondamentale eseguire uno studio su più larga scala per poter chiarire quanto appena esposto.

Un ulteriore confronto può essere fatto con i risultati ottenuti nello studio di Xi et al. (82), dove sono stati analizzati i dati ricavati dal confronto delle CBCT di 50 pazienti eseguite a 2 anni dall'intervento di osteotomia bimascellare con le CBCT eseguite nel postoperatorio.

Per quanto riguarda il segmento “mascellare” sono stati riportati:

- Un valore di “*advancement*” (comprende i valori positivi sull’asse Y) medio di $0,8 \pm 1,8$ mm, rispetto al valore medio di $0,303 \pm 0,235$ mm del presente studio.
- Un valore di “*impaction*” (comprende i valori positivi sull’asse Z) medio di $1,7 \pm 1,3$ mm, rispetto al valore medio di $0,383 \pm 0,215$ mm del presente studio.
- Un valore di “*extrusion*” (comprende i valori negativi sull’asse Z) medio di $-0,4 \pm 1,1$ mm, rispetto all’unico valore di $-0,159$ mm del presente studio.
- Un valore di “*pitch*” medio di $0,3 \pm 1,2^\circ$, rispetto al valore medio di $0,732 \pm 0,461^\circ$ del presente studio.
- Un valore di “*roll*” medio di $0,1 \pm 0,6^\circ$, rispetto al valore medio di $0,279 \pm 0,335^\circ$ del presente studio.
- Un valore di “*yaw*” medio di $0,0 \pm 0,1^\circ$, rispetto al valore medio di $0,193 \pm 0,140^\circ$ del presente studio.

Per quanto riguarda il segmento “mandibolare distale” è stato riportato un valore di “*advancement*” medio di $1,3 \pm 2,5$ mm, rispetto al valore medio di $1,150 \pm 1,996$ mm del presente studio.

Inoltre, in questo protocollo di analisi vettoriale di superficie, è stata introdotta e calcolata una nuova variabile, la somma vettoriale delle tre componenti di traslazione X, Y e Z, considerata come lo spostamento effettivo nello spazio del segmento in analisi rispetto alla posizione dello stesso nel postoperatorio.

I dati ricavati suggeriscono quanto segue:

- Per quanto riguarda il segmento “mascellare” le medie delle somme vettoriali delle due coorti risultano essere equiparabili, $0,580 \pm 0,359$ mm nella prima coorte e $0,583 \pm 0,239$ mm nella seconda. Allo stesso modo, considerando le mediane, $0,673$ mm nella prima coorte e $0,631$ nella seconda, i dati suggeriscono come non ci sia una differenza clinicamente rilevante tra le due coorti in studio.
- Anche per quanto riguarda il “segmento prossimale sinistro” si può fare un discorso analogo, essendo le medie delle somme vettoriali delle due coorti equiparabili, $2,114 \pm 0,955$ mm nella prima coorte e $2,228 \pm 0,516$ mm nella seconda, come anche le mediane, $1,921$ mm nella prima coorte e $2,279$ mm nella seconda, suggerendo non ci sia una differenza clinicamente rilevante tra le due coorti.
- Si evidenziano delle differenze per quanto riguarda gli altri due segmenti ossei, i segmenti “mandibolare prossimale destro” e “mandibolare distale”. Nel segmento “mandibolare prossimale destro” le medie delle somme vettoriali sono $2,428 \pm 2,721$ mm nella prima coorte e $1,701 \pm 0,695$ mm nella seconda. Questi dati suggeriscono una differenza tra le due coorti, ma se si osservano le mediane risultano equiparabili, $1,402$ mm nella prima coorte e $1,423$ mm nella seconda. In maniera analoga nel segmento “mandibolare distale” le medie delle somme vettoriali sono $2,594 \pm 2,515$ mm nella prima coorte e $0,911 \pm 0,364$ mm nella seconda. Se si osservano le mediane, $1,643$ mm nella prima coorte e $0,728$ mm nella seconda, la differenza tra le due coorti, seppur presente, è meno importante.

In *Figura 38* è presente un istogramma dove sono riportate le mediane delle somme vettoriali dei vari segmenti ossei, confrontate tra le due coorti in studio.

