



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

Scuola di scienze mediche e farmaceutiche

Corso di Laurea in Odontoiatria e Protesi Dentaria

Coordinatore : Chiar.ma Prof.ssa Maria Menini

TESI DI LAUREA

***Comparison of skeletal effects between 4-pieces maxillary surgery
and MARPE in adult patients.***

Relatore: *Professor Marco Migliorati*

Correlatori : *Dr. Elie Amm, Dr. Melih Motro*

Candidata : *Pastore Eleonora*

Anno Accademico 2025/2026

INDICE

CAPITOLO 1 : INTRODUZIONE	1
1.1 Inquadramento clinico del deficit trasversale mascellare.	1
1.2 Prevalenza ed epidemiologia del deficit trasversale.	5
1.3 Classificazione delle discrepanze trasversali e correlazioni scheletriche.	6
1.4 Eziopatogenesi : fattori genetici, ambientali e funzionali.	8
1.5 Conseguenze cliniche ed estetiche del deficit trasversale.	12
1.6 Tecniche di espansione.	15
1.6.1 Timing di espansione.	15
1.6.2 Evoluzione storica delle tecniche di espansione palatale.	18
1.6.3 Espansione tradizionale e rapida (RPE) nei pazienti in crescita.	19
1.6.4 Espansione lenta e modalità di attivazione graduale.	22
1.6.5 Espansione chirurgicamente assistita (SARPE e varianti segmentali).	23
1.6.6 Espansione assistita da mini-impianti (MARPE) : principi e applicazioni.	27
1.6.7 Fondamenti biomeccanici e biologici dell'espansione.	32
1.6.8 Stabilità a lungo termine e recidiva : confronto tra le diverse tecniche.	34
1.6.10 Indicazioni cliniche in funzione dell'età e della morfologia mascellare.	35
1.7 Obiettivi terapeutici e razionale biologico dell'espansione mascellare.	37
1.8 Scopo principale dello studio.	38
1.9 Ipotesi di partenza e quesiti di ricerca.	38
1.10 Significato clinico e razionale della comparazione "MARPE vs 4-piece maxillary surgery".	40

CAPITOLO 2 : MATERIALI E METODI	42
2.1 Disegno dello studio, tipologia di ricerca e sedi universitarie coinvolte.	42
2.2 Descrizione dei gruppi di studio.	42
2.3 Criteri di inclusione ed esclusione del campione.	43
2.4 Strumenti diagnostici e protocolli di acquisizione CBCT.	43
2.5 Software utilizzato per la segmentazione e analisi tridimensionale.	44
2.6 Landmark anatomici e piani di riferimento utilizzati.	44
2.7 Protocollo chirurgico e ortodontico.	48
2.8 Analisi statistica.	50
 CAPITOLO 3 : RISULTATI	 52
3.1 Caratteristiche demografiche e cliniche del campione.	52
3.2 Analisi inter-gruppo.	57
3.2.1 Risultati nel gruppo 4-piece maxillary surgery.	57
3.2.2 Risultati nel gruppo MARPE.	58
3.3 Analisi inter-gruppo.	58
3.4 Valutazione dell'entità della differenza media tra le misurazioni dei due gruppi.	59
3.5 Affidabilità delle misurazioni (Interclass Correlation Coefficient).	60
3.6 Sintesi numerica dei risultati e rappresentazioni grafiche.	60
 CAPITOLO 4 : DISCUSSIONE	 62
CAPITOLO 5 : CONCLUSIONI	67
BIBLIOGRAFIA	

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1 Inquadramento clinico del deficit trasversale mascellare.

Il deficit trasversale del mascellare è una delle anomalie scheletriche più comuni del distretto cranio-facciale. Non è solo un problema di denti affollati, ma una discrepanza tra la larghezza dell'arcata superiore e quella inferiore che influenza direttamente la respirazione, la postura della lingua e l'estetica del sorriso.

La stabilità a lungo termine rappresenta uno degli obiettivi fondamentali dell'ortodonzia ed è strettamente legata a una diagnosi accurata, che deve necessariamente considerare i tre piani dello spazio. È stato dimostrato che la sola valutazione clinica, così come l'analisi dei modelli di studio o dei riferimenti dentali posteriori, non è sufficiente per identificare una discrepanza scheletrica trasversale. Inoltre, l'assenza di morso crociato posteriore non esclude la presenza di un deficit trasversale del mascellare. Nel corso degli anni, sono state proposte diverse metodologie diagnostiche, basate su analisi cliniche, cefalometriche e tridimensionali.

Tra i primi tentativi di quantificazione delle dimensioni trasversali dell'arcata mascellare, **l'indice di Pont** rappresenta un approccio storico basato sulla correlazione tra dimensioni dentarie e ampiezza dell'arcata. Questo indice si basa sulla considerazione che fra la somma dei diametri maggiori mesio-distali dei quattro incisivi superiori e la larghezza delle arcate dentali esistono rapporti che si ripetono con regolarità. Con queste equazioni è possibile, pertanto, calcolare le larghezze anteriore e posteriore di tutta l'arcata dentaria:

$$\text{Larghezza anteriore} = \text{somma incisivi} \times 100 / 80$$

$$\text{Larghezza posteriore} = \text{somma incisivi} \times 100 / 64$$

Tuttavia, l'indice di Pont presenta alcune limitazioni, legate alla variabilità delle dimensioni mesio-distali degli incisivi, alla loro posizione mesio-distale e all'inclinazione bucco-linguale di premolari e molari, spesso espressione di meccanismi compensatori associati a una carenza scheletrica mascellare. (A.Silvestri, 2012) (Joondeph DR, 1970)

In questo contesto evolutivo si inserisce il contributo di Robert M. Ricketts, che ha segnato il passaggio da un approccio prevalentemente dento-centrico a una valutazione cefalometrica basata sull'analisi frontale. Il cefalogramma postero-anteriore (PA), prima dell'avvento della CBCT, rappresentava l'esame radiografico più affidabile per la valutazione delle displasie trasversali. Nell'ambito di tale approccio diagnostico, Ricketts sviluppò **l'analisi delle Rocky Mountains**, proponendo valori di riferimento e indici differenziali utili a quantificare lo scostamento dai parametri ideali e a stimare la complessità del trattamento nel singolo paziente.

In particolare, l'indice differenziale trasversale maxillo-mandibolare è calcolato sottraendo alla differenza maxillo-mandibolare attesa (definita in base a valori normativi correlati all'età) la differenza effettivamente rilevata nel paziente. La differenza maxillo-mandibolare attesa è determinata dalla distanza AG-GA prevista per l'età (corrispondente alla larghezza mandibolare tra le incisive antegoniali destra e sinistra) meno la distanza punto J - punto J attesa per l'età, che rappresenta la larghezza mascellare tra le intersezioni della tuberosità mascellare con il pilastro zigomatico. La differenza reale, invece, è ottenuta sottraendo alla misura effettiva AG-GA la misura effettiva punto J-punto J. Sulla base di questa valutazione bisogna però considerare anche tutti i pazienti che presentano un mascellare superiore contratto accompagnato da una mandibola contratta e un'occlusione normale, e che quindi non rientrano all'interno della media della popolazione. (*Figura 1*) (L.Vanarsdall, 1999)

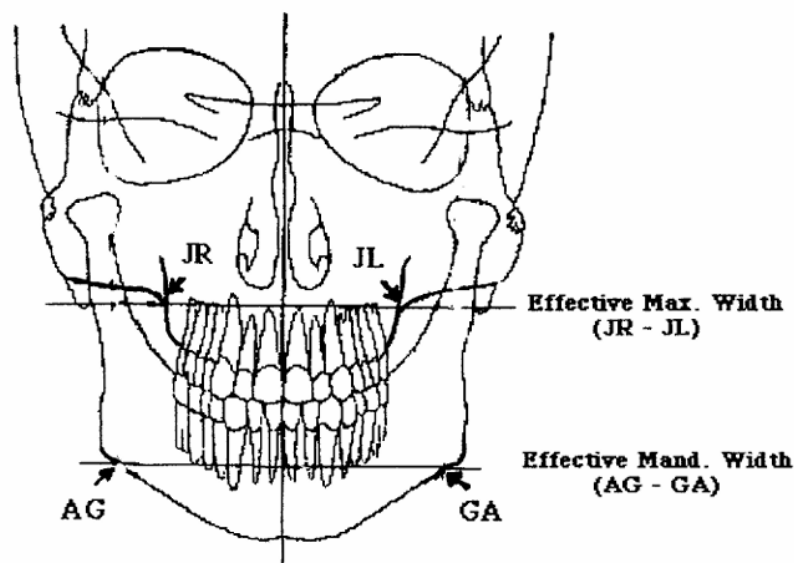


Figura 1. Landmarks used to measure effective mandibular and maxillary width. Worksheet used to determine the radiographic magnitude of the maxillomandibular transverse differential index and location of the discrepancy (maxilla, mandible or both). (L. Vanarsdall, 1999)

Con il progresso tecnologico, l'analisi delle discrepanze trasversali si è evoluta verso metodiche tridimensionali, superando i limiti intrinseci delle valutazioni bidimensionali. Sebbene la CBCT sia stata introdotta in ambito odontoiatrico alla fine degli anni '90, solo negli ultimi anni sono emerse evidenze più solide circa il suo reale contributo nel migliorare la pianificazione e gli esiti del trattamento ortodontico. Uno dei principali vantaggi della CBCT risiede nella possibilità di acquisire informazioni volumetriche, superando i limiti intrinseci delle immagini bidimensionali, quali distorsioni geometriche, ingrandimenti non uniformi, errori legati al posizionamento del capo e sovrapposizioni anatomiche. Inoltre, l'analisi tridimensionale facilita l'identificazione dei punti di repere anatomici, rendendo le misurazioni più riproducibili e meno dipendenti da scelte arbitrarie nella selezione dei landmark.

Tra le metodiche tomografiche maggiormente impiegate per la valutazione della discrepanza trasversale tra mascellare e mandibola figura **l'analisi UPenn**. L'analisi UPenn, ampiamente descritta nella letteratura scientifica recente (Festila D, Feb 2022), determina tale discrepanza mediante due misurazioni :

- A livello mascellare vengono valutati, in visione assiale, i **punti mascellari bilaterali (Mx-Mx)**: I punti di riferimento considerati coincidono con quelli descritti nell'analisi delle Rocky Mountains proposta da Ricketts, che identifica la larghezza trasversale del mascellare come la distanza intercorrente tra le intersezioni della tuberosità mascellare con i pilastri zigomatici.
- A livello mandibolare viene valutata, in visione assiale, il **WALA Ridge (Lawrence e Will Andrews, 1994)** : quest'ultima corrisponde a un reperto anatomico stabile localizzato in prossimità della corticale ossea, a livello delle biforcazioni dei primi molari mandibolari.

Poiché la dimensione trasversale della mandibola non subisce modificazioni significative in seguito al trattamento, la linea WALA costituisce un riferimento affidabile e costante per l'analisi, consentendo di riportare la larghezza mandibolare alla posizione dei margini laterali del mascellare.

Infine, viene effettuato il confronto tra le dimensioni trasversali delle basi ossee mascellare e mandibolare. **In condizioni fisiologiche, il mascellare presenta una dimensione trasversale mediamente maggiore di circa 5 mm rispetto alla mandibola**; tale differenza costituisce il valore di riferimento per la valutazione dell'armonia trasversale tra le due arcate. (García, 2021) Tale approccio permette di distinguere con maggiore precisione le componenti scheletriche rispetto a quelle dento-alveolari, risultando particolarmente utile nella pianificazione del trattamento.

Nonostante la dimensione trasversale sia considerata una delle regioni più plastiche e adattabili del complesso cranio-facciale, storicamente si è osservata una certa riluttanza clinica nel modificarla, a favore di interventi più invasivi sulle componenti sagittali e verticali. È stato tuttavia ampiamente documentato come l'espansione dell'arcata superiore induca un allargamento secondario dell'arcata mandibolare per un fenomeno di "decompensazione": i settori posteriori inferiori, originariamente erusi in linguo-inclinazione per compensare la costrizione mascellare, tendono a raddrizzarsi (*uprising*) una volta ristabilita una corretta ampiezza superiore.

L'identificazione del deficit trasversale può risultare complessa qualora siano presenti meccanismi di compenso dento-alveolare. Un'eccessiva inclinazione vestibolare (*flaring*) dei settori posteriori mascellari può infatti mascherare la discrepanza scheletrica sottostante, simulando una normocclusione posteriore. In tali circostanze, una diagnosi accurata rivela un'accentuazione della curva di Wilson e un'inclinazione delle cuspidi linguali al di sotto del piano occlusale, con conseguente rischio di interferenze nei movimenti di lateralità.

Infine, il deficit trasversale si manifesta in modo significativo sul piano estetico attraverso l'evidenza dei corridoi buccali. (A., 2000) Come descritto da Vanarsdall, il cosiddetto *negative space* - ovvero le aree d'ombra che compaiono agli angoli della rima buccale durante il sorriso - è un segno clinico patognomonico di un'arcata contratta e affusolata, particolarmente evidente in pazienti con pattern scheletrici di tipo mesofacciale o brachifacciale. (L.Vanarsdall, 1999)

1.2 Prevalenza ed epidemiologia del deficit trasversale.

La dimensione trasversale del mascellare rappresenta uno degli aspetti più frequentemente sottovalutati nella diagnosi ortodontica, nonostante una prevalenza clinicamente significativa nella popolazione pediatrica e nei pazienti ortodontici. Il deficit trasversale del mascellare (MTD) può manifestarsi in forma evidente attraverso il morso incrociato posteriore oppure rimanere compensato dento-alveolarmente, rendendo la diagnosi meno immediata. Dal punto di vista epidemiologico, la letteratura riporta una prevalenza variabile in relazione ai criteri diagnostici e alla popolazione studiata, ma concorda nel riconoscere l'MTD come una condizione relativamente frequente. Tuttavia, la sua rilevanza clinica non si limita alla sola dimensione trasversale. Numerosi studi hanno evidenziato come il deficit trasversale del mascellare sia frequentemente associato a malocclusioni sagittali di Classe II e Classe III.

Una delle principali componenti della malocclusione di Classe III è la retrusione scheletrica mascellare, condizione che si riscontra in quasi la metà dei pazienti con Classe III. In dentizione mista precoce, l'approccio terapeutico di elezione consiste

nell'associazione tra espansione rapida del mascellare (RME) e trazione ortopedica mediante maschera facciale. Nei quadri clinici più lievi, la sola espansione trasversale può talvolta determinare la correzione spontanea del morso incrociato anteriore e il miglioramento del rapporto molare. Nei casi più severi, la combinazione di RME e maschera facciale consente di ottenere un avanzamento scheletrico del mascellare associato a modificazioni dento-alveolari. Nel paziente adulto, il trattamento di riferimento è rappresentato dall'osteotomia di Le Fort I, che permette l'avanzamento e l'espansione mascellare in ambito chirurgico.

Storicamente la malocclusione di II Classe è stata interpretata prevalentemente come una problematica di natura sagittale e verticale, correlata soprattutto a retrusione mandibolare o, meno frequentemente, a protrusione mascellare. Evidenze cliniche più recenti suggeriscono tuttavia che in molti pazienti in dentizione mista sia presente una significativa componente trasversale, spesso rappresentata da costrizione mascellare. Nei casi lievi-moderati associati a retrusione mandibolare modesta e ridotta larghezza intermolare, l'espansione ortopedica del mascellare dovrebbe costituire il primo approccio terapeutico. La stabilizzazione può essere ottenuta mediante dispositivi rimovibili in dentizione mista o apparecchiature fisse con arco transpalatale in dentizione permanente. (Proffit WR F. H., 1998) (A., 2000) L'osservazione di possibili correzioni spontanee del rapporto molare di Classe II dopo espansione rafforza l'ipotesi che, in una quota significativa di pazienti in crescita, la discrepanza sagittale sia influenzata da una componente trasversale sottostante, suggerendo una revisione del tradizionale paradigma interpretativo della II Classe. (Brunelle JA, 1996) (Bilgic F, 2015)

1.3 Classificazione delle discrepanze trasversali e correlazioni scheletriche.

L'osso mascellare non può essere considerato come un'entità isolata all'interno del complesso maxillo-facciale, ma va interpretato come parte di un sistema scheletrico interconnesso. La sua crescita e il suo sviluppo sono strettamente correlati a quelli delle ossa circostanti, quali lo sfenoide, l'osso zigomatico e l'osso palatino, così come della mandibola. Questa interazione strutturale è mediata da una combinazione di fattori genetici, biomeccanici e funzionali, che determinano la

morfologia finale del mascellare e la sua posizione relativa rispetto al cranio e alla mandibola.

Il processo di accrescimento del mascellare superiore, dopo la nascita, avviene interamente attraverso l'ossificazione intramembranosa. Poiché non vi è alcuna sostituzione di cartilagine, la crescita avviene attraverso l'apposizione di osso a livello delle suture che connettono il mascellare superiore al cranio e alla base cranica, e per modellazione e rimodellamento superficiale. Entro i primi 7 anni di vita, il mascellare è spostato in basso e in avanti attraverso la spinta determinata dalla crescita della base cranica posteriore; dopo i 7 anni lo spostamento mascellare è determinato dall'apposizione di osso tra le suture. È interessante notare che mentre il mascellare cresce in basso ed in avanti, le superfici anteriori sono rimodelate e l'osso è riassorbito. Non è necessariamente vero che i cambiamenti della modellazione si oppongono alla direzione di traslazione: l'effetto è additivo sulla volta del palato. Quest'area è portata in basso e in avanti insieme al resto del mascellare, ma allo stesso tempo è rimosso osso sul versante nasale e aggiunto su quello orale, creando così un ulteriore movimento in basso ed in avanti del palato. (Proffit WR F. H., 2019)

La comprensione e la classificazione di queste discrepanze sono fondamentali non solo per la diagnosi accurata, ma anche per la pianificazione di trattamenti ortopedici e ortodontici mirati. In questo contesto, le discrepanze trasversali possono essere distinte secondo il tipo (scheletrica, dento-alveolare o mista) e la gravità (lieve, moderata, severa), fornendo un quadro completo della condizione clinica e delle possibili strategie terapeutiche.

