



Università degli Studi di Genova
FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA
Dipartimento Di Medicina Interna e Specialita' Mediche (DIMI)

DOTTORATO DI RICERCA IN EMATO ONCOLOGIA E
MEDICINA INTERNA CLINICO - TRASLAZIONALE
XXXVIII CICLO

Curriculum: Malattie dell'Apparato Digerente e del Fegato

Tesi di Dottorato di Ricerca

Valutazione degli effetti scheletrici e dentali determinati da
differenti dispositivi di espansione mascellare in età evolutiva:
Studio multicentrico randomizzato

Candidata: Dott.ssa Francesca Silvestrini Biavati

Tutor: Prof. Alessandro Ugolini

Co-Tutor: Prof. ssa Maria Menini

Coordinatore del Corso di Dottorato: Prof. Alessio Nencioni

Anno Accademico 2024 - 2025

INDICE

Introduzione	1
Capitolo 1 - Anatomia e Crescita delle ossa mascellari	5
Capitolo 2 - Occlusione e Malocclusione	30
Capitolo 3 - Diagnosi del deficit trasversale del mascellare superiore	34
Capitolo 4 - Terapia del deficit trasversale del mascellare superiore.....	51
Capitolo 5 - Revisione della letteratura.....	78
Capitolo 6 - Scopo dello studio.....	90
Capitolo 7 - Materiali e Metodi	91
Capitolo 8 - Risultati.....	103
Capitolo 9 - Discussione dei risultati.....	117
Capitolo 10 - Conclusioni	124
Bibliografia	126

INTRODUZIONE

Il deficit trasversale del mascellare superiore rappresenta una delle condizioni cliniche più frequentemente riscontrate in ambito ortodontico ed è oggetto di continuo approfondimento scientifico [Leonardi et al, 2018; Da Silva Filho et al, 2007].

La riduzione della dimensione trasversale del mascellare superiore, riconducibile ad eziologie dentali, scheletriche o neuromuscolari e frequentemente associata ad abitudini viziate quali respirazione orale, deglutizione atipica o abitudini di succhiamento (ciuccio o dito), è spesso correlata alla comparsa di un morso incrociato posteriore mono o bilaterale, eventualmente accompagnato da uno shift mandibolare verso il lato interessato dal crossbite [Tsanidis et al, 2016]. Tale quadro clinico costituisce una delle malocclusioni più comuni in dentatura mista, con una prevalenza compresa tra il 7% e il 23% [Lombardo et al, 2020; Leonardi et al, 2018; Da Silva Filho et al, 2007], e richiede un trattamento tempestivo al fine di ristabilire al più presto rapporti trasversali fisiologici ed ottimali tra le arcate e prevenire la trasformazione di iniziali asimmetrie posizionali in asimmetrie scheletriche ed in alterazioni funzionali durante la crescita del soggetto [Oliva et al, 2020; Bukhari et al, 2018; Iodice et al, 2016].

Numerosi studi in letteratura evidenziano la rilevanza di una diagnosi ed un intervento precoce, in particolare tramite espansione palatale, per la correzione dell'ipoplasia mascellare e la risoluzione del morso crociato posteriore [Kennedy e Osepchook, 2005; Kurol e Berglund, 1992] associati, se necessario, al trattamento delle abitudini orali non nutritive [Borrie et al, 2015; Warren e Bishara, 2002] e all'eliminazione delle interferenze occlusali [Thilander et al, 1984].

Sono stati proposti molteplici dispositivi ortodontici e diversi protocolli terapeutici per la gestione del morso crociato posteriore e del deficit trasversale del mascellare; nel complesso, tali metodiche hanno dimostrato adeguati livelli di efficacia ed efficienza clinica, rendendole soluzioni ampiamente adottate nella pratica ortodontica [Bazargani et al, 2025].

In particolare, numerose revisioni sistematiche della letteratura hanno confermato che l'Espansione Rapida del Mascellare (RME) costituisce una procedura terapeutica ormai consolidata per la correzione delle discrepanze trasversali del mascellare superiore. Tale metodica esercita forze ortopediche a livello della sutura palatina mediana, inducendone

un'apertura fisiologica e determinando la separazione dei due emimascellari [Ugolini et al, 2021; Oliva et al, 2020].

Attualmente sono disponibili numerosi dispositivi per il trattamento della contrazione mascellare, differenti per caratteristiche tecniche e biomeccaniche, per l'entità dell'espansione ottenibile e per la natura delle modificazioni indotte, che possono essere ortopediche, ortodontiche o di tipo combinato. Nonostante tali differenze, tutti gli apparecchi condividono l'obiettivo comune di espandere il palato, ristabilire lo spazio necessario all'allineamento delle arcate dentarie e correggere le problematiche funzionali correlate.

Questi dispositivi esercitano forze orientate in senso vestibolare sui denti di ancoraggio, generando risposte morfologiche a carico dei mascellari che variano in funzione di diversi fattori: età del paziente (fase di crescita rispetto a età post-puberale), tipologia di forza applicata (ortodontica, di entità lieve, rispetto a ortopedica, di maggiore intensità) e modalità di applicazione della forza stessa (continua, discontinua o intermittente).

Tra i dispositivi maggiormente riportati in letteratura rientrano gli apparecchi rimovibili tradizionali, gli espansori rapidi del mascellare di tipo Hyrax (a 2 o 4 bande), gli espansori di Haas (anch'essi disponibili a 2 o 4 bande), il Quad-Helix, gli espansori attivati mediante viti a memoria di forma, il Leaf Expander®, gli espansori a ventaglio, oltre agli espansori dento-ossei (Tooth-Bone-Borne RME o TBB-RME) e a quelli completamente a supporto osseo (Bone Borne RME o BB- RME).

I dispositivi dotati di una vite di espansione possono essere attivati secondo protocolli di espansione rapida, semi-rapida o lenta, modulando la frequenza delle attivazioni [Martina et al, 2012] e, in aggiunta, prevedendo l'utilizzo di forze di tipo continuo o costante.

Una revisione sistematica di studi randomizzati controllati evidenzia che i tassi di successo variano in modo significativo in relazione alla tipologia di dispositivo impiegato, con valori che vanno da circa l'84% per le placche di espansione rimovibili a oltre il 95% per gli espansori fissi [Ugolini et al, 2021].

In particolare, l'espansione rapida del mascellare (RME) genera a livello della sutura palatina mediana forze ortopediche di elevata entità (stimate tra 8 e 12 kg), applicate in modo intermittente e per un intervallo di tempo relativamente breve, determinando la disgiunzione della sutura stessa [Haas, 1970].

Al contrario, gli espansori lenti del mascellare producono forze di bassa intensità, ma continue e protratte nel tempo, inducendo prevalentemente modificazioni dento-alveolari

piuttosto che scheletriche e promuovendo una risposta suturale più graduale e fisiologica [Luiz Ulema Ribeiro et al, 2020].

In base alle evidenze disponibili in letteratura, l'espansione rapida del mascellare (RME) risulta essere la procedura maggiormente validata e consolidata per la correzione del morso crociato posteriore, in quanto consente di ottenere il massimo contributo in termini di effetti scheletrici [Haas, 1970]. Tuttavia, tale metodica può essere associata a diversi potenziali effetti avversi, tra cui la recidiva dell'espansione, l'inclinazione dei molari permanenti, la perdita di osso alveolare e il riassorbimento radicolare [Drago et al, 2023; Luiz Ulema Ribeiro et al, 2020; Lemos Rinaldi et al, 2018; Akyalcin et al, 2015; Martina et al, 2012; Haas, 1970].

Al contrario, l'espansione lenta del mascellare (SME) è stata rivalutata poiché induce una separazione della sutura in modo più graduale, determinando una minore incidenza di recidiva dopo il trattamento e garantendo una maggiore stabilità nel lungo termine [Costa et al, 2017].

Negli ultimi anni, l'interesse clinico e scientifico si è progressivamente orientato verso dispositivi dotati di molle in Nichel-Titanio (Ni-Ti), i quali consentono un'espansione lenta attraverso l'erogazione di forze leggere e costanti. Queste apparecchiature risultano maggiormente confortevoli per i pazienti in età pediatrica e non richiedono la collaborazione domiciliare dei genitori per le attivazioni, semplificando così la gestione del trattamento.

Tra questi dispositivi, il Leaf Expander (Leaf Expander®, Leone, Italia) può essere considerato una soluzione intermedia tra gli espansori rapidi e quelli lenti, poiché, pur presentando una struttura analoga a quella degli espansori rapidi tradizionali, funziona secondo una modalità più simile all'espansione lenta. Esso è dotato di una doppia molla a balestra in Nichel-Titanio a memoria di forma, integrata con una vite centrale [Lanteri C. et al, *Il Leaf Expander*, 2023; Lanteri C. et al, 2016]. Quest'ultima viene preattivata in laboratorio per ottenere un'espansione iniziale di 3 o 4,5 mm a seconda della vite utilizzata; successivamente, l'ortodontista può procedere con ulteriori attivazioni comprimendo le molle a balestra che, tornando gradualmente alla loro configurazione originaria, generano un'espansione calibrata dell'arcata superiore, eliminando la necessità di collaborazione da parte del paziente.

Il Leaf Expander è disponibile in due versioni, 450 g e 900 g, selezionabili in base all'intensità di forza desiderata, e produce forze leggere e costanti. La letteratura evidenzia inoltre che questo dispositivo risulta meno doloroso rispetto all'RME, poiché il sistema a molla consente un'attivazione lenta e continua, riducendo l'intensità delle forze trasmesse

alla sutura palatina e, di conseguenza, la risposta infiammatoria, con un impatto favorevole anche sull'igiene orale [Ugolini et al, 2020].

Inoltre, diversi studi recenti hanno riportato che l'espansione rapida del mascellare (RME) e il Leaf Expander determinano risultati clinici sostanzialmente comparabili per quanto riguarda l'entità dell'espansione trasversale ottenuta [Abate et al, 2023; Maschio et al, 2023; Paoloni et al, 2022].

Più recentemente, è stato introdotto il Leaf Self Expander (Self Expander®, Leone, Italia) costituito da due molle in Ni-Ti completamente preattivate in laboratorio. Di conseguenza, non richiede alcuna attivazione durante il periodo in cui le molle rilasciano via via la loro forza, disattivandosi progressivamente. Anche il Leaf Self Expander è disponibile con forze di 450 g o 900 g e, a differenza dell'RME, non necessita della collaborazione domiciliare dei genitori del paziente [Beretta et al, 2019].

La letteratura attuale riporta alcune controversie riguardo a tali dispositivi: da un punto di vista clinico, infatti, non sono state osservate differenze significative tra RME, Leaf Expander e Leaf Self Expander. Tutti i dispositivi risultano essere efficaci nel correggere i deficit trasversali del mascellare ed i crossbite unilaterali o bilaterali [Abate et al, 2023; Maschio et al, 2023]. La scelta del tipo di espansore e della modalità di applicazione è quindi demandata alla competenza dell'ortodontista, che deve considerare il timing di intervento e selezionare il dispositivo più appropriato per ciascun paziente, al fine di minimizzare possibili effetti collaterali quali rotture dell'apparecchio, problematiche funzionali o dolore percepito.

In tale panorama scientifico, è stato progettato questo studio clinico multicentrico, randomizzato e controllato finalizzato a valutare la risposta del mascellare all'applicazione di differenti dispositivi di espansione ed ai rispettivi protocolli di utilizzo: Espansore Mascellare Rapido (RME), Leaf Expander 450 g (e sua variante Leaf Self Expander 450 g) e Leaf Expander 900 g (e sua variante Leaf Self Expander 900 g).

Capitolo 1 – ANATOMIA E CRESCITA DELLE OSSA MASCELLARI

1.1 Anatomia dell'Osso Mascellare

L'osso mascellare è un osso pari e simmetrico appartenente allo splancnocranio. Esso forma l'arcata dentaria superiore e gran parte del palato osseo, che è costituito dall'unione delle due ossa mascellari attraverso i loro processi palatini.

Lo scheletro della guancia è costituito in gran parte dalla faccia anteriore dell'osso mascellare, con la quale si mettono in relazione tre dei suoi quattro processi: in alto il processo frontale, lateralmente il processo zigomatico e inferiormente il processo alveolare. Il mascellare superiore è formato da un corpo e da quattro processi: frontale, zigomatico, palatino e alveolare (*Figura 1*).

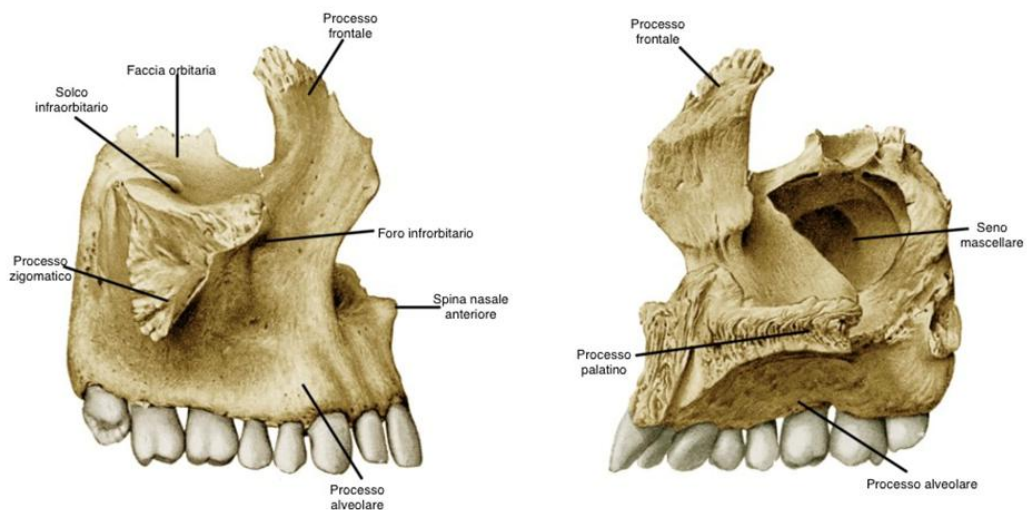


Figura 1 - Corpo e processi dell'osso mascellare.

Il corpo ha la forma di una piramide triangolare e presenta una base, un apice e tre facce. La base, rivolta medialmente, è chiamata anche faccia nasale poiché contribuisce alla formazione delle cavità nasali. In questa zona si trova lo hiatus mascellare, apertura che mette in comunicazione con il seno mascellare, la cui forma riproduce quella del corpo del mascellare stesso. Anteriormente al seno mascellare si trova il solco nasolacrimale, che origina il canale nasolacrimale, formato dall'articolazione con l'osso lacrimale e con il cornetto inferiore. Il punto di contatto con quest'ultimo è rappresentato dalla cresta conca, situata anteriormente al solco nasolacrimale. Posteriormente allo hiatus mascellare si riconosce una superficie rugosa su cui è presente una doccia pterigopalatina, che

sovrapponendosi alla corrispettiva presente sull'osso palatino forma il canale pterigopalatino.

L'apice, orientato lateralmente, continua nel processo zigomatico.

Sulla faccia anteriore del mascellare è visibile una sporgenza corrispondente alla parte anteriore della radice del dente canino, nota come bozza canina, che lateralmente delimita la fossa canina. Al di sopra di essa si apre il foro infraorbitario, sbocco del canale infraorbitario, attraversato dal nervo omonimo.

La faccia anteriore è delimitata da un margine anteriore, il cui segmento inferiore si introflette nell'incisura nasale, mentre quello superiore si prolunga nel processo frontale, contribuendo a delimitare l'apertura piriforme. Essa è inoltre delimitata da un margine laterale e da un margine superiore, detto anche infraorbitario.

La faccia superiore partecipa alla formazione del pavimento della cavità orbitaria, motivo per cui è detta anche faccia orbitaria. Dal suo margine posteriore origina il solco infraorbitario, che prosegue nel canale infraorbitario e si apre sulla faccia anteriore attraverso il foro omonimo. Da questo canale si diramano i canali alveolari anteriori, nei quali scorrono vasi e nervi destinati agli incisivi e ai canini.

La faccia superiore è delimitata da tre margini: il margine posteriore, che contribuisce alla formazione della fessura orbitaria inferiore, il margine mediale, nel quale si trova l'incisura lacrimale ed il margine anteriore, detto anche infraorbitario.

La faccia posteriore, o infratemporale, contribuisce a delimitare la fossa infratemporale, al cui centro è situato il tuber maxillae. Da questa regione originano i canali alveolari posteriori, attraversati da vasi e nervi diretti ai molari superiori.

Il processo frontale è costituito da una lamina ossea verticale che si sviluppa a partire dalla faccia nasale e, lungo il margine mediale presenta due superfici: una laterale e una mediale.

La faccia laterale mostra una cresta lacrimale e, posteriormente ad essa, una depressione che partecipa alla formazione della fossa del sacco lacrimale, la quale continua nel canale nasolacrimale.

La faccia mediale è caratterizzata da due creste trasversali: una superiore, la cresta etmoidale ed una inferiore, la cresta conca.

Nel processo frontale si distinguono inoltre tre margini liberi; il margine anteriore, diviso in una parte inferiore libera che delimita l'apertura piriforme ed in una parte superiore che si articola con l'osso nasale; il margine superiore, che si articola con l'osso frontale ed il margine posteriore, che prende contatto con l'osso lacrimale.

Il processo zigomatico rappresenta la continuazione laterale dell'apice del corpo del mascellare; anch'esso presenta tre facce e un apice, che si articola con l'osso zigomatico.

Il processo palatino è costituito da una lamina ossea quadrangolare orizzontale e appiattita in senso verticale, che si sviluppa dalla porzione inferiore della faccia nasale del mascellare. Articolandosi con il processo palatino controlaterale, contribuisce a formare la maggior parte del palato osseo.

La faccia superiore, detta anche faccia nasale, partecipa alla formazione del pavimento delle cavità nasali, mentre la faccia inferiore, o buccale, costituisce la volta della cavità orale.

Il margine mediale si articola con il controlaterale e prende parte alla formazione della sutura palatina mediana e anteriormente della spina nasale anteriore, mentre il margine posteriore si articola con la lamina orizzontale dell'osso palatino e contribuisce alla formazione della sutura palatina trasversa. L'unione di queste due suture dà origine alla sutura palatina crociata (*Figura 2*).

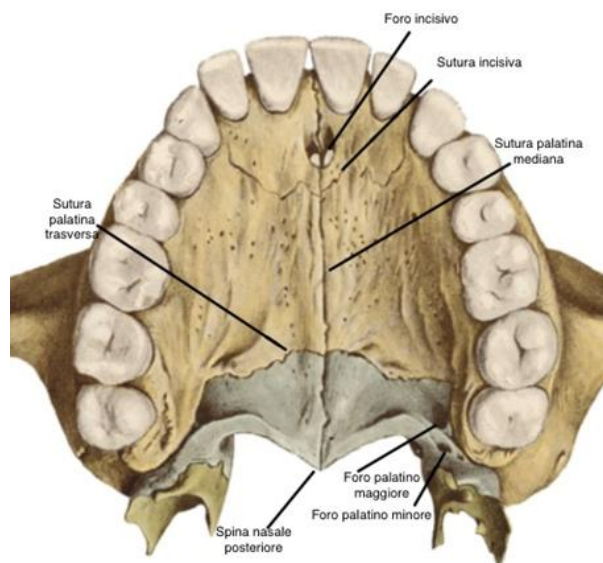


Figura 2 - Superficie palatina dell'osso mascellare.

Il processo alveolare è formato da due lamine ossee parallele, collegate tra loro da setti trasversali, detti anche interdentali o interalveolari, che delimitano gli alveoli dentali. All'interno di questi alveoli sono contenute le radici dei denti; nei denti con più radici sono inoltre presenti setti interradicolari, che suddividono ulteriormente gli alveoli. In ciascun alveolo vi è un orifizio alla base che permette il passaggio di vasi e nervi per le radici dei denti.

1.2 Anatomia della Mandibola

La mandibola è un osso impari, mediano e simmetrico localizzato nella porzione inferiore dello splancnocranio.

Dal punto di vista morfologico, essa è costituita da un corpo e da due rami ascendenti. Il corpo presenta una configurazione arcuata a ferro di cavallo, mentre i rami mostrano una conformazione laminare quadrangolare; da ciascun ramo si dipartono superiormente un processo coronoideo e un processo condiloideo.

Il corpo mandibolare è delimitato da due facce e due margini. Sulla faccia esterna, in posizione mediana, si evidenzia la protuberanza mentoniera; lateralmente a essa si estende la linea obliqua esterna, che costituisce un'area di inserzione per il muscolo buccinatore. In sede posteriore, tra le radici del primo e del secondo premolare, è situato il foro mentale, attraverso il quale emerge il canale mandibolare. Da quest'ultimo prende origine il canale incisivo, che decorre fino al fondo alveolare dell'incisivo centrale (*Figura 3*).

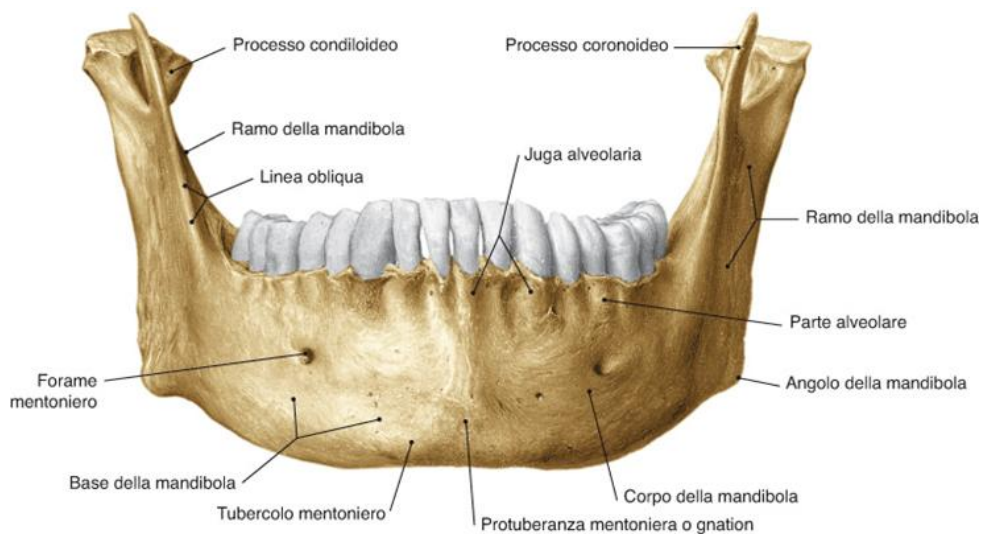


Figura 3 - Faccia esterna della mandibola.

La faccia interna della mandibola presenta, in posizione mediana, la spina mentale, articolata in quattro piccoli rilievi denominati apofisi genii. Da tali strutture originano superiormente i muscoli genioglossi e inferiormente i muscoli genioioidei. Al di sotto della spina mentale è localizzata la fossetta digastrica, sede di inserzione del ventre anteriore del muscolo digastrico. Lateralmente alla spina mentale decorre la linea obliqua interna, o linea miloioidea, dalla quale prende origine il muscolo omonimo. Tale linea funge inoltre da elemento di separazione tra la fossetta sottolinguale e la fossetta sottomandibolare, che accolgono rispettivamente le ghiandole sottolinguale e sottomandibolare (*Figura 4*).

Il margine inferiore del corpo mandibolare risulta arrotondato e regolare, mentre il margine superiore è occupato dal processo alveolare. Quest'ultimo non segue esattamente la curvatura del corpo mandibolare, determinando la formazione del trigono retromolare, un'area di forma triangolare delimitata dal processo alveolare, dal margine superiore del corpo e dal ramo della mandibola.

I rami mandibolari presentano due facce, una laterale e una mediale, e tre margini liberi: anteriore, posteriore e superiore. Nella porzione inferiore della faccia laterale si osserva la tuberosità masseterina, area di inserzione del muscolo massetere. Al centro della faccia mediale è situato il foro mandibolare, dal quale origina il canale mandibolare; tale foro è delimitato dalla lingula, o spina di Spix, che costituisce il punto di attacco del legamento sfenomandibolare. Inferiormente al foro mandibolare si riconosce il solco miloioideo, mentre superiormente si estende la cresta del condilo; in questa regione è presente anche l'area di inserzione del muscolo pterigoideo interno.

Dal margine superiore del ramo si dipartono il processo coronoideo e il processo condiloideo, separati dall'incisura semilunare. Quest'ultima, estendendosi fino al livello del collo del condilo, contribuisce alla formazione della fossetta pterigoidea, sede di inserzione del muscolo pterigoideo esterno. Il margine posteriore del ramo mandibolare si continua infine con il margine inferiore del corpo in corrispondenza dell'angolo della mandibola (Figura 4).

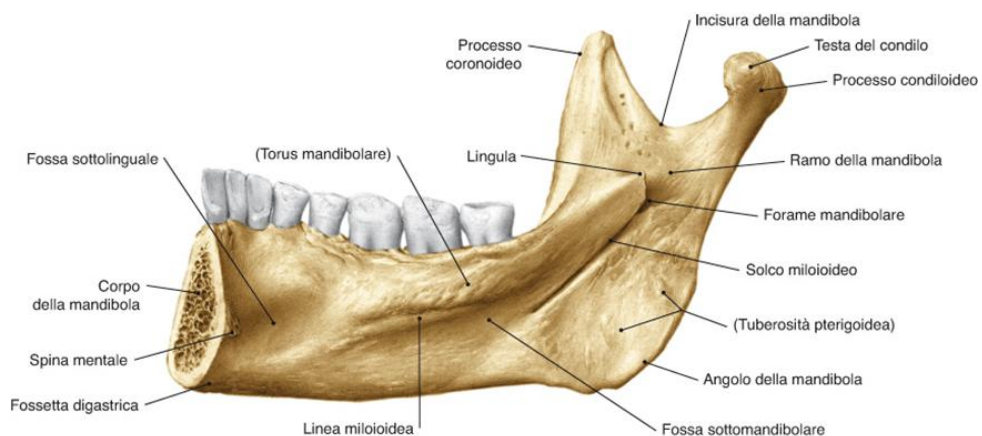


Figura 4 - Faccia interna della mandibola in proiezione laterale.

1.3 Sviluppo e Crescita Craniofacciale

Il processo di sviluppo del cranio ha inizio durante la fase embrionale, a partire dal tessuto connettivo mesenchimale che avvolge l'encefalo in formazione. L'ossificazione è il processo mediante il quale la matrice mesenchimale presente nell'abbozzo scheletrico embrionale viene progressivamente sostituita da tessuto osseo maturo, consentendo la formazione e la mineralizzazione delle strutture scheletriche.

Le ossa craniche si originano attraverso due distinti meccanismi di ossificazione:

- Ossificazione endocondrale (indiretta): questo processo prevede la formazione di un modello cartilagineo preesistente, sul quale successivamente si deposita tessuto osseo. È il meccanismo responsabile dello sviluppo delle ossa della base cranica.
- Ossificazione intramembranosa (diretta): in questo caso, la differenziazione osteoblastica avviene direttamente nel tessuto mesenchimale senza la formazione preliminare di cartilagine. Questo processo è caratteristico dello sviluppo delle ossa dello splancnocranio.

L'osso mascellare e la mandibola si sviluppano tramite ossificazione intramembranosa e derivano dal primo arco branchiale.

Sviluppo dell'Osso Mascellare e della Premaxilla

L'osso mascellare origina dal primo arco branchiale e si sviluppa mediante un processo di ossificazione intramembranosa, iniziando con la formazione della premaxilla. Questa struttura deriva dal bottone nasofrontale e dall'osso alveolare mascellare laterale, a sua volta originato dai processi mascellari.

Intorno alla settima-ottava settimana di vita embrionale, i processi palatini, situati posteriormente al canale nasopalatino, subiscono un riposizionamento da verticale ad orizzontale. L'unione dei due processi sulla linea mediana dà origine al futuro palato duro e molle.

Nel feto, la premaxilla è ancora distinguibile dal restante osso mascellare. Alla nascita, le suture trasversali ed incisivo-canine delimitano la porzione incisiva. Entro i tre anni, la sutura incisivo-canina rimane completamente aperta, mentre tra i 4 e i 5 anni inizia la progressiva obliterazione della parte esterna (canina). Verso i diciassette anni, nella maggioranza dei casi, l'osso mascellare risulta completamente calcificato [Cozza et al, 2003].

Analizzando attentamente lo sviluppo e l'accrescimento dell'osso mascellare, è possibile identificare tre principali centri di crescita, che saranno descritti nel dettaglio:

- Corpo mascellare
- Premaxilla
- Centri cartilaginei accessori

- **Corpo mascellare**

Il corpo mascellare deriva dal mesenchima del processo mascellare del primo arco branchiale e si forma mediante ossificazione intramembranosa. Esso presenta un unico centro di ossificazione, riconoscibile come una banda di tessuto fibrocellulare situata inferiormente alle cavità orbitarie, che darà origine alla porzione anteriore dell'arcata alveolo-dentale.

Il tessuto fibrocellulare si espande in diverse direzioni:

- **Posteriormente:** si estende sotto l'orbita verso l'osso zigomatico.
- **Anteriormente:** si dirige verso la futura regione incisale.
- **Superiormente:** contribuisce alla formazione del processo frontale della mascella. Durante questa fase, si deposita tessuto osseo intorno al nervo infraorbitario, ed i margini interno ed esterno della formazione ossea si incontrano per dare origine al canale infraorbitario, che si estende anteriormente fino al forame infraorbitario.
- **Inferiormente:** forma la superficie esterna del processo alveolare, sede dello sviluppo dei germi dentari.
- **Verso la linea mediana:** l'ossificazione progredisce con lo sviluppo dei processi palatini e, successivamente, del palato duro; l'unione dei processi palatini costituisce la maggior parte del corpo dell'osso mascellare.

Parallelamente allo sviluppo del corpo mascellare, si forma anche il seno mascellare (*Figura 5*). Questo compare intorno al quarto mese di vita intrauterina come una piccola depressione della mucosa sulla superficie laterale delle cavità nasali. Il suo progressivo sviluppo porta il seno ad entrare in contatto con l'osso mascellare a livello dei processi palatini, separando così la superficie inferiore delle cavità orbitarie dai processi alveolari.

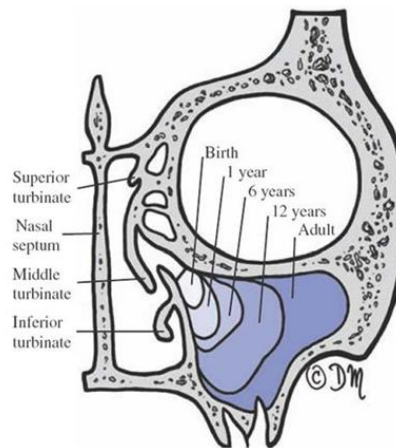


Figura 5 - Sviluppo del seno mascellare dalla nascita all'età adulta.

Nei primi anni di vita, l'osso frontale va incontro ad una crescita rapida sotto l'influsso dello sviluppo attivo del cervello, della capsula nasale e del setto nasale. Di conseguenza, la mascella viene dislocata come un unico blocco per effetto della pressione esercitata posteriormente in senso anteriore dai lobi frontali, dalla cartilagine della base cranica anteriore, dalla capsula nasale e dal setto cartilagineo. Parallelamente all'espansione encefalica, la mascella subisce anche una spinta attiva verso il basso da parte dei globi oculari e si sposta sotto la marcata influenza dell'ampliamento delle orbite e della trazione muscolare esercitata dal palato molle, dalla lingua e dai collegamenti muscolari con la mandibola.

Verso la fine del terzo anno di vita, intorno ai quattro anni, la crescita del cervello rallenta, mentre prosegue lo sviluppo delle cartilagini del setto; ciò provoca la separazione tra la corticale esterna e quella interna dell'osso frontale, consentendo la formazione del seno frontale. Successivamente, dopo i quattro anni, l'accrescimento dei globi oculari diventa progressivamente meno rilevante ed i processi di apposizione e riassorbimento del periostio a livello orbitale compensano, per entità e dimensioni, la discesa del mascellare. Anche l'abbassamento delle ossa palatine avviene attraverso fenomeni di apposizione sulla superficie inferiore, e di riassorbimento su quella superiore delle ossa nasali, determinando così un aumento della loro dimensione verticale.

Sul piano trasversale, l'ampliamento del mascellare è attribuibile allo sviluppo della capsula nasale e dei processi pterigoidei, anch'essi di origine cartilaginea, oltre che all'espansione dei seni mascellari ed allo spostamento laterale delle loro pareti. La crescita del mascellare avviene pertanto in maniera non uniforme.

Le porzioni più profonde si sviluppano soprattutto tra il terzo e il quarto anno di età sotto l'influenza della crescita cartilaginea, della base cranica anteriore, dell'espansione intrafacciale, di cui è responsabile la lamina perpendicolare dell'etmoide, del contenuto orbitario e del contenuto della fossa pterigo-mascellare, che contribuisce all'avanzamento della porzione posteriore della tuberosità del mascellare superiore.

Le regioni più periferiche del mascellare, come la porzione frontale anteriore della base cranica e la zona antero-laterale della mascella, dipendono invece prevalentemente, per il loro sviluppo, dalle funzioni oro-facciali (Figura 6). Durante la masticazione, la respirazione e la deglutizione, infatti, il mascellare superiore è sottoposto ad azioni meccaniche di origine muscolare trasmesse dalla lingua, dai muscoli masticatori, dai muscoli labiali e da quelli delle guance. La lingua esercita un'azione espansiva sulla volta palatina, mentre le guance influenzano la crescita del mascellare.