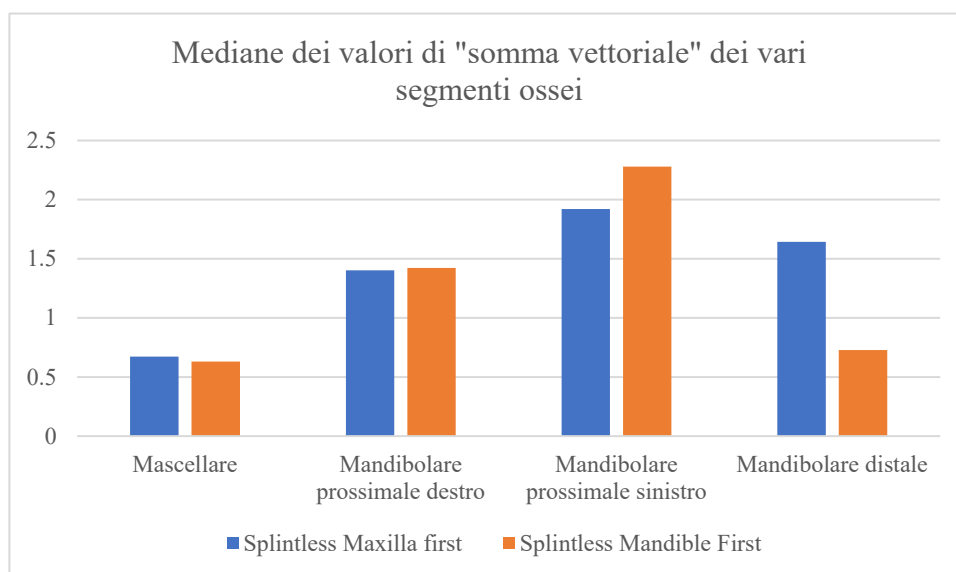


Figura 38. Istogramma delle mediane dei valori di "somma vettoriale", comprendente tutti i segmenti ossei di entrambe le coorti.

Le differenze che si sono riscontrate e che sono maggiormente evidenti osservando le medie e le deviazioni standard dei segmenti "mandibolare prossimale destro" e "mandibolare distale" sono principalmente dovute, come detto in precedenza, alla presenza di un paziente della prima coorte che presenta dei valori che si discostano maggiormente da quelli degli altri pazienti. Sarà quindi fondamentale verificare, in uno studio su più larga scala, se tale discordanza sia dovuta ad un errore nella fase di acquisizione dati, a fattori intrinseci al paziente o a un effettivo riposizionamento dei segmenti ossei clinicamente significativo.

Infine, sempre osservando i valori ottenuti dal calcolo della somma vettoriale, può essere fatta un'ultima considerazione. I dati ricavati dal presente studio suggeriscono come la stabilità postoperatoria del segmento "mascellare" sembri essere maggiore rispetto a quella della mandibola, risultato coerente con quanto riportato nello studio di Liebrechts et al. (46). I valori medi di spostamento effettivo nello spazio tridimensionale ottenuti per il segmento "mascellare" sono $0,580 \pm 0,359$ mm nella prima coorte e $0,583 \pm 0,239$ mm nella seconda coorte. Se si confrontano con i valori medi di spostamento effettivo ottenuti nei tre frammenti mandibolari si evidenzia come, in questi ultimi, le medie sono tutte maggiori a 1,5 mm ad eccezione del segmento "mandibolare distale" della seconda coorte, che presenta una media di $0,911 \pm 0,364$ mm.

Nonostante non vi sia ancora una chiara evidenza, ci sono dei possibili fattori che possono spiegare queste differenze. I movimenti a cui è soggetta quotidianamente la mandibola, come durante l'eloquio o durante la masticazione, possono sicuramente influire sui movimenti dei segmenti ossei postoperatori. Infatti sulla mandibola sono presenti le inserzioni di diversi muscoli masticatori: massetere, temporale, pterigoidei interno ed esterno e muscolo digastrico. Il mascellare, invece, nonostante partecipi alla masticazione, non subisce l'azione diretta di questi muscoli o movimenti paragonabili a quella della mandibola, quindi è sicuramente meno soggetto a possibili spostamenti dei segmenti ossei dopo la chirurgia. Il mascellare, inoltre, rappresenta un corpo fisso, il quale viene mobilizzato con la chirurgia nella posizione finale e fissato con placche rigide tramite una sintesi poco elastica. La mandibola invece, come detto precedentemente, è un osso mobile soggetto a numerosi movimenti che possono influire in una non perfetta osteosintesi post-chirurgica. Per questo motivo il posizionamento del mascellare risulta essere più prevedibile rispetto al posizionamento condilare, influenzando la posizione postoperatoria e il riposizionamento a distanza di tempo dall'intervento. Infine, non si è ancora raggiunto un consenso univoco nel definire se l'approccio chirurgico "*maxilla first*" o "*mandible first*" abbia o meno un'efficacia differente sulla stabilità di un segmento o dell'altro