Nei pazienti con malocclusione scheletrica di Classe III associata a deficit trasversale del mascellare (MTD), le discrepanze trasversali scheletriche risultano particolarmente marcate e sono accompagnate da compensazioni dentali pronunciate. Questo fenomeno riflette la necessità dei denti posteriori di adattarsi a una base scheletrica ridotta, con effetti evidenti sul morso e sulla funzione oclusale. Al contrario, nei pazienti con malocclusione scheletrica di Classe II, le discrepanze trasversali sono generalmente più lievi e le compensazioni dentali si localizzano principalmente nella regione posteriore del mascellare. Infine, nei

soggetti con malocclusione scheletrica di Classe I, le discrepanze trasversali tendono a distribuirsi in maniera relativamente uniforme tra i segmenti anteriori e posteriori dell'arcata dentale, senza che vi siano zone di compensazione più marcate. Questi dati evidenziano come la gravità e la distribuzione delle discrepanze trasversali siano strettamente correlate al pattern scheletrico sagittale del paziente, sottolineando l'importanza di una diagnosi tridimensionale accurata per la pianificazione terapeutica. (Chen Z, 2025)

1.4 Eziopatogenesi : fattori genetici, ambientali e funzionali.

L'eziopatogenesi della MTD è generalmente considerata multifattoriale, risultando l'interazione tra fattori genetici, ambientali e funzionali che influenzano lo sviluppo e la crescita del complesso cranio-facciale. In particolare, la componente genetica può influenzare la predisposizione individuale, trasmettendo caratteristiche come le dimensioni e la forma delle ossa mascellari, oltre al pattern di crescita cranio-facciale. A questa predisposizione si possono associare fattori ambientali e funzionali — come la respirazione orale, l'ipertrofia adeno-tonsillare, le abitudini viziate e le alterazioni della funzione linguale — che possono interferire con il normale sviluppo trasversale del mascellare.

La comprensione dei meccanismi eziologici alla base della MTD è fondamentale per una corretta diagnosi e per la pianificazione di un trattamento ortodontico adeguato. Per questo motivo, nel presente capitolo verranno analizzati i principali fattori coinvolti nello sviluppo di tale discrepanza, con particolare attenzione al ruolo dei fattori genetici, ambientali e funzionali e alla loro interazione nel determinare l'espressione clinica della condizione.

La predisposizione genetica gioca un ruolo significativo nello sviluppo delle malocclusioni scheletriche, inclusa la discrepanza trasversale mascellare (MTD). Recenti evidenze indicano che specifiche varianti genetiche, come singoli polimorfismi a singolo nucleotide (SNPs) in geni coinvolti nei pathway di morfogenesi cranio-facciale – tra cui FGF/FGFR, WNT/ β -catenina, TGF- β /BMP e GH/IGF – sono associate a differenze nella crescita scheletrica del volto e nella

larghezza delle arcate mascellari. In particolare, alcune di queste varianti genetiche influenzano direttamente lo sviluppo trasversale del mascellare, aumentando la predisposizione a MTD e ad altre malocclusioni scheletriche di Classe II o III. La revisione narrativa di Chojnacka e Mikulewicz suggerisce che la comprensione dell'architettura genomica delle malocclusioni può consentire l'integrazione di informazioni genetiche nella pianificazione ortodontica personalizzata, fornendo strumenti per prevedere i pattern di crescita individuali e ottimizzare gli interventi clinici. (Chokanacka K, 2025)

La crescita cranio-facciale segue una sequenza temporale ben definita, nella quale la dimensione trasversale tende a completarsi prima rispetto a quelle sagittale e verticale. La maggior parte dello sviluppo nel piano trasversale si conclude entro la fine dell'adolescenza, generalmente intorno ai 18 anni, mentre il picco di crescita trasversale del mascellare si osserva mediamente verso i 15 anni. Questo processo, che avviene attraverso meccanismi di apposizione e riassorbimento osseo, può comunque continuare anche dopo la cessazione della crescita suturale. Studi condotti su gemelli e su gruppi familiari hanno evidenziato come numerose caratteristiche occlusali e scheletriche presentino una componente ereditaria significativa. In particolare, le dimensioni trasversali delle arcate dentarie, e soprattutto la larghezza dell'arcata mascellare, mostrano coefficienti di ereditabilità moderati o elevati, con valori che possono raggiungere circa il 60%, suggerendo che i fattori genetici svolgano un ruolo determinante nella morfologia cranio-facciale e nella predisposizione allo sviluppo di discrepanze trasversali del mascellare. (Sameer Al-Obaidi, 2025) (Cassidy KM, 1998)

Inoltre, Wagner e Chung hanno riportato che i soggetti caratterizzati da un pattern di crescita verticale tendono a mostrare un incremento minore della larghezza intermolare rispetto ad altri pattern di crescita. (Wagner DM, 2025)

La discrepanza trasversale mascellare (MTD) non è determinata esclusivamente da fattori genetici o scheletrici, ma è anche influenzata da fattori ambientali e comportamentali che agiscono durante le fasi critiche di crescita.

Secondo la **teoria della matrice funzionale**, elaborata da **Moss** (1968-1970), la crescita scheletrica del cranio e del volto non è un processo autonomo, ma è

modulata dalle funzioni dei tessuti molli circostanti, definiti da Moss come “matrici funzionali”. Tali matrici comprendono la muscolatura orale e periorale, la lingua e la sua postura, le vie aeree superiori e le funzioni di masticazione e deglutizione. (Moss ML, 1969)

In questo modello, le ossa cranio-facciali si sviluppano in risposta alle forze generate dai tessuti molli attraverso un processo coordinato di apposizione e riassorbimento osseo. Di conseguenza, alterazioni funzionali anche temporanee o parziali possono determinare modificazioni significative della morfologia scheletrica, con un impatto particolare sulla dimensione trasversale del mascellare superiore.

Numerosi studi clinici hanno confermato l'applicabilità di questa teoria: ad esempio, bambini con respirazione orale cronica, postura linguale scorretta o deglutizione atipica mostrano spesso arcate strette e palati alti, caratteristiche frequentemente associate alla MTD. Analogamente, le abitudini viziate come la suzione del pollice o l'uso prolungato del ciuccio possono alterare la pressione linguale sul palato, contribuendo a restrizioni trasversali. (Proffit WR F. H., 2019)

La suzione del pollice generalmente non produce effetti permanenti se si limita agli anni della dentatura decidua. Tuttavia, se persiste oltre l'eruzione degli incisivi permanenti, può determinare una malocclusione caratterizzata da incisivi superiori vestibolarizzati con spaziature, incisivi inferiori lingualizzati, open bite anteriore e arcata superiore stretta. Gli effetti derivano da una combinazione della pressione diretta esercitata sui denti e della modificazione dell'equilibrio tra pressione linguale e pressione delle guance e delle labbra durante il riposo. L'interposizione del pollice o di un dito tra i denti anteriori impedisce la normale eruzione degli incisivi e determina un posizionamento mandibolare più basso, favorendo un'eccessiva eruzione dei denti posteriori e contribuendo allo sviluppo dell'open bite anteriore; inoltre, la contrazione del muscolo buccinatore aumenta la pressione delle guance sugli incisivi, determinando spesso un'arcata superiore a V, più stretta a livello dei canini. (Proffit WR F. H., 2019)

Studi clinici evidenziano che la durata e la frequenza della pressione esercitata dall'abitudine sono più rilevanti dell'intensità, spiegando perché alcune attività

occasionali (come suonare strumenti a fiato o posizioni posturali particolari) raramente producono effetti significativi sui denti o sulla struttura scheletrica. (Grammatopoulos E, 2012) La deglutizione atipica è un modello funzionale caratterizzato da un'alterata posizione della lingua durante la fase deglutitoria. Numerosi studi clinici e revisioni sistematiche hanno osservato un'associazione tra deglutizione atipica e la comparsa di malocclusioni sul piano trasversale, in particolare il crossbite posteriore, che costituisce un elemento clinico frequentemente riscontrato nei pazienti con MTD. Tuttavia, l'evidenza attuale suggerisce che questa relazione sia complessa e multifattoriale, senza indicare una correlazione causale univoca tra deglutizione atipica e un'MTD scheletrica isolata. (Goncalves FM, 2023)

La respirazione orale, specie se protratta durante le fasi critiche di crescita, può influenzare la postura di testa, mandibola e lingua, alterando l'equilibrio delle pressioni sui mascellari e contribuendo allo sviluppo di malocclusioni. Per respirare con la bocca, la mandibola e la lingua si abbassano e la testa si estende, comportando un aumento dell'altezza facciale, l'eruzione eccessiva dei denti posteriori, open bite anteriore e overjet aumentato. In particolare, l'allungamento delle guance e la maggiore pressione esercitata dal muscolo buccinatore favoriscono spesso una contrazione dell'arcata superiore, soprattutto a livello dei canini, conferendo all'arcata una forma a V.

Studi clinici hanno mostrato che bambini con ostruzioni nasali croniche (come ipertrofia adenoidea o tonsillare) tendono a presentare una maggiore altezza facciale anteriore e una leggera contrazione del mascellare superiore, con incisivi più dritti rispetto ai controlli. Dopo la rimozione dell'ostruzione, le dimensioni dell'arcata tendono a normalizzarsi verso valori medi, pur mantenendo differenze statisticamente significative. Tuttavia, la maggior parte degli individui con pattern di crescita long face non presenta ostruzione nasale significativa, suggerendo che la respirazione orale da sola non sia un fattore eziologico principale della contrazione mascellare, ma può contribuire marginalmente al quadro clinico. (Woodside DG, 1991)

1.5 Conseguenze cliniche ed estetiche del deficit trasversale.

Dal punto di vista oclusale, il deficit trasversale si manifesta frequentemente con segni caratteristici quali morso crociato posteriore mono o bilaterale, affollamento dentale e deviazione mandibolare funzionale che si associa ad alterazioni della funzione masticatoria.

Il crossbite posteriore, nei bambini in dentizione mista è piuttosto frequente. Solitamente, esso deriva da una contrazione dell'arcata mascellare o da un tipping dentale, e spesso è presente in bambini che hanno avuto un'abitudine alla suzione prolungata. La forma più comune di morso crociato posteriore è quella monolaterale, che può essere distinta in vera o funzionale : nel morso crociato monolaterale vero, la condizione è determinata da una reale asimmetria dell'arcata mascellare superiore. Al contrario, nel morso crociato monolaterale funzionale, la situazione è generalmente dovuta a una contrazione bilaterale dell'arcata mascellare; in questo caso la mandibola, per ricercare una posizione di intercuspide stabile, tende a deviare lateralmente verso il lato in cui si manifesta il crossbite. Un'altra questione fondamentale è se il crossbite posteriore è legato alla retrusione scheletrica mascellare o alla protrusione mandibolare. In questi casi, la posizione antero-posteriore del mascellare o della mandibola contribuisce al crossbite, e la dimensione trasversale effettiva del palato potrebbe essere normale. (Proffit WR F. H., 2019)

L'indicazione ad effettuare una correzione precoce esiste quando il bambino devia in chiusura o possiede un palato talmente stretto da ridurre in modo significativo lo spazio in arcata. In caso contrario, il trattamento può essere rimandato a patto che venga corretto prima che la sutura palatina mediana si avvii verso la completa sinostosi. La correzione dei crossbite posteriori in dentizione mista aumenta la circonferenza dell'arcata e fornisce più spazio per i denti permanenti. **In media un aumento di 1 mm dell'ampiezza Inter premolare aumenta i valori perimetrali dell'arcata di 0,7 mm.** (Garib DG, 2009)

Secondo McNamara, il deficit trasversale del mascellare rappresenta, inoltre, una delle principali cause scheletriche associate all'affollamento dentale e alle malocclusioni, in quanto la riduzione della dimensione trasversale dell'arcata

superiore limita lo spazio necessario per il corretto posizionamento dei denti. (A., 2000) Analogamente, Proffit sottolinea come le discrepanze tra dimensione dentale e base ossea, incluse quelle di natura trasversale, costituiscano uno dei fattori etiologici più comuni dell'affollamento dentale. (Proffit WR F. H., 2019) (Bishara SE, 1987)

Il deficit trasversale del mascellare superiore non comporta esclusivamente alterazioni oclusali, ma può avere importanti ripercussioni anche sul piano funzionale. La riduzione della larghezza del mascellare, infatti, può influenzare diverse funzioni del complesso cranio-facciale, in particolare la respirazione. Poiché il pavimento delle cavità nasali è costituito dal processo palatino del mascellare, una contrazione trasversale di questa struttura può determinare una riduzione del volume della cavità nasale, con conseguente aumento della resistenza al flusso d'aria. Allo stesso tempo, tuttavia, anche condizioni respiratorie primarie delle vie aeree superiori – come deviazione del setto nasale, ipertrofia dei turbinati o altre ostruzioni nasali – possono indurre respirazione orale cronica. Quest'ultima altera la postura fisiologica della lingua, che tende a non appoggiarsi correttamente al palato durante la crescita. La mancanza dello stimolo espansivo esercitato dalla lingua sul mascellare superiore può quindi contribuire allo sviluppo di un palato stretto e di un deficit trasversale. Ne deriva una relazione bidirezionale tra morfologia cranio-facciale e funzione respiratoria, in cui alterazioni strutturali e funzionali possono reciprocamente influenzarsi e perpetuarsi nel tempo.

Alcune ricerche hanno, inoltre, suggerito una possibile relazione tra deficit trasversale mascellare e disfunzioni dell'orecchio medio, ipotizzando che l'alterata funzione dei muscoli del palato molle e della tuba di Eustachio possa contribuire alla comparsa di episodi ricorrenti di otite media o a una ventilazione non ottimale dell'orecchio medio. Anatomicamente, la tuba di Eustachio mette in comunicazione l'orecchio medio con il rinofaringe e svolge un ruolo fondamentale nel mantenimento dell'equilibrio fisiologico dell'orecchio medio. In condizioni normali essa rimane chiusa a riposo e si apre transitoriamente durante atti fisiologici come la deglutizione, lo sbadiglio o la fonazione. Questa apertura consente di garantire una corretta ventilazione della cavità timpanica, l'equalizzazione della pressione tra orecchio medio e ambiente esterno e il drenaggio delle secrezioni

verso il rinofaringe. Il corretto funzionamento della tuba di Eustachio dipende in larga misura dall'azione dei muscoli del palato molle, in particolare del muscolo tensore del velo palatino (*tensor veli palatini*) e del muscolo elevatore del velo palatino (*levator veli palatini*). Il primo rappresenta il principale responsabile dell'apertura attiva della tuba durante la deglutizione, mentre il secondo contribuisce a stabilizzare la regione tubarica e a coordinare i movimenti del palato molle durante l'atto deglutitorio.

Quando la funzione di questi muscoli risulta alterata, l'apertura della tuba di Eustachio può diventare incompleta o inefficace, compromettendo la normale ventilazione dell'orecchio medio. Questa condizione può determinare la formazione di una pressione negativa all'interno della cavità timpanica e favorire il ristagno di secrezioni, con conseguente riduzione della clearance mucociliare. L'alterazione della ventilazione dell'orecchio medio crea quindi un ambiente favorevole allo sviluppo di processi infiammatori o infettivi.

In tali circostanze aumenta il rischio di sviluppare patologie dell'orecchio medio, come l'otite media con effusione o episodi ricorrenti di otite media, spesso associati anche a un'ipoacusia trasmissiva temporanea. Questa relazione risulta particolarmente evidente in età pediatrica, quando la tuba di Eustachio presenta caratteristiche anatomiche specifiche — come una minore lunghezza, un decorso più orizzontale e una maturazione funzionale non ancora completa — che la rendono più suscettibile a disfunzioni e alterazioni della ventilazione dell'orecchio medio. (Kılıç N, 2021)

Ulteriore conferma della relazione tra deficit trasversale del mascellare e funzione dell'orecchio medio proviene dallo studio di Singh et al. (2021), nel quale l'espansione mascellare ha determinato un miglioramento dei parametri audiometrici e della ventilazione dell'orecchio medio nei pazienti con costrizione mascellare. (Singh H, 2021)

Le alterazioni estetiche associate al deficit trasversale del mascellare sono strettamente correlate alle conseguenze occlusali e funzionali della condizione, poiché tutte derivano dalla medesima discrepanza scheletrica e si influenzano reciprocamente.

Esteticamente i pazienti possono presentarsi con :

- Corridoi buccali ampi : Nei pazienti con deficit trasversale del mascellare l'arcata superiore risulta più stretta del normale; di conseguenza i denti posteriori occupano una porzione minore della larghezza del sorriso. (Moore T, 2025)
- Sorriso stretto : rappresenta una diretta conseguenza della ridotta dimensione trasversale dell'arcata mascellare. Quando il mascellare superiore è costretto, il numero di denti visibili durante il sorriso tende a diminuire e l'arcata appare meno espansa lateralmente. Questo produce una riduzione della larghezza del sorriso e una minore esposizione dei denti posteriori. (Akyalcin S, 2017)
- Facies adenoidea : questa condizione si sviluppa quando la presenza del DMT si associa ad una respirazione orale. Il paziente presenta un volto allungato, incompetenza labiale, palato stretto e alto, mandibola ruotata posteriormente. (Harvold EP, 1981)
- Ridotta armonia del terzo medio facciale : Un mascellare superiore stretto può determinare un ridotto supporto laterale dei tessuti molli del viso, un restringimento della base nasale ed una riduzione della pienezza del sorriso e del supporto labiale. (Proffit WR F. H., 2019)

1.6 Tecniche di espansione.

1.6.1 Timing di espansione.

Il modo ideale per correggere una discrepanza scheletrica sarebbe intervenire precocemente, prevenendo che il paziente segua un pattern di crescita già alterato. Questo richiederebbe una crescita differenziale tra i due mascellari, favorendo uno o rallentando temporaneamente l'altro per consentire il recupero del mascellare più indietro. Tuttavia, poiché il pattern di crescita facciale si stabilisce precocemente e tende a mantenersi costante, è improbabile ottenere modificazioni significative senza un trattamento mirato.

Nella programmazione degli interventi durante la crescita, è fondamentale considerare che:

1. un trattamento troppo tardivo risulta inefficace, mentre se iniziato troppo precocemente può essere prolungato;
2. la crescita scheletrica avviene in tempi differenti nei tre piani dello spazio;
3. la collaborazione del bambino influenza l'efficacia del trattamento ed è legata al suo grado di maturità e alla complessità delle istruzioni.

In questo contesto, la conoscenza del momento in cui si verifica la fusione della sutura palatina mediana risulta cruciale per pianificare correttamente l'espansione mascellare.