I denti monofisari contribuiscono all'accrescimento del mascellare nei tre piani dello spazio: la loro migrazione in direzione inferiore condiziona la dimensione verticale; la loro eruzione in arcata, intesa come incremento del numero dei denti presenti, influisce sulla dimensione sagittale; infine, la direzione di eruzione e la loro comparsa in arcata determinano un ampliamento posteriore del palato attraverso l'allungamento divergente dell'arcata, con conseguente aumento della dimensione trasversale [Cozza et al, 2003] (Figura 6).

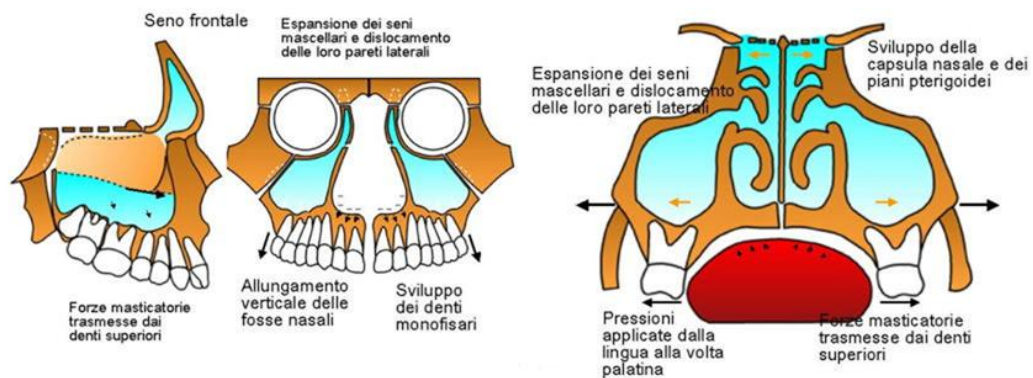


Figura 6 - Sviluppo del corpo dell'osso mascellare [Cozza et al, 2003].

- **Premaxilla**

Il termine “premaxilla” riflette la sua posizione anteriore rispetto al resto della mascella ed al cranio. Questa porzione dell'osso mascellare ospita i quattro incisivi superiori ed è delimitata da una sutura che origina dal forame incisivo, prosegue tra gli incisivi laterali ed i canini, costituendo l'osso incisale, e continua verso la giunzione tra mascella e premaxilla,

nelle vicinanze dell'apertura piriforme nella sua porzione inferiore, fino ai margini alveolari della regione canina, estendendosi attraverso il palato fino alla regione del forame incisivo. La premaxilla può essere suddivisa in tre porzioni principali:

- Superficie alveolare e processo facciale;
- Processo palatino;
- Processo Stenonianus, che segue la cartilagine del setto nasale e del vomere.

Nella premaxilla sono stati identificati due centri di ossificazione distinti:

- Centro di ossificazione palatale: si sviluppa alla fine della sesta settimana di vita intrauterina. Origina lungo la superficie esterna della capsula nasale, anteriormente al nervo alveolare antero-superiore ed in prossimità dei germi degli incisivi laterali superiori decidui. Da questo centro, l'osso si espande sia sopra i germi degli incisivi sia posteriormente rispetto ad essi.
- Centro di ossificazione para-settale: si forma tra l'ottava e la nona settimana di vita intrauterina, lungo la superficie esterna dell'osso alveolare. Questo centro è situato a circa 1-5 mm sotto la superficie anteriore del vomere e contribuisce alla formazione della superficie mediale del setto cartilagineo nasale.

L'ossificazione della premaxilla inizia intorno al settimo mese di gestazione, in concomitanza con un aumento significativo dell'apporto sanguigno al volto fetale e con lo sviluppo del massiccio facciale e del palato.

Diversi studi suggeriscono che la premaxilla possa avere un'origine indipendente o semi-indipendente rispetto al resto dell'osso mascellare, poiché il centro di ossificazione non è facilmente identificabile durante lo sviluppo embrionale. La determinazione della chiusura delle suture tra mascella e premaxilla risulta pertanto complessa se basata esclusivamente sull'analisi topografica.

A tal proposito, Trevizan ha condotto uno studio su oltre 1.183 teschi, analizzando la morfologia, la funzione ossea e lo sviluppo complessivo dello scheletro umano, al fine di chiarire meglio le caratteristiche di questa regione anatomica [Trevizan et al, 2018].

I risultati preliminari suggeriscono che la premaxilla dovrebbe essere considerata un'entità ossea indipendente rispetto al corpo mascellare fino a una certa fase della vita postnatale. La sutura incisiva, che separa la premaxilla dal corpo dell'osso mascellare, può essere ancora identificata sul palato di teschi adulti e tende a chiudersi verso il terzo trimestre di vita prenatale [Trevizan e Consolaro, 2017] (*Figura 7, Figura 8*).



Figura 7 - Sutura premaxillare-mascellare nel teschio di un bambino [Trevizan e Consolaro, 2017].



Figura 8 - Sutura premaxillare-mascellare nel teschio di un adulto [Trevizan e Consolaro, 2017].

Dal punto di vista anatomico, ciascun emi-premaxillare può essere assimilato ad una piramide triangolare con base rivolta internamente; esso è separato dal controlaterale mediante la sutura interincisiva mediana e dall'incisura incisivo-canina, che mediamente dalla nascita ai nove anni aumenta in lunghezza di circa 15 mm.

- **Centri Cartilaginei Accessori**

A differenza della mandibola, lo sviluppo e la crescita dell'osso mascellare sono influenzati anche da centri di ossificazione cartilaginea, che contribuiscono alla stabilità ed alla resistenza strutturale. Tra questi si distinguono:

- Centri di ossificazione cartilaginea nella regione destinata al futuro osso zigomatico ed ai molari: situati nelle aree che daranno origine all'osso zigomatico e ai molari, questi centri sono caratterizzati da un rapido processo di ossificazione, conferendo all'osso mascellare maggiore stabilità e resistenza.
- Piccoli centri di ossificazione secondaria lungo i margini alveolari: lungo i margini della superficie alveolare si formano centri secondari di ossificazione, che

contribuiscono al rinforzo della struttura mascellare ed alla sua robustezza complessiva.

- Centri di ossificazione lungo la linea mediana del palato duro: tra i due processi palatini, lungo la linea mediana del palato duro, si sviluppano ulteriori centri di ossificazione. Questi partecipano alla crescita ed alla formazione del palato duro, aumentando stabilità e resistenza dell'osso mascellare.

Sviluppo del Palato

Durante la sesta settimana di sviluppo, da ciascun processo mascellare origina un processo palatino lungo la superficie interna. Il palato si sviluppa a partire da due strutture principali: il palato primitivo che costituisce la parte interna del processo intermascellare e deriva dal massiccio mediano della faccia, ed il palato secondario, che origina dai processi mascellari ed è formato da due lamine che si sviluppano dalle pareti di questi processi e si dirigono verso l'interno della cavità orale.

Quando la lingua discende, i processi palatini si sollevano e convergono verso la linea mediana. La fusione dei processi palatini con il margine posteriore del palato primitivo precede la loro unione reciproca, permettendo la formazione del palato definitivo.

Due strutture rimangono visibili al termine di questo processo, il rafe mediano, determinato dalla linea di fusione dei processi palatini al centro del palato secondario ed il forame incisivo, punto di incontro tra la linea di fusione ed il palato primitivo.

Successivamente, i processi palatini si congiungono nel piano mediano con il bordo inferiore del setto nasale, determinando lo spostamento posteriore delle coane, che assumono la loro posizione definitiva.

Tra l'ottava e la dodicesima settimana, la fusione dei processi palatini ricoperti da epitelio porta alla scomparsa degli strati epiteliali aderenti ed alla congiunzione dei mesenchimi dei due processi. Il palato molle e l'uvula, derivati dalle estremità posteriori dei processi palatini, si formano tramite fusione sottoepiteliale del mesenchima.

A questo punto, lo sviluppo del palato può considerarsi completato (*Figura 9*).

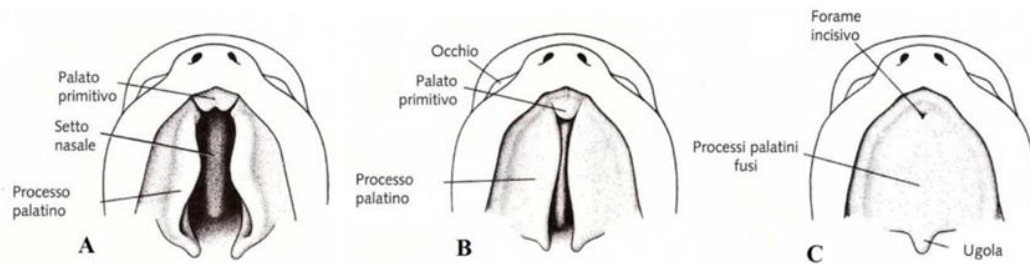


Figura 9 - Processo di fusione dei processi palatini e sviluppo del palato.

Sviluppo della Mandibola

Lo sviluppo della mandibola avviene in stretta relazione con una struttura transitoria, la cartilagine di Meckel, la quale fornisce un contributo limitato alla formazione dell'osso intramembranoso e viene successivamente completamente riassorbita a livello del foro mentoniero e della spina di Spix. Un'eccezione è rappresentata dalla porzione più anteriore dell'osso, compresa tra il forame mentoniero e la futura sinfisi mandibolare, dove si realizza un processo di ossificazione endocondrale: in questa sede la cartilagine va incontro ad ossificazione e viene inglobata nella mandibola in formazione.

Intorno alla sesta settimana di sviluppo embrionale, la mandibola si presenta come una condensazione mesenchimale bilaterale. All'interno di tale tessuto mesenchimale ha luogo l'ossificazione intramembranosa, la cui progressione è fondamentale per la formazione del corpo e dei rami mandibolari.

Lo sviluppo della sinfisi mentoniera si articola in più fasi successive. In un primo momento, tra la settima e l'ottava settimana, si verifica la separazione delle due cartilagini di Meckel lungo la linea mediana; successivamente l'accrescimento cartilagineo si arresta e le cartilagini si fondono, consentendo la stabilizzazione della mandibola durante l'ossificazione indiretta in regione canina. Parallelamente prosegue l'ossificazione diretta dell'abbozzo mesenchimale primordiale.

In una fase successiva, l'ossificazione indiretta si estende anteriormente oltre la linea mediana, accompagnandosi alla progressiva degenerazione e scomparsa delle cartilagini di Meckel. Nello stadio finale, le lamine ossee oro-vestibolari si congiungono con quelle linguali, circondando i residui della cartilagine derivata dal primo arco branchiale.

La regione condilare segue un percorso di sviluppo autonomo: intorno all'ottava settimana, cellule indifferenziate compaiono posteriormente alla porzione di mandibola già ossificata. In questa sede si forma una concavità e la cartilagine condilare si estende verso il ramo mandibolare, determinandone l'aumento in altezza. Tale cartilagine viene progressivamente

sostituita da tessuto osseo, ad eccezione della zona immediatamente sottostante la superficie articolare fibrosa del condilo, dove persiste una cartilagine ialina proliferativa fino a circa il trentesimo anno di età.

Il processo coronoideo inizia il proprio sviluppo intorno alla sedicesima settimana di gestazione. Alla nascita, infine, l'angolo mandibolare risulta ampiamente ottuso, con il condilo disposto quasi in continuità con il corpo della mandibola.

1.4 Modalità di Crescita Craniofacciale

Lo sviluppo delle ossa del complesso cranio-facciale si fonda sui meccanismi di accrescimento e rimodellamento, regolati dai fenomeni di apposizione e riassorbimento osseo [Enlow e Moyers, 1971; Enlow et al, 1971; Enlow e Hunter, 1968].

Secondo Enlow [1979], molte superfici ossee possono essere meglio comprese attraverso la cosiddetta crescita a "V": l'osso cresce mediante apposizione sul lato interno e riassorbimento sul lato esterno (Concetto 1 di Enlow) [Enlow, 1962].

Tutte le superfici ossee, sia interne sia esterne, sono rivestite da strutture con attività osteogenetica, definite "locus di crescita" (Concetto 2 di Enlow). Questi loci sono organizzati a mosaico, alternando zone di accrescimento e riassorbimento, in modo che a ogni zona di apposizione corrisponda sul lato opposto una zona di riassorbimento. La differente attività dei vari campi di crescita determina il processo di rimodellamento.

Il rimodellamento si riferisce alla variazione morfologica dovuta alla crescita differenziale delle diverse parti dello stesso osso: alcune aree crescono più rapidamente o in quantità maggiore rispetto ad altre (Concetto 5 di Enlow) [Enlow, 1984].

La velocità di rimodellamento è massima durante l'infanzia e l'adolescenza, quando l'osso è altamente vascolarizzato, e diminuisce progressivamente nell'età adulta, con la formazione di tessuto osseo meno vascolarizzato e a crescita più lenta.

Ogni componente cranica è costituita da:

- Matrice funzionale: determina la funzione dell'osso e guida il rimodellamento.
- Unità scheletrica: protegge e supporta la matrice funzionale ed è suscettibile di adattamenti strutturali.

L'attività osteogenetica si arresta quando si raggiunge un equilibrio tra forma, dimensione ed esigenze funzionali.

L'accrescimento osseo comporta due tipi principali di movimento:

- Deriva corticale: riposizionamento di una parte dell'osso in crescita dovuto al rimodellamento, con movimento verso la superficie di apposizione (Concetto 6 di Enlow).
- Spostamento (dislocazione): movimento complessivo di un segmento osseo sottoposto a rimodellamento, che crea lo spazio necessario per l'aumento volumetrico dell'osso.

Nel caso di mascellare e mandibola, lo spostamento viene definito dislocazione per riposizionamento primario, poiché l'osso in crescita viene spostato dalle altre ossa in combinazione con l'aumento dimensionale stesso. Nello specifico, il mascellare cresce principalmente in basso e in avanti, grazie alla dislocazione delle ossa indotta dalle azioni funzionali, associata alla neoapposizione ossea negli spazi intersuturali [Enlow e Hunter, 1966; Enlow e Bang, 1965] (*Figura 10*).

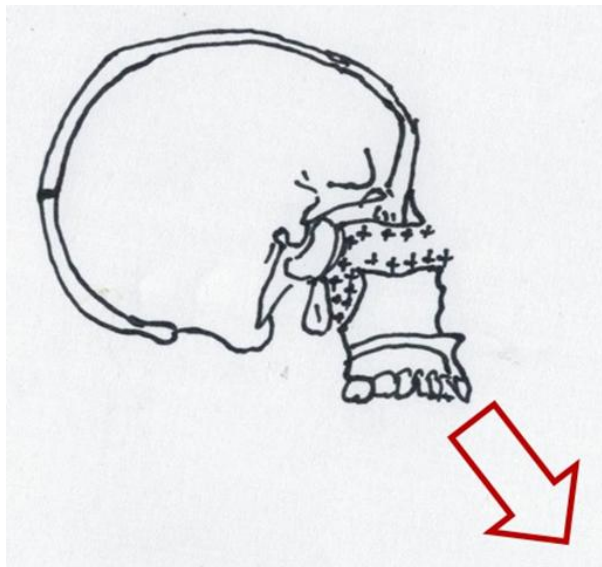


Figura 10 - Crescita del mascellare superiore.

La mandibola mostra una crescita posteriore accompagnata da una dislocazione anteriore, la quale avviene in modo più tardivo rispetto alla crescita del mascellare superiore (*Figura 11*).

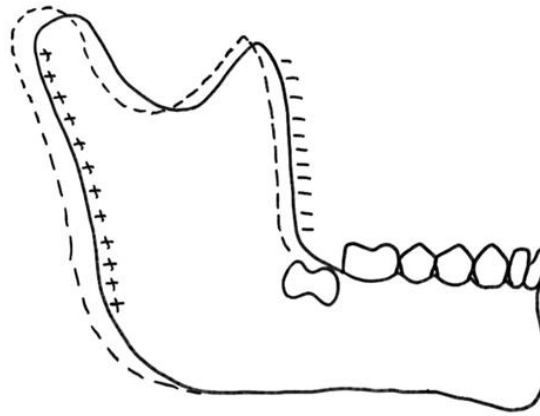


Figura 11 - Crescita della mandibola.

Da quanto esposto, risulta evidente che uno sviluppo non corretto o non proporzionato dei mascellari può determinare l'insorgenza di malocclusioni scheletriche di II o III classe [Martone et al, 1992]:

- II Classe scheletrica da protrusione mascellare: si verifica quando la crescita anteriore del mascellare superiore eccede quella della mandibola.
- III Classe scheletrica da retrusione mascellare: si manifesta quando la crescita anteriore del mascellare superiore risulta insufficiente rispetto alla mandibola.
- II Classe scheletrica da retrusione mandibolare: insorge quando la mandibola presenta una crescita troppo limitata rispetto al mascellare superiore.
- III Classe scheletrica da protrusione mandibolare: si osserva quando la mandibola cresce in eccesso in avanti rispetto al mascellare superiore.

1.5 Fisiologia dell'Osso Mascellare

Nell'analisi della crescita ossea è necessario distinguere tra fattori responsabili e fattori di controllo della crescita.

I fattori responsabili della crescita del mascellare superiore includono [Cozza et al, 2003]:

- Fattori ormonali: regolano e condizionano lo sviluppo generale dell'organismo.
- Fattori passivi di tipo suturale: inerenti alla struttura delle suture e alla loro capacità di modulare l'espansione ossea.
- Fattori attivi: che possono essere diretti, derivanti da sollecitazioni funzionali locali, oppure indiretti, derivanti da sollecitazioni meccaniche esercitate dalle ossa adiacenti.

Fattori responsabili della crescita del mascellare

1. Fattori ormonali

La crescita di tutte le ossa è regolata principalmente dagli ormoni somatotropo, tiroidei e sessuali, che, una volta in circolo, esercitano la loro azione sugli organi bersaglio. La loro modalità d'azione può essere sintetizzata come segue:

- Somatotropina (GH): prodotta dall'ipofisi, stimola indirettamente la formazione ossea attraverso l'attivazione dei condrociti e la sintesi di fattori di crescita locali.
- Ormoni tiroidei: agiscono in sinergia con la somatotropina, potenziandone l'effetto sulla crescita scheletrica.
- Ormoni sessuali (maschili e femminili): modulano il meccanismo endocrino della crescita ed accelerano la saldatura delle epifisi, determinando la conclusione della crescita longitudinale ossea.

2. Fattori passivi di tipo suturale

Le suture sono considerate componenti passive perché non dotate di un potenziale autonomo, ma se sollecitate sono sede di crescita secondaria di adattamento. La loro crescita è una conseguenza di forze espansive responsabili del dislocamento osseo e il loro compito è quello di mantenere in contatto le superfici di ossa che si stanno muovendo per far fronte alle necessità globali e locali imposte dallo sviluppo dei diversi organi e delle diverse funzioni. Le suture coinvolte nella crescita del mascellare possono essere divise in suture proprie del mascellare (*Figura 12*), quali la sutura interincisiva, la sutura palatina mediana, la sutura inter-mascellare, la sutura inter-palatina, la sutura palatina trasversa e la sutura incisivo-canina e suture circum-mascellari (*Figura 13*), che connettono le ossa mascellari con le ossa adiacenti.

Suture proprie del mascellare (*Figura 12*):

- Sutura interincisiva: si estende dalla spina nasale anteriore al forame palatino anteriore. L'obliterazione inizia tra i 15 e i 18 anni e, a partire dai 25 anni, si completa entro circa dieci anni con la formazione di una completa sinostosi.
- Sutura palatina mediana: separa le due emimascelle e si estende dal forame palatino anteriore fino alla spina nasale posteriore. Si distingue una sutura inter-mascellare, anteriormente, tra i due processi palatini delle ossa

mascellari, ed una sutura inter-palatina, posteriormente, tra i processi trasversali delle ossa palatine. L'obliterazione inizia tra i 15 e i 18 anni e, a partire dai 25 anni, si completa entro circa dieci anni.

- Sutura palatina trasversa: separa le ossa palatine dalle ossa mascellari e costituisce il prolungamento sul palato osseo della sutura maxillo-palatina verticale. La sua chiusura è generalmente completa intorno ai 7 anni.
- Sutura incisivo-canina: separa la premaxilla dal corpo mascellare e si estende dal canino fino all'inizio della sutura palatina mediana. L'obliterazione della porzione esterna (canina) inizia intorno ai 4-5 anni e la sinostosi completa si verifica intorno ai 17 anni.

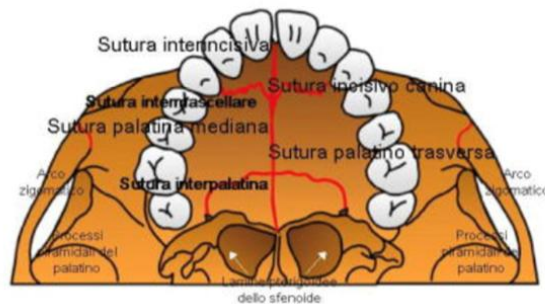


Figura 12 - Suture proprie del mascellare [Cozza et al, 2003].

Suture circum-mascellari (Figura 13):

- Sutura naso-fronto-mascellare: articola le ossa nasali, l'osso frontale ed il processo frontale del mascellare. L'obliterazione inizia intorno ai 5-6 anni e la sinostosi completa si osserva intorno ai 7 anni.
- Sutura zigomatico-mascellare: situata tra l'osso zigomatico ed il processo malare dell'osso mascellare. La sinostosi inizia verso i 7 anni, ma la sutura rimane aperta fino ai 20 anni; la fusione completa avviene solamente intorno ai 70 anni.
- Sutura pterigo-palatina: separa i processi pterigoidei dello sfenoide dalle ossa palatine. La chiusura si verifica tra i 10 e i 16 anni.
- Sutura lacrimo-mascellare: separa le ossa lacrimali dall'osso mascellare. La chiusura è completata intorno ai 7 anni.
- Sutura etmoido-mascellare: articola l'osso etmoide con l'osso mascellare. La chiusura avviene intorno ai 7 anni.

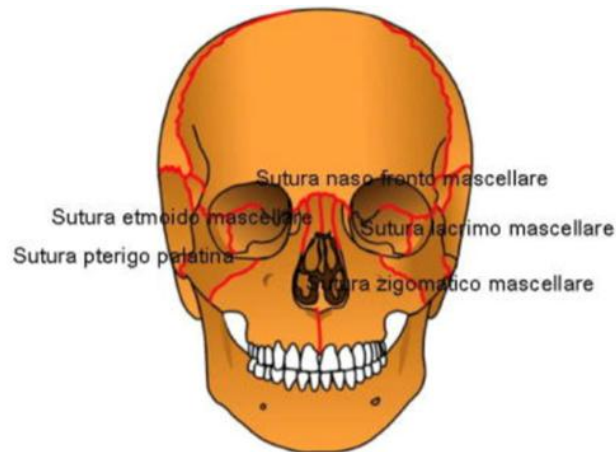


Figura 13 - Suture circum-mascellari [Cozza et al, 2003].

La crescita verticale e longitudinale del mascellare è principalmente determinata dalla capacità di adattamento delle suture circum-mascellari e palatino trasversa, mentre in senso trasversale l'accrescimento dell'osso mascellare è regolato dalle suture proprie del mascellare e inter-nasali, in combinazione con i processi di apposizione e riassorbimento osseo [Cozza et al, 2003].

3. Fattori attivi

Per fattori attivi si intendono quei fattori che intervengono fisiologicamente nella crescita del mascellare superiore e che possono quindi agire in maniera diretta sullo sviluppo osseo. Tra questi si distinguono:

- Sviluppo della capsula nasale;
- Sviluppo dei piani pterigoidei;
- Espansione dei seni mascellari e conseguente dislocamento delle loro pareti laterali;
- Pressioni esercitate dalla lingua sulla volta palatina;
- Forze masticatorie trasmesse dagli elementi dentali dell'arcata superiore;
- Azioni meccaniche di origine muscolare, veicolate al mascellare superiore dai muscoli delle labbra e delle guance durante masticazione, respirazione e deglutizione;
- Sviluppo dei denti monofisari.

Fattori di controllo della crescita del mascellare

Diverse teorie sono state proposte riguardo ai fattori di controllo della crescita ossea.

1. *Ipotesi genetica secondo Brodie*: secondo questa teoria, la crescita cranio-facciale è predeterminata e poco influenzata da fattori esterni. Si suggerisce quindi un controllo genetico stretto della morfologia facciale, per cui cartilagini e suture sarebbero regolati principalmente da istruzioni genetiche [Brodie, 1971; Brodie, 1941].
2. *Ipotesi della cartilagine del setto nasale* [Scott, 1954]: secondo Scott, la crescita delle cartilagini cranio-facciali è unicamente regolata da fattori genetici durante la vita fetale e tale controllo continua anche dopo la nascita. Particolare importanza è attribuita alla cartilagine del setto nasale, la cui espansione influenza direttamente la crescita del mascellare superiore, regolando l'attività delle suture mascellari. Latham ha osservato che tali suture, inizialmente articolazioni mobili, si adattano alle forze esercitate da altre aree di crescita, sviluppando così una maggiore attività osteogenetica [Latham, 1971].
3. Secondo la *teoria proposta da Sicher*, la crescita cranio-facciale è guidata principalmente dall'attività delle suture, considerate le strutture responsabili dell'ampliamento degli spazi necessari all'accrescimento osseo. La proliferazione del tessuto connettivo interposto tra le ossa determina infatti la formazione di nuovi spazi che consentono l'apposizione ossea sulle superfici scheletriche contrapposte, favorendo così l'espansione delle strutture cranio-facciali.
Sebbene Sicher attribuisca alle suture un ruolo predominante, egli riconosce l'importanza anche della cartilagine e del periostio nel processo di crescita. Tutti questi elementi — suture, cartilagine e periostio — sono comunque considerati sotto stretto controllo genetico, che regolerebbe la loro attività proliferativa e osteogenetica [Sicher, *Oral anatomy*, 1952; Sicher e Weinmann, *The cranio-facial skeleton*, 1947].
4. *Ipotesi funzionale di Moss*: l'ipotesi della matrice funzionale, introdotta da Moss, si basa sull'osservazione che né la cartilagine né l'osso rappresentino gli elementi primariamente determinanti per la crescita cranio-facciale. Secondo questa prospettiva, lo sviluppo scheletrico è una risposta adattativa ai cambiamenti ed alle esigenze dei tessuti molli circostanti. Sono dunque le strutture molli a guidare la crescita, mentre le componenti ossee e cartilaginee agiscono come elementi reattivi destinati a supportare e proteggere tali matrici.

Moss distingue due categorie di matrici funzionali:

- Matrici periostali, considerate unità microscheletriche, costituite dalle componenti muscolari. L'attività di questi tessuti influenza i processi di apposizione e riassorbimento, modulando il rimodellamento delle unità scheletriche.
- Matrici capsulari, unità macroscheletriche che comprendono la capsula orofacciale e quella neurocranica. L'espansione o la tensione esercitata da tali strutture determina modificazioni spaziali e traslazionali delle ossa associate.

Ne consegue che l'accrescimento scheletrico si verifica secondariamente rispetto allo sviluppo delle componenti non scheletriche. Ogni matrice funzionale svolge un'attività specifica, mentre le strutture ossee ad essa correlate forniscono un ruolo di sostegno e protezione.

Pur attribuendo un ruolo centrale alla funzione, Moss riconosce comunque l'importanza dei fattori genetici nella formazione ossea primaria. La crescita cranio-facciale è quindi interpretata come un processo multifattoriale, risultato dell'interazione tra componenti genetiche, ormonali e neurologiche, integrate con gli stimoli funzionali. Una funzione alterata può pertanto produrre deviazioni significative nei meccanismi di crescita.

L'ipotesi funzionale trova riscontro, ad esempio, nel comportamento del mascellare superiore: l'aumento della sua altezza dipende dall'attività suturale nei confronti delle ossa frontale e zigomatica, mentre lo sviluppo verticale dei processi alveolari è correlato alla presenza ed alla crescita degli elementi dentali, che rappresentano la matrice funzionale dell'osso alveolare. Inoltre, una specifica stimolazione funzionale può indurre simultaneamente fenomeni di apposizione e riassorbimento su superfici scheletriche opposte, contribuendo al rimodellamento [Moss e Salentijn, 1969^a; Moss e Salentijn, 1969^b; Moss, *Vistas in Orthodontics*, 1962; Moss e Young, 1960].

5. *Ipotesi dei fattori epigenetici*: Secondo Van Limborgh, la crescita cranio-facciale risulta dall'interazione tra fattori genetici primari e fattori epigenetici. I fattori genetici determinano inizialmente le caratteristiche strutturali di base e dirigono la differenziazione cellulare alla base dell'osteogenesi. Successivamente intervengono meccanismi epigenetici di feedback locale, attraverso i quali elementi come denti, muscoli ed altre strutture funzionali inviano stimoli che modulano la risposta del tessuto osseo.

In questo modello, i geni che controllano lo sviluppo e l'attività della muscolatura influenzano indirettamente i processi osteogenetici, modificandone la direzione e l'entità. Si instaura quindi una integrazione costante tra informazione genetica, necessaria per sostenere la sintesi cellulare e l'attività osteoblastica e osteoclastica ed informazione epigenetica, indispensabile per la regolazione dei processi di crescita e sviluppo in risposta agli stimoli funzionali [Van Limborgh, 1972].

Alle determinanti biologiche genetiche ed ontogenetiche si associano determinanti ambientali/funzionali. La genetica ha un ruolo fondamentale nel determinare la forma e le dimensioni trasversali del palato ma oltre ai geni, fattori ambientali e funzionali giocano un ruolo importante:

- Comportamenti abitudinari come l'uso prolungato del ciuccio, suzione del dito, o la deglutizione atipica sono stati associati a modificazioni nella forma palatale — ad esempio un palato più stretto o alterazioni trasversali [Giri et al, 2024].
- La respirazione orale o la respirazione prevalentemente nasale durante la crescita può influenzare la morfologia del palato: studi mostrano associazioni tra respirazione orale, ridotto volume/area palatale, e alterazioni dello sviluppo cranio-facciale [Pan et al, 2024].
- Altri fattori ambientali: la dieta, la funzione masticatoria, la postura linguale, la postura mandibolare sono tutti elementi che possono modulare le forze meccaniche esercitate su mascellare e palato, influenzandone la crescita trasversale.

In sintesi, abitudini orali, respirazione, funzione muscolare e ambiente orale possono avere un impatto significativo sullo sviluppo palatale.

La crescita cranio-facciale è quindi vista come il risultato di un sistema complesso e dinamico, in cui le strutture scheletriche rispondono sia a determinanti genetici, sia a segnali epigenetici provenienti dall'ambiente funzionale circostante.

In letteratura, Snodell e collaboratori, nel 1993 hanno condotto uno studio longitudinale per valutare la crescita trasversale e verticale del complesso cranio facciale analizzando le teleradiografie postero-anteriori di 25 soggetti femminili con età compresa tra 4 e 20 anni e 20 soggetti maschili con età compresa tra 4 e 25 anni. Gli autori hanno confermato che la crescita verticale dai 6 agli 8 anni è molto più consistente della crescita trasversale, in accordo con studi precedenti, e che la maggiore crescita nella ampiezza mascellare si verifica tra i 7 e gli 11 anni nei maschi, e tra i 6 e gli 11 anni nelle femmine, per cui all'età di 12 anni può considerarsi completa al 95% per le femmine e al 98% per i maschi.

Si verifica poi una crescita accelerata intorno all'età di 15 anni per maschi, che non supera in maniera significativa i tassi di crescita compresi tra i 7 e gli 11 anni. I risultati dello studio indicano che la crescita dell'ampiezza mascellare può considerarsi completata per la maggior parte delle femmine entro i 15 anni, mentre, mentre nella maggior parte dei maschi si conclude intorno ai 17 anni [Snodell et al, 1993].

Questo riveste notevole importanza per quanto riguarda il corretto timing di intervento, in quanto l'espansione mascellare andrebbe quindi effettuata prima. D'altra parte, Melsen nel 1972 aveva dimostrato che la sutura palatina mediana è obliterata all'età di 16 anni per le femmine, e 18 anni per i maschi pertanto consigliava l'utilizzo dell'espansione mascellare prima dei 15 anni nelle femmine e prima dei 17 anni nei maschi [Melsen, 1972]. Björk e Skieller nel loro studio cefalometrico longitudinale con impianti avevano osservato che la crescita trasversale del mascellare poteva ritenersi completata a 17 anni per la maggioranza dei soggetti maschi [Björk e Skieller, 1974]. Singh e Savara nel 1966 hanno osservato che, nei soggetti di sesso maschile, i tassi di incremento della larghezza mascellare mostrano una progressiva riduzione tra i 6 e i 13 anni, seguita da un marcato picco puberale intorno ai 14-15 anni [Singh e Savara, 1966].