5.4. Sequenze chirurgiche

Un altro scopo dello studio era quello di confrontare le due diverse sequenze chirurgiche, "*maxilla first*" e "*mandible first*", all'interno del protocollo "*splintless*".

Data la numerosità del campione e la presenza di soli 3 pazienti nella coorte "*splintless mandible first*" non è possibile comparare statisticamente le due coorti, ma, i dati ottenuti dall'analisi vettoriale di superficie suggeriscono come la sequenza chirurgica eseguita non sembri influenzare il riposizionamento postoperatorio, come riportato anche dallo studio di Liebergts et al. (46).

Osservando la *Figura 38* riportata precedentemente, infatti, si evidenzia come le mediane di ognuno dei segmenti ossei della coorte trattata con sequenza chirurgica

“*maxilla first*” siano sovrapponibili alle mediane dei corrispettivi segmenti ossei della coorte trattata con sequenza chirurgica “*mandible first*”.

Nello stesso studio, Liebergts et al, hanno concluso come la sequenza dell'intervento chirurgico fosse più di importanza clinica nel determinare la realizzabilità della pianificazione digitale del riposizionamento dei segmenti mascellari, piuttosto che nel determinare la stabilità dei risultati postoperatori raggiunti.

Per concludere, quindi, risulta ancora limitato il consenso clinico e scientifico su quale approccio chirurgico adottare preferenzialmente nella chirurgia bimascellare, soprattutto per quanto riguarda l'effetto sul riposizionamento nel medio-lungo termine. Nonostante questo, la sequenza chirurgica “*maxilla first*” risulta essere quella più utilizzata perché è la tecnica con cui i chirurghi hanno maggiore esperienza e perché è ritenuta la tecnica che dà una maggiore prevedibilità tra le due. Come detto precedentemente, infatti, i fattori che agiscono sulla mandibola possono condizionare e rendere meno prevedibile il risultato postoperatorio sulla mandibola stessa, rispetto alla predicibilità che si può ottenere per il mascellare.

Bisogna però considerare che, in alcuni studi, si è cercato di individuare quali potessero essere le situazioni cliniche nella quali la chirurgia con approccio “*mandible first*” fosse più indicata rispetto alla chirurgia con approccio “*maxilla first*”. Per esempio, come riportato da Naran, Steinbacher e Taylor, l'approccio “*maxilla first*” sarebbe da utilizzare nei casi di rotazione oraria del piano oclusale, nelle osteotomie non segmentarie della mascella, quando non è possibile effettuare prima la fissazione della mandibola, nella “*maxillary impaction*” e nei piccoli avanzamenti maxillo-mandibolari, mentre l'approccio “*mandible first*” sarebbe da utilizzare nei casi di rotazione antioraria del piano oclusale, nelle osteotomie segmentarie della mascella, nella schisi della mascella, nel “*downgrafting*” della regione mascellare posteriore, nei grandi avanzamenti maxillo-mandibolari e nell'open bite anteriore.

A fronte della ridotta quantità di articoli che affrontano questa tematica e a fronte dei risultati ottenuti dal presente studio, è auspicabile effettuare ulteriori studi in futuro per cercare di raggiungere un consenso univoco sull'utilizzo di queste tecniche chirurgiche. Sarà quindi fondamentale cercare di individuare quali possono essere i casi che richiedono un intervento chirurgico con una determinata

sequenza piuttosto che con l'altra, al fine di ottenere un risultato più prevedibile e più efficace nel postoperatorio e una maggiore stabilità chirurgica nel medio-lungo termine.

5.5. Punti di forza e debolezza dello studio e prospettive future

L'obiettivo principale del presente elaborato, cioè verificare la stabilità del riposizionamento dei segmenti ossei mascellare e mandibolare nelle due coorti di pazienti, valutata a distanza di tempo dall'intervento stesso, rappresenta un argomento ancora poco affrontato in letteratura. Il presente studio, proposto come studio pilota, può sicuramente fungere da base per eventuali studi futuri.