La crescita mascellare sul piano trasversale è quella che termina per prima, e si arresta quando inizia la formazione del primo ponte osseo a livello della sutura palatina mediana. Angelieri et al. (2013) (Angelier F, 2013) hanno proposto una classificazione basata su immagini CBCT che distingue cinque stadi di maturazione della sutura (*Figura 2*) :

- **Stadio A** – linea suturale dritta e ad alta densità, con scarsa interdigitazione;
- **Stadio B** – linea ad alta densità con aspetto ondulato;
- **Stadio C** – due linee parallele ad alta densità separate da piccole aree a bassa densità;
- **Stadio D** – fusione completa nella porzione palatina del mascellare, senza evidenza di sutura;
- **Stadio E** – fusione della sutura estesa anche alla porzione mascellare.

Dal punto di vista clinico, tali informazioni permettono di stimare l'efficacia dei trattamenti di espansione. Nei soggetti in cui la sutura è ancora immatura, come negli stadi A e B, l'espansione rapida del mascellare (RME) può produrre una separazione ortopedica della sutura con ottimi risultati scheletrici. Quando la sutura presenta uno stadio di maturazione intermedio, come lo stadio C, l'espansione può essere comunque ottenuta, ma con maggior attenzione alla progressione e alla risposta individuale. Nei casi in cui la sutura sia già parzialmente o completamente fusa (stadi D ed E), il trattamento ortopedico convenzionale è spesso inefficace,

rendendo necessarie tecniche alternative come la MARPE (miniscrew-assisted rapid palatal expansion) o la SARPE (surgically assisted rapid palatal expansion).

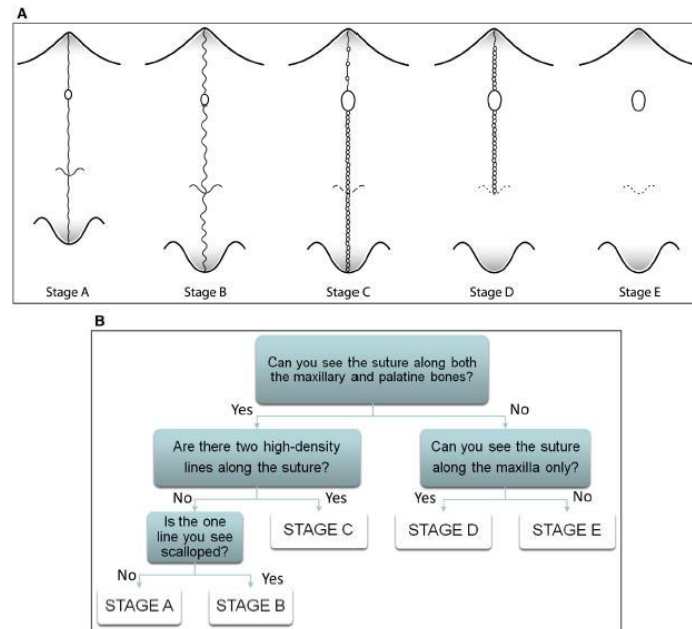


Figura 2. *A*, Schematic drawing of the maturation stages observed in the midpalatal suture. It is a simplification of the sutural morphology and should not be used for diagnosis. Sutural morphology can vary between stages, and diagnostic criteria are based on the decision tree in *B* and the definitions of the 5 stages. *B*, Decision tree for classification of the maturation stages of the midpalatal suture. (Angelieri F, 2013)

Nonostante sia molto diffuso, il metodo presenta alcune criticità:

- è qualitativo, quindi dipende dall'interpretazione dell'operatore;
- richiede CBCT, che comporta una dose di radiazioni maggiore rispetto alle radiografie tradizionali;
- alcune revisioni sistematiche indicano che gli studi disponibili hanno qualità metodologica moderata e che servono ulteriori ricerche per rafforzarne l'evidenza. (González Moreno AM, 2022)

Un ulteriore metodo utilizzato per stimare lo stato di maturazione della sutura palatina mediana è la valutazione delle vertebre cervicali (*Cervical Vertebra Maturation Staging*, CVMS), generalmente impiegata per stimare il potenziale di

crescita mandibolare attraverso l'analisi della teleradiografia latero-laterale. Tuttavia, trattandosi di un indicatore indiretto della maturazione scheletrica generale, negli ultimi anni sono stati proposti approcci diagnostici più specifici per la valutazione della sutura palatina.

Recentemente, Thomas Grünheid e collaboratori hanno valutato diversi metodi per stimare la maturazione della sutura palatina mediana, introducendo anche un nuovo indice denominato **Midpalatal Suture Density Ratio (MSDR)**. Questo parametro si basa sull'analisi dei livelli di grigio ricavati da immagini di CBCT, utilizzati come indicatori indiretti della densità ossea in specifiche aree del palato. I valori dell'indice variano da 0 a 1: valori più bassi indicano una minore calcificazione della sutura, mentre valori più elevati suggeriscono una maggiore ossificazione. Nello studio, i valori di MSDR sono stati confrontati con altri indicatori, come l'età cronologica e la maturazione delle vertebre cervicali, per valutare quale metodo fosse più affidabile nel predire il potenziale di espansione scheletrica. I risultati hanno evidenziato che solo l'MSDR mostrava una correlazione significativa con l'effettiva espansione ottenuta, suggerendo un possibile valore clinico di questo parametro. (Titus S, 2021)

1.6.2 Evoluzione storica delle tecniche di espansione palatale.

L'espansione palatale rappresenta una delle procedure più antiche e consolidate nell'ortodonzia, volta a correggere la costrizione trasversale del mascellare superiore. La prima descrizione sistematica risale a 1860, quando Angell propose l'utilizzo di un dispositivo meccanico a vite per separare progressivamente i due emimascellari, aprendo la sutura palatina mediana. Nei decenni successivi altri autori, tra cui Coffin e Goddard, svilupparono strumenti analoghi, gettando le basi per l'espansione ortopedica del mascellare nella pratica clinica.

Nel corso del XX secolo, l'espansione palatale conobbe un notevole perfezionamento. Negli anni '50 e '60, Haas riprese il concetto di espansione rapida, dimostrando non solo l'efficacia scheletrica dell'intervento, ma anche gli effetti positivi sulla funzione respiratoria e sulla morfologia dentofacciale.

Successivamente, l'introduzione di dispositivi come il Hyrax Expander, il Quad Helix di Ricketts e gli espansori bonded permise di migliorare il controllo clinico, il comfort del paziente e la predicibilità dei risultati.

Parallelamente, per i pazienti adulti con sutura palatina già ossificata, vennero sviluppate le prime tecniche chirurgiche di espansione, come quelle proposte da Brown e Krole, che prevedevano osteotomie mirate per ridurre la resistenza ossea e favorire l'allargamento dell'arcata superiore. Questi approcci hanno rappresentato l'antesignano delle moderne procedure di SARPE/SARME (Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion), integrate nell'ortodonzia contemporanea per trattare pazienti con discrepanze scheletriche più severe o maturazione suturale avanzata.

Negli ultimi anni, l'introduzione dei miniscrew-assisted rapid palatal expanders (MARPE) e di dispositivi a forza controllata, come il Leaf Expander, ha rivoluzionato il trattamento dei pazienti adolescenti e adulti, consentendo di trasferire le forze direttamente all'osso palatale e ridurre gli effetti dentoalveolari indesiderati. Questi sviluppi testimoniano come l'espansione palatale sia passata da semplici approcci meccanici a strategie altamente personalizzate, integrate con valutazioni radiografiche avanzate e principi biologici di crescita cranio-facciale. (Feng Z, 2023)

1.6.3 Espansione tradizionale e rapida (RPE) nei pazienti in crescita.

L'espansione scheletrica del mascellare risulta più facilmente ottenibile quando la sutura palatina mediana non è ancora completamente saldata oppure presenta soltanto iniziali ponti di ossificazione. Nei bambini fino a circa 9-10 anni, qualsiasi dispositivo espansivo tende generalmente a determinare sia la separazione della sutura palatina mediana sia lo spostamento dei molari.

Nei pazienti in età pediatrica sono disponibili tre principali modalità per ottenere l'espansione del palato:

1. l'utilizzo di **apparecchi rimovibili** dotati di vite centrale o di una molla di elevata forza applicata lungo la linea mediana;

2. l'impiego di **archi palatali**, come l'arco a W o il quad-helix;
3. l'uso di **espansori palatali fissi** con vite centrale, che possono essere ancorati a bande oppure integrati in apparecchi incollati su splint.

Nel caso degli apparecchi rimovibili, l'espansione deve procedere lentamente e con forze relativamente contenute, poiché un'attivazione troppo rapida genererebbe carichi maggiori che comprometterebbero la stabilità e la ritenzione del dispositivo; questo è il motivo per cui sono presenti diversi ganci di ritenzione. Inoltre, durante il trattamento i denti risultano particolarmente instabili: se l'apparecchio non viene indossato anche solo per un giorno, può essere necessario ridurre l'apertura della vite affinché il dispositivo si riadatti correttamente prima di proseguire l'espansione. (Proffit WR F. H., 2019)

Gli archi palatali, come l'arco a W e il quad-helix, si sono dimostrati capaci di determinare l'apertura della sutura palatina mediana nei pazienti più giovani. Tali dispositivi sviluppano generalmente forze di alcune centinaia di grammi e producono un'espansione graduale. Questi sistemi determinano una combinazione di effetti scheletrici e dentali: approssimativamente un terzo dell'espansione è attribuibile alla componente scheletrica e due terzi a quella dentale. (Cozza P, 2006) Inoltre, rispetto agli apparecchi rimovibili, risultano generalmente più efficaci e più confortevoli per il paziente.

Gli espansori fissi con vite centrale, saldati a bande o incollati su splint, possono anch'essi essere impiegati nel trattamento precoce delle contrazioni mascellari. Tuttavia, presentano alcuni svantaggi rispetto agli archi palatali di espansione, come l'ingombro e la difficile igiene. Un ulteriore limite di questi apparecchi è la possibilità di essere attivati rapidamente: nei bambini piccoli ciò rappresenta più uno svantaggio che un beneficio, poiché un'espansione troppo rapida può determinare alterazioni o distorsioni facciali.

Con l'avanzare dell'età, la sutura palatina mediana tende a diventare progressivamente più interdigitata. Durante la dentizione mista tardiva, per ottenere una reale separazione suturale è spesso necessario applicare forze più intense, in grado di superare la resistenza delle interdigitazioni ossee e provocare piccole

microfratture delle trabecole, permettendo così la disgiunzione delle due metà del mascellare superiore. In questa fase è generalmente indicato l'utilizzo di apparecchiature fisse, bandate o incollate, con un'unità di ancoraggio che coinvolga il maggior numero possibile di denti. Tuttavia, quando il riassorbimento radicolare dei molari decidui è molto avanzato, questi elementi possono offrire una stabilità insufficiente; in tali casi può essere preferibile attendere l'eruzione dei primi premolari prima di iniziare il trattamento espansivo.

Un ulteriore fattore rilevante nel trattamento è rappresentato dalla velocità di attivazione dell'espansore, che consente di distinguere tra espansione rapida ed espansione lenta. In dentizione mista tardiva entrambe le modalità possono garantire risultati clinici soddisfacenti; tuttavia, considerando aspetti come la semplicità gestionale e la minore irritazione dei tessuti, l'espansione lenta viene spesso preferita. Un'attivazione graduale dell'apparecchio, con una velocità inferiore a circa 2 mm a settimana, consente infatti di raggiungere lo stesso risultato finale dell'espansione rapida in un periodo di circa 10-12 settimane, ma con un impatto traumatico minore a carico dei denti e delle strutture ossee.

Durante l'adolescenza l'apertura della sutura palatina mediana mediante espansori palatali tradizionali presenta generalmente un'alta probabilità di successo. Tuttavia, con la fine del picco di crescita puberale l'interdigitazione suturale aumenta, rendendo più difficile ottenere una reale espansione scheletrica con dispositivi a supporto dentale. In questo contesto, la **Rapid Palatal Expansion (RPE)** è stata sviluppata per trasferire rapidamente la forza alla sutura palatina mediana, permettendo l'apertura scheletrica con un movimento dentale inizialmente minimo, e rappresenta quindi la traduzione pratica dei concetti teorici descritti nella fase precedente.

Durante le prime settimane di trattamento, l'espansione è prevalentemente scheletrica. La RPE, attivata a circa 0,5 mm al giorno (due quarti di giro della vite), genera forze tra 4,5 e 9 kg, causando la separazione delle due metà del mascellare e la creazione di uno spazio tra gli incisivi centrali. Questo spazio è inizialmente riempito da sangue e liquidi tissutali ed è instabile: per consolidare l'espansione, l'apparecchio deve rimanere in sede per 3-4 mesi, permettendo la formazione di

nuovo osso e la stabilizzazione scheletrica. Durante questo periodo, il diastema interincisivo tende a chiudersi grazie alla combinazione di recidiva scheletrica e movimento dentale indotto dalle fibre gengivali, non solo dal movimento dei denti. Un aspetto importante è che, dopo l'espansione, i denti continuano a muoversi rispetto all'osso finché non si raggiunge la stabilità scheletrica. Per prevenire recidive immediate, spesso è necessario un retainer palatale o un filo ausiliario per mantenere i risultati fino al completamento del trattamento.

Quando l'aumento dell'interdigitazione suturale limita l'efficacia della RPE convenzionale, lo stesso obiettivo espansivo può essere perseguito mediante approcci che consentono una più efficace trasmissione delle forze allo scheletro.

Nei pazienti più maturi possono risultare più efficaci tecniche con ancoraggio scheletrico come la *Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion* (MARPE), che, con attivazioni della vite pari a 0,25mm al giorno, permette di applicare le forze direttamente allo scheletro. Nei casi in cui anche questa modalità non sia sufficiente, possono essere prese in considerazione procedure più invasive, come l'espansione palatale chirurgicamente assistita (SARPE) o l'osteotomia segmentale del mascellare superiore.

Fin qui sono stati illustrati i diversi approcci utilizzabili nei bambini e negli adolescenti per ottenere l'espansione del mascellare superiore, evidenziandone indicazioni, vantaggi e limiti in relazione all'età e alla maturazione della sutura palatina mediana. Questi concetti trovano una spiegazione più approfondita se si considera il principio fondamentale alla base dell'espansione scheletrica, ovvero la necessità di massimizzare i cambiamenti a livello osseo riducendo al minimo lo spostamento dentale.

1.6.4 Espansione lenta e modalità di attivazione graduale.

L'espansione palatale lenta, effettuata a una velocità inferiore a 2 mm/settimana e con una forza di circa 900 g nei bambini in dentizione mista, permette di aprire la sutura palatina a un ritmo compatibile con la formazione ossea naturale. In questa modalità, la sutura può mostrarsi aperta alle radiografie, ma spesso non compare il

diastema centrale. Nonostante ciò, si osservano cambiamenti sia scheletrici sia dentali, e dopo circa 10-12 settimane si ottiene un'espansione complessiva simile a quella prodotta da un'espansione rapida.

Studi comparativi su pazienti prepuberali hanno evidenziato che la differenza principale tra espansione rapida e lenta riguarda l'aumento trasversale a livello dei canini, maggiore nei trattamenti rapidi, con un incremento del perimetro d'arcata, mentre l'apertura posteriore della sutura rimane simile. (O'Brien K W. J.-H., 2003) L'espansione lenta, attuata con un giro al giorno o a giorni alterni di un apparecchio fisso, si è dimostrata efficace anche nei bambini in dentizione mista tardiva, garantendo risultati scheletrici significativi con un impatto minimo sulla sutura. (Borzabadi-Farahani A, 2010)

Qui sorge il problema della scelta tra un'espansione lenta precoce o un'espansione rapida tardiva : due studi indicativi, con pazienti rispettivamente di circa 9 e 12 anni, hanno mostrato che, a lungo termine, l'espansione ottenuta a livelli di molari, canini e perimetro d'arcata era sostanzialmente equivalente, suggerendo che sia l'espansione lenta precoce sia quella rapida tardiva possano produrre risultati stabili nel tempo. (Glendor U, 2000)

1.6.5 Espansione chirurgicamente assistita (SARPE e varianti segmentali).

La chirurgia ortognatica si configura come un valido complemento all'ortodonzia nei casi di malocclusioni severe, nelle quali il trattamento ortodontico da solo risulta insufficiente a ottenere un risultato funzionale ed estetico soddisfacente. L'analisi del diagramma noto come "*Envelope of Discrepancy*" (*Figura 3*) (Dalband M, 2015) evidenzia come gli elementi dentari possano essere spostati in varie direzioni a qualsiasi età; tuttavia, la possibilità di influenzare la crescita scheletrica è limitata al periodo di effettivo sviluppo cranio-facciale. Un ulteriore aspetto da considerare è il comportamento dei tessuti molli, che non viene rappresentato in questo diagramma, ma che esercita un ruolo determinante nella pianificazione di un approccio ortodontico-chirurgico. (Proffit WR F. H., 2019)

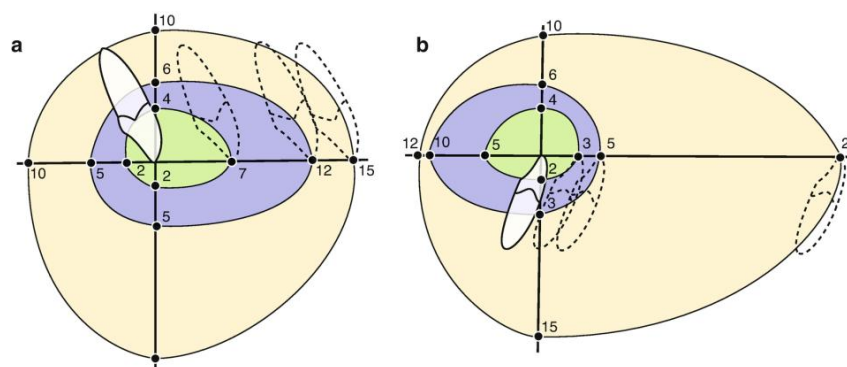


Figura 3 (Dalband M, 2015)

Negli ultimi anni, l'introduzione dell'ancoraggio scheletrico mediante miniviti, ha sollevato la questione se tali dispositivi potessero ridurre la necessità di ricorrere alla chirurgia ortognatica in alcuni pazienti. Tuttavia, al momento, esistono due contesti clinici principali in cui l'ancoraggio scheletrico può rappresentare un'alternativa valida alla chirurgia:

1. Nei pazienti con open bite anteriore, nei quali l'inserimento di miniviti alla base dell'arcata zigomatica consente l'intrusione molare. Tale meccanismo permette un'intrusione dei molari di 3-4 mm, traducendosi in una riduzione del *open bite* di circa 2 mm per ogni millimetro di intrusione.
2. Nei bambini, prima dell'adolescenza, per favorire l'avanzamento del mascellare superiore sfruttando la crescita attiva.