Ricketts e collaboratori nel 1982 avevano sottolineato che l'ampiezza del mascellare era 61,9 mm nei soggetti di 9 anni, ed incrementava di 0,6 mm per anno [Ricketts et al, *Orthodontic Diagnosis and Planning: Their Roles in Preventive and Rehabilitative Dentistry*, 1982]; lo studio di Snodell ha rivelato una media di 58,1 mm nelle femmine, con incrementi da 0,5 a 1,5 mm per anno, e 60,0 mm nei maschi, con incrementi da 0,5 a 1,7 mm per anno.

In aggiunta, il fatto che gli incrementi delle ampiezze intermolari mascellari a livello di primo e secondo molare fosse parallelo all'incremento dell'ampiezza mascellare indica che i cambiamenti interdentali riflettevano i cambiamenti nella ampiezza del mascellare.

Fattori responsabili della crescita della premaxilla

I fattori che regolano la crescita della premaxilla sono sostanzialmente analoghi a quelli già descritti per il mascellare superiore. In particolare, tra i fattori attivi coinvolti nel suo sviluppo individuale si distinguono componenti dirette statiche e dinamiche, di natura intrinseca (originanti dalla cavità orale propriamente detta) oppure estrinseca (derivanti dal vestibolo orale) [Cozza et al, 2003].

Tra i fattori attivi diretti di tipo dinamico, la lingua svolge un ruolo primario come elemento intrinseco, esercitando spinte sulla premaxilla dirette dal basso verso l'alto, dal posteriore

verso l'anteriore e dall'interno verso l'esterno. Tali forze determinano un movimento di basculaggio del premaxellare.

Il frenulo labiale superiore, fattore dinamico estrinseco, rappresenta una derivazione del setto naso-premaxellare e contribuisce allo sviluppo della premaxilla in direzione inferiore ed anteriore.

Ulteriori fattori dinamici estrinseci che favoriscono la crescita sagittale e verticale dei premaxellari sono il legamento setto-premaxellare e la cartilagine settale nasale, che mantiene la propria natura cartilaginea fino a circa quarant'anni di età.

Le forze masticatorie, già considerate nell'analisi dei processi di crescita dei mascellari, rivestono un ruolo rilevante anche nello sviluppo tridimensionale della premaxilla. Sebbene la sutura incisivo-canina inizi ad obliterarsi tra i tre e i quattro anni, le sollecitazioni meccaniche legate alla masticazione sono in grado di modificare l'orientamento dell'osso anche in età successive, favorendo la persistenza della sutura stessa (*Figura 14*).

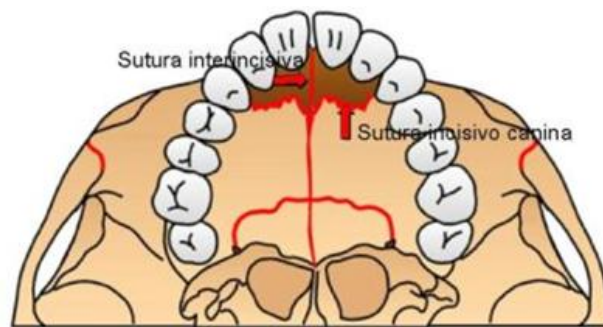


Figura 14 - Sviluppo della premaxilla [Cozza et al, 2003].

I germi degli incisivi superiori costituiscono infine un importante fattore attivo diretto di tipo statico, con un ruolo rilevante nella crescita del premaxellare, sia per l'incremento volumetrico che avviene durante il processo di formazione dentale, sia per la stimolazione della crescita dell'osso alveolare. Tali elementi dentari in sviluppo sono infatti localizzati tra le suture incisivo-canine ed influenzano la prominente della porzione anteriore del palato. Una volta completata l'eruzione, determinano un ampliamento dell'arco incisivo-canino, favorendo una maggiore azione espansiva della lingua ed inducendo le forze masticatorie a svolgere un'azione meccanica di orientamento (*Figura 15*).

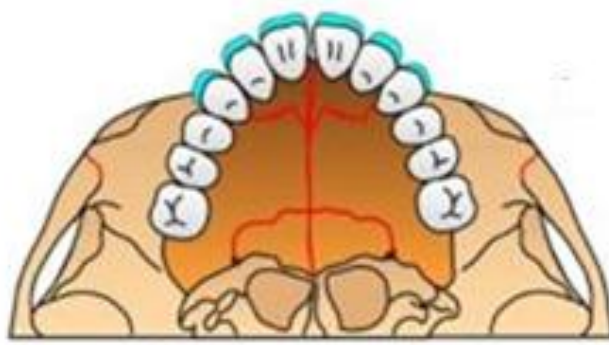


Figura 15 - Sviluppo della premaxilla: ampliamento dell'arco incisivo-canino [Cozza et al, 2003].

Parte del contenuto e delle immagini contenute nel presente capitolo sono tratti dai seguenti testi:

- Anastasi G, Balboni GC, Motta P, et al. Trattato di anatomia umana. Milano: Edi Ermes; 2010.
Enlow DH. Handbook of facial growth. Philadelphia: Saunders; 1982.
Enlow DH, The Human Face: An Account of the Postnatal Growth and Development of the Craniofacial Skeleton, New York: Harper & Row; 1968.
Fonzi L. Anatomia funzionale e clinica dello splanenocranio. Milano: Edi Ermes; 2000.
Moss ML. The functional matrix hypothesis. In: Kraus RM, Riedel RA, editors. Vistas in Orthodontics. Philadelphia: Lea & Febiger; 1962.
Proffit WR, Fields HW. Ortodonzia moderna. 2ª ed. Milano: Elsevier; 2001.
Sicher H, Oral Anatomy, St. Louis: Mosby; 1952.
Sicher H, Weinmann J. The sutural theory of craniofacial growth. In: Weinmann J, Sicher H, editors. The cranio-facial skeleton. Springfield (IL): C.C. Thomas; 1947.

Capitolo 2 – OCCLUSIONE E MALOCCLUSIONE

Per *occlusione* si intende qualsiasi relazione spaziale tra le due arcate dentarie nel momento in cui anche solo alcuni elementi dentari antagonisti vengono a contatto, sia in condizioni di immobilità mandibolare, sia durante i movimenti funzionali o parafunzionali dell'articolazione temporo-mandibolare (ATM).

Nel corso dei movimenti funzionali, i contatti tra le superfici occlusali dei denti superiori ed inferiori si verificano principalmente durante gli atti della deglutizione e della masticazione. Tali contatti sono modulati dalle funzioni neuromuscolari del sistema masticatorio e dai meccanismi sensitivo-proprioceettivi originati dall'ATM e dal legamento parodontale.

In condizioni di mandibola stazionaria, i denti antagonisti stabiliscono contatti che definiscono i rapporti dell'occlusione centrica.

I termini *normo-occlusione* o *occlusione ideale* vengono utilizzati per descrivere una configurazione morfologica occlusale considerata nella norma clinica, oppure una condizione lievemente imperfetta ma che non necessita di trattamento.

Un'occlusione ideale dovrebbe presentare le seguenti caratteristiche:

- Contatti bilaterali e simultanei tra la maggior parte dei denti antagonisti nella posizione di intercuspide massima;
- Distribuzione uniforme del carico masticatorio lungo l'asse maggiore dei denti e tra tutti gli elementi dell'arcata;
- Possibilità di eseguire la funzione masticatoria in modo bilaterale, con percorsi di scivolamento mandibolare privi di interferenze occlusali;
- Assenza di contatti dentali in posizione di riposo mandibolare, con presenza di un adeguato spazio libero interocclusale;
- Corretto allineamento, forma e proporzioni dentarie, in armonia con i parametri estetici e con le proporzioni cranio-facciali individuali;
- Valori di overjet ed overbite entro limiti fisiologici;
- Posizione del primo molare superiore leggermente distalizzata rispetto al corrispondente molare inferiore, per una distanza pari approssimativamente a mezza cuspidale.

Le condizioni che non rispettano i criteri dell'occlusione ideale descritte in precedenza vengono considerate *malocclusioni*. A questo proposito, un contributo fondamentale

proviene da Angle, che ha proposto una classificazione basata essenzialmente sui rapporti dentali [Angle, 1899].

La classificazione di Angle prende come riferimento il rapporto tra i primi molari permanenti superiori ed inferiori, considerati elementi chiave e punti di ancoraggio per qualsiasi analisi morfologica e funzionale delle arcate dentarie.

Nella situazione di normo-occlusione, il primo molare superiore è posizionato distalmente rispetto al corrispondente molare inferiore di circa mezza cuspid; in particolare, la cuspid mesio-vestibolare del primo molare superiore deve coincidere con il solco mesio-vestibolare del primo molare inferiore.

Sulla base di questo criterio, Angle distingue tre categorie di malocclusione: Classe I, Classe II e Classe III [Angle, *Treatment of malocclusion of the teeth*, 1907] (Figura 1).

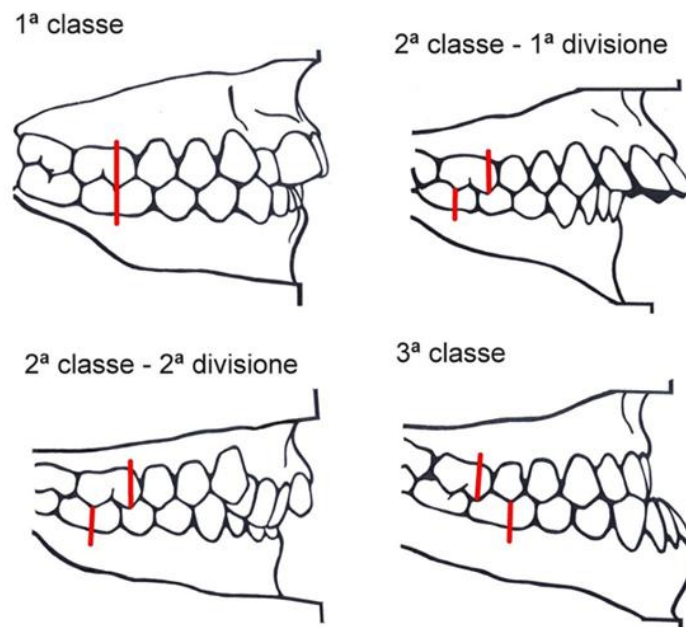


Figura 1 - Classificazione di Angle.

1. Malocclusione di Classe I

È la forma più lieve di malocclusione poiché il rapporto molare rimane corretto, anche se possono essere presenti irregolarità dentarie come affollamenti o rotazioni. Nella Classe I la base scheletrica presenta generalmente relazioni antero-posteriori armoniche, mentre possono comparire alterazioni trasversali o verticali ed anomalie dentarie di varia natura.

I quadri clinici più frequenti includono affollamento anteriore, medio o posteriore, diastemi o vestibolarizzazione degli incisivi, morso incrociato anteriore dento-alveolare, morso incrociato posteriore dentale o scheletrico, spazature dovute ad agenesie, modificazioni della dimensione verticale per cause scheletriche o dento-alveolari.

2. Malocclusione di Classe II

È caratterizzata da una posizione mesiale del primo molare superiore o da una retrusione del primo molare inferiore rispetto al rapporto di Classe I. Si distingue in:

- 1^a Divisione: incisivi superiori inclinati vestibolarmente; overjet aumentato; palato tendenzialmente stretto e allungato, con eventuale morso incrociato posteriore; labbra voluminose e non competenti; frequente respirazione orale; evidente prognatismo mascellare.
- 2^a Divisione: incisivi centrali superiori retroinclinati; incisivi laterali superiori protrusi; incisivi inferiori inclinati lingualmente; overjet ridotto o assente; arcate generalmente ampie; labbra sottili e toniche; presenza di morso profondo. Il rapporto molare non è sempre francamente di Classe II e in alcuni casi si avvicina alla Classe I. La mandibola può apparire retroposizionata a causa dell'interferenza determinata dagli incisivi superiori.

3. Malocclusione di Classe III

Si verifica quando il primo molare inferiore si trova in posizione mesializzata rispetto a quello superiore, oppure quando il molare superiore è distalizzato.

I segni clinici tipici comprendono: incisivi in morso testa-a-testa o in morso inverso; overjet negativo; morso incrociato anteriore o posteriore; discrepanza dimensionale tra arcata superiore, più stretta e triangolare, ed arcata inferiore, più ampia e quadrangolare; postura linguale bassa.

Quando una dismorfia viene trattata durante la fase di crescita, gli esiti tendono a mantenersi più stabili nel tempo. La stabilità e l'efficacia del trattamento ortodontico dipendono in larga misura dall'età in cui si inizia la terapia, dalla severità della malocclusione e dall'andamento della crescita successiva alla fine del trattamento.

La gravità della discrepanza scheletrica iniziale rappresenta un fattore determinante: quanto più marcato è il disallineamento tra le basi ossee, tanto più complesso e prolungato risulterà l'intervento terapeutico.

Capitolo 3 – DIAGNOSI DEL DEFICIT TRASVERSALE DEL MASCELLARE SUPERIORE

3.1 Cenni Storici

Fin dai primi sviluppi della medicina, si è manifestato un interesse per le alterazioni trasversali dell'arcata superiore; Ippocrate, nel V secolo a.C., descriveva infatti un dismorfismo della sfera orale [Linder-Aronson e Rolling, *“Ortodonzia Preventiva” in Pedodonzia: un approccio sistematico*, 1985].

Nel Cinquecento, Eustachi, osservando bocche dall'aspetto irregolare, seppe distinguere tra i casi in cui l'anomalia era causata dai denti e quelli dovuti ad una disarmonia della struttura alveolare o mascellare.

Nel XVIII secolo, si consolidano conoscenze più approfondite sulle anomalie dentarie e mascellari, sulle alterazioni dell'articolazione temporo-mandibolare, sull'occlusione, sulla curva di Spee e sulla posizione di riposo della mandibola [Lindhe, *Textbook of clinical periodontology*, 1986].

Per quanto concerne la terapia, un momento storico rilevante è il 1773, anno in cui Fauchard, nella sua opera *Le Chirurgien Dentiste*, iniziò a delineare i principi fondamentali dell'ortodonzia.

Nel corso del tempo, si assistette all'invenzione delle bande metalliche di ancoraggio e all'impiego del caucciù vulcanizzato come supporto per viti e molle già in uso. Tali innovazioni portarono alla realizzazione di apparecchi come la Placca di White, progettata per ottenere un'espansione sia dentale sia delle ossa alveolari e del palato nella sua interezza. Il primo a riuscire ad ottenere un'espansione del palato mediante la separazione della sutura mediana fu Emerald Angell, il quale, nel 1860, in sole due settimane, riuscì ad aumentare di circa un quarto di pollice il diametro trasverso dell'arcata superiore in una paziente di 14 anni, utilizzando un apparecchio a vite ancorato ai premolari [May, *Manuale di ortodonzia*, 1964].

Non esistono prove radiografiche di quanto affermato, poiché i raggi X non erano ancora stati scoperti ai tempi di Angell: la scoperta avvenne infatti nel 1895, grazie a Wilhelm Röntgen.

Qualche anno dopo, Coleman sostenne che fosse possibile ottenere la separazione della sutura palatina mediana utilizzando la molla di Coffin. Circa un decennio più tardi, anche

Farrar confermò la possibilità di realizzare un'espansione trasversale tramite l'apertura della stessa sutura [Caprioglio D. et al, *Ortodonzia Intercettiva*, 2000].

Con l'inizio del XX secolo si sviluppò un acceso dibattito tra i sostenitori dell'espansione rapida e quelli dell'espansione lenta. Negli Stati Uniti, il pensiero ortodontico fu fortemente influenzato dai promotori dell'espansione lenta, i quali ritenevano che questo approccio fosse capace di produrre modificazioni anatomiche stabili del mascellare. Tale convinzione fu talmente radicata che l'espansione rapida del mascellare venne praticamente trascurata. In Europa, invece, l'espansione rapida trovò maggiore diffusione e accettazione. Il primo a interessarsi a questo metodo fu un rinologo berlinese, che riconobbe la possibilità di modellare la conformazione delle cavità nasali. Circa quarant'anni dopo, Landsberger pubblicò il primo studio europeo significativo, supportato dalle prime radiografie che documentavano l'apertura della sutura palatina mediana [Caprioglio D. et al, *Ortodonzia Intercettiva*, 2000].

Successivamente, numerosi studi confermarono che l'apertura della sutura palatina era seguita dalla deposizione ossea e da un'espansione delle cavità nasali. Grazie a queste evidenze sui benefici dell'espansione palatina rapida, il dispositivo fu nuovamente adottato anche negli Stati Uniti.

A partire dagli anni '60 fino ad oggi, l'espansione rapida del palato si è affermata in maniera definitiva, supportata da numerose ricerche che hanno evidenziato non solo gli effetti dento-scheletrici, ma anche i miglioramenti a livello respiratorio [Zhao et al, 2024].

3.2 Diagnosi

La discrepanza trasversale del mascellare si definisce come un'alterazione del rapporto tra le arcate dentarie sul piano trasversale, evidente quando le arcate antagoniste sono in occlusione [Proffit et al, *Contemporary orthodontics*, 2019; Leonardi et al, 2018].

La discrepanza trasversale può essere classificata come segue:

- Basale o scheletrica mascellare: insufficiente sviluppo trasversale del terzo medio del volto;
- Alveolare mascellare: la base ossea si sviluppa normalmente, ma il complesso alveolare è poco espanso;
- Dentale mascellare: dovuta ad inclinazione linguale di uno o più denti dell'arcata superiore;

- Dentale mandibolare: conseguenza di inclinazione vestibolare di uno o più denti dell'arcata inferiore;
- Alveolare mandibolare: eccesso trasversale dei processi alveolari inferiori;
- Basale o scheletrica mandibolare: eccessivo sviluppo trasversale della mandibola;
- Scheletrica relativa o mista: causata dalla posizione arretrata dell'arcata superiore rispetto a quella inferiore, o viceversa, oppure da una combinazione delle condizioni sopra elencate.

Il deficit dento-alveolare è frequentemente legato a problemi nella sequenza di eruzione dei denti, per cui la posizione degli elementi dentali non riflette l'ampiezza trasversale reale del mascellare superiore. Spesso, quando non è presente un deficit scheletrico, l'alterazione si manifesta come inclinazione palatale dei denti superiori e dei relativi processi alveolari.

Il deficit scheletrico deriva da un ridotto sviluppo basale del mascellare superiore ed è associato ad una limitata crescita trasversale del terzo medio del volto, spesso accompagnata da una riduzione delle fosse nasali. Tale riduzione può essere assoluta o relativa rispetto alla mandibola, come osservato nelle Classi III.

Il deficit misto combina le due forme precedenti: su una base scheletrica ridotta, si osservano denti inclinati palatalmente. Possono manifestarsi anche latero-deviazioni funzionali della mandibola, con crossbite monolaterale ed alterazione dei normali rapporti tra condilo e fossa glenoide. L'asimmetria dei condili determina una compensazione progressiva tramite rimodellamento omolaterale della superficie articolare, causando asimmetrie cranio-facciali e dei percorsi condilari [American Academy of Pediatric Dentistry, *The reference manual of pediatric dentistry*, 2023; Silvestrini Biavati F. et al, 2014].

Clinicamente, la discrepanza trasversale del mascellare superiore si evidenzia più frequentemente con la presenza di un crossbite posteriore.

3.3 Morso Crociato Posteriore

L'identificazione di un morso incrociato posteriore, mono o bilaterale, costituisce un indicatore clinico riconducibile a dismorfismi localizzati in strutture anatomiche differenti, quali la base scheletrica mascellare o mandibolare, oppure i complessi dento-alveolari superiore o inferiore (*Figura 1*) [Da Silva Filho et al, 2007].



Figura 1 - Crossbite monolaterale in dentatura decidua.

Non di rado si riscontrano meccanismi di compenso dento-alveolare che tendono ad occultare la discrepanza trasversale, in quanto la stessa determina una riduzione del numero di contatti occlusali funzionali tra gli elementi dentari delle arcate antagoniste. Poiché tali contatti sono essenziali per garantire un'efficace funzione masticatoria, l'apparato stomatognatico sviluppa dei meccanismi di compenso per mantenerne la funzionalità.

Nel contesto delle discrepanze trasversali, i compensi dentali si manifestano attraverso un'inclinazione vestibolare dei molari mascellari oppure un'inclinazione linguale dei molari mandibolari. Nel primo scenario si osserva un compenso completo, privo di morso incrociato, accompagnato da un marcato aumento della curva di Wilson; nel secondo scenario il compenso risulta solo parziale e può associarsi alla presenza di un crossbite mono o bilaterale.

Il crossbite, di per sé, non rappresenta un criterio diagnostico sufficiente per identificare un deficit trasversale scheletrico del mascellare superiore, poiché può avere un'origine esclusivamente dentale anche in presenza di un normale sviluppo trasversale mascellare.

Nelle discrepanze trasversali di natura dentale, la rimozione dei compensi dentali determina un miglioramento della discrepanza; al contrario, qualora l'origine sia scheletrica, l'eliminazione dei compensi porta ad un peggioramento della discrepanza trasversale.

È quindi essenziale considerare la presenza e l'entità dei compensi dentali per una corretta valutazione della reale discrepanza scheletrica.

Nei casi in cui tali compensi non vengano rimossi in presenza di una problematica scheletrica, l'espansione ottenibile può risultare insufficiente; oppure, qualora si applichi la quantità di espansione necessaria in presenza di compensi ancora attivi, può instaurarsi uno scissor-bite o morso a forbice.

La rimozione dei compensi consente di evidenziare la reale entità della discrepanza scheletrica e del crossbite associato, permettendo così di effettuare una correzione completa della componente scheletrica trasversale.

In presenza di un morso incrociato monolaterale in massima intercuspidação, è indispensabile analizzare il tragitto di chiusura mandibolare: la riduzione trasversale del mascellare superiore induce frequentemente un contatto cuspid-cuspid tra i denti antagonisti e, conseguentemente, una deviazione laterale mandibolare nel tratto terminale del movimento occlusale, finalizzata alla ricerca di una posizione funzionalmente più stabile. Nei pazienti in fase di crescita, tale asimmetria funzionale può evolvere, se non corretta, in una vera e propria asimmetria scheletrica (*Figura 2*) [Iodice et al, 2016].



Figura 2 - Crossbite unilaterale in dentatura decidua, in massima intercuspidação.

Quando in un paziente si osserva una deviazione della linea mediana dentale accompagnata da un morso incrociato monolaterale in occlusione abituale, può accadere che, ponendolo in relazione centrica, la linea mediana si riallinei. In tale circostanza la disfunzione è esclusivamente funzionale e può essere corretta mediante molaggio selettivo degli elementi dentali coinvolti in precontatti, oppure mediante l'applicazione di rialzi occlusali posteriori. Soltanto dopo aver eliminato lo shift mandibolare è possibile valutare correttamente la reale relazione trasversale tra le arcate antagoniste [Da Silva Filho et al, 2007].

Nel caso di un'asimmetria caratterizzata da deviazione del mento associata ad un crossbite monolaterale, è quindi necessario analizzare la discrepanza tra la centrica d'occlusione e la posizione di relazione centrica, ovvero confrontare l'occlusione abituale con l'occlusione in centrica [Bazargani et al, 2025].

Il trattamento del morso crociato posteriore prevede l'impiego di un dispositivo per l'espansione ortopedica del mascellare quando l'eziologia del morso incrociato sia di natura basale, alveolare o combinata. Nei casi in cui la causa non risieda nel mascellare superiore, l'espansione palatale può rappresentare un errore terapeutico; nelle forme a prevalente coinvolgimento alveolare è da preferire un approccio ortodontico, mentre nelle accentuate discrepanze basali mandibolari risulta indicata una terapia di tipo chirurgico.

3.4 Metodi per la Diagnosi di Discrepanza Trasversale

Esistono diversi metodi per diagnosticare il deficit trasversale del mascellare superiore.

✓ Metodo di Vanarsdall/Ricketts - Misurazioni sulla teleradiografia postero-anteriore

Per una valutazione accurata delle modificazioni scheletriche indotte dall'espansione rapida del mascellare (RME) nelle diverse regioni del volto, risultano necessari studi cefalometrici condotti su teleradiografie postero-anteriori. Tale metodica prevede l'acquisizione dell'immagine radiografica con il paziente posizionato frontalmente, assicurando che il cefalostato orienti il fascio radiogeno parallelamente al Piano di Francoforte, definito dai punti Porion ed Orbitale, e dunque in posizione orizzontale [Langlade, *Cefalometria ortodontica*, 1979].

La teleradiografia postero-anteriore rappresenta un metodo altamente valido per l'analisi delle modificazioni trasversali, consentendo di evitare il ricorso alla Tac Cone Beam (CBCT), la quale comporterebbe un'esposizione radiogena significativamente superiore e non risulta sempre appropriata per tutti i pazienti.

In particolare, nel 1999 Vanarsdall ha introdotto l'impiego di un indice differenziale trasversale maxillo-mandibolare, sviluppato sulla base degli studi di Ricketts effettuati sulla teleradiografia postero-anteriore [Graber e Vanarsdall, *Ortodonzia. Diagnosi e linee guida di terapia. Tecniche e procedure*, 2003; Vanarsdall, 1999].

Su tale proiezione si misurano la larghezza scheletrica mascellare, definita come distanza tra i punti giugali (J-J), e la larghezza scheletrica mandibolare, misurata come distanza tra i punti antegoniali (Ag-Ag). Alla differenza tra la larghezza mandibolare e quella mascellare viene quindi sottratto il valore normativo specifico per l'età del paziente, secondo i parametri elaborati da Ricketts.

Il valore risultante, che esprime la deviazione rispetto alla norma, dovrebbe rientrare entro 5 mm; un valore superiore indica la presenza di una discrepanza trasversale scheletrica. Nel paziente adulto, un differenziale assoluto superiore a 20 mm rappresenta un'indicazione per l'espansione assistita da miniviti oppure per il trattamento chirurgico.

In letteratura, numerose indagini sugli effetti trasversali della RME si sono focalizzate prevalentemente sui cambiamenti ottenuti nel breve termine, mentre un numero limitato di studi ha analizzato le implicazioni a lungo termine. Tra questi, Cameron e collaboratori hanno condotto un'analisi basata su cefalogrammi postero-anteriori per valutare gli effetti duraturi dell'espansione rapida ottenuta mediante

l'espansore di Haas (*Figura 3*). Lo scopo dello studio era quantificare il contributo dentale e quello scheletrico alle modificazioni trasversali del volto indotte dal trattamento, considerando tanto la fase attiva di espansione quanto il periodo post-espansione, inclusi gli interventi ortodontici successivi con apparecchi fissi [Cameron et al, 2002].

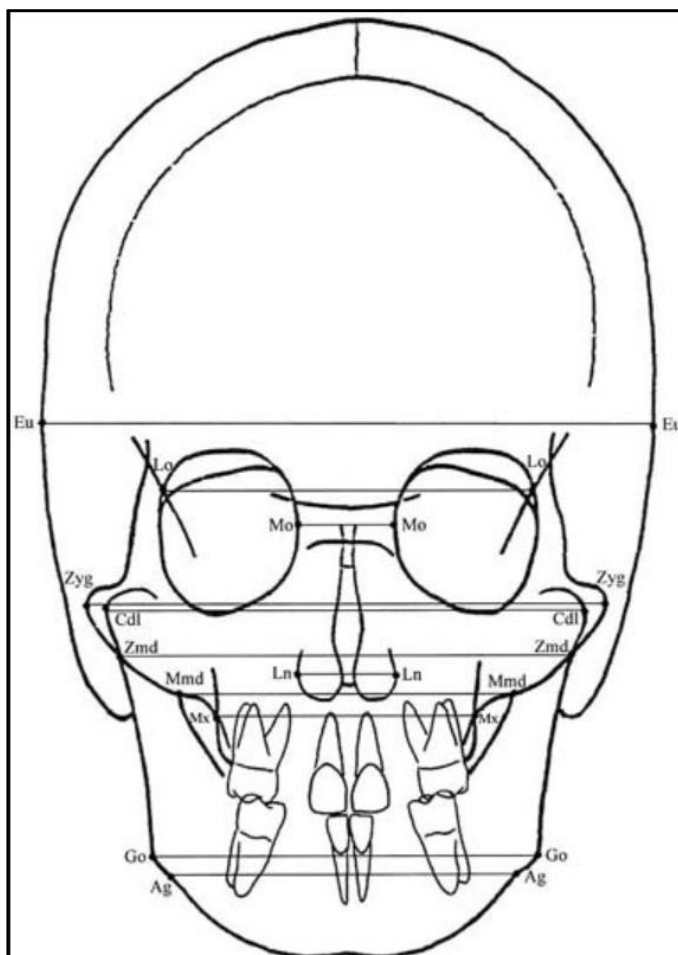


Figura 3 - Analisi cefalometrica su teleradiografia postero-anteriore: punti scheletrici e misurazioni [Cameron et al, 2002].

Tuttavia, alcuni studi hanno evidenziato l'importanza di adottare particolare cautela nell'interpretazione e nelle decisioni diagnostiche basate sulle dimensioni trasversali ottenute da una teleradiografia postero-anteriore. Tale metodica presenta infatti una maggiore propensione ad identificare erroneamente come candidati all'espansione mascellare soggetti che, secondo i criteri clinici convenzionali, non necessiterebbero di tale trattamento [Tai et al, 2014]. Secondo Tai e collaboratori, gli errori legati all'individuazione delle strutture utilizzate per rappresentare la larghezza mandibolare risultano rilevanti sia nelle PA sia nelle CBCT, e richiedono ulteriori

approfondimenti. Si ipotizza che il principale fattore confondente sia rappresentato dai tessuti molli sovrastanti, i quali possono compromettere in modo significativo la capacità del clinico di identificare correttamente i punti di reperi anatomici.

✓ Metodo di McNamara

La valutazione si basa sulla misurazione della larghezza transpalatale, rilevata direttamente sul modello di studio come distanza tra i margini gengivali del solco linguale dei primi molari [Mc Namara, 2000].

McNamara ha indicato i valori medi di riferimento per soggetti tra 7 e 15 anni: 32-34 mm nella dentatura mista e 35-38 mm nella dentatura permanente.

La larghezza transpalatale ottenuta viene confrontata con tali valori medi per stabilire se l'ampiezza mascellare rientri nei limiti fisiologici.

Uno scostamento pari o superiore a 5 mm rispetto alla norma suggerisce la possibile presenza di un deficit scheletrico trasversale.

✓ Valutazione CBCT

Le misurazioni effettuate mediante Tac Cone Beam (CBCT) hanno evidenziato che la larghezza del mascellare superiore risulta mediamente inferiore a quella mandibolare di circa $1,2 \pm 2,9$ mm. Il valore soglia per porre diagnosi di deficit scheletrico mascellare è pari a 4,5 mm (*Figura 4*).

In questo tipo di valutazione diagnostica vengono considerati anche i valori medi di inclinazione dei molari, al fine di quantificare l'entità dei compensi dentali presenti [Miner et al, 2012].

Nonostante il dosaggio radiogeno delle odierne CBCT sia relativamente basso, resta comunque preferibile non prescriverle quando non sia strettamente necessario, ed utilizzare metodi di indagine alternativi.



Figura 4 - Ampiezze mascellare e mandibolare a livello medio-alveolare in una CBCT [Miner et al, 2012].

3.5 Valutazione dell'Età Scheletrica

Nella pianificazione di un trattamento ortodontico risulta fondamentale conoscere il periodo di crescita in cui si trova il paziente, il tipo di sviluppo facciale e, in particolare, il potenziale di crescita residuo prima del raggiungimento della maturità. L'età cronologica di un individuo non sempre coincide con la sua età biologica; per questo motivo è necessario valutare quei parametri che consentono di inquadrare correttamente la situazione e, quando possibile, stimare l'accrescimento facciale. Tra questi parametri figurano l'età scheletrica [Gianni et al, *Atlante di cefalometria ortognatodontica*, 1975], l'età staturale-ponderale [Hunter, 1966; Tanner et al, 1965] e l'età dentale [Langlade, *Diagnosi ortodontica*, 1983]; sebbene tali indicatori possano mostrare una notevole variabilità rispetto all'età anagrafica, forniscono al contempo informazioni di grande valore clinico.

L'analisi dell'età scheletrica ha acquisito negli anni un ruolo sempre più rilevante, poiché rappresenta l'unico metodo in grado di determinare con relativa precisione l'inizio del picco puberale, il picco di crescita e la fase finale dello sviluppo corporeo. La velocità di accrescimento è molto elevata dalla nascita fino circa ai 2 anni, per poi ridursi durante un periodo di rallentamento la cui durata varia in funzione del sesso. Successivamente si osserva un'accelerazione significativa fino al raggiungimento del picco puberale, seguita da una decelerazione graduale fino all'età adulta. Tali fasi mostrano notevoli differenze individuali sia in termini di durata sia di intensità e presentano sempre variazioni tra maschi e femmine, le quali tendono generalmente a manifestare questi eventi circa 1-2 anni prima rispetto ai coetanei di sesso maschile.

Woodside [Langlade, *Diagnosi ortodontica*, 1983] ha identificato tre distinti picchi di crescita:

- Il primo picco si verifica intorno ai 3 anni;
- Il secondo picco avviene tra i 6 e i 7 anni nelle femmine e tra i 7 e i 9 anni nei maschi;
- Il terzo picco, corrispondente al picco puberale, si manifesta a 11-12 anni nelle femmine e a 14-15 anni nei maschi.

Sono state sviluppate diverse metodiche per individuare le fasi di maturazione scheletrica.