Inoltre, l'utilizzo del protocollo di analisi vettoriale di superficie per ricavare le misure di riposizionamento dei segmenti operati attraverso la sovrapposizione di file "STL postoperatori" e "STL post follow up" a distanza di mesi-anni dall'operazione, rappresenta un punto di forza dello studio in quanto questo protocollo ha i vantaggi di non dipendere dalla necessità di ricavare landmark dentali e/o ossei e di determinare delle analisi riproducibili e ripetibili.

Il limite principale dello studio, invece, è rappresentato dal basso numero di pazienti arruolati che, come detto in precedenza, non ha permesso di eseguire analisi statistiche e di ottenere risultati statisticamente significativi.

Per concludere, le possibili prospettive future potrebbero comprendere:

- Aumento della numerosità campionaria dello studio.
- Inclusione nell'analisi del "complesso dentato", costituito dal segmento "mascellare" e dal segmento "mandibolare distale", in modo da valutare lo stato oclusale del paziente a medio-lungo termine.
- Confronto tra metodiche chirurgiche diverse, PSI e splint CAD-CAM, con lo stesso protocollo di studio.
- Valutazione dei pazienti a lungo termine, oltre i 2 anni, con lo stesso protocollo di studio.
- Analisi più specifica dei segmenti prossimali, soprattutto per quanto concerne l'articolazione temporo-mandibolare, per evidenziare l'eventuale insorgenza di TMD.

6. CONCLUSIONI

In questo studio è stato utilizzato un nuovo protocollo di analisi vettoriale che ha permesso di ottenere una sovrapposizione accurata e precisa tra le mesh ottenute dalle CT postoperatorie e post follow up, utile al fine di ricavare i dati necessari per i vari confronti. Tale protocollo, quindi, può essere utilizzato come base per studi futuri.

L'analisi effettuata nel presente elaborato suggerisce come gli spostamenti dei vari segmenti ossei nel periodo di follow up possano essere considerati come clinicamente non significativi, per cui sembra persistere una buona stabilità dei segmenti stessi nel medio termine, nonostante siano necessari ulteriori studi per confermare questa stabilità.

Tali riposizionamenti risultano equiparabili tra le due coorti in studio, evidenziando come la sequenza chirurgica eseguita non sembri influenzare il riposizionamento postoperatorio.

Infine, i dati ricavati dal presente studio suggeriscono come la stabilità postoperatoria del segmento "mascellare" sembri essere maggiore rispetto a quella della mandibola, indipendentemente dalla sequenza chirurgica.

BIBLIOGRAFIA

1. Viti, C. *Patologia odontoiatrica di interesse ORL*. s.l. : TopGraf, 2009.
2. *Common dental diseases in children and malocclusion*. Zou J, Meng M, Law CS, Rao Y, Zhou X. s.l. : International Journal of Oral Science; 10(1):7, 2018.
3. *Prevalence of Dental Malocclusions in Different Geographical Areas: Scoping Review*. Cenzato N, Nobili A, Maspero C. s.l. : Dent J (Basel); 9(10):117, 2021.
4. *Classification of Malocclusion*. Angle, Edward H., D.D.S. s.l. : Dental Cosmos; 41 (pp. 248-264), 1899.
5. *Global distribution of malocclusion traits: A systematic review*. Alhammad MS, Halboub E, Fayed MS, Labib A, El-Saaidi C. s.l. : Dental Press J Orthod; 23(6):40.e1-40, 2018 .
6. *A Retrospective Analysis of Dentofacial Deformities and Orthognathic Surgeries*. Eslamipour F, Borzabadi-Farahani A, Le BT, Shahmoradi M. s.l. : Ann Maxillofac Surg; 7(1):73-77, 2017.
7. *Occurrence of skeletal malocclusions in Brazilian patients with dentofacial deformities*. Boeck EM, Lunardi N, Pinto Ados S, Pizzol KE, Boeck Neto RJ. s.l. : Braz Dent J; 22(4):340-5, 2011.
8. *Comparison of one-jaw and two-jaw orthognathic surgery in patients with skeletal Class III malocclusion using data from 10 multi-centers in Korea: Part I. Demographic and skeletodental characteristics*. Lim SW, Kim M, Hong M, Kang KH, Kim M, Kim SJ, Kim YJ, Kim YH, Lim SH, Sung SJ, Baek SH, Cho JH. s.l. : Korean J Orthod; 52(1):66-74, 2022.
9. *Simon P. Hullihen and the origin of orthognathic surgery*. SR, Aziz. s.l. : J Oral Maxillofac Surg; 62(10):1303-7, 2004.
10. *A History of Orthognathic Surgery in North America*. RB, Bell. s.l. : J Oral Maxillofac Surg; 76(12):2466-2481, 2018.