La chirurgia mascellare, invece, consente il riposizionamento del mascellare superiore in senso verticale, sagittale o trasversale, a seconda delle esigenze cliniche. L'intervento più frequentemente eseguito è l'**osteotomia di LeFort I**, che consiste in osteotomie segmentali a livello del mascellare superiore. In questo capitolo, particolare attenzione sarà dedicata alle osteotomie sagittali finalizzate all'espansione palatale.

L'esecuzione di un'osteotomia subapicale richiede una pianificazione accurata, al fine di preservare un peduncolo vascolare il più ampio possibile. È fondamentale, inoltre, che la distanza tra il margine dell'osteotomia e gli apici dentari sia di almeno 5 mm: mantenere tale distanza riduce il rischio di danno pulpale e dentale e

garantisce una maggiore vitalità del segmento mobile, grazie a un migliore apporto vascolare. Nel contesto della chirurgia ortognatica, è necessario considerare alcune strutture vascolari di rilievo, tra cui l'arteria alveolare superiore posteriore, l'arteria palatina maggiore, l'arteria mascellare, il plesso venoso pterigoideo.

Sebbene le branche del nervo facciale vengano raramente lese durante gli interventi ortognatici, particolare attenzione deve essere posta durante la mobilizzazione del mascellare superiore, in quanto può verificarsi bradicardia o persino asistolia, fenomeni legati al riflesso trigemino-cardiaco, che si manifesta a seguito della manipolazione di porzioni centrali o periferiche del nervo trigemino. Un altro elemento cruciale nella chirurgia ortognatica è rappresentato dai muscoli, che svolgono un duplice ruolo: da un lato contribuiscono all'apporto ematico dei segmenti ossei, dall'altro influenzano la tendenza alla recidiva post-operatoria. La chirurgia può incidere sui muscoli in due modalità principali: modificando la loro lunghezza e alterandone la direzione di funzione. I gruppi muscolari più coinvolti negli effetti della chirurgia ortognatica sono i muscoli sopraioidei e i muscoli masticatori.

L'espansione palatale chirurgica viene effettuata mediante osteotomie parasagittali localizzate nelle regioni laterali del pavimento delle cavità nasali o sulla superficie mediale dei seni mascellari, con successiva connessione anteriore tramite un taglio trasverso. Nel caso dell'osteotomia bipartita, il taglio anteriore si estende a livello della linea mediana tra le radici degli incisivi centrali; questo passaggio può essere omissso nell'osteotomia tripartita.

L'osteotomia tripartita (*figura 4*), consiste nella suddivisione del mascellare superiore in quattro segmenti, rappresentando il principale oggetto di analisi di questa tesi. Tale suddivisione viene realizzata mediante l'esecuzione di tre osteotomie: due osteotomie parallele per ciascun lato. Questi tagli vengono poi collegati tra loro mediante un'osteotomia obliqua e successivamente con l'osteotomia verticale interdentale, posizionata tra il canino e il primo premolare oppure tra l'incisivo laterale e il canino. È fondamentale preservare l'integrità della mucosa palatina e procedere con estrema attenzione durante l'esecuzione delle osteotomie interdentali, al fine di evitare danni alle radici dentarie e al loro apporto

vascolare. Questo approccio permette di posizionare i segmenti mascellari in direzioni differenti, grazie al loro completo distacco, garantendo maggiore flessibilità nella correzione delle deformità dentofacciali. (Motamedi., 2016)

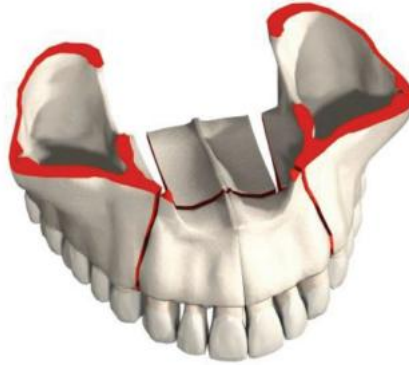


Figura 4. Segmentation of maxilla into 4 pieces. (Lisa J. Koenig, 14 novembre 2023)

Un approccio alternativo per il trattamento dei pazienti adulti con mascellare superiore contratto è rappresentato dall'espansione rapida del palato chirurgicamente assistita (*Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion, SARPE*). Questa procedura prevede l'esecuzione di tagli ossei mirati a ridurre la resistenza alla separazione delle due metà del mascellare superiore tramite una vite di espansione. Il principio alla base della SARPE è che l'intervento sui contrafforti laterali del mascellare diminuisce sufficientemente la resistenza ossea, permettendo così l'apertura forzata della sutura palatina mediana anche in pazienti adulti.

Sebbene la procedura sia generalmente eseguita intorno ai vent'anni, nei pazienti più anziani, in particolare oltre i trent'anni, aumenta il rischio di fratture non intenzionali in altre aree dell'osso mascellare. Attualmente, durante la SARPE, i chirurghi tendono a eseguire la maggior parte dei tagli previsti dall'osteotomia LeFort I, omettendo solo la frattura inferiore finale del mascellare. (Hamedi Sangsari A, 2016) Questo approccio consente, in maniera simile alla distrazione osteogenetica, di manipolare i siti osteologici per ampliare il mascellare superiore, limitando la resistenza principale ai tessuti molli circostanti.

Uno dei principali limiti della procedura è rappresentato dalla mancanza di garanzie di ottenere un'espansione perfettamente simmetrica. La SARPE si rivela particolarmente indicata quando il problema è circoscritto al piano trasversale. Tra i vantaggi ipotizzati rispetto all'osteotomia segmentaria vi è una maggiore stabilità dei segmenti ossei. Alcuni autori suggeriscono inoltre di eseguire una fase preliminare di SARPE prima di un'osteotomia LeFort I, in modo da permettere il successivo spostamento del mascellare in senso antero-posteriore o verticale senza compromettere l'apporto vascolare dei segmenti ossei. I dati disponibili indicano che la stabilità a lungo termine della SARPE è comparabile a quella dell'osteotomia segmentale (Chamberland S, Short-term and long-term stability of surgically assisted rapid palatal expansion revisited. , 2011). La principale indicazione per la SARPE preliminare rimane quindi la contrazione severa del mascellare superiore, nei casi in cui un'espansione segmentale durante la LeFort I potrebbe compromettere la vitalità dei segmenti ossei.

1.6.6 Espansione assistita da mini-impianti (MARPE) : principi e applicazioni.

Negli adolescenti tardivi e negli adulti, l'aumentata interdigitazione della sutura palatina mediana rende necessarie forze espansive più elevate, limitando l'efficacia degli espansori rapidi convenzionali e aumentando il rischio di effetti collaterali dento-alveolari. Per questo motivo, nei pazienti di età superiore ai 16 anni si ricorre frequentemente alla SARPE, che prevede un approccio chirurgico volto a ridurre la resistenza suturale prima dell'espansione. Tuttavia, l'invasività della procedura, i costi e la morbidità associata ne limitano l'accettazione.

In questo contesto si è sviluppata la MARPE (descritta per la prima volta dal Dr Won Moon nel 2013), una metodica non chirurgica che utilizza mini-impianti palatali per trasmettere le forze espansive direttamente all'osso basale. Tali apparecchi, generalmente realizzati in titanio o acciaio inossidabile, consentono di incrementare gli effetti scheletrici e ridurre quelli dentali, sfruttando il fatto che la sutura palatina mantiene una certa plasticità anche in età adulta. (Kapetanović A, 2021)

Gli approcci di espansione supportati da mini-impianti possono includere un dispositivo ibrido ancorato sia ai denti che all'osso (*tooth-bone borne*), oppure un ancoraggio completamente scheletrico (*bone-borne*). Gli espansori a supporto dento-scheletrico trasmettono le forze espansive anche attraverso gli elementi dentari, ed essendo tali forze elevate, esse possono determinare alcuni effetti collaterali indesiderati, tra cui una limitata risposta scheletrica, tipping dentale, riassorbimento radicolare e recessioni gengivali a carico dei denti di ancoraggio e della mucosa palatale adiacente; inoltre, possono verificarsi fenestrazioni a livello dell'osso alveolare. Al fine di ridurre tali effetti, sono stati sviluppati espansori a supporto totalmente scheletrico. Questi sistemi consentono di trasmettere le forze espansive direttamente all'osso palatale, favorendo una maggiore componente scheletrica dell'espansione. I principali vantaggi includono un incremento più efficace dell'ampiezza trasversale del mascellare e delle strutture facciali adiacenti, una riduzione del carico sui denti di ancoraggio e una maggiore stabilità dei risultati nel tempo. Tuttavia, tali dispositivi presentano anche alcuni limiti, tra cui una maggiore invasività della procedura e un aumento del rischio di complicanze, come le infezioni dei tessuti molli. (Bazzani M, 2023)

Le complicanze associate a questi strumenti tendono a manifestarsi quando le forze ortopediche vengono applicate in prossimità dei pilastri mascellari, fronto-mascellari e zigomatico-mascellari in pazienti che hanno già completato l'ossificazione della sutura palatina mediana; nonostante questo il tasso complessivo di fallimento è relativamente basso, pari a circa il 13,5% (Papageorgiou SN, 2012), si stima infatti un fallimento dell'1,3% se le viti sono posizionate nelle aree mediane e fino a un 5,5% nelle regioni posteriori tra premolari e molari. (espansione-palato-miniviti-inserzione-diretta, s.d.)

Tra le conseguenze più frequenti dell'uso della MARPE per l'espansione palatale, troviamo :

1. Infiammazione gengivale peri-implantare : Lo studio retrospettivo del 2022 condotto su un campione di 256 pazienti sottoposti a trattamento con MARPE evidenzia come le complicanze biologiche rappresentino un aspetto clinicamente rilevante. In particolare, l'infiammazione gengivale e

peri-implantare risulta essere la manifestazione più frequente, con una prevalenza pari all'83,9% dei casi.

Tale dato suggerisce che la presenza delle miniscrew e della struttura dell'espansore possa favorire l'accumulo di placca batterica e rendere più difficoltoso il mantenimento di un'adeguata igiene orale, predisponendo così i tessuti molli a fenomeni infiammatori. Sebbene nella maggior parte dei casi tali condizioni siano reversibili e gestibili, la loro elevata incidenza sottolinea l'importanza di un attento monitoraggio clinico e di adeguate istruzioni di igiene orale durante il trattamento.

Pertanto, l'infiammazione peri-implantare può essere considerata la complicanza più comune associata alla MARPE e un potenziale fattore in grado di influenzare il comfort del paziente e, nei casi più severi, la stabilità delle miniscrew. (Audrey Yoon, 2022) Una conseguenza diretta dell'infiammazione gengivale peri-implantare è la mobilità delle miniviti. La stabilità primaria delle miniviti rappresenta un fattore determinante per il successo del trattamento. In particolare, le evidenze presenti in letteratura indicano come tale stabilità sia strettamente correlata sia al diametro delle miniviti sia al tipo di ancoraggio ottenuto al momento dell'inserimento. È stato infatti dimostrato che le miniviti inserite con ancoraggio bicorticale (coinvolge sia la corticale palatale sia quella nasale) garantiscono una maggiore stabilità meccanica ed una minore resistenza alle forze di taglio durante l'espansione rispetto a quelle con ancoraggio monocorticale. Inoltre, dispositivi con diametro maggiore (ad esempio 2,0 mm) mostrano performance superiori in termini di stabilità, anche nei casi in cui non sia possibile ottenere un ancoraggio bicorticale.

Alla luce di tali evidenze, risulta evidente come una progettazione adeguata del dispositivo e una corretta tecnica di inserimento rivestano un ruolo fondamentale nel minimizzare il rischio di mobilità delle miniviti, contribuendo così a garantire un'efficace trasmissione delle forze espansive e il successo della terapia MARPE. (Copello FM, 2021)

2. Dolore

3. Aumento dell'altezza del filtro nasale, senza associazione ad un aumento del volume delle vie aeree. (Mehta P, 2025)
4. Assottigliamento dell'osso alveolare e deiscenze alveolari. (Frenna B, 2026)

La pianificazione digitale rappresenta un elemento chiave nell'ottimizzazione della terapia con MARPE, in quanto consente una valutazione tridimensionale accurata delle strutture anatomiche mediante tomografia computerizzata a fascio conico (CBCT). L'utilizzo della CBCT permette di analizzare lo spessore osseo palatale, la morfologia della sutura palatina mediana e la vicinanza a strutture anatomiche critiche, rendendo possibile una pianificazione personalizzata della posizione, inclinazione e lunghezza delle miniviti. A tal proposito, la letteratura evidenzia come non tutte le aree del palato siano ugualmente idonee all'inserzione delle miniscrew: la regione anteriore paramediana, in corrispondenza della terza ruga palatina e a circa 4–5 mm dalla linea mediana (T-zone) (*Figura 5*), rappresenta un sito ottimale grazie alla maggiore quantità di osso disponibile e al ridotto spessore della mucosa, generalmente intorno ai 3 mm. Tuttavia, l'elevata variabilità anatomica individuale limita l'applicabilità universale di tali riferimenti, rendendo necessaria una valutazione specifica per ogni paziente.

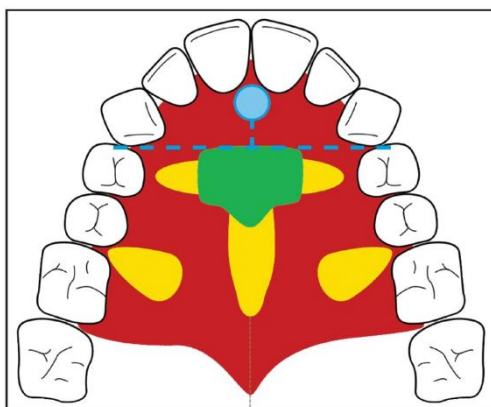


Figura 5. T-zone. (Ludwig B., Aug 2011)

In questo contesto, la CBCT assume un ruolo fondamentale, poiché consente non solo una valutazione quantitativa e qualitativa tridimensionale dell'osso disponibile, ma anche la pianificazione virtuale dell'inserzione delle miniviti, permettendo di individuare la posizione e l'angolazione più adeguate.

Infine, le miniviti possono essere inserite sia mediante tecniche guidate sia manualmente, senza pianificazione preoperatoria; tuttavia, nei casi clinici complessi — quali affollamento dentale anteriore, presenza di elementi inclusi, marcata contrazione palatale o aumento dello spessore mucoso — una pianificazione accurata risulta imprescindibile per garantire un ancoraggio stabile e il successo del trattamento. (Wang Y, 2017)

Alla luce delle evidenze disponibili, la MARPE rappresenta una valida opzione terapeutica per il trattamento del deficit trasversale del mascellare nei pazienti in crescita avanzata e nei giovani adulti. La meta-analisi e gli studi clinici più recenti indicano che la MARPE consente un'espansione con una componente scheletrica significativa, accompagnata da modificazioni dentoalveolari ridotte, offrendo un miglior controllo biomeccanico rispetto agli espansori tradizionali.

In particolare, studi basati su CBCT hanno dimostrato che l'espansione intermolare ottenuta mediante MARPE è composta da circa il 37% scheletrica, il 22% alveolare e il 41% dentale. L'espansione scheletrica coinvolge non solo la sutura palatina mediana, ma anche strutture adiacenti come la cavità nasale, contribuendo potenzialmente a migliorare la respirazione nasale, mentre l'arcata zigomatica mostra un incremento più modesto. Il tipping dentale dei molari e la riduzione dello spessore e dell'altezza dell'alveolo buccale sono generalmente lievi e comparabili a quanto osservato con RPE convenzionale, risultando clinicamente trascurabili nella maggior parte dei casi.

La MARPE è indicata soprattutto nei pazienti con sutura palatina non completamente ossificata o con maturazione suturale intermedia, nei quali è possibile ottenere un'apertura efficace senza ricorrere a procedure chirurgiche. Il tasso di successo nell'apertura della sutura mediana nei giovani adulti è elevato, sebbene in una minoranza dei casi (circa il 15%) possano verificarsi fallimenti.

Tuttavia, alcune limitazioni devono essere considerate. La tecnica richiede una valutazione accurata delle caratteristiche anatomiche mediante CBCT e una pianificazione precisa del posizionamento delle miniviti per garantire stabilità primaria e ridurre il rischio di mobilità o complicanze biologiche. Nei pazienti adulti con sutura completamente ossificata o con condizioni anatomiche

sfavorevoli, la predicibilità dell'espansione scheletrica può risultare ridotta, rendendo necessario valutare l'opzione di interventi chirurgicamente assistiti.

In conclusione, la MARPE rappresenta un'alternativa efficace e meno invasiva alla chirurgia in pazienti selezionati, garantendo un buon compromesso tra espansione scheletrica e minimizzazione degli effetti dentoalveolari, pur richiedendo un'attenta selezione del paziente, pianificazione digitale e monitoraggio clinico per ottimizzare i risultati terapeutici. (Park JJ, 2017)

1.6.7 Fondamenti biomeccanici e biologici dell'espansione.

L'espansione mascellare rappresenta una delle principali strategie terapeutiche in ortodonzia per correggere discrepanze trasversali del mascellare. La sua efficacia si basa sulla comprensione dei fondamenti biomeccanici e biologici che regolano la risposta dell'osso alveolare e del parodonto alle forze applicate.

Il movimento dentale indotto dall'ortodonzia dipende principalmente dalla risposta del legamento parodontale (PDL), una struttura di supporto composta da fibre collagene, cellule mesenchimali, elementi vascolari e terminazioni nervose. L'applicazione di una forza prolungata su un dente genera una pressione controllata sul PDL, che a sua volta stimola il rimodellamento osseo alveolare attraverso processi di riassorbimento frontale e sottominante. Forze leggere e continue favoriscono il riassorbimento frontale, promuovendo uno spostamento dentale più progressivo e meno traumatico, mentre forze pesanti o intermittenti possono causare aree di necrosi parziale e riassorbimento sottominante, con possibili conseguenze per il tessuto parodontale.