Radiografia Carpale

Lo studio dell'età scheletrica mediante radiografia del polso è da sempre un parametro di riferimento, grazie alla progressiva comparsa delle nove ossa che lo costituiscono ed al caratteristico meccanismo di fusione tra epifisi e diafisi delle falangi [Greulich e Pyle, *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*, 1959]. Questo approccio richiede l'esecuzione di una radiografia specifica, la radiografia carpale.

Greulich e Pyle hanno fornito un contributo fondamentale alla valutazione dell'età scheletrica con la pubblicazione di una serie di rx carpali di soggetti radiografati ad intervalli regolari dalla nascita alla fine della crescita. Da queste immagini è stato creato un atlante che permette ai clinici di confrontare le radiografie dei pazienti con quelle standardizzate, ricavandone così l'età scheletrica.

Un altro metodo rilevante è quello elaborato da Björk [Hashim et al, 2018; Björk e Helm, 1967], che distingue sette periodi numerando le dita dalla 1 alla 5, dal pollice al mignolo, e nominando le falangi prossimali (PP), medie (MP) e distali (DP). I principali stadi sono rappresentati in *Figura 5*:

- Epifisi larga quanto la diafisi situata in:
 - Falange prossimale del secondo dito (PP2).
 - Falange media del terzo dito (MP3).
- Comparsa dell'osso sesamoide situato nel pollice (S): inizia la massima velocità di accrescimento.
- Incappucciamento (capping) dell'epifisi situato nella falange media del terzo dito (MP3 Cap).
- Fusione tra epifisi e diafisi localizzata in:

- Falange distale del terzo dito (DP3F): inizia la curva post-puberale e termina l'accrescimento del mascellare superiore.
- Falange prossimale del terzo dito (PP3F).
- Falange media del terzo dito (MP3F).
- Radio (R): completa fusione epifisi radiale con il radio, concludendo l'accrescimento corporeo.

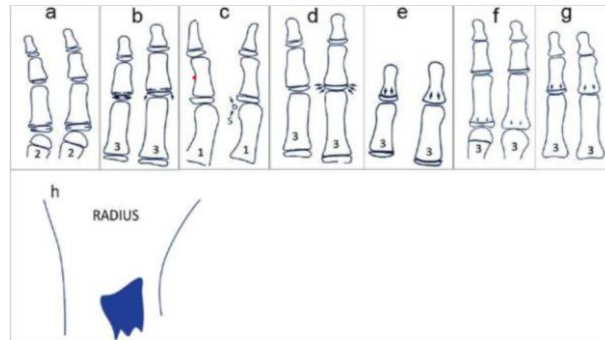


Figura 5 - Maturazione scheletrica secondo Björk [Hashim et al, 2018].

La scuola di Gianni ha proposto una curva di crescita leggermente diversa, articolata in sei periodi di durata variabile in base al sesso:

- I periodo: presenza di trapezoide, grande osso, uncinato, semilunare e piramidale; coincide con la permuta degli incisivi e mostra velocità massima relativa di crescita.
- II periodo: comparsa di trapezio e scafoide; velocità di accrescimento in rallentamento.
- III periodo: comparsa dell'apofisi stiloide del cubito e del pisiforme; inizio della fase puberale con aumento della velocità di crescita verso il picco puberale.
- IV periodo: comparsa dell'osso sesamoide; si raggiunge la velocità massima assoluta di crescita.
- V periodo: calcificazione tra cartilagini falangee e metacarpali; la velocità di crescita decresce.
- VI periodo: completa calcificazione della cartilagine distale del radio; la velocità di crescita staturale e facciale si esaurisce.

I periodi IV e V sono di particolare interesse in ortodonzia, con durata simile tra loro; nelle femmine iniziano prima e con velocità ridotta rispetto ai maschi.

Nel 2014, la Scuola di Ortodonzia dell'Università di Trieste ha introdotto un metodo semplificato di stadiazione, basato sull'analisi radiografica della metafisi e dell'epifisi della falange media del terzo dito (metodo Middle Phalanx Maturation, MPM) [Perinetti et al, 2014]. Tale metodo richiede l'esecuzione di una radiografia endorale della falange media del terzo dito realizzata con un qualsiasi radiografo. Si tratta quindi di una radiografia di facile esecuzione, con dosi trascurabili di raggi X, utile in quanto consente l'identificazione dei centri di ossificazione e la valutazione dello stadio di maturazione ossea, corrispondente alla fusione epifisi-diafisi.

Il metodo MPM distingue sei stadi (*Figura 6*):

- MPS1: epifisi più stretta della metafisi o uguale, con bordi rastremati e arrotondati; non vi è fusione; fino ad un anno prima del picco di crescita puberale.
- MPS2: epifisi larga quanto la metafisi, con bordi ispessiti e netta linea di demarcazione; precede l'inizio del picco di crescita puberale, durata ≤ 1 anno.
- MPS3: epifisi larga quanto la metafisi con incappucciamento iniziale; coincide con il picco di crescita puberale, durata ≤ 1 anno.
- MPS4: epifisi visibile ma in fusione con la metafisi; incappucciamento riconoscibile; picco di crescita puberale post-massimo, durata < 1 anno.
- MPS5: fusione prevalente epifisi-metafisi; contorno distale poco riconoscibile; fine del picco di crescita, durata pochi mesi.
- MPS6: fusione completa; contorno distale non riconoscibile; picco di crescita terminato, stadio permanente.

Il metodo MPM rappresenta un indicatore affidabile del picco di crescita e risulta particolarmente utile nella pianificazione terapeutica dei pazienti con contrazione mascellare.

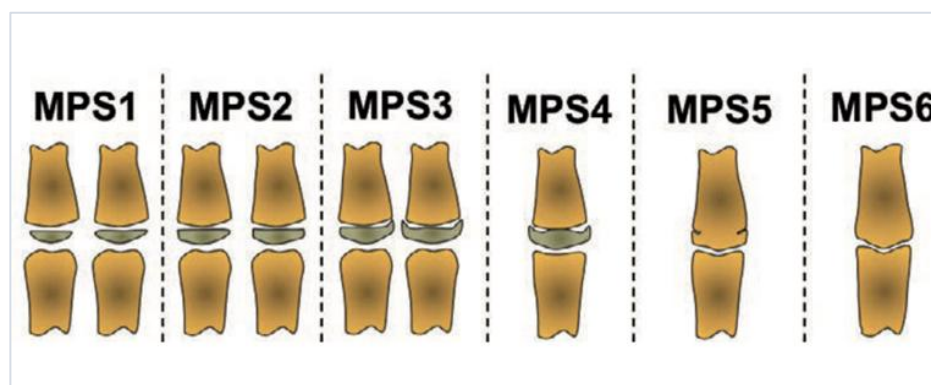


Figura 6 - Metodo di valutazione scheletrica Middle Phalanx Maturation (MPM) [Perinetti et al, 2014].

Indici Vertebrali

Recentemente, la Scuola di Firenze ha introdotto un metodo di valutazione dell'età scheletrica basato sull'analisi delle vertebre cervicali visibili nelle teleradiografie latero-laterali [Baccetti et al, 2005]. Poiché queste radiografie sono già eseguite di routine nei pazienti ortodontici, il metodo presenta il vantaggio di non richiedere esposizioni radiografiche aggiuntive. La stima dell'età scheletrica ottenuta dall'analisi delle vertebre cervicali si è dimostrata accurata quanto quella derivata dalla radiografia del polso [Perinetti et al, 2014].

Tra le vertebre cervicali, si possono considerare tipiche la C3, la C4 e la C5, mentre la C1, la C2, la C6 e la C7 presentano caratteristiche particolari. La sequenza di maturazione di queste vertebre è stata studiata inizialmente da Lamparski [Lamparski, 1975] e successivamente da altri autori, con l'obiettivo di definire degli standard di maturità scheletrica.

Con l'avanzare della maturazione scheletrica, i corpi vertebrali di C3 e C4 modificano progressivamente la loro forma: da quasi cuneiforme a rettangolare, a quadrata ed infine ad una configurazione con il lato maggiore verticale rispetto a quello orizzontale. I margini vertebrali inferiori, inizialmente piatti nelle fasi immature, diventano concavi nelle fasi avanzate; queste concavità compaiono in successione su C2, C3 e C4 e si accentuano con il progredire della crescita.

Lamparski ha individuato sei categorie di maturazione vertebrale (CVS, Cervical Vertebrae Stages) [Lamparski, 1975]. Successivamente, Hassel e Farman [1995] hanno combinato queste categorie con gli 11 gruppi di Skeletal Maturation Indicators (SMI) di Fishman [Fishman, 1987].

Va ricordato che la maturazione scheletrica è un processo continuo; gli indicatori di maturità scheletrica nella mano e nel polso e nelle vertebre cervicali rappresentano eventi distinti all'interno di questa continuità. Ogni stadio sfuma nel successivo, ed i casi limite possono risultare difficili da distinguere, anche se tali differenze hanno scarsa rilevanza clinica.

Per le vertebre cervicali sono stati definiti sei stadi principali di maturazione (*Figura 7*):

- CS1: tutti i margini inferiori dei corpi vertebrali sono piatti; i margini superiori sono fortemente assottigliati da dietro in avanti, conferendo ai corpi vertebrali una forma trapezoidale.
- CS2: compare una concavità nel margine inferiore della seconda vertebra (C2), mentre gli altri margini inferiori restano piatti.

- CS3: si sviluppa una concavità nel margine inferiore della terza vertebra (C3); gli altri margini inferiori rimangono piatti.
- CS4: tutti i corpi vertebrali assumono una forma rettangolare; la concavità di C3 si accentua, quella di C4 diventa più evidente ed iniziano a delinearsi le concavità di C5 e C6.
- CS5: i corpi vertebrali appaiono quasi quadrati, con spazi intervertebrali ridotti; le concavità inferiori sono ben definite in tutte le vertebre considerate.
- CS6: rappresenta lo stadio di maturazione completa; i corpi vertebrali sono più alti che larghi, di forma rettangolare verticale, e tutte le concavità inferiori sono approfondite.

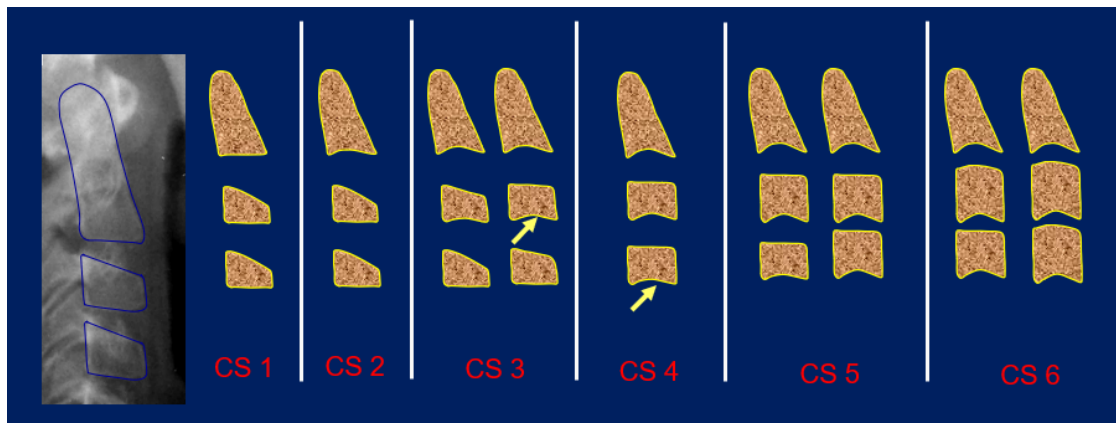


Figura 7 - Stadi di Maturazione delle Vertebre Cervicali (CVMS) [Baccetti et al, 2005].

L'incremento delle dimensioni mandibolari durante questo intervallo risulta da 1/3 a 2/3 maggiore rispetto a quanto osservato nei due periodi precedenti. Il metodo di valutazione della maturazione delle vertebre cervicali evidenzia una significativa decelerazione nella crescita mandibolare e facciale (S-Gn) tra la fase 4 e la fase 5.

Tuttavia, questo approccio presenta un limite intrinseco: non è utilizzabile per il monitoraggio continuo della crescita nei pazienti prima dell'inizio del trattamento ortodontico. Tale tipo di follow-up non è eticamente raccomandabile, poiché la sola finalità di valutare l'inizio del picco puberale non giustifica l'esposizione radiografica aggiuntiva del cranio.

Correlazione Indici Vertebrali CVMS – Maturazione sutura palatina mediana MPSMS

Recentemente, è stata trovata una correlazione tra gli indici vertebrali (CVMS) e la maturazione delle suture mascellari, in particolare la sutura palatina mediana.

In particolare, uno studio condotto da Liu e collaboratori ha analizzato le CBCT di 233 soggetti tra gli 8 ed i 20 anni [Liu et al, 2023], al fine di trovare una correlazione tra lo stadio di maturazione vertebrale (CVMS), ottenuto utilizzando il metodo di Franchi e Mc Namara [Mc Namara e Franchi, 2018; Baccetti et al, 2005] ed il livello di maturazione della sutura palatina mediana (MPSMS), analizzato tramite il metodo di Angelieri [Angelier et al, 2013].

Secondo Angelieri e collaboratori, gli stadi di maturazione della sutura palatina mediana sono classificati in A, B, C, D ed E (*Figura 8, Figura 9*):

- Stadio A: si osserva una linea ad alta densità pressoché rettilinea, indicativa di una sutura non fusa.
- Stadio B: è presente una linea ad alta densità curva, anch'essa compatibile con una sutura ancora non fusa.
- Stadio C: compaiono due linee curve e parallele tra loro, che rappresentano l'inizio del processo di fusione suturale.
- Stadio D: le due linee curve sono visibili nella porzione anteriore del palato, ma scompaiono posteriormente, segnalando una fusione parziale della sutura.
- Stadio E: la linea suturale risulta completamente assente, indicando la totale fusione della sutura palatina mediana.

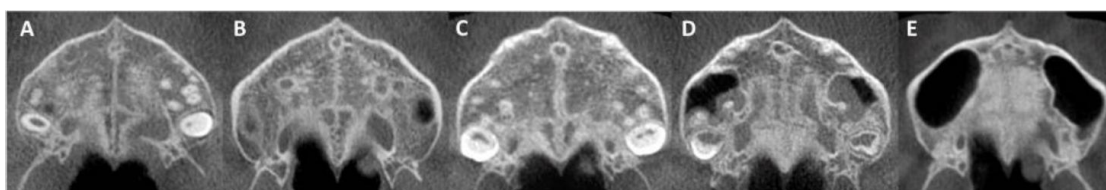


Figura 8 - Stadi di maturazione A-B-C-D-E della sutura palatina mediana [Angelier et al, 2013].

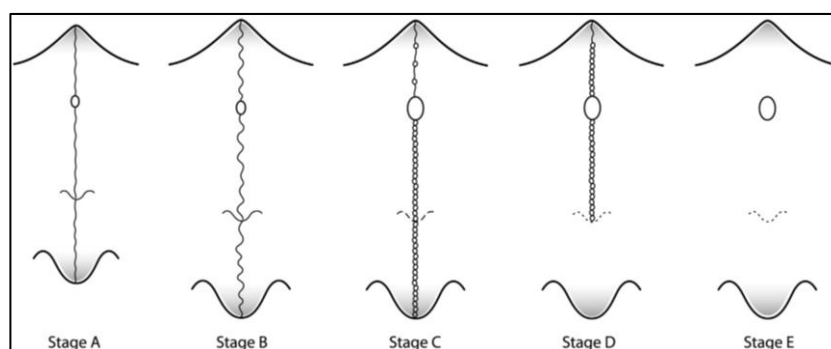


Figura 9 - Disegno schematico degli stadi di maturazione osservati nella sutura palatina mediana [Angelieri et al, 2013].

La determinazione del grado di maturazione della sutura palatina mediana rappresenta un elemento fondamentale nei casi di discrepanza trasversale del mascellare superiore, nei quali si renda necessario un trattamento di espansione ortopedica. A questo proposito, Franchi e Baccetti hanno evidenziato differenze significative nella risposta terapeutica alla RME in funzione dello stadio di maturazione vertebrale cervicale (CVMS) [Baccetti et al, 2001].

La CBCT costituisce indubbiamente lo strumento più accurato per analizzare direttamente la sutura, come descritto da Angelieri e collaboratori [2013], tuttavia l'esposizione radiografica relativamente elevata ne limita l'impiego routinario. In questa prospettiva, comprendere la relazione tra gli stadi di maturazione delle vertebre cervicali (CVMS) e quelli della sutura palatina mediana (MPSMS) consente di riservare la CBCT unicamente ai casi in cui sia realmente necessaria.

L'analisi della distribuzione degli stadi MPSMS nei diversi livelli di CVMS mostra che, procedendo dallo stadio A allo stadio E della sutura, la maturazione cervicale avanza progressivamente dal CS1 al CS6, coerentemente con i principi generali di crescita. In questa ricerca, gli stadi D (fusione parziale) ed E (fusione completa) della sutura palatina mediana sono stati riscontrati per la prima volta a partire dallo stadio CS4 del CVMS.

I dati ottenuti confermano una correlazione marcata tra CVMS e MPSMS: gli stadi CS1-2 presentano un'elevata capacità di individuare gli stadi A-B della sutura, rendendoli validi indicatori diagnostici. Gli stadi CS4 e CS5-6 mostrano invece un valore diagnostico intermedio nel predire rispettivamente gli stadi C e D-E del MPSMS.

Dal punto di vista clinico, nei soggetti che si presentano negli stadi CS4 o CS5-6 è indicato ricorrere alla CBCT per una valutazione diretta ed accurata della maturazione della sutura palatina mediana.

Tali risultati sono stati confermati anche da altri studi [Hezenci e Bulut, 2024] e rendono quindi utile l'applicazione dell'analisi degli indici vertebrali CVMS come primo screening per predire il grado di maturazione della sutura palatina mediana.

Parte del contenuto e delle immagini contenute nel presente capitolo sono tratti dai seguenti testi:

- Caprioglio D, Levrini A, Lanteri C, Caprioglio A, Levrini L. Ortodonzia intercettiva. Milano: Edizioni Martina; 2000.
Gianni E, Manetti V, Segù F, Segù S. Atlante di cefalometria ortognatodontica. Vigevano: G.M.S.; 1975.
Grabner TM, Vanarsdall RL Jr. Ortodonzia. Diagnosi e linee guida di terapia. Tecniche e procedure. Torino: UTET; 2003.
Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. Stanford (CA): Stanford University Press; 1959.
Langlade M. Cefalometria ortodontica. Milano: Scienza e Tecnica Dentistica, Edizioni Internazionali s.n.c.; 1979.
Langlade M. Diagnosi ortodontica. Milano: Edizioni Scienza e Tecnica Dentistica; 1983.
Proffit WR, Fields HW, Sarver DM. Contemporary orthodontics. 6th ed. St. Louis: Elsevier; 2019.

Capitolo 4 – TERAPIA DEL DEFICIT TRASVERSALE DEL MASCELLARE SUPERIORE

Sebbene in letteratura sia documentata l'autocorrezione del morso crociato posteriore in una minoranza di pazienti durante il passaggio da dentizione decidua a dentizione permanente [Thilander et al, 1984], in generale è raccomandato un intervento precoce volto a risolvere la malocclusione.

Nei casi di morso incrociato associato a deviazione funzionale mandibolare, diagnosticati in dentizione primaria o in dentizione mista precoce, la letteratura indica come approccio terapeutico iniziale il molaggio selettivo delle superfici oclusali, generalmente a carico degli elementi decidui, con l'obiettivo di favorire il riallineamento spontaneo della mandibola. In alternativa, è possibile ricorrere all'applicazione di intarsi in composito al fine di eliminare le interferenze oclusali residue e prevenire lo spostamento mandibolare funzionale. Tale approccio ha riportato tassi di successo fino al 64% nei pazienti pediatrici [Ugolini et al, 2021; Kennedy e Osepchhook, 2005].

Studi prospettici hanno evidenziato che la probabilità di successo del molaggio selettivo aumenta significativamente quando la larghezza intercanina mascellare supera quella mandibolare di almeno 3 mm [Kuroi e Berglund, 1992; Lindner, 1989].

Qualora il trattamento intercettivo iniziale risulti inefficace, è indicata l'espansione ortodontica in dentizione mista precoce, mediante apparecchi rimovibili o fissi [Ferro et al, *L'ortodonzia pediatrica o delle prime due dentature con poco... tanto*, 2018; Caprioglio D. et al, *Ortodonzia Intercettiva*, 2000].

Nel corso della dentizione mista può verificarsi una parziale o completa coincidenza tra relazione centrica (CR) ed occlusione centrica (CO), associata alla presenza di segni di discrepanza scheletrica, quali affollamento, protrusione incisale ed insufficienza di spazio per l'eruzione degli incisivi laterali mascellari. In tali circostanze, l'espansione mascellare mediante apparecchi fissi o rimovibili risulta indicata sia per la correzione del crossbite posteriore sia per il trattamento del deficit trasversale mascellare sottostante [Mc Namara, 2000].

Secondo la revisione Cochrane, i dispositivi di espansione palatale possono essere ancorati solo ai denti (tooth-borne/TB), a denti e mucosa orali (tooth-tissue-borne/TTB), a denti e osso (tooth-bone-borne/TBB) o solamente all'osso (bone-borne/BB); inoltre l'espansione può essere definita "rapida" quando consiste in 0,5 mm di attivazione al giorno, o "lenta" quando l'attivazione è di 0,5 mm a settimana [Ugolini et al, 2021]. Gli espansori lenti

prevedono un periodo di attivazione che si può estendere fino a 12 settimane, mentre l’RME consente di ottenere l’espansione desiderata nell’arco di circa 2-6 settimane [Luiz Ulema Ribeiro et al, 2020; Martina et al, 2012].

La consistente sovrapposizione degli esiti clinici ottenuti con le diverse apparecchiature per la correzione del morso incrociato, ampiamente documentata in letteratura, ha favorito un crescente interesse verso un approccio terapeutico personalizzato, che valorizzi l’esperienza clinica e la familiarità dell’ortodontista con specifici dispositivi. La selezione dell’apparecchio più appropriato dovrebbe infatti basarsi non solo sull’efficacia terapeutica, ma anche su considerazioni di ordine pratico, quali la composizione dei materiali, l’ingombro intraorale, il comfort per il paziente, il protocollo di attivazione, la facilità di mantenimento dell’igiene orale, l’impatto sulla funzione orale ed il grado di personalizzazione disponibile [Bazargani et al, 2025].

I tassi di successo riportati per la correzione del morso crociato posteriore mediante dispositivi quali Quad-Helix (QH), placca di espansione (EP) o espansori fissi con vite di espansione variano dall’84% al 100% nelle dentizioni primaria e mista precoce [Ugolini et al, 2021; Kennedy e Osepchook, 2005].

In determinate condizioni cliniche può rendersi necessario ricorrere ad un’espansione palatale assistita chirurgicamente o a dispositivi a supporto scheletrico [Bazargani et al, 2025].

4.1 Espansione Rapida del Mascellare (RME)

L’espansione rapida del palato (Rapid Maxillary Expansion, RME) rappresenta l’unica metodica non chirurgica in grado di determinare un incremento trasversale reale della componente ossea del mascellare superiore, ottenendo di conseguenza un ampliamento della base scheletrica [Haas, 1970]. L’obiettivo primario della RME è l’espansione della maxilla, piuttosto che delle arcate dentali. Tale concetto si basa sul principio biomeccanico secondo cui l’applicazione di una forza ortopedica ad attivazione rapida a livello dei denti posteriori non consente un significativo movimento dentale; al contrario, la forza viene trasmessa alla sutura palatina mediana, inducendone la disgiunzione (*Figura 1*) e determinando un limitato spostamento dentale rispetto al supporto osseo.

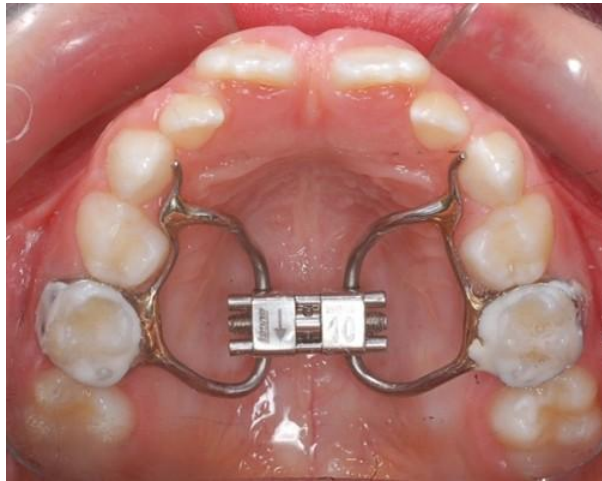


Figura 1 - Espansore Rapido del palato ancorato ai secondi molari decidui, con braccetti estesi ai canini decidui.

Come documentato in letteratura da Angelieri e collaboratori, con l'avanzare dell'età la sutura palatina mediana diviene progressivamente più tortuosa ed interdigitata, condizione descritta attraverso cinque stadi di maturazione (A-E) [Angelieri et al, 2013]. Nel periodo infantile è possibile ottenere la separazione suturale tramite differenti dispositivi ortopedici; tuttavia, con l'inizio dell'adolescenza, l'interdigitazione delle spicole ossee aumenta al punto da richiedere forze considerevoli, generate dalla vite centrale dell'espansore, per indurre microfratture e permettere l'apertura suturale. Quando all'interno della sutura iniziano a comparire ponti ossei di ossificazione avanzata, l'espansione scheletrica tramite metodiche ortopediche convenzionali non risulta più possibile.

Lo spazio generato a livello della sutura palatina mediana in seguito alla disgiunzione ortopedica del mascellare viene inizialmente colmato da sangue e liquidi tissutali. La comparsa di un diastema interincisivo rappresenta un segno clinico dell'avvenuta separazione suturale. Al termine della fase attiva di espansione, è necessario mantenere il dispositivo in sede per almeno 6 mesi (periodo di contenzione) al fine di preservare lo spazio creato, consentendo la deposizione di nuovo tessuto osseo all'interno della diastasi suturale [Costa et al, 2017]. Nel corso di tale processo, può talvolta verificarsi una riduzione o completa chiusura del diastema interincisivo, dovuta alla trazione esercitata dalle fibre transettali che tendono a riportare gli incisivi a contatto [Tenshin et al, 1995].

L'espansione ortopedica del mascellare è indicata nei casi di malocclusione caratterizzati da una discrepanza scheletrica trasversale a carico della maxilla, con presenza di crossbite mono o bilaterale. Nei pazienti con iposviluppo del terzo medio del volto, tale procedura consente di ristabilire rapporti dentali e scheletrici corretti tra le arcate e le rispettive basi ossee.

Secondo quanto riportato da Haas, [1970] l'espansione rapida del mascellare (Rapid Maxillary Expansion, RME) costituisce il trattamento di elezione nelle seguenti condizioni:

- Insufficienza mascellare reale o relativa: l'insufficienza reale si verifica quando la maxilla presenta dimensioni ridotte rispetto al complesso cranio-facciale; l'insufficienza relativa è invece caratterizzata da una maxilla di dimensioni normali associata ad una mandibola eccessivamente sviluppata;
- Ridotta ampiezza della cavità nasale, in particolare nei pazienti con respirazione orale o mista;
- Discrepanze scheletriche di Classe III di qualsiasi entità;
- Pazienti con palatoschisi che abbiano superato una determinata età di sviluppo osseo;
- Deficit anteroposteriore della maxilla nei quali un'espansione tridimensionale possa migliorare la relazione scheletrica;
- Deficit selettivi della lunghezza dell'arcata in presenza di un pattern scheletrico complessivamente armonico dal punto di vista morfologico.

L'applicazione di una forza ortopedica sull'arcata superiore in pazienti in età evolutiva determina un movimento dentale limitato, mentre si ottiene la separazione delle due porzioni della maxilla con conseguente apertura della sutura palatina mediana e deposizione di nuovo tessuto osseo. Tale processo si associa a modificazioni adattative delle suture mascellari laterali e della sutura frontonasale.

Affinché l'effetto ortopedico sia efficace, la forza applicata deve indurre nel mascellare una risposta morfologica dipendente da vari fattori: entità dell'espansione rispetto al tempo di applicazione, modalità di erogazione della forza, caratteristiche biomeccaniche del dispositivo ed età del paziente. Tra questi fattori, il rapporto ampiezza/tempo rappresenta l'elemento determinante nell'espansione rapida, in quanto regola il corretto raggiungimento della disgiunzione suturale.

Generalmente, l'espansione rapida del palato viene eseguita mediante una vite centrale attivata ad una velocità di circa 0,5 mm al giorno (pari a due attivazioni da 0,25 mm ciascuna). Attraverso attivazioni multiple quotidiane e nell'arco di circa due settimane, è possibile ottenere un'espansione complessiva fino a 1 cm. Tale risultato è documentabile radiograficamente attraverso la visualizzazione dell'apertura della sutura medio-palatina (*Figura 2*) e clinicamente mediante la comparsa di un diastema interincisivo [Ugolini et al, 2021].

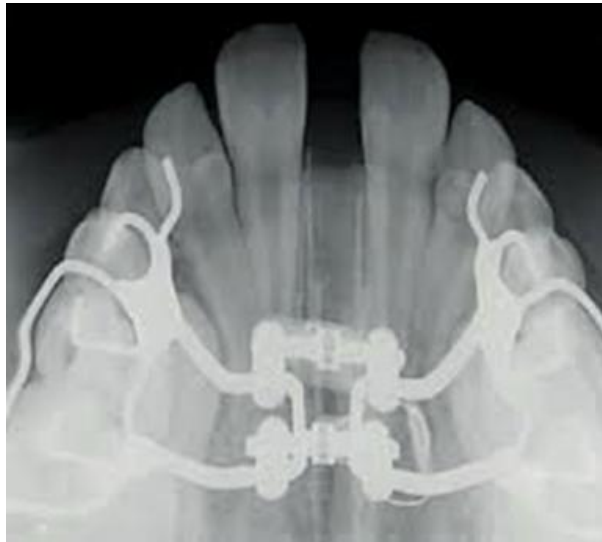


Figura 2 - Disgiunzione della sutura palatina mediana osservata tramite radiografia in proiezione occlusale.

La forza applicata deve essere monitorata clinicamente e mantenuta all'interno di un intervallo efficace: al di sotto di tale soglia non si osserva alcun effetto ortopedico, mentre il limite superiore è rappresentato dalla soglia di tolleranza algica del paziente. Questo richiede appuntamenti molto ravvicinati per controllare la corretta attivazione della vite da parte dei genitori e stabilire quando terminare l'espansione attiva.

La rigidità del dispositivo rappresenta un requisito essenziale, poiché le porzioni basali del mascellare oppongono resistenza alla disarticolazione. Un apparecchio sufficientemente rigido consente la trasmissione di forze centrifughe senza deformazioni dell'armatura, favorisce un'apertura suturale con margini pressoché paralleli e riduce lo spostamento vestibolare delle componenti dento-alveolari.

Tipologie di Espansore Mascellare Rapido

In letteratura sono descritti diversi tipi di espansori rapidi che possono essere utilizzati al fine di determinare un'espansione ortopedica dell'osso mascellare, tra questi l'Espansore di tipo Haas, l'Espansore di tipo Hyrax, l'Espansore con Bite Block e l'Espansore con "Vite Ragno" [Bazargani et al, 2025].

L'espansore di tipo Haas (Figura 3) è generalmente costituito da due o quattro bande di ancoraggio posizionate sui primi molari decidui e sui primi molari permanenti, connesse tra loro da barre che si estendono in direzione postero-anteriore e risultano saldate alle superfici vestibolari e palatine degli elementi dentali di ancoraggio [Ugolini et al, 2021]. Sono inoltre

presenti barre palatali orientate anch'esse in senso postero-anteriore, le quali sostengono due scudi resinosi a diretto contatto con la mucosa palatina; questi scudi si estendono lateralmente a partire dalla linea mediana ed incorporano sistemi di connessione. La vite di espansione è collocata centralmente lungo la linea mediana, a circa 1 mm dal piano palatino. La presenza degli scudi resinosi è finalizzata a favorire un movimento dentale prevalentemente corporeo piuttosto che inclinato (tipping) [Haas, 1965].



Figura 3 - Espansore di tipo Haas con bande sui secondi molari decidui, braccetti bondati sui canini decidui e scudi palatali in resina.

L'Espansore con Bite Block (Figura 4), noto come Espansore di McNamara, è costituito da un'armatura metallica e da una vite di espansione centrale posizionata lungo la linea mediana del palato; il dispositivo è fissato agli elementi dentari tramite una copertura occlusale in resina acrilica dello spessore di circa 3 mm, che svolge la funzione di bite block posteriore. Tale configurazione impedisce l'eruzione dei denti diatorici ed è pertanto indicata nei pazienti con pattern scheletrico iperdivergente.

Durante il fissaggio clinico è necessario mordenzare le superfici vestibolari e linguali degli elementi dentari, evitando quelle occlusali per facilitarne la successiva rimozione.

Questo tipo di apparecchiatura è stato introdotto da McNamara, il quale riteneva che tale approccio costituisse il metodo più efficace per ottenere la separazione delle due emiporzioni mascellari.



Figura 4 - Espansore di Mc Namara, con aggiunta di griglia linguale nella porzione anteriore.