11. *Du Traitement Chirurgical du Prognathisme*. Berger, P. Lyon : s.n., 1897.
12. *Traitement chirurgical du prognathisme inferieur*. s.l. : Presse Med; 6:173, 1898.
13. *Double resection of lower maxilla*. EH, Angle. s.l. : Dent Cosm; 40: 635, 1898.
14. *Double resection of inferior maxilla for protruding lower jaw*. JW, Whipple. s.l. : Dent Cosm; Volume 41 [pp. 242-247], 1898.
15. *Report of case of double resection for correction of protrusion of mandible*. VP, Blair. s.l. : Dent Cosm; 45:454, 1906.
16. *Double resection for treatment of mandibular protrusion*. M, Ballin. s.l. : Dent Items; 30:422, 1908.
17. *Operations on the jaw-bone and face*. VP, Blair. s.l. : Surg Gynecol Obstet; 4:67, 1907.
18. *Cleft Palate and Hare Lip*. WA, Lane. London : London Medical, 1905.
19. *The surgical treatment of certain deformities of the jaw associated with malocclusion of the teeth*. WW, Babcock. s.l. : JAMA; 53: 833, 1909.
20. *Surgical treatment of mandibular prognathism*. VH, Kazanjian. s.l. : Int J Orthod Oral Surg Radiogr; Volume 18 [pp 1224-1239], 1932.
21. *Bilateral resection of the jaw for prognathism*. WM, Harsha. s.l. : Surg Gynecol Obstet; 15:51, 1912.
22. *Prognathism with operative treatment*. WM, Harsha. s.l. : JAMA; 59: 2035, 1912.
23. *Studies of the anterior and posterior occlusion of the teeth, with suggestions as to treatment*. MH, Cryer. s.l. : Dent Cosm; 55: 673, 1913.
24. *Operative treatment of prognathism*. TG, Aller. s.l. : Dent Cosm; 59: 394, 1917.

25. *Treatment of the open-bite by means of plastic oblique osteotomy of the ascending rami of the mandible.* Limberg, Alexander. s.l. : The Dental cosmos; Volume 67 [pp. 1191-1200], 1925.
26. *Vertical osteotomy in the mandibular rami for correction of prognathism.* Caldwell JB, Letterman GS. s.l. : J Oral Surg (Chic); 12(3):185-202, 1954.
27. *Correction of prognathism by subcondylar osteotomy.* EC, Hinds. s.l. : J Oral Surg (Chic); 16(3):209-14, 1958.
28. *Correction of mandibular retrognathia by vertical L osteotomy: A new technic.* Caldwell JB, Hayward JR, Lister RL. s.l. : J Oral Surg; 26(4):259-64, 1968.
29. *The intraoral inverted-L double-oblique osteotomy of the mandibular ramus: A new technique for correction of mandibular prognathism.* Levine B, Topazian DS. s.l. : J Oral Surg; 34(6):522-5, 1976.
30. *Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities.* Kole, H. s.l. : Oral Surgery, Oral Med. Oral Pathol.; 12(5):515-29, 1959.
31. *The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. I. Surgical procedures to correct mandibular prognathism and reshaping of the chin.* Trauner R, Obwegeser H. s.l. : Oral Surg Oral Med Oral Pathol; 10(7):677-89, 1957.
32. *L'osteotomia retromolare per la correzione della progenia.* Giorgio, Dal Pont. s.l. : Minerva Chirurgia; 18, 1138-1141, 1958.
33. *A modified intraoral sagittal splitting technic for correction of mandibular prognathism.* EE., Hunsuck. s.l. : J Oral Surg; 26(4):250-3, 1968.
34. Orthognathic Surgery for Mandible. [aut. libro] K., Panneerselvam, E., Manuel, S., Kumar, V.V., Rai, A. Bonanthaya. *Oral and Maxillofacial Surgery for the Clinician.* Singapore : Springer; [pp 1477–1512], 2021.
35. *Naso-Pharyngeal Polypus, Attached to the Basilar Process of the Occipital, and Body of the Sphenoid Bones, Successfully Removed by a Section,*

Displacement, and Subsequent Re-Placement and Re-Union of the Superior Maxillary Bone. Cheever. s.l. : Am J Dent Sci; 1(8):408-413, 1867.