I meccanismi che regolano il movimento dentale comprendono sia segnali bioelettrici, generati dalla flessione ossea e dalla deformazione del PDL, sia segnali chimici mediati da citochine, prostaglandine e altri messaggeri cellulari, che attivano osteoblasti e osteoclasti e modulano la formazione e il riassorbimento osseo. (AR., 2012) L'entità e la durata della forza applicata determinano quindi la risposta biologica e la sicurezza del trattamento. In particolare, la forza ottimale deve essere sufficiente a stimolare il rimodellamento osseo senza occludere

completamente la vascolarizzazione del PDL, garantendo così un movimento dentale efficace e biologicamente compatibile.

Quando si considerano tecniche di espansione del palato, come apparecchi funzionali, RPE (Rapid Palatal Expander), MARPE (Miniscrew-Assisted RPE) o SARPE (Surgically Assisted RPE), è fondamentale comprendere come queste forze vengano trasmesse non solo ai denti, ma anche alle suture mascellari e alle strutture scheletriche circostanti, stimolando la formazione di nuovo osso e modificando la geometria mascellare in modo controllato.

Queste suture, tra cui la sutura mediana palatina, le suture fronto-mascellari, zygomaticomascellari e nasomascellari, costituiscono giunzioni fibrose tra segmenti ossei e mantengono un certo grado di plasticità, soprattutto nei soggetti giovani, che consente la loro deformazione sotto l'azione di forze ortopediche. La separazione progressiva della sutura palatina mediana, principale sito di espansione, permette non solo il riallineamento delle arcate dentarie e alveolari, ma anche il rimodellamento tridimensionale del massiccio facciale, con un effetto sulle suture circostanti che contribuisce alla modifica della morfologia del complesso naso-mascellare e della cavità nasale.

La risposta biologica delle suture all'espansione è mediata da una complessa rete di cellule mesenchimali, osteoclasti, osteoblasti e fibroblasti presenti nel tessuto suturale. Queste cellule reagiscono allo stress meccanico generato dalla forza trasversale stimolando la formazione di nuovo tessuto osseo nelle zone di tensione e il riassorbimento nelle zone di compressione. Tale dinamica è influenzata dall'età del paziente: nei soggetti in crescita, le suture mantengono una maggiore plasticità e consentono un'espansione scheletrica significativa, mentre negli adulti la fusione progressiva delle suture aumenta la resistenza meccanica, riducendo l'efficacia dell'espansione non chirurgica. In questi casi, apparecchi come la MARPE permettono di trasmettere la forza direttamente all'osso tramite ancoraggio scheletrico, superando la resistenza della sutura e ottenendo risultati scheletrici significativi anche oltre l'adolescenza.

La morfologia delle suture e la densità dell'osso circostante giocano un ruolo cruciale nella distribuzione delle forze e nell'entità del rimodellamento. La sutura

palatina mediana, ad esempio, subisce la separazione principale, mentre le suture zygomaticomascellari e fronto-mascellari si adattano in misura minore, permettendo un'espansione più parallela o a piramide a seconda della resistenza del mascellare. La variabilità anatomica individuale, come la lunghezza della sutura, lo spessore corticale e la densità ossea, influisce direttamente sulla risposta meccanica all'espansione, rendendo necessaria una valutazione preoperatoria tramite imaging tridimensionale come la CBCT, per ottimizzare la posizione delle miniviti, l'angolazione e il tipo di ancoraggio.

In sintesi, la comprensione dei fondamenti biomeccanici e biologici dell'espansione mascellare richiede un'analisi integrata della risposta delle suture del massiccio facciale, della qualità ossea e della trasmissione della forza. L'espansione scheletrica dipende dalla capacità della sutura di rimodellarsi sotto pressione, dal tipo di apparecchio utilizzato e dalla pianificazione digitale dell'inserzione delle miniviti, che consente di prevedere la distribuzione ottimale della forza e di ottenere risultati scheletrici stabili e sicuri. (Proffit WR F. H., 2019)

1.6.8 Stabilità a lungo termine e recidiva : confronto tra le diverse tecniche.

Quando si affronta la stabilità a lungo termine e la recidiva nell'espansione palatale, è fondamentale considerare che la componente scheletrica e dentale dell'espansione reagisce in modo differente dopo il trattamento. Le diverse tecniche – Rapid Palatal Expansion (RPE), Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE) e Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion (SARPE) – presentano infatti modalità di azione e profili di stabilità differenti, che influenzano sia la quantità di espansione ottenuta sia la sua persistenza nel tempo.

La RPE convenzionale, ampiamente utilizzata nei pazienti in crescita, è efficace nel creare un ampliamento trasversale della mascella, ma la sua capacità di indurre cambiamenti scheletrici stabili diminuisce progressivamente con l'età e la fusione della sutura palatina mediana; all'età di 15 anni l'apertura intercanina è la metà di quella intermolare, definendo così un'apertura a ventaglio. Nel lungo periodo, parte dei guadagni, specialmente a livello dentale, può andare incontro a recidiva a causa

della natura meccanica dei dispositivi e del ritorno elastico delle fibre parodontali e dei tessuti molli dopo la rimozione dell'apparecchio. (Cannavale R, Orthod Craniofac Res)

Per i pazienti adulti o in tarda adolescenza, in cui la sutura palatina mediana presenta un grado maggiore di interdigitazione, la SARPE è stata storicamente adottata per superare la resistenza scheletrica tramite osteotomie mirate. Studi longitudinali indicano che, dopo SARPE, la componente scheletrica dell'espansione tende a mantenersi stabile nel tempo, mentre la recidiva dentale è spesso attribuita principalmente al movimento linguale dei denti posteriori piuttosto che a un cambiamento scheletrico retrogrado. (Chamberland S, Short-term and long-term stability of surgically assisted rapid palatal expansion revisited., 2011)

Negli ultimi anni, la MARPE ha guadagnato attenzione per la sua capacità di ottenere un'espansione scheletrica maggiore rispetto alla RPE convenzionale, pur evitando l'intervento chirurgico. Le evidenze attuali suggeriscono che la MARPE può offrire guadagni scheletrici più stabili nel lungo periodo, con una percentuale di recidiva inferiore rispetto alla RPE, probabilmente in relazione all'efficacia dell'ancoraggio diretto alle cortecce ossee mediante l'uso di miniviti. (Zeng, 2023)

La letteratura correlata indica che la recidiva è un fenomeno comune in tutte le tecniche di espansione, ma la sua entità e le componenti scheletriche e dentali coinvolte variano significativamente a seconda del metodo impiegato. Pertanto, un confronto critico e basato sulle evidenze tra RPE, SARPE e MARPE è fondamentale per comprendere le differenze in termini di stabilità a lungo termine e per guidare la scelta clinica più appropriata nei pazienti con deficit trasversale del mascellare.

1.6.10 Indicazioni cliniche in funzione dell'età e della morfologia mascellare.

L'efficacia e la scelta della tecnica di espansione mascellare dipendono strettamente da due fattori principali: l'età del paziente e la conformazione morfologica della mascella.

Nei bambini con dentizione decidua o dentizione mista precoce, l'espansione lenta ottenuta mediante un arco palatale attivo rappresenta generalmente l'approccio più indicato per il trattamento della contrazione del mascellare superiore. In alternativa, anche un'espansione mediante apparecchio fisso con vite centrale può essere efficace, purché l'attivazione venga eseguita con cautela e in modo molto graduale. Studi a lungo termine hanno inoltre evidenziato che, a distanza di circa dieci anni dal trattamento, sia l'espansione palatale rapida sia quella lenta possono mostrare una buona stabilità, pur essendo impiegate per diversi gradi di contrazione. (O'Brien K W. J., 2009)

Nei pre-adolescenti modalità diverse portano allo stesso risultato.

Per i pazienti al termine dell'adolescenza l'espansione rapida ha senso perché le forze si accumulano con una rapidità tale da causare la frattura della sutura o l'interruzione del trattamento. Un'espansione lenta servirebbe solo a spostare i denti, non ad aprire la sutura. Secondo un approccio moderno, in pazienti di questo tipo non si dovrebbe tentare un'espansione a supporto dentale. Si dovrebbe invece optare per un'espansione palatale rapida supportata da microimpianti (MARPE), con un'attivazione della vite pari a 0,25 mm al giorno, anziché esercitare forze pesanti contro denti. Questo approccio, insieme all'espansione palatale chirurgicamente assistita (SARPE) e all'osteotomia segmentale del mascellare superiore, rappresenta una delle possibilità per i pazienti più maturi in cui gli espansori a supporto dentale non funzionerebbero.

La morfologia del palato, intesa come insieme delle caratteristiche tridimensionali dell'osso palatale e delle strutture associate, rappresenta un elemento determinante per la pianificazione e l'esito dell'espansione mascellare. Le dimensioni, lo spessore osseo, la forma delle arcate e la posizione delle strutture anatomiche critiche, come le suture e le cortecce ossee, condizionano profondamente l'efficacia delle forze applicate, la scelta del tipo di apparecchio e il rischio di complicanze biomeccaniche e biologiche.

La forma del palato (più o meno profondo, stretto, bombato o planare) influisce sulla direzione e distribuzione delle forze applicate durante l'espansione. Una morfologia particolarmente profonda o stretta può:

- aumentare lo stress sulle cortecce ossee;
- favorire un maggior tipping dentale se l'apparecchio non è adeguatamente ancorato;
- modificare il pattern di apertura della sutura palatina, con differenze tra espansione simmetrica o più marcata anteriormente o posteriormente;

Studi tridimensionali condotti tramite CBCT indicano che l'espansione è spesso caratterizzata da un pattern di crescita non del tutto uniforme sul piano trasversale, e che la morfologia iniziale della mascella può modulare la distribuzione del movimento scheletrico e dentale.

Una morfologia palatina con osso alveolare sottile o con cortecce molto sottili può aumentare l'esposizione peri-radicolare a stress meccanico, favorendo:

- assottigliamento della corticale alveolare;
- riduzione dell'altezza della cresta ossea;
- rischio di deiscenza vestibolare;

Queste modifiche non sono esclusiva della MARPE, ma possono presentarsi con maggiore incidenza se la valutazione preoperatoria non considera adeguatamente la morfologia individuale. Un'analisi attenta con CBCT consente di misurare lo spessore osseo in punti specifici, migliorando la predicibilità e la sicurezza del trattamento. (JM., 2012)

1.7 Obiettivi terapeutici e razionale biologico dell'espansione mascellare.

L'espansione mascellare è uno strumento terapeutico essenziale in ortodonzia per correggere il deficit trasversale del mascellare superiore, condizione che può manifestarsi come cross-bite posteriore, arcata dentale stretta, ampio corridoio buccale, affollamento dentale e persino alterazioni funzionali come difficoltà respiratorie. Il razionale biologico alla base delle tecniche di espansione è duplice: da una parte si cerca di massimizzare l'effetto scheletrico diretto sull'osso mascellare riducendo il tipping dentale e gli effetti parodontali indesiderati,

dall'altra si mira a favorire un adattamento osseo duraturo attraverso la stimolazione di processi biologici di rimodellamento nelle suture e nei tessuti circostanti. Inoltre, evidenze più recenti suggeriscono che l'espansione mascellare può avere un impatto positivo anche su funzioni non strettamente occlusali, come l'incremento del volume delle vie aeree superiori e la possibile modulazione di sintomatologia respiratoria in pazienti selezionati, ampliando così il valore terapeutico oltre la dimensione dento-scheletrica tradizionale.

1.8 Scopo principale dello studio.

Il presente studio retrospettivo ha come obiettivo principale la valutazione e il confronto degli effetti scheletrici indotti da due diverse modalità di espansione del mascellare superiore in pazienti adulti affetti da deficit trasversale del mascellare (MTD): la MARPE (Miniscrew Assisted Rapid Palatal Expansion) e la chirurgia mascellare segmentata a quattro pezzi (4-piece maxillary surgery).

Attraverso questo approccio tridimensionale, lo studio si propone di comprendere in dettaglio i meccanismi di espansione scheletrica nei due sistemi, valutando la distribuzione dei movimenti dei punti scheletrici, la simmetria dell'espansione e le differenze tra espansione anteriore e posteriore.

1.9 Ipotesi di partenza e quesiti di ricerca.

L'espansione del mascellare superiore negli adulti rappresenta una sfida clinica significativa, a causa della maggiore rigidità scheletrica e della ridotta capacità di modellamento osseo rispetto ai pazienti in crescita. Tra le diverse modalità terapeutiche disponibili, la MARPE (Miniscrew Assisted Rapid Palatal Expansion) e la chirurgia maxillare segmentata a quattro pezzi (4-piece maxillary surgery) si distinguono per approccio, invasività e meccanismi di espansione scheletrica. Tuttavia, ad oggi, la letteratura non fornisce dati comparativi dettagliati sui cambiamenti tridimensionali indotti da queste due procedure in pazienti adulti.

Sulla base di questa lacuna conoscitiva, lo studio si fonda sulle seguenti ipotesi di partenza:

1. MARPE e 4-piece maxillary surgery determinano pattern di espansione scheletrica differenziati, con MARPE caratterizzata da un'espansione più simmetrica tra porzione anteriore e posteriore del mascellare, mentre la chirurgia segmentata produce una maggiore espansione nella porzione posteriore, con un pattern di apertura più "triangolare".
2. Le due modalità di trattamento comportano variazioni significative nelle misure tridimensionali dei punti scheletrici chiave rispetto ai piani coronale, assiale e sagittale.
3. La chirurgia mascellare segmentata a quattro pezzi può generare una maggiore espansione trasversale posteriore, mentre MARPE favorisce un'espansione anteriore più uniforme e simmetrica.

A partire da queste ipotesi, lo studio si propone di rispondere a una serie di quesiti di ricerca mirati:

- Quali differenze tridimensionali si osservano nell'espansione scheletrica indotta da MARPE rispetto alla 4-piece maxillary surgery in pazienti adulti con deficit trasversale del mascellare?
- I due trattamenti producono variazioni significative nella simmetria dell'espansione tra le porzioni anteriore e posteriore del mascellare?
- Quale delle due procedure determina una maggiore espansione trasversale complessiva e come si differenziano le singole misure anatomiche pre- e post-trattamento?
- Esistono differenze significative nei movimenti verticali o antero-posteriori della mascella superiore tra i due approcci?
- I dati tridimensionali ottenuti possono fornire indicazioni utili per la scelta clinica della modalità di espansione più appropriata in pazienti adulti con deficit trasversale del mascellare?

L'analisi di questi quesiti permetterà di comprendere in maniera approfondita le caratteristiche e le conseguenze scheletriche delle due modalità di trattamento, contribuendo a colmare una lacuna della letteratura e a supportare decisioni cliniche basate su dati tridimensionali affidabili.

1.10 Significato clinico e razionale della comparazione “MARPE vs 4-piece maxillary surgery”.

La scelta del metodo di espansione del mascellare superiore negli adulti rappresenta una decisione clinica complessa, in quanto deve bilanciare efficacia scheletrica, invasività, comfort del paziente, tempi di trattamento e prevedibilità dei risultati. La MARPE e la chirurgia maxillare segmentata a quattro pezzi (4-piece maxillary surgery) costituiscono due strategie principali per affrontare il deficit trasversale del mascellare negli adulti, ma presentano caratteristiche operative e meccanismi di espansione differenti.

MARPE sfrutta l'ancoraggio osseo mediante miniscrew, permettendo un'espansione scheletrica non chirurgica, con un minore impatto sulla morbidità del paziente, tempi di recupero ridotti e minori rischi di complicanze intra- e post-operatorie. Tuttavia, la sua efficacia può essere limitata in pazienti adulti con maggiore rigidità palatale, e l'espansione scheletrica può risultare parzialmente dipendente dalla stabilità dei miniscrew e dalla qualità ossea locale.

La chirurgia mascellare segmentata a quattro pezzi, al contrario, permette una separazione scheletrica controllata e precisa della mascella superiore, garantendo un'espansione tridimensionale maggiore e più prevedibile, in particolare nella porzione posteriore del mascellare. Tuttavia, questa procedura comporta un maggiore grado di invasività, tempi di trattamento più lunghi e una convalescenza più impegnativa per il paziente.

Il razionale della comparazione tra MARPE e 4-piece maxillary surgery risiede quindi nella necessità di fornire evidenze cliniche solide per supportare la scelta terapeutica in pazienti adulti con deficit trasversale del mascellare. Confrontando i due approcci mediante analisi tridimensionale delle scansioni CBCT pre e post

trattamento, è possibile valutare quantitativamente la distribuzione dell'espansione scheletrica, la simmetria tra le porzioni anteriore e posteriore del mascellare e la variazione delle principali misure anatomiche.

Dal punto di vista clinico, questa comparazione permette di identificare i vantaggi e i limiti di ciascun approccio, favorendo decisioni terapeutiche personalizzate basate sulle caratteristiche individuali del paziente, sul grado di deficit trasversale, sull'età e sul contesto clinico. Inoltre, il confronto fornisce informazioni utili non solo per l'efficacia scheletrica, ma anche per la prevedibilità dei risultati, la sicurezza della procedura e la qualità dell'esperienza del paziente, contribuendo a ottimizzare il trattamento ortodontico-chirurgico negli adulti.

CAPITOLO 2

MATERIALI E METODI

2.1 Disegno dello studio, tipologia di ricerca e sedi universitarie coinvolte.

Il presente studio è stato disegnato come uno studio retrospettivo osservazionale basato sull'analisi tridimensionale di esami CBCT eseguiti prima dell'espansione (T0) e dopo il trattamento (T1). I dati radiografici sono stati reperiti da archivi digitali, includendo pazienti trattati con espansione mascellare assistita da miniviti (MARPE) e pazienti sottoposti a osteotomia segmentale del mascellare superiore (Le Fort I in 3 segmenti). In particolare, il campione MARPE è stato reclutato presso l'Università degli Studi di Genova (IT), mentre il campione chirurgico presso la Boston University (MA, USA). Tutte le acquisizioni CBCT sono state eseguite secondo protocolli standardizzati e successivamente esportate in formato DICOM per l'analisi tridimensionale.