L'Espansore con “Vite Ragno” (Figura 5) è progettato per ottenere principalmente un'espansione nella regione anteriore. Le bande di ancoraggio supportano due componenti metalliche simmetriche dotate di due bracci, collegate tra loro mediante una vite di espansione la cui attivazione genera un'apertura angolare con effetto espansivo. La vite ragno è caratterizzata da un sistema a tre snodi: quello posteriore consente l'apertura a ventaglio, mentre i due snodi anteriori e laterali hanno la funzione di stabilizzare l'apparecchiatura evitando fenomeni di torsione. Il dispositivo è indicato in pazienti che presentano una restrizione trasversale localizzata nella zona frontale e che non necessitano di espansione del settore posteriore.

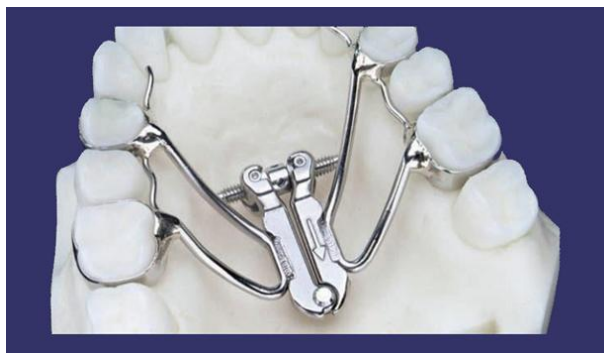


Figura 5 - Espansore con “Vite Ragno”.

Caratteristiche tecniche dell'Espansore Mascellare Rapido

Per la cementazione dell'apparecchiatura vengono selezionati due denti di supporto dell'arcata superiore, generalmente i secondi molari decidui oppure i primi molari permanenti (Figura 6).

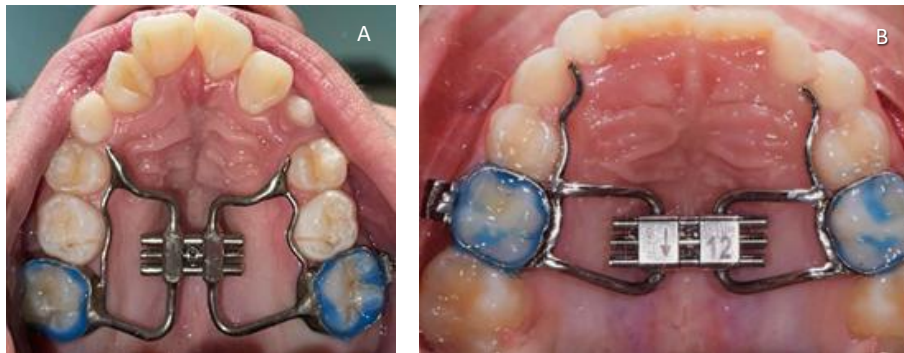


Figura 6 - Espansore Mascellare Rapido cementato sui primi molari permanenti (A) o sui secondi molari decidui (B).

L'appoggio viene poi ampliato tramite estensioni che si proiettano anteriormente fino ai canini decidui o ai primi premolari.

Recentemente, una ricerca condotta da Ugolini e collaboratori ha indicato che l'utilizzo dei secondi molari da latte come ancoraggio favorisce un'espansione scheletrica più efficiente e con minori compensazioni dento-alveolari, determinando un effetto maggiore sulla volta palatina rispetto all'impiego dei primi molari permanenti. Di conseguenza, si ottiene un'espansione più ampia e stabile nella porzione anteriore del palato, mentre con l'ancoraggio sui primi molari permanenti si osserva un incremento dell'inclinazione degli elementi 1.6 e 2.6, segno di una più marcata compensazione dento-alveolare [Ugolini et al, 2015].

Questi risultati sono confermati da una revisione scientifica [Ugolini et al, 2021] e anche da altre ricerche, sia relative a dispositivi a supporto dentale [Cerruto et al, 2017; Cozzani et al, 2003], sia con dispositivi ad ancoraggio dento-osseo [Drago et al, 2023], che riportano un'espansione più evidente nella zona anteriore del palato ed una distorotazione dei primi molari superiori, fenomeno probabilmente legato alla differente collocazione della vite espansiva [Araugio et al, 2013].

Inoltre, quando l'espansione viene effettuata in fase di dentizione mista iniziale, l'impiego dei secondi molari decidui come elementi di ancoraggio risulta clinicamente vantaggioso, se possibile [Ugolini et al, 2015]: in questo modo si riduce al minimo il rischio di riassorbimenti radicolari temporanei, perdita ossea e demineralizzazioni dello smalto a carico dei primi molari permanenti [Serafin et al, 2025].

In particolare, Quinzi e collaboratori hanno identificato un metodo per capire quando sia possibile utilizzare i secondi molari decidui come elementi di ancoraggio del dispositivo, ed evitare che la loro esfoliazione imprevista crei problemi durante il trattamento: gli autori nel loro studio hanno evidenziato che quando, al tempo iniziale, la cuspidale del premolare

corrispondente si trova apicalmente rispetto alla linea della metà della camera pulpare (HPC) del primo molare permanente superiore omolaterale, la probabilità che il secondo molare deciduo possa fungere con successo da ancoraggio per un espansore mascellare per almeno 16 mesi supera il 94% [Quinzi et al, 2021].

Per assicurare una stabilità ottimale dell'RME per tutta la durata del trattamento, è necessario selezionare con precisione le bande posteriori da cementare. Successivamente, si rileva un'impronta o una scansione digitale dell'arcata superiore mantenendo le bande in posizione; il laboratorio realizza quindi il dispositivo, che verrà in seguito cementato direttamente in bocca.

Prima della fase di cementazione è raccomandata la lucidatura dei denti destinati a ricevere le bande. La cementazione può essere effettuata mediante cemento vetroionomerico polvere-liquido a polimerizzazione duale con rilascio di fluoro oppure tramite una procedura adesiva; in quest'ultimo caso, gli elementi dentari devono essere sottoposti a mordenzatura per 60-90 secondi, seguita da risciacquo, asciugatura e applicazione dell'adesivo. La rifinitura finale del dispositivo viene eseguita mediante pietre a grana fine e coppette da profilassi, al fine di ridurre la ritenzione di placca e residui alimentari, migliorare il comfort del paziente e favorire le manovre di igiene orale da parte del paziente. Una volta completato il protocollo di attivazione e ottenuta la separazione della sutura palatina mediana, confermata radiograficamente tramite una radiografia oclusale e clinicamente evidenziabile dalla comparsa del diastema tra gli incisivi superiori, la vite viene bloccata nella sua parte centrale per evitare una disattivazione involontaria (*Figura 7*) ed il dispositivo viene lasciato in sede come contenzione.



Figura 7 - RME in fase di contenzione, con vite bloccata.

Effetti dell'Espansore Mascellare Rapido sul parodonto marginale

Numerosi studi hanno evidenziato la presenza di riassorbimenti diffusi sulle superfici vestibolari delle radici dei denti utilizzati come ancoraggio per l'espansore [Lemos Rinaldi et al, 2018]; tali riassorbimenti risultano più marcati nella parte cervicale e tendono a diminuire verso l'apice, mentre la loro entità non sembra correlata in modo diretto alla durata, all'ampiezza o alla tecnica di espansione adottata [Lo Giudice et al, 2018; Akyalcin et al, 2015].

Secondo alcuni autori, questi processi di riassorbimento possono proseguire anche durante la fase di contenzione, a causa della pressione esercitata dalla corticale ossea che tende a tornare alla posizione originaria [Leonardi et al, 2022].

La riparazione di queste alterazioni è molto lenta: anche dopo un anno è possibile rilevare sia residui di riassorbimento sia segni di neoformazione di cemento radicolare.

Sono stati inoltre documentati riassorbimenti gravi nei casi in cui la sutura mediana non si disgiunga per avvenuta ossificazione [Verstraaten et al, 2010; Suri e Taneja, 2008]: in tali circostanze si verifica un semplice tipping dei denti di ancoraggio, con un aumento del rischio di complicanze iatrogene, come la frattura della parete alveolare [Quinzi et al, 2019]. Per quanto riguarda i danni parodontali, è stato condotto uno studio che confrontava un gruppo trattato metà con espansione rapida (RME) e metà con espansione lenta rispetto ad un gruppo di controllo sottoposto a sola terapia ortodontica senza espansione. I risultati hanno mostrato assenza di differenze significative tra espansione rapida e lenta, fatta eccezione per un cambiamento misurabile nell'altezza ossea e nel livello di attacco nella regione centrale [Greenbaum e Zachrisson, 1982].

In conclusione, gli autori sostengono che i danni radicolari iatrogeni associati all'espansione rapida sono di tipo superficiale e circoscritto, e pertanto non rappresentano una controindicazione clinica all'utilizzo dell'espansore rapido [Roscoe et al, 2015; Brezniak e Wasserstein, 2002].

Effetti dell'Espansione Ortopedica su respirazione, fonazione e udito

Gli effetti dell'espansione mascellare sulla respirazione nasale e sulla sindrome delle apnee ostruttive del sonno (OSAS) rappresentano ancora un tema di discussione nella letteratura scientifica [Fernandez-Barrales et al, 2022; Camacho et al, 2017].

Attualmente, sono insufficienti le evidenze di elevata qualità metodologica che attestino in modo conclusivo i benefici dell'espansione mascellare nel miglioramento della pervietà

delle vie aeree o nel trattamento dell'OSAS, sia come intervento isolato sia come procedura coadiuvante [Bazargani et al, 2025].

L'espansione ortopedica del mascellare, determinando un incremento del diametro trasverso delle cavità nasali [Zhao et al, 2024; Bazargani et al, 2018; Lee et al, 2018], può esercitare un effetto favorevole sulla funzionalità respiratoria. Tuttavia, risulta necessario evitare previsioni deterministiche riguardo ad un miglioramento certo della respirazione nei soggetti sottoposti a tale trattamento.

In alcuni casi, possono essere presenti condizioni concomitanti relative alla fonazione o alla morfologia delle arcate dentarie; in tali circostanze, un iter diagnostico accurato è indispensabile per identificare il difetto primario o per stabilire se entrambe le alterazioni siano riconducibili ad un'unica noxa patogena.

Recidiva e Contenzione

Dopo 2-3 mesi dall'espansione ortopedica del mascellare si osserva il completamento del processo di riorganizzazione istologica della sutura, parallelamente ad evidenze radiologiche che indicano l'avvenuta remineralizzazione. Tuttavia, i mascellari continuano ad essere soggetti a fenomeni di assestamento e rimodellamento per un periodo più prolungato; di conseguenza, è necessario adottare una contenzione di durata adeguata, che consenta alla sutura di completare il proprio processo di normalizzazione ed alla componente scheletrica di raggiungere una condizione di stabilità [Bazargani et al, 2025].

Le recidive risultano relativamente frequenti, in quanto possono derivare dal ritorno elastico dei tessuti oppure da una tendenza al riavvicinamento dei segmenti mascellari anche dopo l'avvenuta ossificazione della sutura [Srivastava et al, 2020].

La stabilità dell'espansione è condizionata dai processi di rimodellamento osseo, poiché l'espansione ortopedica determina una deformazione dell'impalcatura scheletrica mascellare accompagnata da una tensione delle fibre collagene, che costituisce uno stimolo fisiologico ai meccanismi di rimodellamento. Tali processi, tuttavia, richiedono un tempo adeguato per completarsi. Inoltre, a causa del fenomeno del riassorbimento secondario, una tensione persistente e di entità significativa sui segmenti scheletrici può favorirne il riavvicinamento anche in seguito alla remineralizzazione suturale. Ciò è attribuibile alla rigidità e all'accumulo di carichi nelle strutture ossee circostanti. Pertanto, l'entità finale della recidiva dovuta ai processi di rimodellamento e riorganizzazione dipende dalla rigidità delle strutture scheletriche perimaxillari e dal grado di riorganizzazione strutturale ottenuto in relazione alla funzione. Una ricaduta, anche parziale, diventa inevitabile qualora non

venga raggiunta una corretta intercuspidazione al termine del trattamento o quando manchino adeguati stimoli funzionali - respiratori e masticatori - che sostengano la nuova configurazione [Lagravère et al, 2005; Mew, 1983].

Secondo una recente revisione della letteratura, la stabilità a lungo termine dei trattamenti che determinano modificazioni scheletriche rimane un tema tuttora controverso [Bazargani et al, 2025].

Un ambito che manca ancora di evidenze scientifiche di elevata qualità riguarda i protocolli di contenzione post-trattamento, in particolare per quanto concerne il rischio di recidiva nel medio e lungo termine [Beltrami et al, 2024; Costa et al, 2017; Huynh et al, 2009].

Una recente revisione sistematica ha riportato che circa un paziente su cinque (19,5%) manifesta una recidiva del morso incrociato posteriore durante il follow-up a lungo termine. In modo analogo, approssimativamente il 19,3% dell'espansione trasversale ottenuta tende a regredire nel tempo, una percentuale che coincide in maniera sostanziale con l'iperespansione comunemente prevista nei protocolli terapeutici. Tale evidenza sottolinea la necessità di includere un margine di iperespansione compensativa nella pianificazione del trattamento. Inoltre, è stato documentato un tasso di recidiva significativamente superiore nei pazienti trattati mediante protocolli di espansione lenta (25,9%) rispetto a quelli sottoposti ad espansione rapida del mascellare (14,4%), mentre non sono emerse differenze clinicamente rilevanti correlate al design degli apparecchi utilizzati [Beltrami et al, 2024].

I protocolli di ritenzione presenti in letteratura mostrano una notevole eterogeneità; tuttavia, nella pratica clinica la modalità più frequentemente adottata consiste in una contenzione passiva, che prevede il mantenimento dell'espansore in situ per un intervallo di tempo prestabilito, generalmente compreso tra 1 e 10 mesi. Le evidenze attuali suggeriscono una correlazione tra durata della contenzione e probabilità di recidiva: i tassi possono raggiungere il 45% qualora l'apparecchio venga rimosso immediatamente dopo la fase attiva di espansione, mentre si riducono al 10-25% quando la contenzione fissa viene mantenuta per 3-6 mesi [Beltrami et al, 2024; Costa et al, 2017; Hicks, 1978].

A tal fine, per ridurre il rischio di recidiva, la maggior parte degli autori raccomanda di ottenere un'iperespansione di circa 2-3 mm [Bala et al, 2022] e di mantenere un prolungato periodo di contenzione utilizzando la medesima apparecchiatura, fissata ai denti e con la vite opportunamente bloccata [Costa et al, 2017].

Alla luce di tali risultati, si raccomanda l'adozione di un protocollo di contenzione fissa della durata minima di sei mesi successivamente al completamento della fase attiva di espansione.

Effetti collaterali indesiderati e complicanze

L'espansione rapida del palato, nella maggior parte dei casi, non determina complicanze significative nel paziente pediatrico, ad eccezione di una lieve algia in regione pre-mascellare immediatamente successiva alle attivazioni, che tende a risolversi spontaneamente [Barone et al, 2023; Hansson et al, 2023].

Tuttavia, un'applicazione tecnica non corretta, particolari condizioni di resistenza scheletrica oppure una ridotta integrità parodontale possono favorire l'insorgenza di alcune complicanze.

I principali effetti avversi associati all'espansione rapida della sutura palatina, oltre alla sensazione di tensione ed alla dolenzia nella regione pre-mascellare [Barone et al, 2023], includono epistassi, diplopia transitoria dovuta al momentaneo allontanamento dei globi oculari, ematomi sottoperiostei [Lopponi et al, 2021], riassorbimenti localizzati del cemento radicolare [Akyalcin et al, 2015], mobilitazione o cedimento dei denti decidui di ancoraggio e lesioni della mucosa palatina [Lione et al, 2013].

4.2 Espansione ad Ancoraggio Palatale

È documentato da tempo che il grado di maturazione della sutura palatina mediana rappresenti un fattore determinante per il successo dell'espansione rapida del mascellare (RME); tuttavia, tale variabile mostra una correlazione limitata con l'età cronologica del paziente [Yang et al, 2024; Angelieri et al, 2013].

In sintesi, con l'aumentare dell'età del paziente cresce anche la resistenza biomeccanica della sutura palatina mediana alla disarticolazione; ciò comporta una riduzione della componente scheletrica dell'espansione ed un incremento della componente dentoalveolare. Nei soggetti adulti, questa limitazione è stata tradizionalmente affrontata associando la RME a procedure chirurgiche mirate alla separazione della sutura palatina mediana, al fine di facilitare un'espansione scheletrica più efficace.

Non vi è dubbio che l'espansione rapida del mascellare (RME) eseguita durante la dentizione mista tardiva o nelle prime fasi della dentizione permanente costituisca un intervento ortopedico dento-facciale di elevata efficacia. In questo periodo di sviluppo, la

sutura palatina mediana presenta ancora un grado di maturità tale da poter essere disarticolata con relativa facilità, permettendo così di ottenere un aumento trasversale sia di natura dentale sia di natura scheletrica.

L’RME rappresenta una procedura largamente consolidata nella pratica ortodontica clinica, storicamente realizzata mediante dispositivi convenzionali di tipo tooth-borne- RME (TB-RME). Negli ultimi anni, l’introduzione di sistemi tooth-bone-borne (TBB-RME) o di dispositivi completamente osseo-ancorati (BB-RME) ha portato allo sviluppo delle tecniche di espansione rapida del palato assistita da miniviti (MARPE) [Kapetanović et al, 2021].

Tali apparecchiature consentono l’applicazione diretta delle forze ortopediche sulla sutura palatina mediana, favorendo un’espansione scheletrica più prevedibile ed un controllo più efficace della separazione suturale [Bazargani et al, 2025].

L’introduzione della MARPE ha verosimilmente esteso la finestra di trattamento utile, in termini di età, per ottenere un’espansione scheletrica del mascellare. Diverse revisioni sistematiche indicano infatti che adolescenti e giovani adulti trattati con questa tecnica raggiungono quantità di espansione scheletrica sovrapponibili. Tuttavia, le evidenze disponibili presentano un elevato rischio di bias e l’espansione ottenuta è stata accompagnata da inclinazioni buccali dei denti e da effetti collaterali a livello parodontale. Inoltre, quanto più avanzato è il grado di maturazione della sutura palatina mediana, tanto maggiore risulta l’efficacia della MARPE rispetto all’espansione convenzionale, con livelli di espansione comparabili tra giovani adulti e pazienti adolescenti [Kapetanović et al, 2021]. La tecnica di espansione con ancoraggio palatale prevede l’impiego di miniviti inserite a livello del palato, sulle quali viene successivamente montata l’apparecchiatura ortodontica (Figura 8).



Figura 8 - Espansore montato su miniviti.

L'utilizzo di questo approccio è in costante crescita, grazie ai numerosi vantaggi che offre: l'ancoraggio palatale, diversamente da quello vestibolare, non interferisce con i movimenti dentali e consente una gamma più ampia di spostamenti dento-scheletrici e opzioni di ancoraggio.

Un prerequisito fondamentale è la conoscenza dell'area ottimale per il posizionamento delle miniviti, poiché non tutte le regioni del palato presentano caratteristiche adeguate alla loro stabilità primaria. La letteratura individua come zona ideale la regione paramediana anteriore [Ludwig et al, 2011; Lombardo et al, 2010].

In particolare, in uno studio basato su tomografia computerizzata, il distanziamento suggerito è posizionare le viti circa 3-4 mm posteriormente al forame incisivo e a circa 3 mm lateralmente alla sutura mediana [Nucera et al, 2022; Ludwig et al, 2011].

Ulteriori evidenze suggeriscono che la regione "T-Zone" (immediatamente post-rughe palatine e paramediana) rappresenti un'area favorevole per l'inserzione stabile delle miniviti [Nucera et al, 2022].

È stato dimostrato che l'espansione con ancoraggio palatale è in grado di produrre effetti scheletrici anche in pazienti in fase puberale o post-puberale, risultato che non è invece ottenibile tramite dispositivi tradizionali ad appoggio dentale. L'individuazione del timing corretto per l'inserzione delle miniviti si basa sulla valutazione dell'età scheletrica mediante il metodo MPM, secondo cui il momento più favorevole è il passaggio tra gli stadi MPS2 e MPS3.

I dispositivi ad ancoraggio palatale possono essere classificati in base a diversi criteri:

- Numero di miniviti: due o quattro.
- Modalità di montaggio: ibridi, con coinvolgimento dentale tramite bande o placche (TB-RME), oppure completamente osseo-ancorati (BB-RME), sostenuti esclusivamente da miniviti.
- Tipologia di azione: distalizzatori, mesializzatori, barre di ancoraggio, barre d'intrusione, espansori e cantilever per la trazione dei canini inclusi.
- Tipo di movimento prodotto: semplici, se inducono un singolo effetto, o complessi, qualora generino simultaneamente più movimenti.

Uno studio clinico randomizzato (RCT) con follow up a 5 anni ha confrontato l'espansione rapida effettuata con un dispositivo tradizionale ad ancoraggio dentale con quella realizzata con un dispositivo ancorato a due miniviti posizionate ai lati della sutura palatina mediana [Bazargani et al, 2023]: tale studio ha evidenziato che, nei preadolescenti con mascellare contratto, l'espansione rapida del mascellare con dispositivo convenzionale a bande (TB-

RME) ha prodotto effetti scheletrici a lungo termine simili a quelli ottenuti con il design a bande con miniviti (TBB-RME), mostrando una buona stabilità a cinque anni dal trattamento. Pertanto, l'impiego di miniviti ed ancoraggi scheletrici nei giovani preadolescenti non può essere raccomandato, in quanto gli esiti a lungo termine risultano comparabili a quelli della tecnica convenzionale TB-RME, meno invasiva. L'espansione scheletrica a livello della sutura palatina mediana è risultata statisticamente più elevata nel gruppo TBB-RME; tuttavia, l'entità di tale differenza era di soli 0,6 mm, un valore che potrebbe non avere rilevanza clinica. Sembra quindi che, almeno nei pazienti più giovani, i presunti vantaggi dell'ancoraggio osseo durante l'espansione scheletrica mascellare siano minimi, verosimilmente a causa dell'imaturità della sutura palatina mediana. Inoltre, i costi diretti dell'espansione rapida del mascellare con dispositivo convenzionale TB-RME risultano inferiori rispetto a quelli del dispositivo TBB-RME, oltre al fatto che il posizionamento delle miniviti richiede l'utilizzo di anestesia locale ed una procedura chirurgica sia durante l'inserimento sia durante la rimozione delle miniviti, un'esperienza potenzialmente sgradevole che può indurre ansia in alcuni pazienti preadolescenti.

In sintesi, non è stata identificata alcuna superiorità clinica del dispositivo TBB-RME rispetto al TB-RME nei giovani preadolescenti; pertanto, il TB-RME può essere considerato l'approccio preferibile nel paziente in crescita.

Le evidenze disponibili sull'espansione mascellare effettuata in dentizione permanente risultano meno robuste rispetto a quelle relative alla dentizione mista; esse appaiono generalmente eterogenee e consistono per lo più in studi retrospettivi non randomizzati e di breve durata, che valutano differenti tipologie di dispositivi ortodontici ed impiegano un'ampia gamma di criteri per la misurazione dell'espansione.

4.3 Espansione Mascellare Assistita Chirurgicamente (SARPE)

Nell'individuo adulto, l'aumentata rigidità della sutura palatina mediana e delle suture laterali del mascellare impedisce l'impiego della tecnica di espansione rapida del palato comunemente adottata in età adolescenziale.

Nel paziente adulto con ipoplasia trasversa del mascellare, un'opzione terapeutica consiste nell'espansione palatale assistita chirurgicamente (SARPE) [Suri e Taneja, 2008].

Tale procedura prevede l'esecuzione di osteotomie mirate a ridurre le resistenze scheletriche senza determinare una completa mobilizzazione dei segmenti mascellari, in associazione all'attivazione di un dispositivo espansore a vite.

L'espansione assistita chirurgicamente è indicata nei soggetti che presentano una discrepanza esclusivamente sul piano trasversale e che non richiedono interventi successivi per il riposizionamento del mascellare nei piani verticale o antero-posteriore [Sicca et al, 2025].

4.4 Espansione Mascellare Lenta (SME)

Per essere efficace, un dispositivo di espansione lenta deve generare una forza distribuita in modo omogeneo e mantenuta nel tempo [Luiz Ulema Ribeiro, 2020].

La velocità espansiva si attesta generalmente intorno a 0,6-0,7 mm alla settimana, mentre l'intensità delle forze erogate può presentare una certa variabilità.

Numerosi studi hanno valutato questa modalità terapeutica e, in nessuno di essi, è stata osservata la comparsa transitoria di un diastema interincisivo. Ciò è attribuibile al fatto che l'entità relativamente modesta delle forze applicate non è sufficiente a vincere la resistenza esercitata dalle fibre gengivali trasversali [Bishara e Staley, 1987].

La radiotrasparenza dell'area suturale evidenziabile nella radiografia oclusale è stata riscontrata anche in pazienti in età evolutiva trattati mediante espansione lenta, indicando che tale reperto non rappresenta una caratteristica esclusiva dell'espansione rapida [Esenlik e Rübendüz, 2015].

Oltre al protocollo tradizionale di espansione rapida, l'espansione mascellare con Espansore Palatale può essere eseguita in modalità semirapida con attivazioni pari a 0,25 mm al giorno, oppure in modalità lenta con attivazioni pari a 1 mm per settimana [Ugolini et al, 2021; Bucci et al, 2016]. Diversi sono i dispositivi che possono essere utilizzati per ottenere un'espansione lenta.

Il Quad-Helix

Il Quad-Helix (*Figura 9*) rappresenta un dispositivo di espansione palatale lenta ad elevata versatilità, caratterizzato da una prevalente azione ortodontica, poiché in grado di esercitare forze leggere, progressive e continuative sugli elementi dentari [Bench, 1998].

Il presidio presenta una marcata memoria elastica e non agisce esclusivamente sul piano trasversale. Deve infatti essere considerato un apparecchio ortodontico a tutti gli effetti, in quanto capace di modulare componenti di espansione, derotazione, distalizzazione e controllo del torque sui molari che fungono da unità di ancoraggio.



Figura 9 - Quad-Helix.

L'effetto biomeccanico prodotto varia in funzione dell'attivazione delle anse posteriori, anteriori o dei ponti di collegamento tra le anse; con l'eccezione dell'attivazione mediana del ponte anteriore, qualsiasi regolazione eseguita unilateralmente determina un'espansione asimmetrica. Modificando il numero di elementi di ancoraggio, il Quad-Helix può essere impiegato per ottenere un'espansione differenziale, caratteristica particolarmente utile nei casi di crossbite posteriore di origine dento-alveolare [Henry, 1993].

In quanto apparecchiatura fissa, richiede una collaborazione minima da parte del paziente, fatta eccezione per la necessità di mantenere un'accurata igiene orale domiciliare. Inoltre, il Quad-Helix è generalmente ben tollerato: se correttamente confezionato non provoca decubiti e, dopo pochi giorni di adattamento, il giovane paziente non manifesta più disturbi nella fonazione o nella deglutizione.

Secondo lo studio radiografico condotto da Frank ed Engel [1982], il rapporto tra espansione dento-alveolare e scheletrica risulta pari a 6:1. Per incrementare la componente ortopedica dell'espansione è possibile ridurre la memoria elastica del dispositivo e aumentarne la forza. A tal fine, un accorgimento consiste nell'impiego di un filo di diametro maggiore e nella riduzione della sua lunghezza, in modo da rendere più compatta la porzione trans-palatina. Tale configurazione favorisce una posizione più craniale del centro di espansione ed accresce l'efficacia della sollecitazione trasmessa alla base ossea del mascellare.

Nitanium Palatal Expander

Il Nitanium Palatal Expander (*Figura 10*) è un dispositivo di espansione palatale lenta indicato per la correzione di discrepanze dento-scheletriche del mascellare caratterizzate da una contrazione trasversale non superiore ai 4-5 mm [Lupoli, *Moderna gestione della discrepanza trasversale e della rotazione molare: Il palatal expander*, 2013].



Figura 10 - Nitanium Palatal Expander.

L'attivazione dell'apparecchiatura induce una messa in tensione della sutura palatina mediana, stimolando conseguentemente una risposta proliferativa dei tessuti suturali.

Il trattamento si estende generalmente per un periodo compreso tra 2 e 6 mesi e, nell'arco di tale intervallo, il Nitanium Palatal Expander è in grado di produrre effetti di espansione, derotazione e distalizzazione a carico dei molari a cui è ancorato [Karaman, 2002].

Apparecchiature rimovibili per l'espansione lenta

Per la correzione della contrazione del mascellare superiore possono talvolta essere impiegate apparecchiature rimovibili, quali la placca di Schwarz, l'apparecchio di Crozat (*Figura 11*) [Lamons, 1964], il dispositivo di Crickett ed altri modelli affini [Kawala e Malinowski, 2004]. Tali dispositivi determinano esclusivamente un'espansione dentoalveolare e sfruttano viti di espansione oppure sistemi elastici a molla, come il Coffin spring. Presentano tuttavia alcuni limiti, tra cui una prevedibilità terapeutica ridotta, risultati talvolta incompleti o non stabili, e la necessità di un elevato livello di collaborazione da parte del paziente.



Figura 11 - Placca di Swartz, Apparecchio di Crozat.

4.5 Espansione Mascellare con forze leggere: il Leaf Expander® ed il Leaf Self Expander®

Il Leaf Expander è un dispositivo ortodontico nato nel 2013 come evoluzione del concetto su cui si basava un dispositivo precedente, l'Espansore Lento Ammortizzato (E.L.A), in cui la molla compressa riattivabile era in acciaio: nacque così un nuovo espansore a molla con un elemento attivo a forma di foglia [Lanteri C. et al, 2017].

Si tratta di un espansore individualizzato, progettato e fabbricato su misura dalla Leone SpA, e che si basa sull'utilizzo di molle a balestra in Ni-Ti MEMORIA® che consentono di ottenere l'espansione del mascellare mediante l'erogazione di forze leggere, continue e preimpostate in termini di intensità, direzione ed entità della correzione, rendendo così il risultato altamente prevedibile [Lanteri C. et al, *Il Leaf Expander*, 2023; Lanteri C. et al, 2016].

Caratteristiche tecniche e meccaniche

Il dispositivo è costituito da una struttura metallica in lega di Cromo-Cobalto, dotata di una vite centrale la cui attivazione determina la compressione di due o tre molle a balestra in Nichel-Titanio; la successiva fase di deattivazione delle molle genera l'espansione della vite. Sebbene il Leaf Expander presenti una morfologia analoga a quella di un espansore rapido del mascellare (RME), esso si distingue per la presenza di un componente attivo e per una diversa modalità d'azione: la vite, infatti, esercita una compressione sulla molla a balestra in Ni-Ti che, durante la deattivazione, recupera gradualmente la propria forma,

consentendo un'espansione calibrata dell'arcata superiore (Figura 12). Tale meccanismo può essere interpretato come una variante innovativa dell'espansione lenta del mascellare.

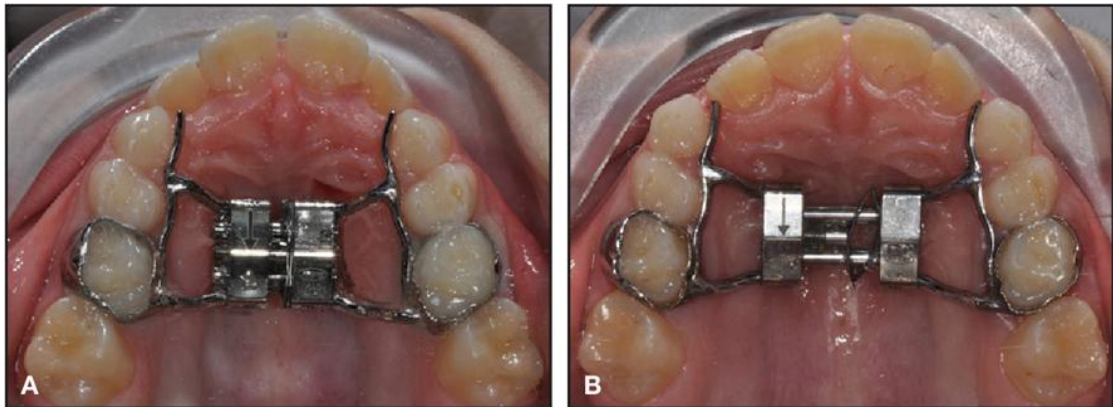


Figura 12 - A. Leaf Expander ad inizio trattamento - B. Leaf Expander dopo 6 mesi di trattamento.

Per garantirne stabilità ed efficacia ottimali, la struttura metallica laterale deve essere accuratamente adattata al colletto della superficie linguale dei denti posteriori. I bracci di collegamento tra la vite centrale e le componenti laterali devono mantenere un'adeguata distanza dalla mucosa palatina (circa 2,5 mm), al fine di prevenire la comparsa di decubiti. Inoltre, per potenziare l'effetto espansivo nel settore anteriore e migliorare la stabilità complessiva del dispositivo, quando i canini sono presenti in arcata vengono predisposte due estensioni opportunamente modellate per aderire alla loro superficie linguale.

La dimensione della vite 11 mm x 12 mm x 4 mm consente un buon adattamento anche ai palati più stretti e ad arcate con deficit mascellare [Lanteri C. et al, 2016].