36. *Die chirurgische immediatregulierung der kiefer, speciell die chirurgische behandlung der prognathie.* G., Cohn-Stock. s.l. : Vierteljahrsschr Zahnheilkd; 37, 310–321, 1921.

37. *Zur Behandlung veralteter desloziert verheilte Oberkieferbrunche.* G., Axhausen. s.l. : Dtsch Zahn Mund Kieferheilk; 1:334, 1934.

38. *Surgery of the maxilla for the correction of prognathism.* H., Obwegeser. s.l. : SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd; 75:365-74, 1965.

39. *Orthognathic surgery and a tale of how three procedures came to be: a letter to the next generations of surgeons.* HL., Obwegeser. s.l. : Clin Plast Surg; 34(3):331-55, 2007.

40. *Are orthodontic landmarks and variables in digital cephalometric radiography taken in fixed and natural head positions reliable?* Giannopoulou MA, Kondylidou-Sidira AC, Papadopoulos MA, Athanasiou AE. s.l. : Int Orthod; 18(1):54-68, 2020.

41. *Simple hinge and semiadjustable articulators in orthognathic surgery.* JV., Marko. s.l. : Am J Orthod Dentofacial Orthop; 90(1):37-44, 1986.

42. *Bimaxillary surgery using an intermediate splint to position the maxilla.* E., Ellis. s.l. : J Oral Maxillofac Surg; 57(1):53-6, 1999.

43. *Current Status of Surgical Planning for Orthognathic Surgery: Traditional Methods versus 3D Surgical Planning.* Hammoudeh JA, Howell LK, Boutros S, Scott MA, Urata MM. s.l. : Plast Reconstr Surg Glob Open; 3(2):e307, 2015.

44. *The Accuracy of Jaws Repositioning in Bimaxillary Orthognathic Surgery with Traditional Surgical Planning Compared to Digital Surgical Planning in Skeletal Class III Patients: A Retrospective Observational Study.* Barone M, De Stefani A, Baciliero U, Bruno G, Gracco A. s.l. : J Clin Med; 9(6):1840, 2020.

45. *Virtual surgical planning in orthognathic surgery*. Farrell BB, Franco PB, Tucker MR. s.l. : Oral Maxillofac Surg Clin North Am; 26(4):459-73, 2014.
46. *One-year postoperative skeletal stability of 3D planned bimaxillary osteotomies: maxilla-first versus mandible-first surgery*. Liebrechts J, Baan F, van Lierop P, de Koning M, Bergé S, Maal T, Xi T. s.l. : Sci Rep; 9(1):3000, 2019.
47. Shintaro Sukegawa, Takahiro Kanno. *Computer-Assisted Navigation Surgery in Oral and Maxillofacial Surgery*. [aut. libro] K., Panneerselvam, E., Manuel, S., Kumar, V.V., Rai, A. Bonanthaya. *Oral And Maxillofacial Surgery for the Clinician*. s.l. : Springer; [pp 841–862], 2021.
48. *A novel method of computer aided orthognathic surgery using individual CAD/CAM templates: a combination of osteotomy and repositioning guides*. Li B, Zhang L, Sun H, Yuan J, Shen SG, Wang X. s.l. : Br J Oral Maxillofac Surg; 51(8):e239-44, 2013.
49. *Current Concepts in Orthognathic Surgery*. Naran S, Steinbacher DM, Taylor JA. s.l. : Plast Reconstr Surg; 141(6):925e-936, 2018.
50. *Complications in orthognathic surgery: A retrospective study of 5025 cases*. Ferri J, Druelle C, Schlund M, Bricout N, Nicot R. s.l. : Int Orthod; 17(4):789-798, 2019.
51. *Massive epistaxis due to pseudoaneurysm of the sphenopalatine artery: a rare post-operative complication of orthognathic surgery*. Kim YW, Baek MJ, Kim HD, Cho KS. s.l. : J Laryngol Otol; 127(6):610-3, 2013.
52. *Pseudoaneurysm of the facial artery as a complication of the sagittal split osteotomy*. E., Dediol. s.l. : Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod; Volume 110, p683, 2010.
53. *Intra- and perioperative complications of the LeFort I osteotomy: a prospective evaluation of 1000 patients*. Kramer FJ, Baethge C, Swennen G, Teltzrow T, Schulze A, Berten J, Brachvogel P. s.l. : J Craniofac Surg; 15(6):971-7, 2004.