2.2 Descrizione dei gruppi di studio.

Il campione di studio è costituito da 67 pazienti in dentizione permanente, affetti da deficit trasversale del mascellare e candidati a trattamento di espansione mascellare. I pazienti sono stati suddivisi in due gruppi:

1. Gruppo 1 : 43 pazienti trattati con chirurgia mascellare in quattro segmenti presso la Boston University (MA)
2. Gruppo 2 : 24 pazienti trattati con MARPE presso l'Università di Genova.

Il gruppo sottoposto a chirurgia mascellare in quattro segmenti comprende 43 soggetti (29 femmine e 14 maschi) con un'età media di $32 \pm 10,6$ anni. Il gruppo trattato con MARPE è costituito da 24 soggetti (11 maschi e 13 femmine) con un'età media di $21,4 \pm 11$ anni. (Tabella 1)

Tabella 1. Caratteristiche demografiche e cliniche dei gruppi.

		4 pieces maxillary surgery group	MARPE group	Raw total
N° of patients		43	24	67
Sex	Female	29	13	42
	Male	14	11	25
Age		32 ± 10,6 SD	21, 4 ± 11 SD	28 ± 12 SD

2.3 Criteri di inclusione ed esclusione del campione.

Per la selezione del campione di studio sono stati presi in considerazione precisi criteri di inclusione ed esclusione :

- presenza di esami CBCT diagnostici pre- e post-trattamento;
- deficit trasversale del mascellare (MTD) associato a morso crociato posteriore mono- o bilaterale;
- assenza di patologie sistemiche;
- assenza di precedenti trattamenti ortodontici;
- assenza di alterazioni del metabolismo osseo o di assunzione di farmaci in grado di influenzarlo;
- dentizione permanente.

2.4 Strumenti diagnostici e protocolli di acquisizione CBCT.

Le scansioni CBCT sono state acquisite prima del trattamento (T0) e al termine del trattamento (T1). Tutte le scansioni CBCT relative al gruppo chirurgico sono state eseguite utilizzando due dispositivi iCAT, dello stesso modello e con identiche specifiche tecniche (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA), installati in due diverse sedi. I parametri di acquisizione prevedevano 120 kVp, 5 mA e una dimensione nominale del fuoco di 0,5 mm, con un campo di vista di 17,0 × 23 cm e una dimensione del voxel pari a 0,3 mm. Le scansioni CBCT del gruppo MARPE

sono state invece acquisite mediante dispositivo Planmeca Viso G7.

2.5 Software utilizzato per la segmentazione e analisi tridimensionale.

I dati acquisiti sono stati esportati in formato DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) e successivamente segmentati e analizzati mediante il software Mimics Innovation Suite Research Edition, versione 25 (Leuven, Belgio). Il software Mimics Innovation Suite Research Edition, versione 25 (Materialise, Leuven, Belgio), è una piattaforma avanzata per l'elaborazione e l'analisi di immagini medicali tridimensionali. Esso consente l'importazione di dati in formato DICOM e la loro segmentazione, permettendo la ricostruzione accurata di modelli anatomici 3D a partire da esami radiologici quali CBCT. Il software offre strumenti dedicati alla definizione di landmark anatomici, alla creazione di piani di riferimento e all'esecuzione di misurazioni lineari e volumetriche, risultando particolarmente utile nell'ambito della ricerca cranio-maxillo-facciale. Inoltre, garantisce elevata precisione e riproducibilità delle analisi, rendendolo uno strumento affidabile per studi quantitativi tridimensionali.

2.6 Landmark anatomici e piani di riferimento utilizzati.

L'analisi tridimensionale ha incluso 8 punti scheletrici, ciascuno dei quali è stato verificato nelle sezioni assiale, sagittale e coronale (*Tabella 2, Figura 6*). Sulla base di questi landmark tridimensionali sono stati costruiti diversi piani di riferimento (*Tabella 2, Figura 7*). L'analisi 3D ha inoltre previsto l'esecuzione di 14 misurazioni a livello scheletrico (*Tabella 2*).

Tabella 2. Punti, piani di riferimento e misurazioni eseguite.

POINT	MIMICS VARIABLE	DESCRIPTION
Right Piriforme Aperture	R_pir_aperture	Outermost and lateral point of the

		right piriform aperture
Left Piriforme aperture	L_pir_aperture	outermost and lateral point of the left piriform aperture
Greater palatine foramen right	R_GP_for	Most anterior and inferior portion of the right greater palatine foramen
Greater palatine foramen right	L_GP_for	Most anterior and inferior portion of the left greater palatine foramen
Basion	Basion	The midpoint on the forward border of the foramen magnum
Sella	Sella	The center of the hypophyseal fossa (Sella turcica)
Right Porion	R_porion	The most superior point of right external acoustic meatus
Left Porion	L_Porion	The most superior point of left external acoustic meatus
REFERENCE PLANES	MIMICS VARIABLE	DESCRIPTION
Axial	Axial_plane	FH
Coronal	Coronal_plane	Plane passes through Basion, and perpendicular to FH

		and midsagittal plane
Midsagittal	Midsagittal_plane	Basion to Sella, normal to FH
Frankfurt Plane	FH_plane	Porion R, portion L, Orbitale
MEASUREMENTS	MIMICS VARIABLE	DESCRIPTION
Piriform width	Pir_points_distance	Distance between piriform points
Distance between right piriform aperture and midsagittal plane	R_pir_point_midsagittalplane	Distance between right piriform aperture and midsagittal plane
Distance between right piriform aperture and coronal plane	R_pir_point_coronalplane	Distance between right piriform aperture and coronal plane.
Distance between right piriform aperture and axial plane	R_pir_point_axialplane	Distance between right piriform aperture and axial plane
Distance between left piriform aperture and midsagittal plane	L_pir_point_midsagittalplane	Distance between left piriform aperture and midsagittal plane
Distance between left piriform aperture and coronal plane	L_pir_point_coronalplane	Distance between left piriform aperture and coronal plane
Distance between left piriform aperture and axial plane	L_pir_point_axialplane	Distance between left piriform aperture and axial plane
Distance between GP foramina	GP_for_distance	Distance from the most distolateral

		point of GP foramina right to GP foramina left
Distance between GP foramen and the midsagittal plane	R_GP_midsagittalplane	Distance between GP foramen and the midsagittal plane
Distance between right GP foramen and the coronal plane	R_GP_coronalplane	Distance between right GP foramen and the coronal plane
Distance between right GP foramen and axial plane	R_GP_axialplane	Distance between right GP foramen and axial plane
Distance between left GP foramen and the midsagittal plane	L_GP_midsagittalplane	Distance between left GP foramen and the midsagittal plane
Distance between left GP foramen and coronal plane	L_GP_coronalplane	Distance between left GP foramen and coronal plane
Distance between left GP foramen and axial plane	L_GP_axialplane	Distance between left GP foramen and axial plane.

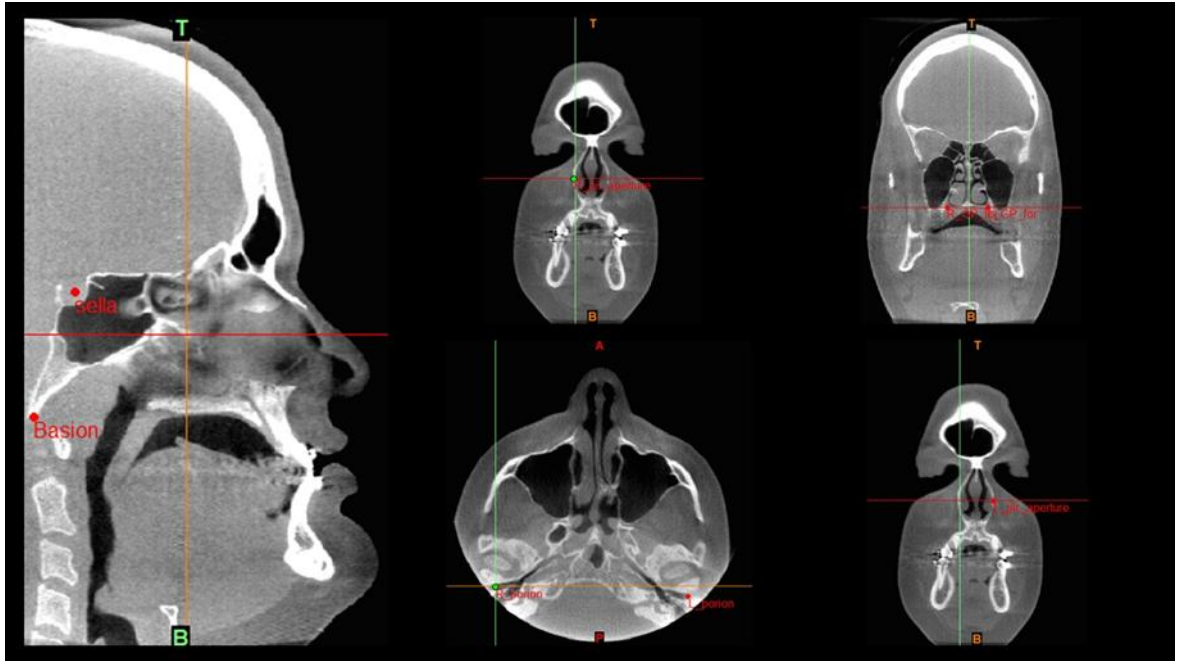


Figura 7. Punti scheletrici analizzati

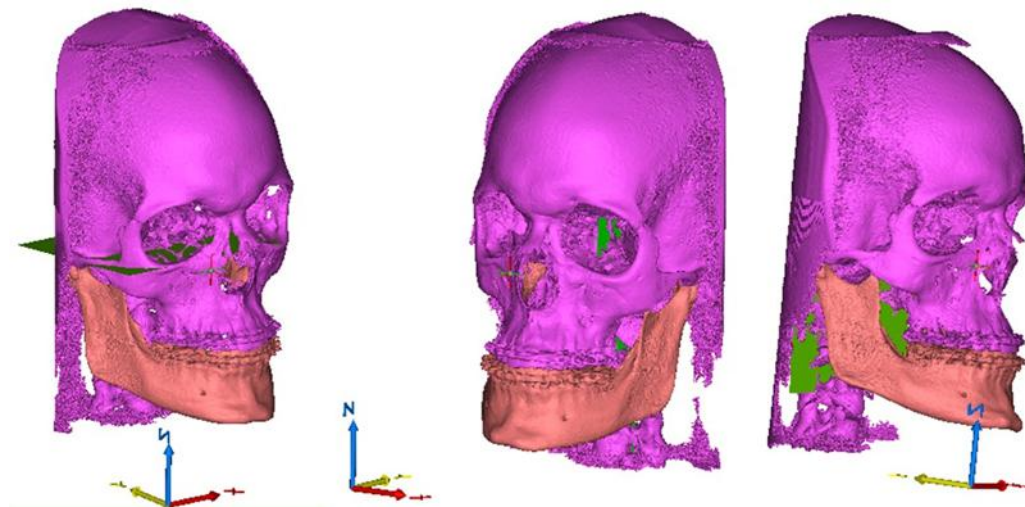


Figura 6. Piani di riferimento.

2.7 Protocollo chirurgico e ortodontico.

L'espansione palatale mediante MARPE ha previsto l'utilizzo di un apparecchio supportato da 4 miniviti : 2 collocate nella regione palatale anteriore, approssimativamente al livello della terza ruga, e 2 nella regione posteriore. L'area posteriore per l'inserimento delle miniviti comprendeva due zone, definite in base

alle condizioni anatomiche iniziali e alla profondità del palato: tra il secondo premolare e il primo molare, oppure a livello del secondo premolare, tra la corticale nasale e quella del seno mascellare. La pianificazione delle miniviti è stata effettuata mediante software digitale di inserimento (Dolphin, modulo tridimensionale; Dolphin Imaging & Management Solutions, Chatsworth, CA, USA).

Le miniviti utilizzate avevano lunghezza compresa tra 9 e 15 mm e diametro di 2 mm (Spider Screw; HDC, Thiene, Italia) (*Figura 8*).

Il file .stl della scansione intraorale è stato sovrapposto alla CBCT iniziale, integrando i dettagli del modello con il profilo dento-scheletrico della CBCT. Sono state realizzate due guide di inserimento mediante stampa 3D (Form 2; Formlabs, Sommerville, MA, USA), ciascuna con 2 sleeve disposte a croce, consentendo l'inserimento di 2 miniviti per guida.

Tutte le miniviti sono state posizionate con una coppia di inserimento compresa tra 15 e 30 Ncm, utilizzando una turbina a bassa velocità. Il protocollo di attivazione prevedeva 2 giri al giorno fino al raggiungimento dell'espansione desiderata. L'apparecchio è rimasto in sede per ulteriori 12 mesi dopo il completamento dell'espansione per tutti i pazienti.

La chirurgia mascellare segmentale consisteva in osteotomie Le Fort I a 3 segmenti. L'approccio chirurgico per l'osteotomia di Le Fort I a 3 segmenti prevede un'incisione mucoperiosteale vestibolare a livello del mascellare superiore, estesa dal canino al secondo molare, con sollevamento del lembo per esporre la corticale mascellare e le strutture anatomiche adiacenti. La prima fase consiste nell'esecuzione dell'osteotomia trasversale sopra l'apice dei denti posteriori, parallelamente al pavimento nasale, prestando attenzione a preservare le radici dentali e la corticale dei seni mascellari. Successivamente, vengono effettuate le osteotomie verticali intersegmentali per separare il segmento anteriore centrale dai segmenti laterali, lungo linee di fusione anatomiche predeterminate in base alla morfologia mascellare e all'analisi CBCT preoperatoria. Durante la dissezione e la mobilizzazione dei segmenti, vengono protetti i nervi infraorbitali, i vasi palatini e le strutture nasali. I segmenti vengono quindi mobilizzati e riposizionati secondo il

piano di trattamento pianificato. La stabilizzazione dei segmenti viene ottenuta mediante placche e viti osteosintetiche, garantendo un corretto allineamento scheletrico e dentale. L'uso di guide chirurgiche e modelli 3D preoperatori consente di aumentare la precisione dell'osteotomia e di ridurre il rischio di complicanze.



Figura 8. Espansore palatale MARPE

2.8 Analisi statistica.

L'analisi statistica è stata eseguita per ciascun gruppo utilizzando il software IBM® SPSS® Statistics Version 29.0.1.0 (171). In primo luogo, è stato applicato il test di Kolmogorov-Smirnov a un campione per valutare la normalità della distribuzione dei dati, seguito da tre T-test per campioni appaiati:

- il primo per confrontare le differenze intra-gruppo pre- e post-intervento.
- il secondo per confrontare le variabili medie tra i due gruppi.
- il terzo per valutare l'entità della differenza media tra le misurazioni dei due gruppi.

È stato considerato significativo un p-value inferiore a 0.05. Il p-value indica la probabilità che le differenze osservate tra i gruppi siano casuali. Se il p-value è inferiore a 0.05, viene considerato significativo, il che suggerisce che esistono differenze statisticamente significative tra almeno due dei gruppi considerati.

Un ulteriore T-test per campioni appaiati è stato effettuato su un sottoinsieme pari al 16% dei pazienti per valutare il coefficiente di correlazione intraclassa (ICC). Tutte le misurazioni sono state ripetute dallo stesso operatore due mesi dopo la prima analisi, al fine di verificarne la riproducibilità.

CAPITOLO 3

RISULTATI

3.1 Caratteristiche demografiche e cliniche del campione.

Gli effetti tridimensionali dell'espansione mascellare su diverse misurazioni craniche sono stati oggetto di analisi nel presente studio. Il campione incluso nell'analisi finale era costituito da 67 pazienti. Le caratteristiche demografiche e cliniche dei gruppi in esame sono riportate nella Tabella 1.

La prima sezione riassume le differenze medie tra le misurazioni effettuate al tempo T0 (pre-espansione) e al tempo T1 (post-espansione), analizzate mediante t-test per campioni appaiati; per ciascuna variabile sono inoltre riportate la deviazione standard, gli intervalli di confidenza al 95% e i corrispondenti valori di p-value (Tabella 3).

Tabella 3. Mean differences between measurements taken at T0 (pre-expansion) and T1 (post-expansion) analysed with paired sample T-test, along with their standard deviation, 95% confidence intervals, and corresponding p-values.

measurements (pre-post)	mean difference	std	95% confidence interval of the difference		p-value
			lower	upper	
4 pieces maxillary surgery					
GP_for_distance	-4,83	3,08	-5,78	-3,88	<0,001
L_GP_axialplane	-0,86	3,26	-1,87	0,14	0,09
L_GP_coronalplane	-5,09	4,17	-6,37	-3,80	<0,001
L_GP_midsagittalplane	-3,16	3,41	-4,21	-2,11	<0,001

L_pir_point_axialplane	1,69	2,79	0,83	2,55	<0,0 01
L_pir_point_coronalplane	-1,46	2,57	-2,26	-0,67	0,001
L_pir_point_midsagittalplane	0,68	2,54	-0,10	1,46	0,086
pir_point_distance	0,80	1,44	0,36	1,25	0,001
R_GP_axialplane	-1,17	3,28	-2,18	-0,16	0,024
R_GP_coronalplane	-3,86	3,33	-4,89	-2,84	<0,0 01
R_GP_midsagittalplane	-1,54	2,65	-2,35	-0,72	<0,0 01
R_pir_point_axialplane	2,28	2,77	1,43	3,14	<0,0 01
R_pir_point_coronalplane	-1,17	2,29	-1,88	-0,47	0,002
R_pir_point_midsagittalplane	0,18	2,47	-0,58	0,94	0,641
MARPE					
GP_for_distance	-3,13	1,85	-3,91	-2,35	<0,0 01
L_GP_axialplane	-0,90	1,18	-1,40	-0,40	<0,0 01
L_GP_coronalplane	-1,09	1,37	-1,67	-0,52	<0,0 01
L_GP_midsagittalplane	-1,04	3,21	-2,39	0,32	0,13
L_pir_point_axialplane	-0,63	1,54	-1,28	0,02	0,06
L_pir_point_coronalplane	-0,95	1,43	-1,55	-0,35	<0,0 01
L_pir_point_midsagittalplane	-1,01	4,67	-2,98	0,96	0,30

pir_point_distance	-3,31	1,99	-4,15	-2,47	<0,001
R_GP_axialplane	-0,81	1,24	-1,34	-0,29	<0,001
R_GP_coronalplane	-0,45	1,78	-1,20	0,31	0,23
R_GP_midsagittalplane	-2,06	3,19	-3,40	-0,71	<0,001
R_pir_point_axialplane	-0,41	1,37	-0,99	0,17	0,15
R_pir_point_coronalplane	-0,68	1,44	-1,29	-0,07	0,03
R_pir_point_midsagittalplane	-2,30	5,25	-4,52	-0,09	0,04

La seconda sezione riassume le differenze medie tra le misurazioni rilevate nel gruppo 1 (chirurgia mascellare in quattro segmenti) e nel gruppo 2 (MARPE), unitamente alla deviazione standard, agli intervalli di confidenza al 95% e ai corrispondenti valori di p-value (*Tabella 4*).