Per soddisfare le differenti esigenze cliniche, il Leaf Expander è disponibile in quattro tipologie di viti riattivabili, equipaggiate con molle a balestra che generano specifici valori di forza ed espansione:

- 6 mm – 450 g
- 6 mm – 900 g
- 9 mm – 450 g
- 9 mm – 900 g

La scelta della dimensione della vite dipende dalla discrepanza trasversale del mascellare superiore. Il numero di molle determina l'ampiezza massima dell'espansione (due molle per la vite da 6 mm, tre per quella da 9 mm), mentre il loro spessore definisce l'entità della forza

prodotta. Nella maggior parte dei casi clinici risulta sufficiente l'impiego della vite da 6 mm, poiché numerosi studi hanno rilevato che il deficit trasversale più frequentemente osservato varia tra 3 e 5 mm, spesso associato ad un crossbite monolaterale; nei casi di discrepanza maggiore o di crossbite bilaterale è indicata la vite da 9 mm.

Il passo della vite è pari a 0,1 mm, corrispondenti a un quarto di giro, che genera 0,1 mm di compressione ed espansione. Ne consegue che 10 attivazioni producono 1 mm di attivazione, equivalente a 1 mm di compressione della molla. La selezione della forza erogata dalla vite è effettuata dal clinico in base all'età del paziente, alla struttura scheletrica, al supporto parodontale ed all'eventuale presenza di parafunzioni. Nella dentizione decidua o mista si preferisce una vite da 450 g, mentre nella dentizione permanente è consigliata quella da 900 g.

Le viti del Leaf Expander vengono preattivate in laboratorio per fornire un'espansione iniziale di 3 mm nel caso della vite da 6 mm e di 4,5 mm nel caso della vite da 9 mm. La vite viene quindi bloccata mediante legature metalliche o con un'apposita clip, che vengono rimosse dopo la cementazione del dispositivo; ciò permette l'attivazione spontanea della prima fase di espansione, corrispondente ai valori sopra indicati. Le successive riattivazioni vengono eseguite esclusivamente in ambito clinico, rendendo il Leaf Expander un dispositivo che non richiede alcuna collaborazione domiciliare [Lanteri C. et al, 2016].

Generalmente il dispositivo viene cementato sui secondi molari decidui, se utilizzato in epoca lontana dalla permuta, o sui primi molari permanenti, se prossimi al completamento della permuta; nel progetto dell'apparecchiatura sono previste due estensioni accuratamente modellate che devono adattarsi alla superficie linguale dei canini, al fine di potenziare l'effetto espansivo nel settore anteriore ed incrementare la stabilità del Leaf Expander (Figura 13).

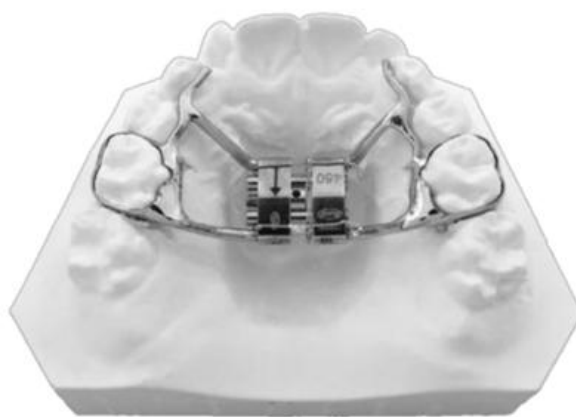


Figura 13 - Design del Leaf Expander cementato sui secondi molari decidui.

L'espansione attiva dura in genere 6 mesi, al termine dei quali il Leaf Expander viene mantenuto in sede passivamente come contenzione per 3 mesi [Lanteri C. et al, 2016].

Il Leaf Self Expander®

Il Leaf Self Expander è stato sviluppato recentemente per rispondere all'esigenza clinica di disporre di un dispositivo completamente autonomo, che non richieda attivazioni né in ambulatorio né a domicilio [Beretta et al, 2019].

Si tratta di un espansore interamente preattivato, basato su molle a balestra in Ni-Ti a memoria di forma. Come il Leaf Expander tradizionale, è progettato e realizzato su misura per ciascun paziente e consente l'espansione del mascellare mediante un rimodellamento dento-alveolare ottenuto tramite forze leggere, continue e predeterminate, definite in termini di intensità, direzione ed entità dello spostamento, rendendo l'evoluzione terapeutica altamente prevedibile.

Il dispositivo è costituito da una struttura in lega di Cromo-Cobalto ed è equipaggiato con due doppie molle a balestra (nelle versioni da 6 mm) oppure tre doppie molle (nelle versioni da 9 mm) in Ni-Ti, il cui spessore determina la forza erogata, pari a 450 o 900 g. Per consentirne la costruzione laboratoristica, l'espansore viene fornito con due graffette metalliche, successivamente sostituite dal tecnico con legature metalliche o con una fascetta in plastica, che il clinico rimuove dopo la cementazione. La deattivazione progressiva delle molle permette loro di recuperare la forma originaria e di generare così un'espansione calibrata dell'arcata superiore (*Figura 14*).



Figura 14 - Leaf Self Expander cementato sui secondi molari decidui ad inizio trattamento.

Analogamente al Leaf Expander, il Leaf Self Expander viene cementato sui secondi molari decidui quando possibile e presenta bracci di connessione tra la vite e le componenti laterali, che devono essere mantenuti a circa 2,5 mm dalla mucosa palatina per prevenire fenomeni di decubito. Il paziente viene quindi controllato ogni mese, l'espansione attiva dura 6 mesi, in seguito sono necessari 3 mesi di contenzione passiva in cui il dispositivo viene lasciato in situ.

Il Leaf Self Expander (LSE) è disponibile in commercio con viti automatiche di 4 categorie differenti:

- LSE 6 mm – 450 g
- LSE 6 mm – 900 g
- LSE 9 mm – 450 g
- LSE 9 mm – 900 g

Anche in questo dispositivo il numero delle balestre determina l'ampiezza massima dell'espansione, mentre lo spessore delle stesse definisce l'entità della forza erogata.

Consegna e cementazione di Leaf Expander® e Leaf Self Expander®

Il Leaf Expander viene generalmente cementato sui secondi molari decidui, lasciando i primi molari permanenti liberi di erompere spontaneamente [Lanteri C. et al, 2016].

Prima della fase di cementazione è consigliabile eseguire un polishing dei denti destinati a ricevere le bande. La cementazione può essere effettuata utilizzando un cemento vetroionomerico polvere-liquido a polimerizzazione duale con rilascio di fluoro, oppure seguendo una procedura adesiva: in quest'ultimo caso è necessario mordenzare gli elementi per 60-90 secondi, quindi procedere con il lavaggio, l'asciugatura e l'applicazione dell'adesivo.

Successivamente, il dispositivo viene rifinito mediante l'impiego di una pietra fine e di coppette da profilassi, allo scopo di ridurre la ritenzione di placca e residui alimentari, aumentare il comfort del paziente e facilitare le procedure di igiene orale sia domiciliare sia professionale [Lanteri C. et al, *Il Leaf Expander*, 2023].

Protocolli clinici di attivazione

I protocolli clinici vengono modulati in funzione della tipologia di vite impiegata e della specifica malocclusione da trattare, e derivano dall’elaborazione di consolidate esperienze cliniche maturate nel corso di numerosi anni [Lanteri C. et al, 2017].

- **Protocollo 1** (Figura 15), il più comunemente adottato:
 - Vite da 6 mm: prevede 10 attivazioni mensili, eseguite in un’unica seduta a partire dal secondo mese di trattamento, raggiungendo nell’arco di tre mesi il numero massimo di 30 attivazioni.
 - Vite da 9 mm: prevede 15 attivazioni mensili, eseguite in un’unica seduta a partire dal secondo mese di trattamento, raggiungendo nell’arco di tre mesi il numero massimo di 45 attivazioni.

Modello	Cementazione Leaf	I Seduta	II Seduta	III Seduta
6 mm A2703-06 A2704-06	Sblocco molle 0 attivazioni	10 attivazioni	10 attivazioni	10 attivazioni
		Dopo 6 settimane	Dopo 4 settimane	Dopo 4 settimane
9 mm A2703-10 A2704-10	Sblocco molle 0 attivazioni	15 attivazioni	15 attivazioni	15 attivazioni
		Dopo 8 settimane	Dopo 6 settimane	Dopo 6 settimane

Figura 15 - Protocollo 1 per l’attivazione del Leaf Expander [Lanteri C. et al, 2017].

- **Protocollo 2:** prevede la completa riattivazione della vite in un’unica seduta, ed è preferibile nei casi di soggetti non collaboranti, che necessitano sedazione o quando le esigenze organizzative di paziente o studio richiedano appuntamenti distanziati nel tempo. Di solito è possibile riattivare la vite in media circa 18 settimane dopo per la vite da 6 mm, e 26 settimane dopo per la vite da 9 mm. Per rendere la procedura più confortevole per il paziente di solito si eseguono 3 attivazioni di 10-15 fori ciascuna a seconda della dimensione della vite, intervallati da 2-3 minuti di pausa, fino ad un totale di 30 attivazioni (pari a 3 mm) per la vite da 6 mm e 45 attivazioni (pari a 4,5 mm) per la vite da 9 mm [Lanteri C. et al, *Il Leaf Expander*, 2023].

Il protocollo 1 rappresenta la scelta di elezione. È importante eseguire solamente le attivazioni necessarie per ricomprimere le molle a balestra, lasciando tra queste un piccolo spazio, ed evitando attivazioni ulteriori che genererebbero forze pesanti [Lanteri C. et al, 2017].

Attivazione ortopedica del Leaf Expander®

Dal momento che in letteratura è emerso che l'espansione effettuata tramite RME sia più efficace nell'aumentare la pervietà delle vie aeree nasali [Zhao et al, 2024; Bazargani et al, 2018; Lee et al, 2018], è stato ideato un protocollo di attivazione ortopedica del Leaf Expander indicato per i pazienti respiratori orali con deficit mascellare, il protocollo "Two in One", che necessita però della collaborazione del paziente.

L'apparecchiatura viene fornita al clinico con le molle già in stato di compressione; successivamente risultano necessarie ulteriori attivazioni (30 per la vite da 6 mm e 45 per la vite da 9 mm), attraverso le quali la vite esercita un'azione diretta sui denti di ancoraggio, generando forze a componente ortopedica.

Considerando che 10 attivazioni corrispondono a 1 mm di espansione, per ottenere un'espansione di 0,2 mm al giorno sono richieste 2 attivazioni quotidiane, indipendentemente dall'impiego della vite da 6 mm o da 9 mm.

Una volta conclusa la fase ortopedica, l'espansione continua in modo spontaneo mediante l'azione di forze leggere (450 o 900 g), risultanti dalla progressiva deattivazione delle molle a balestra. Qualora l'attivazione ortopedica del Leaf Expander non consentisse l'apertura della sutura palatina mediana a causa di un'età più avanzata del paziente si può disattivare la vite, in modo che le molle a balestra rientrino nel range di forze leggere ed il Leaf Expander torni a funzionare come un espansore lento [Lanteri C. et al, 2017].

Principali vantaggi legati all'uso del Leaf Expander®

Il Leaf Expander è caratterizzato da una gestione clinica semplice, non richiede la collaborazione del paziente, e consente di ottenere uno spostamento prevalentemente corporeo degli elementi dentari grazie all'impiego di forze predeterminate, leggere e costanti [Lanteri C. et al, 2016]. Il dispositivo rappresenta un'alternativa valida rispetto ad altre metodiche di espansione, anche in virtù degli effetti clinici sovrapponibili a quelli ottenibili con un espansore rapido del mascellare (RME).

Il Leaf Expander integra inoltre le principali caratteristiche considerate ideali per un apparecchio ortodontico fisso deputato all'espansione mascellare:

- Numero ridotto di sedute di riattivazione intraorale;
- Attivazioni semplici da eseguire;
- Controllo visivo dell'attivazione;
- Assenza di collaborazione da parte del paziente;
- Assenza di dolore durante le fasi di espansione;
- Controllo dell'inclinazione vestibolare, con movimento sostanzialmente corporeo dei denti;
- Elevato grado di controllo biomeccanico;
- Impossibilità che le forze occlusali interferiscano con l'attivazione programmata;
- Erogazione di forze leggere, continue e predeterminate;
- Possibilità di modulare con precisione l'entità dello spostamento e predicibilità dei risultati;
- Assenza di rischio di iperespansione.

Il Leaf Expander risulta quindi essere un dispositivo efficace, efficiente e facile da utilizzare, e consente di ottenere risultati clinici predicibili senza necessità di collaborazione del paziente. Questa metodica è applicabile in dentatura mista ma anche per il trattamento di pazienti più adulti o con obliterazione della sutura palatina mediana, come alternativa all'espansione chirurgicamente assistita [Lanteri C. et al, 2018].

Parte del contenuto e delle immagini contenute nel presente capitolo sono tratti dai seguenti testi:

Caprioglio D, Levrini A, Lanteri C, Caprioglio A, Levrini L. Ortodonzia intercettiva. Milano: Edizioni Martina; 2000.
Ferro R, Marzo G, Quinzi V. L'ortodonzia pediatrica o delle prime due dentature con poco... tanto. Milano: Ariesdue; 2018.
Lanteri C, Beretta M, Lanteri V, Gianolio A, Cherchi C. Il Leaf Expander. Milano: Ariesdue; 2023.
Lupoli, Moderna gestione della discrepanza trasversale e della rotazione molare: Il palatal expander, Milano: Quintessenza Edizioni; 2013.
McNamara JA Jr, Brudon WL. Trattamento ortodontico e ortopedico in dentatura mista. Traduzione di Mancini M. Milano: Masson; 1998.
Proffit WR, Fields HW, Sarver DM. Contemporary orthodontics. 6th ed. St. Louis: Elsevier; 2019.

Capitolo 5 – REVISIONE DELLA LETTERATURA

La discrepanza trasversale del mascellare costituisce una delle caratteristiche più frequentemente osservate nei pazienti in dentatura mista e rappresenta un'indicazione elettiva per il trattamento precoce.

L'espansione rapida del mascellare (Rapid Maxillary Expansion, RME) è tradizionalmente il trattamento di riferimento per correggere l'ipoplasia trasversale e il morso crociato posteriore con espansori di tipo Haas o Hyrax [Lione et al, 2013; Baccetti et al, 2001; Mc Namara, 2000]. Questi dispositivi applicano forze elevate e intermittenti, tramite attivazioni quotidiane della vite, con l'obiettivo di ottenere la disgiunzione della sutura palatina mediana ed un incremento scheletrico della larghezza mascellare.

Ad oggi è ancora aperto il dibattito su quale sia il timing di intervento ottimale, se sia più corretto usare dispositivi fissi o rimovibili e quale tipologia di dispositivo e protocollo di attivazione garantisca il miglior risultato per il paziente.

A tal fine in letteratura la revisione Cochrane del 2021, secondo update di una revisione Cochrane pubblicata in origine nel 1998, ha riassunto l'evidenza scientifica disponibile analizzando gli RCT esistenti sull'argomento che comprendessero pazienti giovani ed adulti con crossbite posteriore trattati con dispositivi ortodontici o ortopedici [Ugolini et al, 2021]. In particolare, gli studi analizzati all'interno della review che confrontavano l'espansione rapida del mascellare (RME) mediante dispositivo Hyrax rispetto ad un gruppo di controllo non trattato hanno evidenziato una correzione più marcata del crossbite posteriore, oltre ad un incremento significativo delle distanze intermolare ed intercanina nel gruppo sottoposto a trattamento.

Tre studi randomizzati controllati hanno messo a confronto gli espansori di tipo Hyrax e di tipo Haas, rilevando l'assenza di differenze statisticamente significative tra le due tipologie di RME, sia in relazione alla correzione del crossbite posteriore, sia per quanto concerne l'entità dell'espansione ottenuta a livello molare. Risultati analoghi sono stati osservati nei confronti Hyrax vs Tooth-Bone-Borne RME (TBB-RME) e Hyrax vs Bone-Borne RME (BB-RME).

All'interno della revisione, tre studi [Bazargani et al, 2021; Bazargani et al, 2018; Feldmann e Bazargani, 2017] hanno valutato e comparato l'intensità del dolore percepito e il discomfort durante la prima settimana di trattamento con Tooth-Borne (TB-RME) e Tooth-Bone-Borne (TBB-RME), rilevando una correlazione positiva tra età e livelli di dolore e discomfort al quarto giorno di trattamento. Lo studio ha inoltre analizzato gli effetti dei due

dispositivi sulla funzione respiratoria, evidenziando un incremento del flusso d'aria nasale post-espansione più marcato nel gruppo trattato con TBB-RME rispetto al TB-RME, con una differenza media di 51,0 cm³/s e con $p = 0,018$, sottolineando come sia preferibile utilizzare TBB-RME nei casi di mascellare contratto e ostruzione delle vie aeree superiori [Bazargani et al, 2018]. Non sono emerse differenze significative nel volume totale delle vie aeree, ad eccezione dei pazienti in fase pre-picco di crescita (CVMS 1–3), nei quali è stato osservato un aumento significativo del volume delle vie aeree dopo il trattamento con TBB-RME ($p = 0,02$).

Per quanto riguarda l'ancoraggio dei dispositivi di espansione, la revisione ha evidenziato l'assenza di differenze significative tra l'impiego di due o quattro bande di ancoraggio. È emerso inoltre che, quando possibile, risulta preferibile utilizzare i molari decidui come elementi di ancoraggio, al fine di ridurre l'inclinazione dei molari permanenti ed incrementare la stabilità dell'espansione nella regione anteriore. Ugolini e collaboratori, infatti, nel loro studio hanno evidenziato che l'RME ancorato a dentizione decidua o mista (es. ancoraggio su secondi molari decidui) risulta efficace nel correggere il crossbite posteriore e nell'aumentare le ampiezze d'arcata [Ugolini et al, 2015]. Questo è confermato da una recente metanalisi di Serafin e collaboratori, in cui gli autori hanno analizzato diversi studi presenti in letteratura concludendo che l'ancoraggio del'RME ai secondi molari decidui determina un significativo incremento delle dimensioni trasversali dento-scheletriche [Serafin et al, 2025]. Quando possibile quindi, l'ancoraggio sui secondi molari decidui è consigliabile e preferibile anche per ridurre l'incidenza di effetti collaterali a carico dei denti permanenti.

La revisione Cochrane ha inoltre analizzato studi che confrontavano protocolli di attivazione rapida, semi-rapida e lenta, concludendo che non emergono differenze nella correzione del crossbite, mentre l'espansione lenta risulta associata ad una durata di trattamento significativamente più prolungata [Ugolini et al, 2021].

Per quanto concerne la tipologia di vite impiegata, il confronto tra viti tradizionali e viti in Nichel Titanio a memoria di forma non ha evidenziato differenze significative.

La revisione, tuttavia, non ha potuto esaminare in modo esaustivo alcuni aspetti rilevanti relativi all'espansione mascellare, a causa della limitata qualità delle evidenze disponibili. In particolare, non è stato possibile trarre conclusioni affidabili riguardo alla stabilità della correzione del crossbite, alla presenza di segni e sintomi di disordini temporo-mandibolari, né ai disturbi respiratori quali la respirazione orale o la resistenza delle vie aeree nasali, così come all'impatto sulla qualità della vita.

Non è stato inoltre possibile formulare conclusioni sull'espansione mascellare in età adulta, probabilmente perché la maggior parte degli studi presenti in letteratura che indagavano il crossbite posteriore in pazienti adulti confrontava il trattamento ortodontico con quello ortodontico-chirurgico, quest'ultimo non incluso nei criteri della revisione Cochrane.

La presenza di criticità metodologiche che riducono la qualità dell'evidenza disponibile sul trattamento del crossbite posteriore era già stata segnalata in una precedente revisione di Zuccati e collaboratori, nella quale venivano evidenziate la mancanza di adeguati processi di randomizzazione e la limitata durata del follow-up [Zuccati et al, 2013]. Analogamente, la revisione di Caroccia e collaboratori rileva un'elevata eterogeneità nei protocolli terapeutici, differenze sostanziali nelle metodologie di misurazione, assenza di una durata di follow-up uniforme e mancanza di analisi costo-beneficio [Caroccia et al, 2020].

La revisione Cochrane [Ugolini et al, 2021] è stata successivamente affiancata da nove ulteriori revisioni sistematiche, ciascuna focalizzata su differenti caratteristiche dei sistemi di espansione convenzionali TB-RME, TBB-RME e BB-RME [Sekertzi et al, 2023; Bi e Li, 2022; Siddhisaributr et al, 2022; Kapetanović et al, 2021; Srivastava et al, 2020; Krüsi et al, 2019; Seif-Eldin et al, 2019; Lo Giudice et al, 2018; Liu et al, 2015].

Negli ultimi anni, l'introduzione del Leaf Expander come alternativa “slow, compliance-free” dotato di molle in Nichel-Titanio (Ni-Ti) che generano forze leggere e continue [Lanteri C. et al, 2017], ha aperto un dibattito sulla possibilità di ottenere risultati clinici paragonabili agli espansori rapidi convenzionali, con potenziali vantaggi in termini di comfort e gestione del paziente [Lanteri C. et al, 2016].

L'interesse attuale riguarda proprio se, in dentatura mista, tale approccio possa garantire effetti scheletrici comparabili all'RME tradizionale, con minori effetti collaterali e migliore accettazione del paziente.

La sostanziale sovrapposizione degli esiti clinici associati alle diverse apparecchiature impiegate per la correzione del morso incrociato, ampiamente riportata in letteratura, ha promosso un interesse crescente verso un approccio terapeutico personalizzato che valorizzi l'esperienza clinica e la familiarità dell'ortodontista con specifici dispositivi. La scelta dell'apparecchiatura più idonea dovrebbe infatti considerare, oltre all'efficacia terapeutica, una serie di aspetti pratici quali la tipologia dei materiali, l'ingombro intraorale, il comfort per il paziente, il protocollo di attivazione, la facilità di mantenimento dell'igiene orale, l'impatto sulla funzione orale ed il livello di personalizzazione consentito.

5.1 Espansione Rapida del Mascellare (RME) in dentatura mista: revisione della letteratura

Gli espansori rapidi di tipo Hyrax o Haas esercitano forze ortopediche elevate mediante attivazioni quotidiane della vite, con l'obiettivo di ottenere la disgiunzione della sutura palatina mediana [Haas, 1961].

L'introduzione della Tac Cone-Beam (CBCT) ha contribuito a rendere più complessa la valutazione complessiva delle evidenze disponibili: se da un lato essa permette un'analisi tridimensionale più accurata dell'espansione a livello della sutura palatina mediana e delle strutture dento-scheletriche circostanti, dall'altro la grande eterogeneità e quantità di dati generati rende difficoltoso il confronto diretto tra gli studi.

L'efficacia dell'RME in dentatura mista è stata ampiamente documentata da studi cefalometrici e da studi condotti su CBCT: l'espansione ottenuta presenta una componente scheletrica ed una componente dento-alveolare variabili a seconda dell'età del paziente e del tipo di dispositivo utilizzato [Baccetti et al, 2001; Wertz e Dreskin, 1977; Haas, 1961]. In particolare, gli espansori di tipo Hyrax tendono a produrre effetti ortopedici leggermente maggiori e minore tipping dei molari rispetto agli espansori di tipo Haas, pur con differenze clinicamente modeste [Araújo et al, 2020; Weissheimer et al, 2011].

Una overview di reviews sistematiche [Aboalnaga et al, 2021] evidenzia che tutte le tecniche di espansione mascellare producono una combinazione di effetti scheletrici e dentali; tuttavia, la proporzione esatta è molto eterogenea per età, tipo di dispositivo e protocollo.

Un RCT di Viarani e collaboratori, confrontando RME a due bande con un dispositivo di espansione dotato di splint in resina palatale, mostra effetti scheletrici sovrapponibili, pattern leggermente diverso di tipping dentale e distribuzione delle forze, suggerendo che il "design" del tooth-borne influisce soprattutto sulla componente dento-alveolare, più che su quella scheletrica [Viarani et al, 2025].

Un ramo della letteratura disponibile sul RME analizza anche l'impiego di miniviti accessorie di ancoraggio; in particolare Bazargani e collaboratori nel 2023 hanno condotto uno studio clinico randomizzato (RCT) con follow-up a 5 anni che ha confrontato l'espansione rapida del mascellare ottenuta con un dispositivo tradizionale ad ancoraggio dentale con quella realizzata mediante un apparecchio supportato da due miniviti posizionate ai lati della sutura palatina mediana. Lo studio ha rilevato che, nei preadolescenti con mascellare contratto, l'espansione ottenuta con un dispositivo convenzionale a bande (TB-RME) produce effetti scheletrici a lungo termine sovrapponibili a quelli ottenuti con il

dispositivo a bande associato a miniviti (TBB-RME), mantenendo una buona stabilità a cinque anni dal trattamento [Bazargani et al, 2023]. Ne consegue che, in questa fascia d'età, l'impiego di miniviti o ancoraggi scheletrici non può essere raccomandato, poiché non offre benefici clinici superiori rispetto alla tecnica convenzionale, che risulta anche meno invasiva. Sebbene l'espansione scheletrica a livello della sutura palatina mediana sia risultata statisticamente maggiore nel gruppo TBB-RME, la differenza misurata era di soli 0,6 mm, un valore probabilmente privo di reale significato clinico. Ciò suggerisce che, nei pazienti più giovani, i vantaggi teorici dell'ancoraggio osseo durante l'espansione mascellare siano limitati, verosimilmente a causa dell'imaturità della sutura palatina mediana. In conclusione, non è emersa alcuna superiorità clinica del dispositivo TBB-RME rispetto a quello tradizionale TB-RME nei giovani preadolescenti; pertanto, il TB-RME può essere considerato l'approccio preferenziale nel paziente in crescita.

In questo ambito sembra che espansori Bone-Borne (BB-RME) mostrino una maggiore componente scheletrica, un migliore parallelismo nell'apertura della sutura mediana ed un minor tipping dentale rispetto ad espansori Tooth-Borne (TB-RME) e Tooth-Bone-Borne (TBB-RME) [Bazargani et al, 2025; Kapetanović et al, 2021].

In pazienti adolescenti tardivi o con sutura già matura, invece, restano più appropriate, sulla base delle evidenze attuali, tecniche come la Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE) [Kapetanović et al, 2021], altri espansori scheletrici, o, in casi selezionati, la chirurgia (Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion - SARPE) [Suri e Taneja, 2008], soprattutto in pazienti adulti con completa oblitterazione della sutura palatina mediana.

Le prove attualmente disponibili sull'espansione mascellare eseguita in dentizione permanente sono meno solide rispetto a quelle relative alla dentizione mista: risultano infatti eterogenee e derivano principalmente da studi retrospettivi non randomizzati e di breve durata, che valutano diverse tipologie di apparecchiature ortodontiche e utilizzano criteri molto variabili per misurare l'entità dell'espansione. La revisione della letteratura inerente al nostro studio è strettamente incentrata sul paziente in crescita, pertanto questo aspetto non verrà approfondito.

Nonostante l'efficacia clinica ampiamente documentata in letteratura ed il non trascurabile vantaggio di raggiungere l'espansione mascellare desiderata in tempi clinici molto ridotti, l'RME può tuttavia indurre effetti collaterali quali inclinazione vestibolare dei denti di ancoraggio, riassorbimenti radicolari [Lione et al, 2013], riduzione dello spessore osseo vestibolare, rischio di deiscenze e radici esposte [Baysal et al, 2013], oltre al dolore e

discomfort durante le fasi di attivazione [Barone et al, 2023; Needleman et al, 2000]. Ciò ha portato alla ricerca di approcci biomeccanici più controllati.

5.2 Il Leaf Expander® in dentatura mista: evidenze scientifiche e revisione della letteratura

Il Leaf Expander utilizza molle in Ni-Ti in grado di erogare una forza costante e predicibile senza necessità di attivazione domiciliare [Lanteri C. et al, 2016]. Questa caratteristica lo rende un dispositivo “compliance-free”, particolarmente indicato per pazienti in dentatura mista.

Il concetto alla base è quello di un’espansione con forze leggere e continue, minimizzazione di trauma osseo/parodontale, miglior comfort per il paziente, prevedibilità dell’ampiezza finale di espansione, caratteristiche che lo rendono particolarmente adatto per pazienti in dentizione decidua o mista, o con bassa compliance. La calibrazione predeterminata (ad esempio 450 g/6 mm in 4 mesi) riduce la variabilità dovuta alla gestione delle attivazioni da parte dei genitori.

Gli studi specificamente dedicati al Leaf Expander in pazienti in dentatura mista indicano che questo dispositivo è in grado di ottenere un’espansione trasversale efficace, con incremento significativo delle ampiezze dento-alveolari e, in molti casi, una componente scheletrica documentabile.

Le prime descrizioni cliniche sul Leaf Expander documentano correzione efficace di crossbite posteriore in dentizione mista e permanente precoce, espansioni trasversali comparabili a RME tradizionali in termini di outcome clinico, buona compliance grazie all’assenza di attivazioni quotidiane e buona accettazione del dispositivo [Manzella et al, 2018; Lanteri C. et al, 2016; Gianolio et al, 2014]. Tali lavori sono però principalmente studi osservazionali o studi controllati non randomizzati, con follow-up spesso limitato.

Un lavoro tridimensionale su modelli digitali condotto da Lanteri V. e collaboratori ha valutato i cambiamenti volumetrici e lineari dopo espansione con Leaf Expander in dentatura mista, riportando aumenti statisticamente significativi delle larghezze intermolari ed intercanine decidue, con espansione “spontanea” dei primi molari permanenti e del diametro mandibolare anteriore, e descrivendo una espansione progressiva e controllata. Questo ha suggerito il Leaf Expander essere una valida alternativa alle tecniche convenzionali in dentatura mista precoce [Lanteri V. et al, 2018^a].

Una review di Vella e collaboratori focalizzata sugli espansori NiTi leaf spring (incluso il Leaf Expander) conclude che gli apparecchi a molla NiTi determinano una espansione trasversale significativa della base mascellare nei soggetti in crescita e gli effetti scheletrici sono clinicamente e radiograficamente comparabili a espansioni lente tradizionali, ma con un profilo di carico più favorevole; tuttavia gli autori sottolineano che il numero di studi disponibili è limitato: pochi lavori clinici, campioni ridotti, e bassa diffusione della apparecchiatura, affermando che l'evidenza è ancora limitata [Vella et al, 2021].

Studi controllati in pazienti in crescita mostrano che l'espansore a molle in Nichel-Titanio produce un'espansione efficace con incremento delle ampiezze d'arcata e buona stabilità a breve termine, con il vantaggio di non richiedere collaborazione domiciliare [Ulug e Arman Özçirpıcı, 2021; Manzella et al, 2018].

Alcuni studi recenti condotti dall'Università degli Studi di Genova hanno esaminato i cambiamenti della morfologia del palato e della superficie palatale dopo espansione con Leaf Expander, evidenziando modificazioni favorevoli dell'architettura palatale (incremento della superficie e dei volumi) paragonabili a quelle ottenute con RME tradizionale. In particolare, lo studio di Silvestrini Biavati F. e collaboratori ha analizzato i cambiamenti della morfologia del palato in seguito ad espansione effettuata con RME e con Leaf Expander, utilizzando come metodo di indagine la geometria morfometrica tridimensionale. Dallo studio è emerso che nel gruppo trattato con RME si osservava un abbassamento della volta palatina, mentre nel gruppo Leaf Expander la sua altezza rimaneva sostanzialmente invariata. In entrambi i gruppi la differenza di forma palatale tra T0 e T1 risultava statisticamente significativa, ma con caratteristiche diverse: nel gruppo RME la variazione coinvolgeva anche la porzione superiore della volta palatina, con modificazioni nella dimensione verticale; nel gruppo Leaf Expander, invece, il cambiamento morfologico riguardava soprattutto le regioni laterali e la parte inferiore del palato, senza alterazioni marcate della volta palatina propriamente detta [Silvestrini Biavati F. et al, 2024].

Uno dei vantaggi riconosciuto in letteratura al Leaf Expander è sicuramente la riduzione del dolore percepito dal paziente, come riportato da Ugolini e collaboratori nel loro studio multicentrico randomizzato. Gli autori hanno infatti sottolineato che i pazienti del gruppo RME riportavano livelli di dolore significativamente più elevati rispetto a quelli trattati con Leaf Expander (88,6% vs 25%; $p < 0,01$). Nei primi quattro giorni il gruppo RME presentava gli indici massimi di dolore: il 51,4% dei pazienti riferiva almeno un episodio di dolore intenso, contro il 9,7% del gruppo Leaf Expander ($p < 0,01$). I pazienti trattati con Leaf Expander hanno riferito livelli di dolore significativamente inferiori durante i primi

sette giorni di trattamento, e questo può essere attribuito all'applicazione di una forza continua e non intermittente, dal momento che il dolore percepito durante l'espansione mascellare è influenzato dal protocollo di attivazione e dal tipo di vite impiegata [Ugolini et al, 2020].