54. *Cranial nerve injuries in Le Fort I osteotomy: a systematic review.* Dos Santos Alves JM, de Freitas Alves BW, de Figueiredo Costa AC, Carneiro BGDS, de Sousa LM, Gondim DV. s.l. : Int J Oral Maxillofac Surg; 48(5):601-611, 2019.
55. *Nasolacrimal duct obstruction after maxillary orthognathic surgery.* Jang SY, Kim MK, Choi SM, Jang JW. s.l. : J Oral Maxillofac Surg; 71(6):1085-98, 2013.
56. *Surgical Site Infections Following Bimaxillary Orthognathic, Osseous Genioplasty, and Intranasal Surgery: A Retrospective Cohort Study.* Posnick JC, Choi E, Chavda A. s.l. : J Oral Maxillofac Surg; 75(3):584-595, 2017.
57. *A prospective study on infectious complications in orthognathic surgery.* Spaey YJ, Bettens RM, Mommaerts MY, Adriaens J, Van Landuyt HW, Abeloos JV, De Clercq CA, Lamoral PR, Neyt LF. s.l. : J Craniomaxillofac Surg; 33(1):24-9, 2005.
58. *Bilateral pneumothorax and pneumomediastinum after orthognathic surgery.* Corega C, Vaida L, Festila D, Bertossi D. s.l. : Chirurgia (Bucur); 109(2):271-4, 2014.
59. *Complications associated with orthognathic surgery.* YK, Kim. s.l. : J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg; 43(1), 3-15, 2017.
60. *Subjective sensory symptoms associated with axonal and demyelinating nerve injuries after mandibular sagittal split osteotomy.* eerijoki-Oksa T, Jääskeläinen SK, Soukka T, Virtanen A, Forssell H. s.l. : J Oral Maxillofac Surg; 69(6):e208-13, 2011.
61. *Partial Necrosis of the Mandibular Proximal Segment Following Transoral Vertical Ramus Osteotomy.* Kim S, Kim SY, Kim GJ, Jung HD, Jung YS. s.l. : Maxillofac Plast Reconstr Surg; 36(3):131-4, 2014.
62. *Complications or rather side effects? Quantification of patient satisfaction and complications after orthognathic surgery-a retrospective, cross-sectional long-term analysis.* Thiem DGE, Schneider D, Hammel M, Saka B, Frerich B, Al-Nawas B, Kämmerer PW. s.l. : Clin Oral Investig; 25(5):3315-3327, 2021.

63. *Clinical accuracy of waferless maxillary positioning using customized surgical guides and patient specific osteosynthesis in bimaxillary orthognathic surgery.* Heufelder M, Wilde F, Pietzka S, Mascha F, Winter K, Schramm A, Rana M. s.l. : J Craniomaxillofac Surg; 45(9):1578-1585, 2017.
64. *The precision of computer-generated surgical splints.* Gateno J, Xia J, Teichgraeber JF, Rosen A, Hultgren B, Vadnais T. s.l. : J Oral Maxillofac Surg; 61(7):814-7, 2003.
65. *A Systematic Review to Uncover a Universal Protocol for Accuracy Assessment of 3-Dimensional Virtually Planned Orthognathic Surgery.* Gaber RM, Shaheen E, Falter B, Araya S, Politis C, Swennen GRJ, Jacobs R. s.l. : J Oral Maxillofac Surg; 75(11):2430-2440, 2017.
66. *Comparison of different registration methods for surgical navigation in cranio-maxillofacial surgery.* Luebbers HT, Messmer P, Obwegeser JA, Zwahlen RA, Kikinis R, Graetz KW, Matthews F. s.l. : J. Craniomaxillofac Surg; 36(2):109-16, 2008.
67. *Superimposition of 3D cone-beam CT models of orthognathic surgery patients.* Cevidanes LH, Bailey LJ, Tucker GR Jr, Styner MA, Mol A, Phillips CL, Proffit WR, Turvey T. s.l. : Dentomaxillofac Radiol; 34(6):369-75, 2005.
68. *Comparison of the accuracy of voxel based registration and surface based registration for 3D assessment of surgical change following orthognathic surgery.* Almukhtar A, Ju X, Khambay B, McDonald J, Ayoub A. s.l. : PLoS One; 9(4):e93402, 2014.
69. *3D planning in orthognathic surgery: CAD/CAM surgical splints and prediction of the soft and hard tissues results - our experience in 16 cases.* Aboul-Hosn Centenero S, Hernández-Alfaro F. s.l. : J Craniomaxillofac Surg; 40(2):162-8, 2012.
70. *Computer-assisted orthognathic surgery: feasibility study using multiple CAD/CAM surgical splints.* Zinser MJ, Mischkowski RA, Sailer HF, Zöller JE. s.l. : Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol; 113(5):673-87, 2012.