Tabella 4. Mean differences between measurements taken in group 1 (4 pieces maxillary surgery) and the group 2 (MARPE), along with their standard deviation, 95% confidence intervals, and corresponding p-values.

measurements (gr.1-gr.2)	mean difference	std error differences	95% confidence interval of the difference		p-value
			lower	upper	
GP_for_distance_pre	0,60	0,71	-0,83	2,04	0,40
L_GP_axialplane_pre	0,10	0,57	-1,04	1,23	0,87
L_GP_coronalplane_pre	0,60	1,00	-1,39	2,59	0,55
L_GP_midsagittalplane_pre	1,62	1,00	-0,41	3,65	0,11

L_pir_point_axialplane_pre	0,00	0,59	-1,18	1,18	1,00
L_pir_point_coronalplane_pre	2,94	1,27	0,41	5,47	0,02
L_pir_point_midsagittalplane_pre	1,76	1,33	-0,97	4,49	0,20
pir_point_distance_pre	0,38	0,46	-0,53	1,30	0,41
R_GP_axialplane_pre	0,20	0,60	-1,00	1,40	0,74
R_GP_coronalplane_pre	0,80	1,08	-1,35	2,95	0,46
R_GP_midsagittalplane_pre	-0,98	0,94	-2,88	0,92	0,30
R_pir_point_axialplane_pre	0,01	0,56	-1,10	1,13	0,98
R_pir_point_coronalplane_pre	2,67	1,27	0,14	5,20	0,04
R_pir_point_midsagittalplane_pre	-1,93	1,25	-4,49	0,64	0,14
GP_for_distance_post	2,30	0,96	0,37	4,23	0,02
L_GP_axialplane_post	0,06	0,76	-1,47	1,58	0,94
L_GP_coronalplane_post	4,59	1,12	2,37	6,82	<0,001
L_GP_midsagittalplane_post	3,74	0,91	1,93	5,55	<0,001
L_pir_point_axialplane_post	-2,32	0,79	-3,91	-0,74	<0,001
L_pir_point_coronalplane_post	3,46	1,25	0,96	5,95	0,01
L_pir_point_midsagittalplane_post	0,07	1,02	-2,03	2,16	0,95
pir_point_distance_post	-3,73	0,59	-4,91	-2,55	<0,001

R_GP_axialplane_post	0,55	0,73	-0,90	2,01	0,45
R_GP_coronalplane_post	4,22	1,18	1,86	6,58	<0,001
R_GP_midsagittalplane_post	-1,50	0,82	-3,13	0,13	0,07
R_pir_point_axialplane_post	-2,68	0,68	-4,05	-1,32	<0,001
R_pir_point_coronalplane_post	3,16	1,15	0,86	5,46	0,01
R_pir_point_midsagittalplane_post	-4,41	1,26	-7,00	-1,81	<0,001

La terza sezione riassume l'entità della differenza media tra le misurazioni dei due gruppi (*Tabella 5*).

Tabella 5. Summarizes the magnitude of the mean difference between the measurements of the two groups.

measurements (dif.gr1-gr2))	mean difference	std error differences	95% confidence interval of the difference		p-value
			lower	upper	
dif_GP_for_distance	1,70	0,60	0,49	2,90	0,01
dif_L_GP_axialplane	-0,04	0,55	-1,15	1,07	0,94
dif_L_GP_coronalplane	3,99	0,69	2,60	5,39	<0,001
dif_L_GP_midsagittalplane	2,12	0,85	0,42	3,82	0,02
dif_L_pir_point_axialplane	-2,32	0,53	-3,38	-1,27	<0,001

dif_L_pir_point_coronalplane	0,51	0,49	-0,46	1,49	0,30
dif_L_pir_point_midsagittalplane	-1,69	1,03	-3,79	0,41	0,11
dif_pir_point_distance	-4,11	0,46	-5,05	-3,17	<0,001
dif_R_GP_axialplane	0,36	0,56	-0,76	1,48	0,53
dif_R_GP_coronalplane	3,42	0,62	2,17	4,67	<0,001
dif_R_GP_midsagittalplane	-0,52	0,73	-1,97	0,93	0,48
dif_R_pir_point_axialplane	-2,70	0,51	-3,71	-1,68	<0,001
dif_R_point_coronalplane	0,49	0,46	-0,42	1,40	0,29
dif_R_point_midsagittalplane	-2,48	1,13	-4,80	-0,16	0,04

3.2 Analisi inter-gruppo.

3.2.1 Risultati nel gruppo 4-piece maxillary surgery.

Nel gruppo sottoposto a chirurgia mascellare in quattro segmenti, la porzione posteriore del mascellare ha mostrato un rilevante incremento sul piano trasversale; in particolare, la distanza tra i forami palatini maggiori ha evidenziato un aumento medio di 4,83 mm (DS 3,08; IC 95% [-5,78; -3,88]; $p<0,001$). Questo incremento medio è statisticamente assoggettabile ad un maggiore spostamento del forame palatino maggiore di sinistra, rispetto a quello di destra, dal piano sagittale.

Inoltre, un ulteriore movimento significativo del mascellare posteriore è quello rispetto al piano coronale; Come evidenziato dai dati riportati in Tabella 3, per il forame palatino maggiore sinistro si osserva un aumento medio della distanza di 5,09 mm (DS 4,17; IC 95% [-6,37; -3,80]; $p<0,001$), mentre per il forame controlaterale destro l'incremento medio è pari a 3,86 mm (DS 3,33; IC 95% [-4,89; -2,84]; $p<0,001$).

L'unico spostamento significativo del mascellare anteriore, non evidenziabile posteriormente, risulta quello rispetto al piano assiale. Si osserva, infatti, uno

spostamento verso l'alto dell'apertura piriforme di destra di 2,28 mm (DS 2,77; IC 95% [1,43;-3,14]; $p<0,001$) e di sinistra di 1,69 mm (DS 1,69; IC 95% [0,83; 2,55]; $p<0,001$).

3.2.2 Risultati nel gruppo MARPE.

Il trattamento di espansione tramite MARPE ha evidenziato alcune differenze scheletriche tra la fase pre- e post-trattamento.

L'incremento medio della dimensione trasversale posteriore è risultato pari a 3,13 mm (DS 1,85; IC 95% [-3,91; -2,35]; $p<0,001$); tuttavia, la significatività statistica è stata riscontrata esclusivamente per l'aumento della distanza del forame palatino maggiore destro dal piano sagittale (2,06 mm; DS 3,19; IC 95% [-3,40; -0,71]; $p<0,001$). Anche a livello anteriore si è osservato un incremento medio dell'apertura piriforme pari a 3,31 mm (DS 1,99; IC 95% [-4,15; -2,47]; $p<0,001$).

Entrambe le porzioni destra e sinistra del mascellare mostrano uno spostamento anteriore rispetto al piano coronale : dai risultati osservati in tabella, si osserva un maggiore spostamento significativo dell'emimascella sinistra, con valori di 1,09 mm (DS 1,37; IC 95% [-1,67; -0,52]; $p<0,001$) per la mascella posteriore e di 0,95 mm (DS 1,43; IC 95% [-1,55; -0,35]; $p<0,001$) per la mascella anteriore.

Inoltre, l'intero palato duro mostra uno spostamento verso il basso, a differenza della porzione anteriore del mascellare, i cui movimenti in senso caudale non risultano statisticamente significativi.

3.3 Analisi inter-gruppo.

La seconda sezione riassume le differenze medie tra le misurazioni effettuate nel gruppo 1 (4 pieces maxillary surgery) e nel gruppo 2 (MARPE), insieme alle rispettive deviazioni standard, agli intervalli di confidenza al 95% e ai relativi valori di p-value (Tabella 4).

I risultati mostrano che non vi sono differenze statisticamente significative tra i due gruppi nella fase pre-trattamento, questo è importante in quanto ci permette di comparare i due campioni in oggetto.

Nella fase post-trattamento, i risultati evidenziano che la dimensione trasversale del mascellare posteriore aumenta maggiormente nel trattamento chirurgico rispetto alla MARPE, in virtù dell'incremento significativo della distanza media tra il forame palatino maggiore sinistro e il piano sagittale mediano nella chirurgia mascellare in quattro segmenti (3,74 mm; DS 0,91; IC 95% [1,93; 5,55]; $p < 0,001$). Al contrario, anteriormente, si osserva un maggiore incremento trasversale nel gruppo MARPE pari a 3,73 mm (DS 0,59; IC 95% [-4,91; -2,55]; $p < 0,001$), attribuibile principalmente all'aumento della distanza tra il punto piriforme destro e il piano sagittale mediano (4,41 mm; DS 1,26; IC 95% [-7; -1,81]; $p < 0,001$).

Per quanto riguarda lo spostamento rispetto al piano coronale, sia la porzione anteriore che quella posteriore del mascellare mostrano uno spostamento in avanti più marcato e statisticamente significativo nel gruppo chirurgico rispetto alla MARPE; situazione opposta si osserva nel movimento del mascellare rispetto al piano assiale: il movimento verso il basso del mascellare anteriore risulta più significativo nel gruppo MARPE rispetto al gruppo chirurgico.

3.4 Valutazione dell'entità della differenza media tra le misurazioni dei due gruppi.

La terza sezione riassume l'entità della differenza media tra le misurazioni dei due gruppi (*Tabella 5*).

La differenza media tra i due gruppi risulta statisticamente significativa per quanto riguarda lo spostamento in avanti del mascellare posteriore, che appare più marcato nella chirurgia mascellare in quattro segmenti.

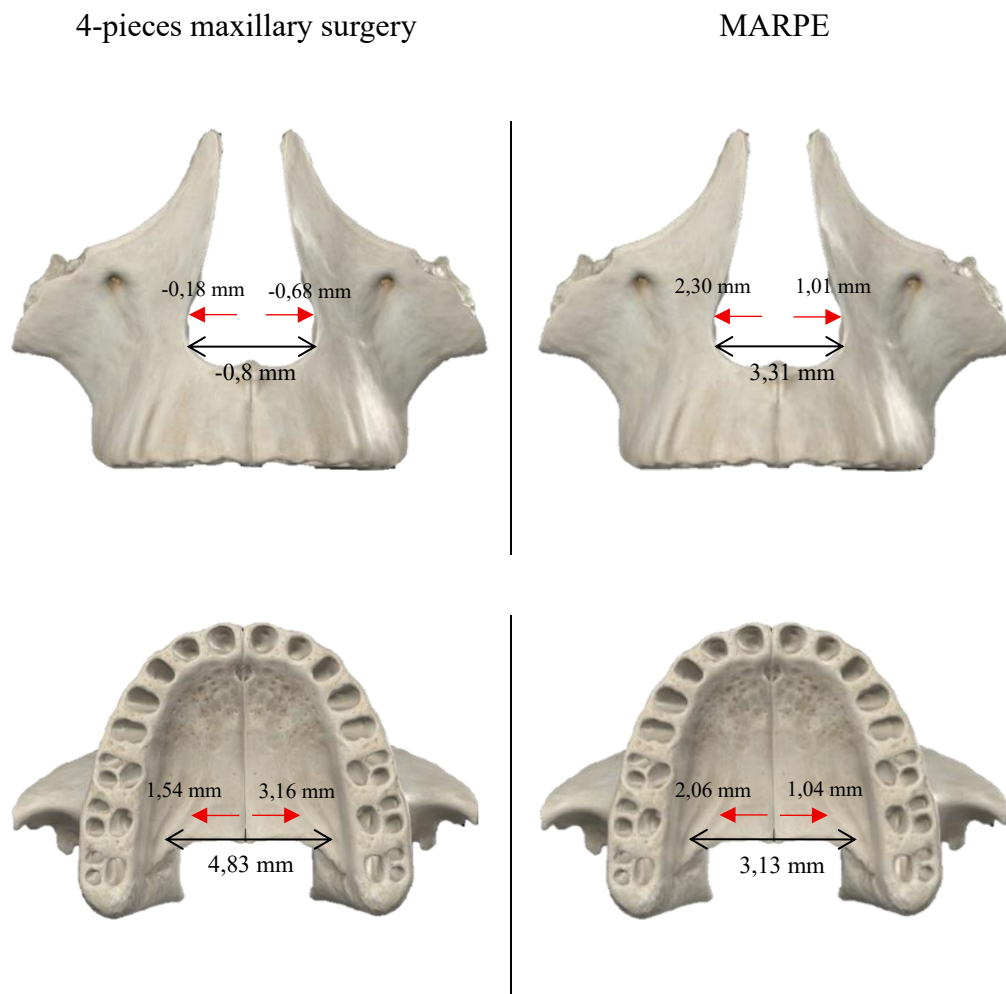
Lo spostamento del mascellare posteriore, rispetto al piano assiale, non risulta significativo nel confronto tra i due gruppi, al contrario di quello anteriore in cui si osserva una maggiore variazione nel gruppo chirurgico.

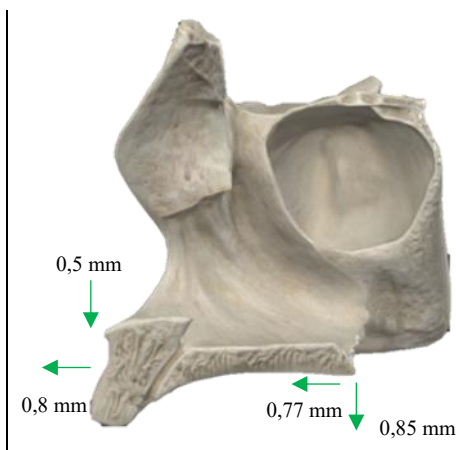
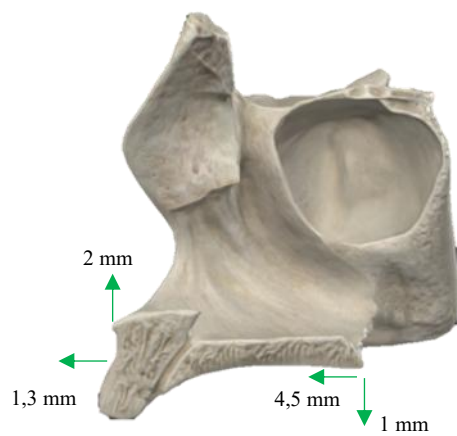
3.5 Affidabilità delle misurazioni (Interclass Correlation Coefficient).

L'ICC per tutti i dati pre-trattamento è superiore a 0,9, indicando un'eccellente affidabilità tra gli osservatori. Analogamente, nei dati post-trattamento l'ICC risulta superiore a 0,9, ad eccezione di quattro misurazioni, nelle quali il valore dell'ICC è compreso tra 0,75 e 0,9: L_pir_point_axialplane_post [0,874; IC 95% (0,492; 0,969)], L_pir_point_midsagittalplane_post [0,877; IC 95% (0,506; 0,970)], R_GP_midsagittalplane_post [0,817; IC 95% (0,264; 0,955)] e R_pir_point_axialplane_post [0,848; IC 95% (0,388; 0,962)].

La misurazione di questi ultimi dati non è stata ripetuta.

3.6 Sintesi numerica dei risultati e rappresentazioni grafiche.





CAPITOLO 4

DISCUSSIONE

Il presente studio retrospettivo è stato progettato per confrontare le modificazioni dei tessuti duri associate a due differenti modalità di espansione mascellare: l'espansione rapida del palato assistita da mini-viti (Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion, MARPE) e la chirurgia mascellare segmentata in quattro parti, mediante l'analisi di esami CBCT disponibili.

La rilevanza clinica di tali risultati risiede nelle loro implicazioni per la pianificazione terapeutica e la prevedibilità degli esiti del trattamento. Sebbene le due modalità di espansione determinino effetti scheletrici distinti, le evidenze attualmente disponibili indicano che la scelta terapeutica non dovrebbe essere basata esclusivamente sulle caratteristiche biomeccaniche della procedura. Al contrario, essa dovrebbe essere guidata da fattori specifici del paziente, quali l'età cronologica, il grado di maturazione scheletrica e la severità della discrepanza trasversale mascellare. Tali variabili rivestono un ruolo determinante nel modulare la risposta biologica alle forze espansive e, di conseguenza, nell'individuare l'approccio terapeutico più appropriato e prevedibile.

In assenza di differenze statisticamente significative al baseline, a conferma della comparabilità delle caratteristiche mascellari e dento-alveolari tra i gruppi prima dell'intervento, i risultati indicano che ciascuna modalità terapeutica determina modificazioni specifiche e peculiari della morfologia cranio-facciale.

Per quanto riguarda l'espansione trasversale del mascellare nel settore posteriore, non sono state riscontrate differenze statisticamente o clinicamente significative tra i gruppi. Tuttavia, l'entità dell'espansione posteriore è risultata maggiore nel gruppo sottoposto a chirurgia segmentata in quattro parti (4,83 mm) rispetto al gruppo trattato con MARPE (3,13 mm). Nella chirurgia segmentata, infatti, le osteotomie riducono o eliminano gran parte delle resistenze scheletriche del complesso cranio-facciale, consentendo una mobilitazione più libera dei segmenti ossei e permettendo di ottenere un'espansione trasversale più ampia.

Al contrario, nel trattamento con MARPE l'espansione dipende dalla capacità delle forze ortopediche di vincere le resistenze suturali e circum-mascellari residue. Nonostante l'utilizzo di mini-viti favorisca una trasmissione più diretta delle forze allo scheletro rispetto agli espansori convenzionali, una quota della risposta rimane influenzata dalla maturità scheletrica del paziente e dalla resistenza delle strutture anatomiche circostanti. Di conseguenza, il maggiore incremento trasversale osservato nel gruppo chirurgico appare coerente con il meccanismo d'azione della procedura e con la maggiore prevedibilità dell'espansione ottenibile mediante segmentazione chirurgica del mascellare.