5.3 Il Leaf Self Expander® nella letteratura scientifica

Il Leaf Self Expander (Leone, Firenze) è un'evoluzione del Leaf Expander a molle Ni-Ti, “Self-activated expander” completamente preattivato in laboratorio per cui non richiede alcuna attivazione domiciliare o in studio [Beretta et al, 2019]. Sfrutta esclusivamente la deformazione elastica di più molle a lamina in nichel-titanio (leaf springs) che rilasciano una forza costante e continua, calibrata sull'entità della discrepanza trasversale. Le molle Ni-Ti superelastiche sviluppano una forza quasi costante ($\approx 450 - 900$ g) lungo la corsa attiva (fino a 6 - 9 mm, a seconda del modello utilizzato), quindi l'espansione avviene con forze leggere e continue, senza picchi di carico tipici degli RME (dovuti alle attivazioni della vite). Come per l'RME ed il Leaf Expander, anche per il Leaf Self Expander se possibile l'ancoraggio è sui molari decidui, lasciando liberi i primi molari permanenti di andare incontro ad espansione spontanea.

La letteratura scientifica esistente sul Leaf Self Expander parte dall'articolo cardine di Beretta e collaboratori che descrive in dettaglio l'evoluzione dal Leaf Expander al Leaf Self Expander documentando una correzione completa del crossbite, incremento delle ampiezze intermolari e intercanine e riduzione dell'affollamento anteriore mascellare [Beretta et al, 2019].

Gli autori sottolineano la caratteristica di “compliance-free”, quindi totale assenza di attivazioni domiciliari, con conseguente riduzione del rischio di sotto-trattamento o sovra-attivazione, inoltre il numero dei controlli risulta notevolmente ridotto.

Le forze leggere e continue inducono minor trauma suturale, con discomfort minimo per il paziente e potenziale riduzione del dolore rispetto al RME, in analogia con il Leaf Expander tradizionale. Inoltre, il trattamento può essere programmato in modo predefinito, scegliendo il modello (6 o 9 mm, 450 g o 900 g) in base alla discrepanza trasversale stimata.

Il Leaf Self Expander viene citato anche nella review di Vella e collaboratori dedicata agli espansori Ni-Ti leaf spring (Leaf Expander, Leaf Self Expander e derivati), dove viene sottolineato che tutti questi dispositivi (Leaf Expander e Leaf Self Expander) producono espansioni trasversali clinicamente significative in soggetti in crescita, con effetti scheletrici

paragonabili a quelli di espansioni lente tradizionali, ma con forze più basse e continue, potenziale riduzione del dolore e del tipping dentale [Vella et al, 2021].

Non esistono, ad oggi, trial randomizzati e controllati, pubblicati in letteratura, che confrontino il Leaf Self Expander con il Leaf Expander classico o con altri dispositivi quali RME o altre tipologie di SME. Tuttavia, poiché il Leaf Self Expander condivide lo stesso principio di forza (Ni-Ti) del Leaf Expander ma elimina la necessità di riattivazioni, è ragionevole dal punto di vista biomeccanico ipotizzare che il pattern di espansione sia simile al Leaf Expander, con ulteriore vantaggio sulla compliance (nessuna attivazione), e potenzialmente con profili di dolore e discomfort uguali o inferiori agli espansori lenti.

Generalmente il Leaf Self Expander viene spesso aggregato nella stessa famiglia del Leaf Expander all'interno delle review scientifiche, senza un'analisi separata di outcomes scheletrici e dentali. Pertanto, l'evidenza scientifica specifica sul Leaf Self Expander è ancora limitata, in gran parte composta da studi osservazionali non controllati, studi retrospettivi monocentrici e pochi trial randomizzati, spesso centrati sul Leaf Expander "classico". Sono necessari ulteriori studi controllati, possibilmente randomizzati e con follow-up prolungato, per definire in modo più preciso gli effetti scheletrici, dento-alveolari e la stabilità a lungo termine del Leaf Self Expander.

5.4 Confronto tra RME e Leaf Expander®: revisione della letteratura

Negli ultimi anni sono stati pubblicati diversi lavori che confrontano direttamente, in pazienti in crescita (spesso in dentatura mista), l'espansore rapido tradizionale ed il Leaf Expander, dimostrando che entrambi i dispositivi producono espansioni trasversali clinicamente significative in dentatura mista.

Uno studio cefalometrico condotto da Lanteri V. e collaboratori ha confrontato le modificazioni scheletriche e dento-alveolari prodotte da RME e Leaf Expander in pazienti in crescita, riportando risultati sovrapponibili in termini di incremento della larghezza mascellare, mandibolare e nasale, e della distanza intermolare [Lanteri V. et al, 2018^b].

Allo stesso modo, uno studio tridimensionale di Cossellu e collaboratori condotto su modelli 3D, ha evidenziato che entrambi i dispositivi determinano incrementi significativi delle ampiezze intermolari ed intercanine mascellari. RME tende a produrre un'espansione leggermente maggiore a livello posteriore, mentre il Leaf Expander mostra outcome trasversali clinicamente equivalenti, con schema di forza più "dolce". E' descritta inoltre una risposta mandibolare spontanea (aumento lieve delle dimensioni trasversali inferiori),

che gli autori suggeriscono debba essere valutata meglio in termini di significato clinico [Cossellu et al, 2020].

Uno studio cefalometrico bidimensionale ha confrontato le modificazioni scheletriche e dentali ottenute con RME e Leaf Expander ancorati a dentizione decidua in pazienti in crescita, includendo un gruppo di controllo non trattato. Non sono emerse differenze statisticamente significative nei parametri scheletrici né all'interno dei singoli gruppi né nel confronto tra i due protocolli terapeutici. Nel complesso, Leaf Expander e RME mostrano effetti sovrapponibili, sia per quanto riguarda le modificazioni dentali sia per quelle scheletriche, inoltre è stata osservata una retrazione spontanea degli incisivi superiori sia nel gruppo trattato con RME sia in quello trattato con Leaf Expander. Tale fenomeno potrebbe essere attribuito ad una maggiore espansione nella regione anteriore e ad un incremento della pressione esercitata dal labbro superiore [Lanteri V. et al, 2021].

Altri studi comparativi che confrontano Hyrax versus Leaf Expander in pazienti in crescita confermano che gli effetti dentali a livello delle arcate mascellare e mandibolare risultano simili; il Leaf Expander offre un'espansione continua, senza necessità di attivazioni domiciliari e con un potenziale miglior profilo di comfort [Inchingolo et al, 2023].

Nel 2022 Paoloni e collaboratori hanno condotto uno studio che confrontava gli effetti dento-alveolari e scheletrici indotti da RME e Leaf Expander analizzando modelli e teleradiografie latero-laterali e postero-anteriori in pazienti in crescita. I risultati hanno dimostrato l'assenza di differenze statisticamente significative per nessuna delle variabili dento-scheletriche analizzate, ad eccezione dell'ampiezza mascellare intercanina e dell'ampiezza scheletrica mascellare che sono risultate significativamente maggiori nel gruppo trattato con RME [Paoloni et al, 2022].

Uno studio tridimensionale recente ha analizzato modificazioni scheletriche, dento-alveolari e parodontali dopo espansione con Leaf Expander rispetto a RME di tipo Hyrax in pazienti in crescita, con particolare attenzione alle modificazioni dell'osso alveolare vestibolare in corrispondenza dei primi molari permanenti. I risultati indicano che Leaf Expander e RME producono espansioni trasversali complessivamente simili, con differenze limitate nella componente dento-alveolare e nel comportamento dei tessuti parodontali, e senza evidenza di maggiori danni parodontali con il Leaf Expander. Per quanto riguarda le variabili strettamente scheletriche, solo il gruppo RME ha mostrato un aumento statisticamente significativo della larghezza nasale posteriore, della larghezza della base apicale e della larghezza mascellare medio-alveolare. Quando entrambi i dispositivi sono ancorati ai denti decidui, la corticale vestibolare dei primi molari permanenti non viene

significativamente assottigliata in nessuno dei due gruppi, né subisce una riduzione in altezza; ciò supporta il concetto di utilizzare i denti decidui come “fusibili biologici” per proteggere i denti permanenti [Abate et al, 2023]. Questo è in accordo con altri studi esistenti in letteratura che consigliano l’utilizzo dei secondi molari decidui per ancorare il dispositivo [Ugolini et al, 2015].

Una metanalisi, confrontando RME e SME in soggetti in crescita, mostra che entrambe le tecniche producono espansione intermolare significativa, tuttavia, il gruppo RME mostra il tipico aumento dell’inclinazione molare in misura significativamente maggiore rispetto al gruppo SME. A livello scheletrico, l’analisi evidenzia che la larghezza nasale posteriore aumenta significativamente con RME ($p = 0.007$), suggerendo un maggior effetto ortopedico rispetto alla SME. Per quanto riguarda l’ampiezza alveolare, la SME sembrerebbe offrire un aumento dell’arcata alveolare efficace, con ridotto tipping rispetto a RME. Gli autori sottolineano che la scelta del protocollo di espansione deve essere calibrata sul contesto clinico: un protocollo lento (SME) può minimizzare gli effetti collaterali dentali e migliorare la stabilità post-espansione, mantenendo al contempo un’espansione significativa. Tuttavia, la qualità degli studi inclusi nella metanalisi è globalmente da bassa a moderata, con notevoli limiti metodologici quali campioni ridotti e follow-up limitato [Selvaraj et al, 2024].

Un recente trial clinico randomizzato su pazienti in dentatura mista ha confrontato Leaf Expander, RME ed un gruppo di controllo non trattato, valutando l’andamento dell’area palatale. Entrambi i dispositivi hanno prodotto aumenti significativi dell’area palatale rispetto al controllo, con pattern di espansione leggermente diversi ma risultati finali sovrapponibili in termini di guadagno di superficie. L’aumento maggiore è stato rilevato nella regione mediana del palato in entrambi i gruppi. Nel gruppo di controllo non trattato, invece, l’incremento non è risultato significativo. Inoltre, il gruppo RME ha evidenziato una maggiore inclinazione dei molari permanenti rispetto al gruppo Leaf Expander, suggerendo che un’espansione ottenuta mediante forze più leggere e continue possa ridurre gli effetti collaterali di natura dentale e possa avere potenzialmente meno effetti collaterali parodontali [Ugolini et al, 2025].

Abate e collaboratori nel 2025 hanno condotto uno studio randomizzato a due centri per analizzare la distorotazione dei primi molari permanenti in seguito ad espansione con RME e Leaf Expander. Dallo studio è emerso che l’espansione mascellare ha provocato una distorotazione molare spontanea significativa quando l’apparecchiatura era cementata sui secondi molari decidui. Il Leaf Expander ha mostrato una distorotazione molare

significativamente maggiore ($12,66^\circ$) rispetto all'RME convenzionale ($7,83^\circ$). L'entità della distorotazione molare è risultata correlata al livello di espansione raggiunto sui secondi molari decidui [Abate et al, 2025].

5.5 Comfort, dolore e collaborazione: evidenza scientifica

La letteratura indica che la percezione del dolore durante l'RME è particolarmente elevata nei primi giorni di attivazione, con picco nelle 24-48 ore e grande variabilità individuale, con valori che successivamente diminuiscono [Barone et al, 2023]. Questo rappresenta un punto critico soprattutto nei pazienti giovani o poco collaborativi.

Di contro, il Leaf Expander, applicando forze leggere e continue, riduce i picchi dolorosi e risulta generalmente meglio tollerato dai pazienti [Ugolini et al, 2020]. Questo è stato analizzato nello studio di Ugolini e collaboratori che, confrontando un trattamento di espansione tradizionale con RME di tipo Hyrax versus Leaf Expander nei bambini, ha evidenziato che entrambi i dispositivi producevano espansione trasversale clinicamente sovrapponibile, ma il Leaf Expander era associato ad intensità di dolore significativamente inferiore nei primi giorni e quindi minore uso di analgesici e migliore comfort riferito, senza differenza clinicamente rilevante sulle complicanze a breve termine. Le funzioni orali (masticazione, fonazione) erano compromesse in modo simile, ma la percezione del dolore era nettamente inferiore con il Leaf Expander [Ugolini et al, 2020].

Inoltre, dal punto di vista della collaborazione, l'assenza di attivazioni domiciliari rappresenta un vantaggio rilevante, soprattutto nei bambini in dentatura mista o nei pazienti non collaboranti, in cui gli errori di attivazione da parte dei genitori sono frequenti con l'RME tradizionale [Lanteri C. et al, 2016]. Tuttavia, i dati sul confronto diretto in termini di dolore percepito tra RME e Leaf Expander sono ancora limitati e rappresentano un'area di ricerca aperta.

Capitolo 6 – SCOPO DELLO STUDIO

Le evidenze disponibili in letteratura non consentono ancora di stabilire con certezza quale tra espansione rapida ed espansione lenta sia più efficace dal punto di vista dento-scheletrico, né se l'applicazione di forze ad elevata o moderata intensità rappresenti l'opzione terapeutica più indicata nel trattamento del morso crociato posteriore. Inoltre, non sono attualmente disponibili evidenze conclusive in grado di identificare il protocollo operativo che massimizzi l'espansione scheletrica minimizzando al contempo gli effetti avversi.

Alla luce di tali incertezze, il presente studio clinico multicentrico, randomizzato e controllato è stato progettato per valutare in modo sistematico la risposta trasversale dell'arcata mascellare a diverse apparecchiature e relative modalità di attivazione, impiegate per la correzione del deficit trasversale mascellare:

- Espansore Mascellare Rapido di tipo Hyrax (RME);
- Leaf Expander 450 g (Leaf 450) e sua variante Leaf Self Expander 450 g (LSE 450);
- Leaf Expander 900 g (Leaf 900) e sua variante Leaf Self Expander 900 g (LSE 900).

Lo studio mira altresì a confrontare gli effetti dentali e scheletrici associati ai diversi protocolli ed a fornire evidenze utili per l'adozione di pratiche cliniche basate su dati robusti.

Capitolo 7 – MATERIALI E METODI

Lo studio è stato condotto presso tre centri universitari (Università degli Studi di Genova, Università degli Studi di Milano, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia) ed ha previsto il reclutamento di soggetti in età prepuberale affetti da deficit trasversale del mascellare superiore, per i quali fosse indicato un trattamento di espansione palatale.

7.1 Disegno dello studio

La ricerca è stata progettata come uno studio clinico randomizzato, controllato e multicentrico, condotto presso tre centri clinici universitari. Il disegno sperimentale ha previsto una allocazione parallela dei partecipanti ed una procedura di randomizzazione gerarchica a due stadi. Lo studio ha incluso bambini affetti da deficit trasversale del mascellare superiore, sottoposti a trattamento ortopedico mediante espansione mascellare.

Partecipanti

Nello studio sono stati arruolati 210 soggetti (105 maschi e 105 femmine) con deficit trasversale del mascellare superiore, i quali soddisfacevano i seguenti criteri di inclusione:

- Assenza di patologie sistemiche;
- Stadio prepuberale di sviluppo, corrispondente allo stadio cervicale CVMS1 o CVMS2 nella maturazione delle vertebre cervicali [Baccetti et al, 2005], oppure allo stadio equivalente secondo l'indice di maturazione della falange media del terzo dito [Perinetti et al, 2014];
- Dentizione mista in fase iniziale o intermedia, con primi molari permanenti superiori ed inferiori completamente erotti;
- Malocclusione di Classe I o Classe II secondo la classificazione di Angle (come definita da Proffit e Fields, *Ortodonzia moderna*, 2001);
- Presenza dei secondi molari decidui superiori idonei all'utilizzo come elementi di ancoraggio. Il secondo molare deciduo è stato considerato utilizzabile qualora, all'esame radiografico, la lunghezza radicolare risultasse pari a quella della corona clinica [Quinzi et al, 2021];
- Discrepanza trasversale posteriore interarcata (PTID) ≥ 3 mm. La PTID è stata determinata sui modelli dentali mediante calibro, calcolando la differenza tra la

larghezza intermolare mascellare (distanza tra le fosse centrali dei primi molari permanenti superiori) e la larghezza intermolare mandibolare (distanza tra le cuspidi disto-vestibolari dei primi molari permanenti inferiori) [Tollaro et al, 1996];

- Applicazione di un espansore mascellare (RME o Leaf Expander o Leaf Self Expander) cementato sui secondi molari decidui superiori.

Sono stati esclusi dallo studio pazienti che soddisfacevano i seguenti criteri di esclusione:

- Stadio di sviluppo puberale o postpuberale (CVMS 3-6);
- Dentizione decidua tardiva o dentizione mista tardiva;
- Agenesia dei secondi premolari superiori (come evidenziato dalla ortopantomografia iniziale);
- Malocclusione di Classe III;
- Presenza di labiopalatoschisi, palatoschisi e/o sindromi craniofacciali;
- Impossibilità a completare il periodo di osservazione e il follow-up previsto dal protocollo terapeutico.

Randomizzazione del campione

I partecipanti sono stati assegnati in modo casuale in base alla tipologia di dispositivo utilizzato. Tutti i dispositivi sono stati cementati sui secondi molari decidui superiori.

La randomizzazione è stata effettuata mediante un sistema elettronico che ha implementato una randomizzazione bloccata stratificata, con dimensioni dei blocchi variabili, stratificando ulteriormente i soggetti per età, sesso e tipologia di dispositivo.

I partecipanti sono stati randomizzati secondo un disegno gerarchico a due stadi. In una prima fase, i soggetti sono stati assegnati in modo casuale ad uno dei tre gruppi di trattamento (gruppo RME, gruppo Leaf 450, gruppo Leaf 900) mediante una randomizzazione a blocchi permutati con rapporto di allocazione 1:1:1. In una seconda fase, i soggetti assegnati al gruppo Leaf 450 sono stati ulteriormente randomizzati in rapporto 1:1 a ricevere il dispositivo Leaf Expander 450 g o Leaf Self Expander 450 g, mentre quelli assegnati al gruppo Leaf 900 sono stati randomizzati in rapporto 1:1 a ricevere il dispositivo Leaf Expander 900 g o Leaf Self Expander 900 g, utilizzando liste di randomizzazione separate. La sequenza di allocazione è stata generata in modo indipendente e mantenuta nascosta fino al momento dell'assegnazione.

La composizione finale dei gruppi è risultata la seguente (*Grafico 1, Grafico 2*):

- Gruppo RME: 70 soggetti, 33 maschi e 37 femmine, con età media di $8,4 \pm 1,6$ anni;

- Gruppo Leaf 450: 73 soggetti (37 LE 450, 36 LSE 450), 39 maschi e 34 femmine, con età media di $8,3 \pm 1,9$ anni;
- Gruppo Leaf 900: 67 soggetti (34 LE 900, 33 LSE 900), 33 maschi e 34 femmine, con età media di $8,1 \pm 1,7$ anni.

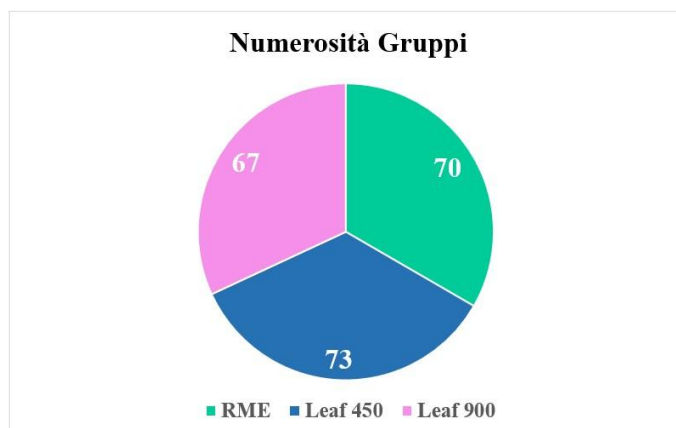


Grafico 1 – Numerosità del campione: gruppi RME - Leaf 450 - Leaf 900.

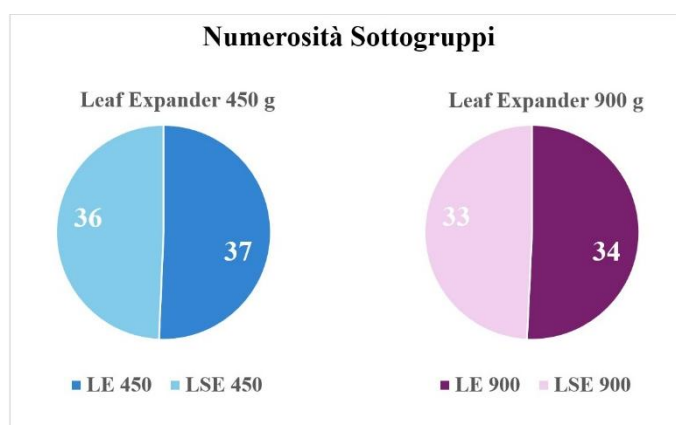


Grafico 2 – Numerosità dei sottogruppi di Leaf Expander 450 g e Leaf Expander 900 g.

Intervento

I pazienti assegnati al gruppo RME sono stati trattati mediante un dispositivo di espansione palatale di tipo Hyrax. Tale apparecchiatura, realizzata in acciaio inossidabile, è stata cementata sui secondi molari decidui mascellari, con bracci estesi in direzione anteriore fino a raggiungere le superfici palatali dei primi canini decidui. È stata impiegata una vite di espansione convenzionale in grado di generare forze intermittenti di elevata intensità (vite ad espansione con guide telescopiche A2620 – Leone SpA, Sesto Fiorentino, Firenze, Italia). L'attivazione della vite RME è stata eseguita dai genitori dei pazienti con una

frequenza di 2/4 di giro al giorno (corrispondenti a due attivazioni al giorno - ogni giro corrisponde a 0,25 mm). La fase di attivazione è stata avviata immediatamente dopo la cementazione del dispositivo.

I pazienti assegnati ai gruppi Leaf Expander 450 g e Leaf Expander 900 g sono stati trattati mediante una vite di espansione progettata per erogare forze moderate e continue (Leaf Expander® – Leone SpA, Sesto Fiorentino, Firenze, Italia) rispettivamente di 450 g e 900 g. Le viti sono state in parte preattivate in laboratorio ed in parte attivate alla poltrona secondo lo schema evidenziato in *Figura 1*.

Modello	Cementazione Leaf	I Seduta	II Seduta	III Seduta
6 mm A2703-06 A2704-06	Sblocco molle	10 attivazioni	10 attivazioni	10 attivazioni
	0 attivazioni			
9 mm A2703-10 A2704-10	Sblocco molle	15 attivazioni	15 attivazioni	15 attivazioni
	0 attivazioni			

Figura 1 - Protocollo di attivazione del Leaf Expander [Lanteri C. et al, 2017].

Nei pazienti assegnati ai gruppi Leaf Self Expander 450 g e Leaf Self Expander 900 g le molle a balestra sono state completamente preattivate in laboratorio e non hanno richiesto nessuna attivazione clinica aggiuntiva.

I soggetti sono stati randomicamente assegnati. Tutti i dispositivi sono stati mantenuti in situ, al termine della fase di attivazione, come mezzi di contenzione passiva per un periodo minimo di 12 mesi dalla loro applicazione, e successivamente rimossi.

L'esperienza clinica degli operatori coinvolti nei tre centri partecipanti allo studio era comparabile, variando tra 5 e 10 anni.

In tutti i gruppi di trattamento, la fase di attivazione è stata proseguita fino al conseguimento dell'espansione palatale clinicamente desiderata, definita dal raggiungimento di un rapporto cuspid-cuspide tra le cuspidi palatali dei primi molari permanenti superiori e le cuspidi vestibolari dei primi molari permanenti inferiori.

Outcome

Per ciascun paziente sono stati acquisiti modelli dentali digitali e teleradiografie postero-anteriori del cranio al tempo iniziale (T0) e al termine del periodo di ritenzione (T1), pari a $1,1 \pm 0,3$ anni dopo la cementazione dell'espansore.

I modelli delle arcate mascellare e mandibolare sono stati ottenuti mediante scanner intraorali dedicati. Successivamente, tali modelli sono stati esportati in formato Standard Tessellation Language (STL) e analizzati attraverso software specifici per l'elaborazione di file STL.

Le variabili rilevate sui modelli digitali e sulle teleradiografie postero-anteriori sono state suddivise tra il tempo T0 (immediatamente precedente alla cementazione) e il tempo T1 (un anno dopo l'applicazione del dispositivo).

In particolare, sui modelli digitali sono state misurate:

- Distanza Intercanina Decidua Mascellare (C-C);
- Distanza Intermolare Decidua Mascellare (E-E);
- Distanza Intermolare Mascellare (1.6-2.6);
- Rotazione dei primi molari permanenti mascellari (1.6/2.6);
- Perimetro d'arcata del mascellare superiore.

Per l'analisi cefalometrica, dalle teleradiografie digitalizzate in proiezione postero-anteriore sono state ricavate, per ciascun soggetto, tre misure scheletriche di ampiezza ottenute collegando i rispettivi punti cefalometrici bilaterali: Ampiezza Scheletrica Mascellare (Mx-Mx), Ampiezza Scheletrica Mandibolare (Ag-Ag) e Ampiezza Latero-nasale (Ln-Ln). Sono inoltre derivate due misurazioni dentali: Ampiezza Intermolare Mascellare (Um-Um) e Ampiezza Intermolare Mandibolare (Lm-Lm).

Calcolo della dimensione del campione

Per il calcolo della dimensione del campione è stato utilizzato il software G*Power (versione 3.1.9, <http://www.psychologie.hhu.de/arbeitsgruppen/allgemeine-psychologie-und-arbeitspsychologie/gpower.html>).

La variazione della distanza Mx-Mx (mm) tra la fase pre-trattamento e la fase post-trattamento è stata assunta come outcome primario per l'analisi di potenza.

Sulla base dei dati relativi alle modificazioni della misura Mx-Mx riportati da Paoloni e collaboratori nel 2022 e considerando una potenza statistica superiore a 0,85 ed un livello

di errore di tipo I pari allo 0,5% è emersa la necessità di arruolare 65 pazienti per ciascun gruppo.

7.2 Misurazioni

Modelli

Per l'analisi delle arcate dentarie è stato impiegato il software 3Shape Ortho Viewer, mediante il quale è stato visualizzato il modello digitale del paziente ottenuto dalle scansioni intraorali. Dopo aver orientato il modello superiore in visione oclusale, è stata effettuata la misurazione lineare (in millimetri) di un elemento dentale, necessaria per la successiva calibrazione dell'immagine.

Successivamente è stata acquisita un'immagine tramite screenshot del modello così orientato (*Figura 2*).

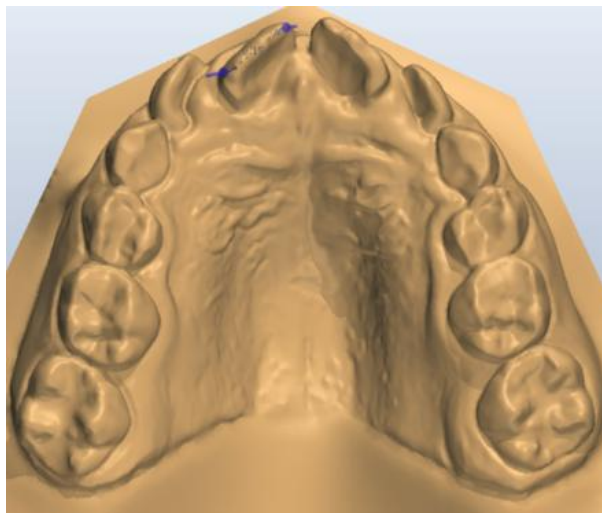


Figura 2 - Screenshot del modello digitale dell'arcata superiore, con la misurazione in mm di un elemento dentario necessaria per la calibrazione dell'immagine.

L'immagine ottenuta è stata elaborata mediante Microsoft Paint, tracciando due linee di riferimento (*Figura 3*):

- La linea palatale mediana, passante per il centro delle rughe palatine;
- L'asse di rotazione dei primi molari permanenti, definito unendo la cuspidе disto-vestibolare e la cuspidе mesio-palatale del primo molare permanente superiore.

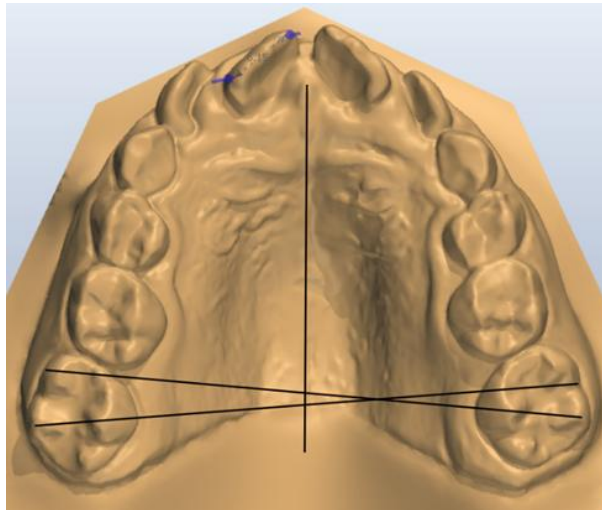


Figura 3 - Immagine elaborata con il software Microsoft Paint. Sono state tracciate la linea palatale mediana e gli assi di rotazione dei primi molari permanenti superiori (1.6/2.6).

L'immagine elaborata è stata quindi salvata in formato PNG e caricata sulla piattaforma online WebCeph. All'interno di WebCeph è stata eseguita la calibrazione dell'immagine, convertendo le unità da pixel a millimetri (Figura 4), utilizzando come riferimento la misura dell'elemento dentale precedentemente registrata in 3Shape Ortho Viewer.

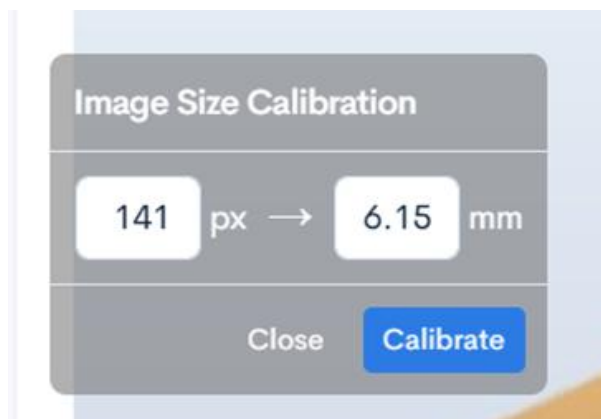


Figura 4 - Calibrazione dell'immagine su WebCeph.

Sono state quindi rilevate le seguenti misurazioni (Figura 5, Figura 6):

- Distanza C-C (canini decidui): distanza tra le cuspidi dei canini decidui mascellari destro e sinistro;
- Distanza E-E (secondi molari decidui): distanza tra le fosse centrali dei secondi molari decidui mascellari destro e sinistro;
- Distanza 1.6-2.6 (primi molari permanenti): distanza tra le fosse centrali dei primi molari permanenti mascellari destro e sinistro;

- Angolo di rotazione medio dei primi molari permanenti (1.6/2.6): inizialmente sono stati calcolati gli angoli di rotazione degli elementi 1.6 e 2.6, ottenuti dall'intersezione dei rispettivi assi di rotazione con la linea palatale mediana, in seguito è stato ricavato l'angolo di rotazione medio eseguendo la media matematica dei due valori.
- Perimetro dell'arcata superiore: misurato dal margine distale dell'elemento E al margine distale dell'elemento omologo controlaterale.

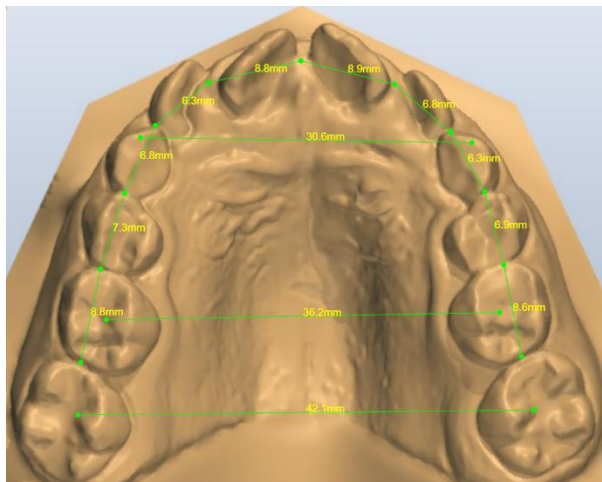


Figura 5 - Distanza C-C, E-E, 1.6-2.6 e perimetro d'arcata superiore.

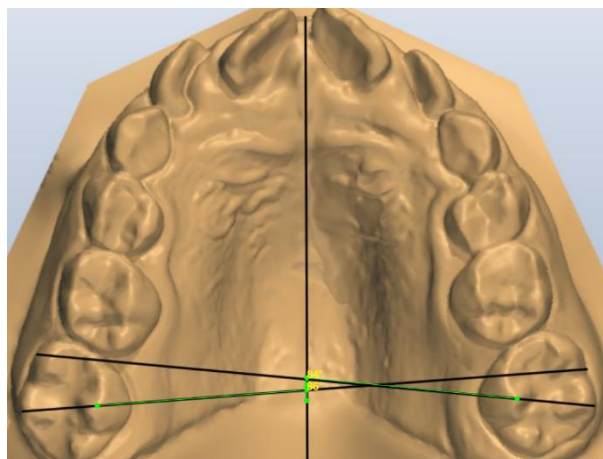


Figura 6 - Angolo di rotazione dei primi molari permanenti superiori (1.6/2.6).