71. *Accuracy of a computer-aided surgical simulation protocol for orthognathic surgery: a prospective multicenter study.* Hsu SS, Gateno J, Bell RB, Hirsch DL, Markiewicz MR, Teichgraeber JF, Zhou X, Xia JJ. s.l. : J Oral Maxillofac Surg; 71(1):128-42, 2013.
72. *A New 3D Tool for Assessing the Accuracy of Bimaxillary Surgery: The OrthoGnathicAnalyser.* Baan F, Liebrechts J, Xi T, Schreurs R, de Koning M, Bergé S, Maal T. s.l. : PLoS One; 11(2):e0149625, 2016.
73. *Surgical accuracy of three-dimensional virtual planning: a pilot study of bimaxillary orthognathic procedures including maxillary segmentation.* Stokbro K, Aagaard E, Torkov P, Bell RB, Thygesen T. s.l. : Int J Oral Maxillofac Surg; 45(1):8-18, 2016.
74. *Accuracy and reproducibility of voxel based superimposition of cone beam computed tomography models on the anterior cranial base and the zygomatic arches.* Nada RM, Maal TJ, Breuning KH, Bergé SJ, Mostafa YA, Kuijpers-Jagtman AM. s.l. : PLoS One; 6(2):e16520, 2011.
75. *Three-dimensional imaging in orthognathic surgery: the clinical application of a new method.* Hajeer MY, Ayoub AF, Millett DT, Bock M, Siebert JP. s.l. : Int J Adult Orthodon Orthognath Surg; 17(4):318-30, 2002.
76. *The hierarchy of stability and predictability in orthognathic surgery with rigid fixation: an update and extension.* Proffit WR, Turvey TA, Phillips C. s.l. : Head Face Med; 3:21, 2007.
77. *Stability after surgical-orthodontic corrective of skeletal Class III malocclusion. 3. Combined maxillary and mandibular procedures.* Proffit WR, Phillips C, Turvey TA. s.l. : Int J Adult Orthodon Orthognath Surg; 6(4):211-25, 1991.
78. *Simultaneous superior repositioning of the maxilla and mandibular advancement. A report on stability.* Turvey TA, Phillips C, Zaytoun HS Jr, Proffit WR. s.l. : Am J Orthod Dentofacial Orthop; 94(5):372-83, 1988.

79. *Surgical Class III treatment: long-term stability and patient perceptions of treatment outcome.* Bailey LJ, Duong HL, Proffit WR. s.l. : Int J Adult Orthodon Orthognath Surg; 13(1):35-44, 1998.

80. *Semirigid fixation of the mandible in bimaxillary orthognathic surgery: stability after 18 months.* Marchetti C, Gentile L, Bianchi A, Bassi M. s.l. : Int J Adult Orthodon Orthognath Surg; 14(1):37-45, 1999.

81. *Stability of skeletal Class III malocclusion after combined maxillary and mandibular procedures: titanium versus resorbable plates and screws for maxillary fixation.* Costa F, Robiony M, Zorzan E, Zerman N, Politi M. s.l. : J Oral Maxillofac Surg; 64(4):642-51, 2006.

82. *Three-dimensional analysis of condylar remodeling and skeletal relapse following bimaxillary surgery: A 2-year follow-up study.* Xi T, van Luijn R, Baan F, Schreurs R, de Koning M, Bergé S, Maal T. s.l. : J Craniomaxillofac Surg; 45(8):1311-1318, 2017.