Valori di espansione trasversale di entità analoga sono stati riportati anche in uno studio condotto su 18 scansioni CBCT di pazienti adulti sottoposti a trattamento mediante MARPE. (Siddhisaributr P, 2022)

Al contrario, nell'analisi delle variazioni della larghezza dell'apertura piriforme è stata evidenziata una differenza intergruppo statisticamente significativa nel periodo post-trattamento. Il parametro ha mostrato un andamento divergente tra i due gruppi: nel gruppo chirurgico è stata osservata una lieve riduzione, non statisticamente significativa ($-0,8$ mm), mentre nel gruppo trattato con MARPE si è registrato un incremento pari a $3,13$ mm.

Tali differenze suggeriscono che l'espansione mascellare nel gruppo MARPE abbia determinato un pattern di espansione più simmetrico rispetto al gruppo sottoposto a chirurgia assistita. Risultati analoghi sono stati riportati in letteratura, sebbene in associazione a differenti protocolli chirurgici. (Cibele Braga de Oliveira, 2021)

Le differenti modalità di espansione trasversale mascellare osservate tra MARPE ed espansione chirurgicamente assistita possono essere attribuite a fattori biomeccanici e anatomici. La MARPE, basandosi su un ancoraggio scheletrico, consente una trasmissione più diretta delle forze a livello della sutura palatina mediana, favorendo un'espansione scheletrica più controllata e omogenea. Tale meccanismo potrebbe giustificare la maggiore simmetria della risposta trasversale, inclusa una più uniforme espansione dell'apertura piriforme. (Annarumma F, 2021)

Al contrario, l'espansione chirurgicamente assistita modifica le resistenze del massiccio facciale medio mediante osteotomie; tuttavia, il pattern di spostamento risultante è fortemente influenzato dal tipo e dall'estensione delle osteotomie eseguite, nonché dalla ridistribuzione delle sollecitazioni a livello delle suture cranio-facciali adiacenti. (Gürsu M, 2025) Inoltre, la differenza nell'età media tra i due gruppi potrebbe aver influenzato la qualità ossea, il grado di maturazione suturale e la risposta biologica alle forze espansive, contribuendo così alle differenze osservate tra le due modalità terapeutiche. (Sicca N, 2025)

Considerando lo spostamento mascellare rispetto al piano coronale, sono state riscontrate differenze statisticamente significative esclusivamente a livello dello spostamento posteriore del mascellare. Tuttavia, in entrambi i gruppi è stato osservato anche uno spostamento anteriore di circa 1 mm.

Posteriormente, il gruppo sottoposto a espansione chirurgicamente assistita ha mostrato un incremento significativamente maggiore dello spostamento anteriore medio (4,5 mm), verosimilmente attribuibile alla liberazione chirurgica delle resistenze scheletriche del massiccio facciale medio mediante osteotomie, che consente una risposta scheletrica meno vincolata alle forze espansive. Al contrario, la MARPE si basa sulla separazione suturale mantenendo intatti i pilastri di resistenza cranio-facciali adiacenti, determinando un pattern di spostamento più controllato e una minore traslazione globale. (Lin JH W. G., 2025)

Considerando lo spostamento mascellare rispetto al piano assiale, si osservano due distinti pattern anteriori: nel gruppo sottoposto a espansione chirurgicamente assistita, il mascellare anteriore presenta uno spostamento medio superiore di circa 2 mm, mentre nel gruppo MARPE esso rimane sostanzialmente stabile, senza variazioni verticali clinicamente rilevanti.

Tale differenza nella risposta verticale anteriore è stata riportata anche in altri studi (Lin JH W. S., 2023) e potrebbe essere spiegata dalle differenze biomeccaniche tra le due modalità di espansione. Nell'espansione chirurgicamente assistita, la riduzione delle resistenze scheletriche del massiccio facciale medio mediante osteotomie consente una minore vincolazione dei segmenti ossei, favorendo uno spostamento tridimensionale più libero del mascellare, inclusa una componente

verticale verosimilmente correlata alla modificazione del centro di resistenza e a fenomeni rotazionali. Al contrario, la MARPE preserva i pilastri di resistenza cranio-facciali e si basa principalmente sulla separazione suturale, determinando un'espansione scheletrica più controllata e prevalentemente trasversale, con minime modificazioni verticali del mascellare anteriore.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte, i movimenti mascellari tridimensionali risultano differenti tra le due modalità terapeutiche. Nella MARPE, il complesso mascellare mostra un'espansione prevalentemente trasversale, controllata e relativamente simmetrica, con minimi spostamenti sagittali e variazioni verticali trascurabili. Tale configurazione riflette una risposta tridimensionale vincolata, principalmente guidata dalla separazione della sutura palatina mediana, con preservazione delle strutture di resistenza cranio-facciali e limitata modificazione del centro di resistenza.

Al contrario, l'espansione chirurgicamente assistita determina una mobilitazione più libera del segmento mascellare, conseguente alla riduzione delle resistenze scheletriche del massiccio facciale medio mediante osteotomie. Ne deriva un pattern di dislocamento tridimensionale più complesso, caratterizzato da una maggiore espansione trasversale posteriore, traslazione anteriore del complesso mascellare e una componente verticale clinicamente rilevante, in particolare a livello anteriore. Tali movimenti sono frequentemente associati a componenti rotazionali, verosimilmente correlate a uno spostamento del centro di resistenza e a una ridistribuzione delle forze espansive a livello del massiccio cranio-facciale.

Il presente studio presenta inoltre alcune limitazioni metodologiche che devono essere considerate nell'interpretazione dei risultati. Una criticità principale è rappresentata dalla mancata piena comparabilità basale tra i due gruppi, in particolare in termini di età e maturità scheletrica, che costituiscono importanti fattori confondenti, noti per influenzare la risposta all'espansione mascellare. Inoltre, i due gruppi derivano da istituzioni differenti, condizione che può aver introdotto variabilità nei criteri di selezione dei pazienti, nei protocolli terapeutici e nella complessità dei casi, aumentando il rischio di bias di selezione.

Ulteriori limitazioni sono legate all'eterogeneità metodologica, incluse differenze nei protocolli di acquisizione ed elaborazione delle immagini, che possono influenzare la consistenza e l'affidabilità delle misurazioni. In tale contesto, va inoltre sottolineato come la letteratura evidenzi una generale mancanza di standardizzazione nella valutazione scheletrica mediante CBCT, con utilizzo non uniforme dei punti di repere anatomici tra i diversi studi. Ciò sottolinea la necessità di un protocollo metodologico condiviso nella ricerca sull'espansione mascellare, al fine di migliorare la comparabilità tra studi.

Infine, il disegno retrospettivo e l'assenza di una completa armonizzazione metodologica tra i dataset limitano la forza delle inferenze causali e riducono la generalizzabilità complessiva dei risultati.

CAPITOLO 5

CONCLUSIONI

Il presente studio ha confrontato gli effetti scheletrici tridimensionali della chirurgia mascellare segmentata in quattro parti e della MARPE in pazienti adulti con discrepanza trasversale del mascellare. Entrambe le metodiche si sono dimostrate efficaci nel produrre un'espansione scheletrica, ma attraverso pattern di movimento differenti.

La MARPE ha mostrato una risposta prevalentemente trasversale, caratterizzata da una maggiore simmetria e da limitate modificazioni sagittali e verticali. Al contrario, la chirurgia segmentata ha determinato una mobilitazione più ampia del complesso mascellare, associata non solo all'espansione trasversale, ma anche a significativi spostamenti nei piani sagittale e verticale.

Questi risultati suggeriscono che le differenze osservate siano strettamente correlate ai differenti meccanismi biomeccanici delle due procedure: la MARPE agisce principalmente mediante separazione suturale, mentre la chirurgia segmentata riduce le resistenze scheletriche consentendo una maggiore libertà di movimento dei segmenti ossei.

Dal punto di vista clinico, i risultati confermano che la scelta terapeutica dovrebbe essere guidata dalle caratteristiche del paziente e dagli obiettivi del trattamento, piuttosto che dalla sola capacità espansiva delle due metodiche. Tuttavia, le limitazioni metodologiche del presente studio impongono cautela nell'interpretazione dei risultati e sottolineano la necessità di ulteriori studi prospettici e standardizzati per confermare le evidenze emerse.

Bibliografia

- A., M. J. (2000). Maxillary transverse deficiency. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 367-570.
- A.Silvestri, D. V. (2012). Analisi dello spazio in ortognatodonzia : evoluzione di pensiero con l'evoluzione delle tecniche. In *Mondo Ortodontico* (p. 108-122).
- Akyalcin S, M. K. (2017). Smile esthetics : Evaluation of long term changes in the transverse dimension. *Korean J Orthod*.
- Angelieri F, C. L. (2013). Midpalatal suture maturation : classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*.
- Annarumma F, P. M.-B. (2021). Skeletal and dental changes after maxillary expansion with a bone-borne appliance in young and late adolescent patients. . *Am J Orthod dentofacial orthop*.
- AR., T. C. (2012). *Oral Histology : development, structure and function 9th ed.* Elsevier.
- Audrey Yoon, J. P. (2022). A retrospective analysis of the complications associated with miniscrew-assisted rapid palatal expansion. *AJO-DO Clinical Companion Volume 2*, 423-430.
- Bazzani M, C. L.-B. (2023). Three-dimensional comparison of bone-borne and tooth bone born maxillary expansion in young adults with maxillary skeletal deficiency. *Orthod Craniofac Res*.
- Bilgic F, G. I. (2015). Malocclusion prevalence and othodontic treatment need in central Anatolian adolescents compared to European and other nations' adolescents. *Dental Press J Orthod*.
- Bishara SE, S. R. (1987). Maxillary expansion : clinical implications. *Am J orthod Dentofacial Orthop*.
- Borzabadi-Farahani A, B.-F. A. (2010). An investigation into the association between facial profile and maxillary incisor trauma, a clinical non-radiographic study. . *Dent Traumatol*.
- Brunelle JA, B. M. (1996). Prevalence and distribution of selected occlusal characteristics in the US population, 1988-1991. *J Dent Res*.
- Cannavale R, C. P. (Orthod Craniofac Res). *Rapid palatal expansion (RPE): Meta-analysis of long-term effects*. . 2018.
- Cassidy KM, H. E. (1998). Genetic influence on dental arch form in orthodontic patients. *Angle Orthodontic*, 445-454.

- Chamberland S, P. W. (2011). Short-term and long-term stability of surgically assisted rapid palatal expansion revisited. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*.
- Chamberland S, P. W. (2011). Short-term and long-term stability of surgically assisted rapid palatal expansion revisited. . *Am J Orthod Dentofacial Orthop*.
- Chen Z, G. R. (2025). Transverse analysis of maxillary transverse deficiency and sagittal skeletal patterns : a cone-beam computed tomography study. *American Journal orthod Dentofacial Orthop*, 317-326.
- Chokanacka K, M. M. (2025). Genomic architecture of skeletal malocclusion : implications for precision orthodontics. *Gene rep*.
- Cibele Braga de Oliveira, P. A.-P. (2021). Microimplant assisted rapid palatal expansion vs surgically assisted rapid palatal expansion for maxillary transverse discrepancy treatment. *American Journal of Orthodontics and dentofacial Orthopedics*, volume 159.
- Copello FM, B. D. (2021). Miniscrew-assisted rapid palatal expansion (MARPE): how to achieve greater stability. In vitro study. . *Dental Press J Orthod*.
- Cozza P, B. T. (2006). Mandibular changes produced by functional appliances in Class II malocclusion: a systematic review. . *Am J Orthod Dentofacial Orthop*.
- Dalband M, K. J. (2015). Three-Dimensional Finite Element Analysis of Stress Distribution and Displacement of the Maxilla Following Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion with Tooth- and Bone-Borne Devices. . *J Dent (Tehran)*.
- espansione-palato-miniviti-inserzione-diretta*. (s.d.). Tratto da dental journal: <https://www.dentaljournal.it/espansione-palato-miniviti-inserzione-diretta/>
- Feng Z, S. M. (2023). Evolution, current status, and future trends of maxillary skeletal expansion: a bibliometric analysis. . *Clin Oral Investig*.
- Festila D, E. A. (Feb 2022). Testing the Accuracy of Pont's Index in Diagnosing Maxillary Transverse Discrepancy as Compared to the University of Pennsylvania CBCT Analysis. *Dent J (Basel)*.
- Frenna B, G. R. (2026). Diagnostic Assessment of Periodontal and Dentoalveolar Complications Following Mini-Screw-Assisted Rapid Palatal Expansion in Adults and Late Adolescents: A Systematic review. *Diagnostic (Basel)*.
- García, M. (2021). Negative maxillary transverse discrepancy and cephalometric lateral. *revista cubana de estomatologia*, 58-64.
- Garib DG, P. S. (2009). Increased occurrence of dental anomalies associated with second premolar agenesis. *Angle orthod*.

- Glendor U, K. B. (2000). Risk evaluation and type of treatment of multiple dental trauma episodes to permanent teeth. . *Endod Dent Traumatol*.
- Goncalves FM, T. K. (2023). Association between atypical swallowing and malocclusion : a systematic review. *Dental press J orthod*.
- Gonzálvez Moreno AM, G. D. (2022). Cone Beam Computed Tomography evaluation of midpalatal suture maturation according to age and sex : a systematic review. *Eur J Paediatr dent*.
- Grammatopoulos E, W. A. (2012). Effects of playing a wind instrument on the occlusion. *American journal of orthodontic and dentofacial ortop*.
- Gürsu M, Ş. M. (2025). Stress and Displacement Dynamics in Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: A Comprehensive Finite Element Analysis of Various Osteotomy Techniques. . *J Clin Med*.
- Hamedí Sangsari A, S.-E. P.-D. (2016). Surgically Assisted Rapid Palatomaxillary Expansion With or Without Pterygomaxillary Disjunction: A Systematic Review and Meta-Analysis. . *J Oral Maxillofac Surg*.
- Harvold EP, T. B. (1981). Primate experiments on oral respiration. *Am J Orthod*.
- JM., N. (2012). Cone beam computed tomography use in orthodontics. *Aust Dent J*.
- Joondeph DR, R. R. (1970). Pont's index : a clinical evaluation. *Angle Orthodontics*.
- Kapetanović A, T. C. (2021). Efficacy of Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE) in late adolescents and adults: a systematic review and meta-analysis. . *Eur J Orthod*.
- Kılıç N, Y. Ö. (2021). AN alternative treatment approach for patients with resistant otitis media with effusion and dysfunctional Eustachian tube. *Angle of Orthodontist*.
- Kong-Zárate CY, C. M. (2017). Distances between mandibular posterior teeth and the WALA ridge in Peruvians with normal occlusion. . *Dental Press J Orthod*.
- L.Vanarsdall, R. (1999). Transverse Dimension and long-term stability. In *Seminars in orthodontics* (p. volume 5).
- Lin JH, W. G. (2025). Relationship between buccal osteotomy angulation and asymmetric expansion in surgically assisted rapid palatal expansion: a finite element analysis. *Angle Orthod*.
- Lin JH, W. S. (2023). Sagittal and Vertical Changes of the Maxilla after Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*.

- Lisa J. Koenig, D. T. (14 novembre 2023). *Diagnostic Imaging Oral and Maxillofacial*. Elsevier.
- Ludwig B., G. B. (Aug 2011). Anatomical Guidelines for Miniscrew Insertion: Palatal Sites. *JCO*.
- Mehta P, S. A. (2025). Effect of customized 3D-printed MARPE appliance on hard tissues, soft tissues, and airway: A prospective CBCT study. . *J World Fed Orthod*.
- Moore T, S. K. (2025). Buccal corridors and smile esthetics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*.
- Moss ML, S. L. (1969). The primary role of functional matrices in facial growth. *Am J orthod*, 566-577.
- Motamedi., M. H. (2016). *A Textbook of Advanced Oral and Maxillofacial Surgery Volume 3*. In Tech.
- O'Brien K, W. J. (2009). Early treatment for class II division 1 malocclusion with the Twin block appliance : a multi-center, randomized, controlled trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*.
- O'Brien K, W. J.-H. (2003). Effectiveness of early orthodontic treatment with the twin block appliance : a multicenter, randomized controlled trial, part1 : dental and skeletal effects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*.
- Papageorgiou SN, Z. I. (2012). Failure rates and associated risk factors of orthodontic miniscrew implants: a meta-analysis. . *Am J Orthod Dentofacial Orthop*.
- Park JJ, P. Y. (2017). Skeletal and dentoalveolar changes after miniscrew-assisted rapid palatal expansion in young adults: A cone-beam computed tomography study. . *Korean J Orthod*.
- Proffit WR, F. H. (1998). Prevalence of Malocclusion and orthodontic treatment need in the United States : estimates from the MHANES III survey. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg.*, 97-106.
- Proffit WR, F. H. (2019). *Contemporary Orthodontics*. Edra.
- Sameer Al-Obaidi, S. N. (2025). Influence of genetic and environmental factors of transverse growth. *European Journal of orthodontics*, Volume 47.
- Sicca N, B. G. (2025). Comparison of Side Effects Between Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE) and Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion (SARPE) in Adult Patients: A Scoping review. *Dent J (Basel)*.
- Siddhisaributr P, K. K. (2022). Effectiveness of miniscrew assisted rapid palatal expansion using cone beam computed tomography: A systematic review and meta-analysis. . *Korean J Orthod*.

- Singh H, M. R. (2021). Effects of maxillary expansion on hearing and voice function in non cleft lip palate and cleft lip palate patient with transverse maxillary deficiency : a multicentric randomize controlled trial. *Braz J otorhinolaryngol*.
- Titus S, L. B. (2021). Midpalatal suture density ratio: Assessing the predictive power of a novel predictor of skeletal response to maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*.
- Wagner DM, C. C. (2025). Transverse growth of the maxilla and mandible in untreated girls with low, average, and high MP-SN angles : a longitudinal study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 716-723.
- Wang Y, Q. Y. (2017). Quantitative evaluation of palatal bone thickness for the placement of orthodontic miniscrews in adults with different facial types. *Saudi Med J*.
- Woodside DG, L.-A. S. (1991). Mandibular and maxillary growth after changed mode of breathing. *A J Orthod Dentofacial Orthop*.
- Zeng, W. Y. (2023). Long-term efficacy and stability of miniscrew-assisted rapid palatal expansion in mid to late adolescents and adults: a systematic review and meta-analysis. . *BMC Oral Health*.