Tutte le misurazioni sono state registrate ed organizzate in un foglio di calcolo Excel. Tali procedure di misurazione sono state eseguite sui modelli ottenuti dalle scansioni intraorali ad inizio terapia (T0) e al termine della terapia ortodontica (T1), al fine di valutare le modificazioni morfologiche e dimensionali dell'arcata dentale indotte dal trattamento.

Teleradiografie Postero-Anteriori

Per la valutazione delle modificazioni trasversali scheletriche e dentali del campione in esame è stata impiegata la teleradiografia del cranio in proiezione postero-anteriore (PA), successivamente caricata ed analizzata mediante il software Deltadent.

La radiografia è stata calibrata utilizzando due marker di riferimento radiopachi posizionati al centro del cranio, corrispondenti ad una distanza reale di 25 mm, al fine di convertire le misurazioni da pixel a millimetri (*Figura 7*).

È stata quindi eseguita un'analisi cefalometrica personalizzata, mediante l'identificazione bilaterale dei seguenti punti di repere cefalometrici (*Figura 7*), in accordo con quanto descritto da Cameron e collaboratori [2002]:

- SZ (sutura zigomatica): punto situato a livello dell'articolazione tra osso zigomatico e osso temporale;
- Mx (punto mascellare scheletrico): localizzato nella massima concavità del contorno laterale del mascellare, in corrispondenza dell'intersezione con il processo zigomatico;
- Um (punto dentale molare mascellare): punto più prominente della superficie vestibolare della corona del primo molare permanente superiore;
- Lm (punto dentale molare mandibolare): punto più prominente della superficie vestibolare della corona del primo molare permanente inferiore;
- Ln (punto latero-nasale): punto più esterno e laterale del profilo della cavità nasale;
- Ag (antegonion): punto localizzato sull'incisura antegoniale della mandibola, tra il corpo mandibolare ed il ramo ascendente, nel punto più inferiore della protuberanza goniale.



Figura 7 - Calibrazione dell'immagine derivante dalla teleradiografia postero-anteriore e posizionamento dei punti di repere.

Sulla base dei punti di repere identificati, sono state effettuate le seguenti misurazioni bilaterali (Figura 8):

- Mx–Mx: Ampiezza Scheletrica Mascellare;
- Um–Um: Ampiezza Intermolare Mascellare;
- Lm–Lm: Ampiezza Intermolare Mandibolare;
- Ln–Ln: Ampiezza Latero-nasale;
- Ag–Ag: Ampiezza Scheletrica Mandibolare.

Misura	Valore
Misurazioni	
Ampiezza scheletrica mascellare	56,4
Ampiezza intermolare mascellare	52,8
Ampiezza intermolare mandibolare	55,8
Ampiezza nasale laterale	24,9
Ampiezza mandibolare	73,3

Figura 8 - Misurazioni effettuate sulla teleradiografia postero-anteriore.

Le misurazioni sono state eseguite sulle teleradiografie acquisite all'inizio (T0) e al termine del trattamento ortodontico (T1), al fine di valutare le modificazioni ottenute. Tutti i dati

raccolti sono stati successivamente organizzati in un foglio di calcolo Excel per la successiva elaborazione statistica.

7.3 Analisi Statistica

Le caratteristiche demografiche del campione quali età, sesso, stadio di maturazione scheletrica delle vertebre cervicali (CVMS) e le misurazioni dentali e scheletriche pre e post-trattamento, sono state sintetizzate mediante statistiche descrittive (media, deviazione standard, mediana).

La distribuzione dei dati è stata verificata tramite il test di Shapiro-Wilk.

L'analisi primaria è stata condotta confrontando i tre gruppi di studio (RME - Leaf Expander 450 g - Leaf Expander 900 g) mediante analisi della varianza ad una via (ANOVA parametrica omoschedastica). In caso di significatività globale, i confronti Post-Hoc tra i gruppi sono stati effettuati utilizzando la correzione di Bonferroni per confronti multipli.

L'eterogeneità dell'effetto del tipo di dispositivo (Leaf Expander vs Leaf Self Expander) sull'espansione mascellare è stata valutata mediante analisi della varianza fattoriale a due vie, includendo come fattori il gruppo di trattamento (Leaf 450 vs Leaf 900) ed il tipo di dispositivo, nonché il relativo termine di interazione. Il test di interazione è stato utilizzato per verificare se la differenza di espansione tra le versioni Leaf Expander e Leaf Self Expander fosse omogenea nei gruppi Leaf 450 e Leaf 900.

In presenza di un termine di interazione significativo, all'interno dei gruppi Leaf 450 e Leaf 900, sono stati eseguiti confronti tra i rispettivi sottogruppi di trattamento (LE 450 vs LSE 450 e LE 900 vs LSE 900) mediante Test T per campioni indipendenti. Tali analisi di sottogruppo sono state considerate di natura esplorativa.

L'affidabilità delle misurazioni ripetute è stata valutata attraverso i coefficienti di correlazione intra-esaminatore (ICC), mentre l'errore di metodo è stato stimato mediante la formula di Dahlberg.

Il livello di significatività statistica è stato fissato a $p \leq 0,05$. Tutte le analisi sono state eseguite utilizzando il software SPSS v21.0 (versione 25.00; IBM Corp., Armonk, NY).

Errore di Metodo

Per valutare l'errore di metodo, le misurazioni sono state replicate su 10 modelli digitali e 10 teleradiografie postero-anteriori selezionati in modo casuale, e sono stati stimati i coefficienti di correlazione intraclassa (ICC) al fine di confrontare la variabilità intra-

individuale con quella inter-individuale. Gli indici di concordanza complessiva inter ed intra-osservatore, relativi rispettivamente alle misurazioni lineari e a quelle angolari, sono risultati pari a 0,912 (intervallo di confidenza al 95%: 0,823–0,967; $p < 0,001$) e 0,943 (intervallo di confidenza al 95%: 0,905–0,964; $p < 0,001$). Nel complesso, l'errore di metodo è stato considerato trascurabile.

Capitolo 8 – RISULTATI

Il campione oggetto di analisi comprende 210 individui, suddivisi in tre coorti distinte in funzione del dispositivo impiegato per la terapia ortodontica. Il gruppo trattato con Leaf Expander 450 g (Leaf 450) è costituito da 73 pazienti (34 di sesso femminile e 39 di sesso maschile), con un'età media pari a $8,3 \pm 1,9$ anni: di questi, 37 sono stati trattati con Leaf Expander 450 g (LE 450) e 36 con Leaf Self Expander 450 g (LSE 450). Il gruppo Leaf Expander 900 g (Leaf 900) comprende 67 pazienti (34 femmine e 33 maschi), caratterizzati da un'età media di $8,1 \pm 1,7$ anni: di questi, 34 sono stati trattati con Leaf Expander 900 g (LE 900) e 33 con Leaf Self Expander 900 g (LSE 900). Il gruppo sottoposto ad espansione rapida del palato (RME) include 70 soggetti (37 femmine e 33 maschi), la cui età media risulta pari a $8,4 \pm 1,6$ anni. La durata media del trattamento per l'intera popolazione studiata è risultata essere $1,1 \pm 0,3$ anni.

Tutti i soggetti inclusi nello studio hanno portato a termine il trattamento con successo, raggiungendo la correzione del deficit trasversale del mascellare superiore.

L'analisi tramite test di Shapiro-Wilk ha indicato che la distribuzione dei dati non si discostava dalla normalità ($W = 0,90$).

8.1 Misurazioni su modelli digitali: variazioni intra-gruppo

L'esame delle misurazioni acquisite sui modelli digitali ha permesso di quantificare le modificazioni dei diametri trasversali, delle rotazioni molari e del perimetro dell'arcata mascellare tra l'inizio del trattamento (T0) e il termine dello stesso (T1).

In ciascuna delle coorti analizzate sono emerse differenze statisticamente significative tra i valori rilevati a T0 e quelli registrati a T1. Tutti i gruppi hanno evidenziato un incremento significativo delle dimensioni trasversali e variazioni angolari a livello dei primi molari, con valori di $p < 0,05$.

Nel gruppo Leaf Expander 450 g (*Tabella 1*), la distanza intercanina (C-C) ha mostrato un aumento medio di $5,0 \pm 2,4$ mm; la distanza intermolare relativa ai molari decidui (E-E) è incrementata di $5,2 \pm 2,2$ mm; mentre la distanza intermolare dei primi molari permanenti (1.6-2.6) è aumentata di $3,4 \pm 2,5$ mm. È stata inoltre rilevata una diminuzione dell'angolo di rotazione medio dei primi molari pari a $-5,2^\circ \pm 2,6^\circ$. Il perimetro dell'arcata mascellare ha evidenziato un incremento medio di $3,4 \pm 3,6$ mm.

Leaf 450 (n. 73) - Misurazioni su Modelli				
Variabili	T0 Mean ± SD	T1 Mean ± SD	T1-T0 Mean ± SD	T0 vs T1 p-value
Distanza C-C	31,1 ± 2,9	36,1 ± 3,3	5,0 ± 2,4	< 0,001*
Distanza E-E	35,4 ± 3,3	40,6 ± 3,5	5,2 ± 2,2	< 0,001*
Distanza 1.6-2.6	39,8 ± 3,0	43,2 ± 3,8	3,4 ± 2,5	< 0,001*
Angolo Rotazione Medio 1.6/2.6	79,6 ± 4,6	74,4 ± 4,2	-5,2 ± 2,6	< 0,001*
Perimetro Arcata Superiore	77,4 ± 5,9	80,9 ± 6,8	3,4 ± 3,6	< 0,001*

Tabella 1 – Misurazioni su modelli digitali: risultati gruppo Leaf 450.

I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “”.*

Nel gruppo Leaf Expander 900 g (*Tabella 2*), la distanza intercanina (C-C) ha registrato un incremento medio di $6,2 \pm 2,9$ mm, mentre la distanza tra i molari decidui (E-E) è aumentata di $6,0 \pm 2,6$ mm. La distanza tra i primi molari permanenti (1.6-2.6) ha mostrato un ampliamento pari a $4,1 \pm 2,9$ mm.

L’angolo di rotazione medio dei primi molari ha evidenziato una riduzione di $-4,5^\circ \pm 2,8^\circ$. Il perimetro dell’arcata mascellare ha subito un incremento medio complessivo di $5,4 \pm 3,1$ mm.

Leaf 900 (n. 67) - Misurazioni su Modelli				
Variabili	T0 Mean ± SD	T1 Mean ± SD	T1-T0 Mean ± SD	T0 vs T1 p-value
Distanza C-C	30,0 ± 3,0	36,3 ± 2,9	6,2 ± 2,9	< 0,001*
Distanza E-E	34,5 ± 3,1	40,5 ± 3,2	6,0 ± 2,6	< 0,001*
Distanza 1.6-2.6	37,2 ± 7,0	41,2 ± 7,8	4,1 ± 2,9	< 0,001*
Angolo Rotazione Medio 1.6/2.6	79,3 ± 8,8	74,8 ± 8,7	-4,5 ± 2,8	< 0,001*
Perimetro Arcata Superiore	75,1 ± 5,0	80,6 ± 5,2	5,4 ± 3,1	< 0,001*

Tabella 2 – Misurazioni su modelli digitali: risultati gruppo Leaf 900.

I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “”.*

Nel gruppo trattato con espansore rapido del mascellare (RME) (*Tabella 3*), la distanza intercanina (C-C) ha mostrato un incremento medio di $5,8 \pm 2,1$ mm, mentre la distanza tra i molari decidui (E-E) è aumentata di $6,2 \pm 1,8$ mm. L’ampliamento della distanza tra i primi molari permanenti (1.6-2.6) è risultato pari a $4,7 \pm 2,3$ mm.

La riduzione dell’angolo di rotazione medio dei primi molari è risultata più contenuta rispetto agli altri gruppi, con valori di $-2,6^\circ \pm 3,3^\circ$. Il perimetro dell’arcata mascellare ha evidenziato un incremento medio complessivo di $5,5 \pm 3,2$ mm.

RME (n. 70) - Misurazioni su Modelli				
Variabili	T0 Mean ± SD	T1 Mean ± SD	T1-T0 Mean ± SD	T0 vs T1 p-value
Distanza C-C	28,2 ± 4,3	34,0 ± 4,9	5,8 ± 2,1	< 0,001*
Distanza E-E	32,7 ± 4,9	38,9 ± 5,3	6,2 ± 1,8	< 0,001*
Distanza 1.6-2.6	36,6 ± 5,1	41,3 ± 5,7	4,7 ± 2,3	< 0,001*
Angolo Rotazione Medio 1.6/2.6	80,3 ± 10,5	77,7 ± 10,2	-2,6 ± 3,3	< 0,001*
Perimetro Arcata Superiore	71,8 ± 9,7	77,2 ± 10,4	5,5 ± 3,2	< 0,001*

*Tabella 3 – Misurazioni su modelli digitali: risultati gruppo RME.
I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.*

8.2 Misurazioni su modelli digitali: confronto tra gruppi

Per il confronto tra i gruppi è stata impiegata un’analisi della varianza (ANOVA), dalla quale è emerso che tutte le variabili analizzate risultavano significativamente differenti tra i gruppi, con valori di $p < 0,05$ (Tabella 4).

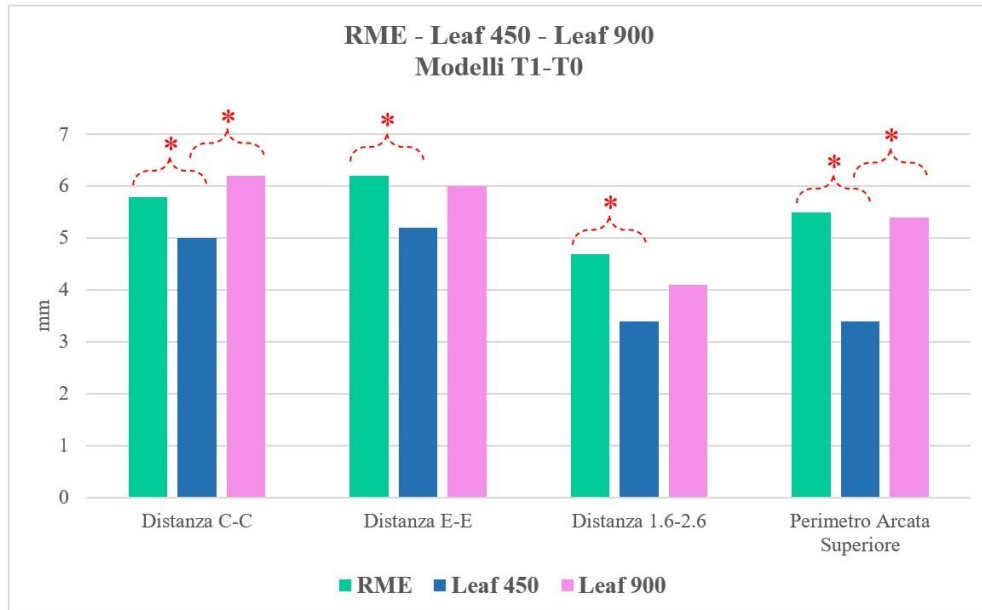
L’analisi Post-Hoc ha successivamente evidenziato i seguenti risultati (Tabella 4):

- Leaf 450 vs Leaf 900: sono state riscontrate differenze statisticamente significative solo per quanto riguarda la distanza intercanina ($p = 0,006$) ed il perimetro d’arcata ($p = 0,001$).
- Leaf 450 vs RME: sono emerse differenze significative in tutte le variabili analizzate, con $p < 0,05$.
- Leaf 900 vs RME: è stata rilevata una differenza significativa nella variazione dell’angolo di rotazione medio dei molari superiori ($p < 0,001$), mentre le altre variabili non hanno mostrato differenze significative tra i due gruppi.

Misurazioni su Modelli	Distanza C-C	Distanza E-E	Distanza 1.6-2.6	Angolo Rotazione Medio 1.6/2.6	Perimetro Arcata Superiore
	T1-T0	T1-T0	T1-T0	T1-T0	T1-T0
ANOVA	0,003*	0,012*	0,023*	< 0,001*	< 0,001*
Post Hoc					
Leaf 450 vs Leaf 900	0,006*	0,031	0,141	0,050	0,001*
Leaf 450 vs RME	0,015*	0,013*	0,001*	< 0,001*	0,001*
Leaf 900 vs RME	0,355	0,778	0,167	< 0,001*	0,926

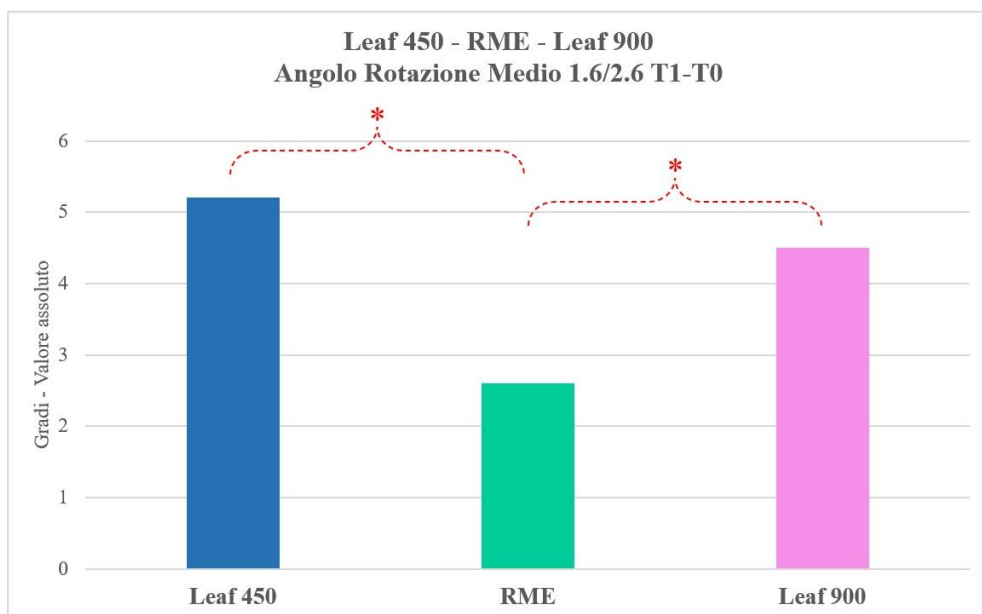
Tabella 4 – Misurazioni su modelli digitali: Confronto RME - Leaf 450 - Leaf 900 con test ANOVA e Post Hoc. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “”.*

Le differenze nelle misurazioni lineari medie sui modelli digitali tra i dispositivi utilizzati sono evidenziate nel *Grafico 1*.



*Grafico 1 – Misurazioni su modelli digitali T1-T0: variabili lineari.
Confronto RME - Leaf 450 - Leaf 900.
I confronti statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.*

La differenza determinata dai diversi dispositivi a livello dell’angolo di rotazione medio dei primi molari permanenti superiori è rappresentata nel *Grafico 2*.



*Grafico 2 – Misurazioni su modelli digitali T1-T0: Angolo di Rotazione Medio 1.6/2.6.
Confronto Leaf 450 - RME - Leaf 900.
I confronti statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.*

8.3 Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori: variazioni intra-gruppo

L'analisi cefalometrica eseguita sulle teleradiografie postero-anteriori ha permesso di quantificare le modificazioni scheletriche a livello del mascellare, della mandibola e delle cavità nasali, oltre alle variazioni dentali riferite ai primi molari superiori ed inferiori in seguito al trattamento.

Per ciascuno dei tre gruppi sono state rilevate differenze statisticamente significative nel confronto tra le misurazioni ottenute al tempo iniziale (T0) e quelle registrate al termine del trattamento (T1).

Nel dettaglio, nel gruppo Leaf Expander 450 g (*Tabella 5*) è stato osservato un incremento dell'ampiezza mascellare pari a $3,0 \pm 2,1$ mm e dell'ampiezza mandibolare di $2,9 \pm 1,6$ mm. L'ampiezza intermolare mascellare ha mostrato un aumento di $3,4 \pm 2,2$ mm, mentre l'ampiezza intermolare mandibolare è cresciuta di $1,5 \pm 1,6$ mm. Le cavità nasali (ampiezza latero-nasale) hanno evidenziato un'incremento di $2,1 \pm 1,5$ mm.

Leaf 450 (n. 73) - Misurazioni su Teleradiografie PA				
Variabili	T0	T1	T1-T0	T0 vs T1
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	p-value
Ampiezza Mascellare	53,0 \pm 3,1	55,9 \pm 3,3	3,0 \pm 2,1	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mascellare	49,7 \pm 2,8	53,1 \pm 2,5	3,4 \pm 2,2	< 0,001*
Ampiezza Mandibolare	66,5 \pm 3,8	69,4 \pm 4,0	2,9 \pm 1,6	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mandibolare	50,3 \pm 3,1	51,8 \pm 2,4	1,5 \pm 1,6	< 0,001*
Ampiezza Latero-nasale	22,6 \pm 2,0	24,7 \pm 1,7	2,1 \pm 1,5	< 0,001*

Tabella 5 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori: risultati gruppo Leaf 450. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “”.*

Nel gruppo Leaf Expander 900 g (*Tabella 6*), le modificazioni rilevate tra T0 e T1 hanno mostrato incrementi medi pari a $3,2 \pm 1,5$ mm per l'ampiezza mascellare e $3,2 \pm 2,1$ mm per l'ampiezza mandibolare. L'ampiezza intermolare mascellare ha registrato un incremento di $3,4 \pm 1,9$ mm, mentre l'ampiezza intermolare mandibolare è aumentata di $1,1 \pm 1,3$ mm. Le cavità nasali (ampiezza latero-nasale) hanno evidenziato un ampliamento medio di $1,9 \pm 1,4$ mm.

Leaf 900 (n. 67) - Misurazioni su Teleradiografie PA				
Variabili	T0 Mean ± SD	T1 Mean ± SD	T1-T0 Mean ± SD	T0 vs T1 p-value
Ampiezza Mascellare	54,4 ± 3,2	57,6 ± 3,2	3,2 ± 1,5	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mascellare	50,4 ± 3,0	53,9 ± 3,2	3,4 ± 1,9	< 0,001*
Ampiezza Mandibolare	67,8 ± 6,0	71,0 ± 4,9	3,2 ± 2,1	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mandibolare	50,9 ± 2,8	52,0 ± 2,7	1,1 ± 1,3	< 0,001*
Ampiezza Latero-nasale	24,7 ± 2,5	26,7 ± 2,6	1,9 ± 1,4	< 0,001*

Tabella 6 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori: risultati gruppo Leaf 900. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

Nel gruppo trattato con espansore rapido del mascellare (RME) (Tabella 7), le variazioni osservate tra T0 e T1 hanno evidenziato un incremento medio di $3,7 \pm 2,0$ mm per l’ampiezza mascellare e di $2,4 \pm 3,2$ mm per l’ampiezza mandibolare. L’ampiezza intermolare mascellare ha subito un incremento di $3,5 \pm 3,0$ mm, mentre l’ampiezza intermolare mandibolare è aumentata di $2,1 \pm 3,0$ mm. Le cavità nasali (ampiezza latero-nasale) hanno mostrato un ampliamento medio pari a $3,1 \pm 1,6$ mm.

RME (n. 70) - Misurazioni su Teleradiografie PA				
Variabili	T0 Mean ± SD	T1 Mean ± SD	T1-T0 Mean ± SD	T0 vs T1 p-value
Ampiezza Mascellare	53,6 ± 3,0	57,3 ± 2,6	3,7 ± 2,0	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mascellare	50,0 ± 3,0	53,6 ± 3,1	3,5 ± 3,0	< 0,001*
Ampiezza Mandibolare	68,6 ± 5,1	71,0 ± 5,8	2,4 ± 3,2	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mandibolare	50,2 ± 3,6	52,3 ± 3,4	2,1 ± 3,0	< 0,001*
Ampiezza Latero-nasale	23,4 ± 1,7	26,5 ± 2,5	3,1 ± 1,6	< 0,001*

Tabella 7 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori: risultati gruppo RME. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

8.4 Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori: confronto tra gruppi

L’analisi della varianza (ANOVA) ha evidenziato l’assenza di differenze statisticamente significative tra i gruppi in relazione all’ampiezza mascellare, all’ampiezza mandibolare, all’ampiezza intermolare mascellare e all’ampiezza intermolare mandibolare (Tabella 8). È stata invece rilevata una differenza significativa nella misurazione a livello delle cavità nasali ($p = 0,008$).

L’analisi Post-Hoc ha ulteriormente evidenziato i seguenti risultati (Tabella 8):

- Leaf 450 vs Leaf 900: nessuna delle variabili considerate ha mostrato differenze statisticamente significative.

- Leaf 450 vs RME: l'unica differenza significativa è stata riscontrata a livello dell'ampiezza delle cavità nasali ($p = 0,005$), mentre tutte le altre misurazioni non hanno presentato significatività rilevanti.
- Leaf 900 vs RME: è emersa una differenza significativa esclusivamente nella misura delle cavità nasali ($p = 0,001$); le restanti variabili non hanno mostrato differenze statisticamente significative.

Misurazioni su Teleradiografie PA	Ampiezza Mascellare	Ampiezza Intermolare Mascellare	Ampiezza Mandibolare	Ampiezza Intermolare Mandibolare	Ampiezza Latero-nasale
	T1-T0	T1-T0	T1-T0	T1-T0	T1-T0
ANOVA	0,374	0,245	0,834	0,153	0,008*
Post Hoc					
Leaf 450 vs Leaf 900	/	/	/	/	0,594
Leaf 450 vs RME	/	/	/	/	0,005*
Leaf 900 vs RME	/	/	/	/	0,001*

Tabella 8 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori.

Confronto RME - Leaf 450 - Leaf 900 con test ANOVA e Post Hoc.

I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

Le differenze nelle misurazioni medie sulle teleradiografie postero-anteriori tra i dispositivi utilizzati sono evidenziate nel Grafico 3.

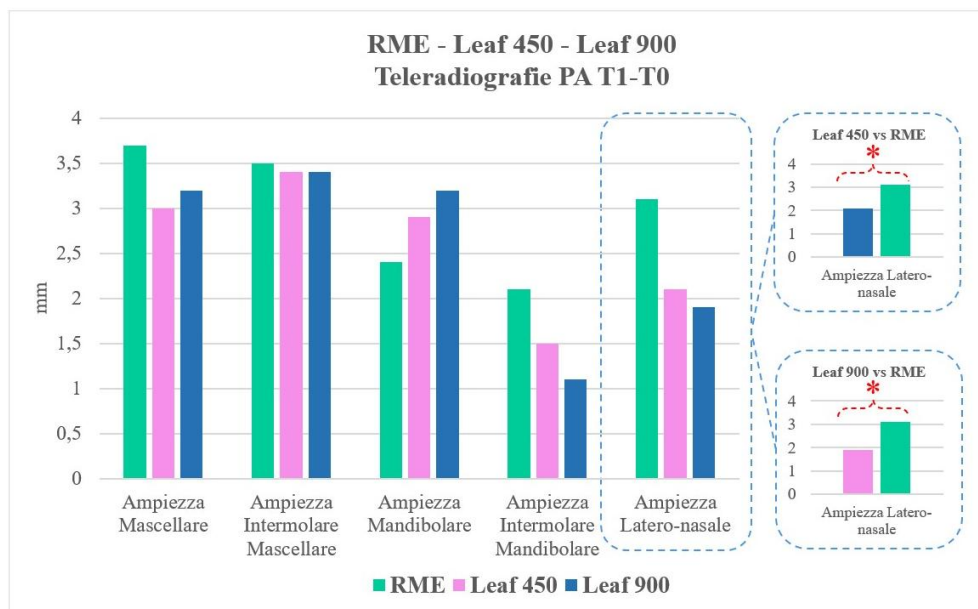


Grafico 3 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori T1-T0.

Confronto RME - Leaf 450 - Leaf 900.

I confronti statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

8.5 Analisi dei sottogruppi: Leaf Expander® versus Leaf Self Expander®

È stata quindi effettuata un'analisi all'interno dei gruppi Leaf Expander 450 g e 900 g, indagando due dispositivi per ciascun gruppo (Leaf Expander e Leaf Self Expander), per capire se vi fossero differenze tra Leaf Expander e Leaf Self Expander di forza corrispondente.

All'interno del gruppo Leaf Expander 450 g, 37 pazienti sono stati trattati con Leaf Expander 450 g (LE 450) e 36 con Leaf Self Expander 450 g (LSE 450). All'interno del gruppo Leaf Expander 900 g, 34 pazienti sono stati trattati con Leaf Expander 900 g (LE 900) e 33 con Leaf Self Expander 900 g (LSE 900).

Per valutare la significatività è stato utilizzato il Test T per campioni indipendenti.

Misurazioni su modelli digitali: variazione all'interno dei sottogruppi e confronto tra sottogruppi

Per quanto riguarda le misurazioni effettuate sui modelli digitali, entrambe le tipologie di Leaf Expander hanno determinato un incremento dell'arcata mascellare. Infatti, per ciascun sottogruppo (LE 450, LSE 450, LE 900, LSE 900) sono state rilevate differenze statisticamente significative nel confronto tra le misurazioni ottenute al tempo iniziale (T0) e quelle registrate al termine del trattamento (T1) (Tabella 9, Tabella 10, Tabella 11, Tabella 12).

LE 450 (n. 37) – Misurazioni su Modelli				
Variabili	T0	T1	T1-T0	Test T LE 450 T0 vs T1
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	p – value
Distanza C-C	31,8 ± 3,2	37,3 ± 3,6	5,5 ± 2,0	< 0,001*
Distanza E-E	36,4 ± 3,7	42,2 ± 3,9	5,8 ± 1,9	< 0,001*
Distanza 1.6-2.6	40,0 ± 3,3	45,1 ± 3,8	5,1 ± 2,4	< 0,001*
Angolo Rotazione Medio 1.6/2.6	79,2 ± 4,2	74,0 ± 3,9	-5,2 ± 1,8	< 0,001*
Perimetro Arcata Superiore	80,1 ± 6,7	85,0 ± 7,4	4,9 ± 3,9	< 0,001*

Tabella 9 – Misurazioni su modelli digitali: risultati sottogruppo LE 450.
I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

LSE 450 (n. 36) – Misurazioni su Modelli				
Variabili	T0	T1	T1-T0	Test T LSE 450 T0 vs T1
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	p - value
Distanza C-C	30,6 ± 2,7	35,2 ± 2,9	4,6 ± 2,6	< 0,001*
Distanza E-E	34,8 ± 2,9	39,5 ± 2,8	4,8 ± 2,3	< 0,001*
Distanza 1.6-2.6	39,7 ± 2,8	42,6 ± 2,8	2,9 ± 1,8	< 0,001*
Angolo Rotazione Medio 1.6/2.6	79,9 ± 4,9	74,7 ± 4,4	-5,2 ± 2,2	< 0,001*
Perimetro Arcata Superiore	75,7 ± 4,6	78,2 ± 4,8	2,5 ± 3,1	< 0,001*

Tabella 10 – Misurazioni su modelli digitali: risultati sottogruppo LSE 450. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “”.*

LE 900 (n. 34) - Misurazioni su Modelli				
Variabili	T0	T1	T1-T0	Test T LE 900 T0 vs T1
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	p - value
Distanza C-C	29,8 ± 3,3	36,9 ± 2,8	7,2 ± 3,2	< 0,001*
Distanza E-E	34,0 ± 3,2	40,8 ± 3,2	6,9 ± 2,6	< 0,001*
Distanza 1.6-2.6	37,9 ± 3,3	42,8 ± 3,0	4,9 ± 3,1	< 0,001*
Angolo Rotazione Medio 1.6/2.6	80,5 ± 3,7	75,7 ± 3,5	-4,8 ± 1,7	< 0,001*
Perimetro Arcata Superiore	75,2 ± 5,1	81,8 ± 5,1	6,6 ± 3,4	< 0,001*

Tabella 11 – Misurazioni su modelli digitali: risultati sottogruppo LE 900. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “”.*

LSE 900 (n. 33) - Misurazioni su Modelli LSE 900 (n.31)				
Variabili	T0	T1	T1-T0	Test T LSE 900 T0 vs T1
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	p - value
Distanza C-C	30,3 ± 2,7	35,5 ± 2,9	5,1 ± 2,0	< 0,001*
Distanza E-E	35,0 ± 2,9	40,1 ± 3,2	5,1 ± 2,3	< 0,001*
Distanza 1.6-2.6	36,3 ± 9,7	39,4 ± 10,8	3,1 ± 2,3	< 0,001*
Angolo Rotazione Medio 1.6/2.6	78,0 ± 11,9	73,7 ± 12,0	-4,2 ± 2,1	< 0,001*
Perimetro Arcata Superiore	75,1 ± 4,9	79,2 ± 4,9	4,1 ± 2,2	< 0,001*

Tabella 12 – Misurazioni su modelli digitali: risultati sottogruppo LSE 900. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “”.*

Il Leaf Expander si è dimostrato migliore rispetto al Leaf Self Expander per quanto concerne l'incremento della distanza E-E, 1.6-2.6 ed il perimetro di arcata: in particolare nel confronto tra Leaf Expander 450 g e Leaf Self Expander 450 g (Tabella 13), sono risultate statisticamente significative le misurazioni relative alla distanza tra molari decidui ($5,8 \pm 1,9$ mm di LE 450 vs $4,8 \pm 2,3$ mm di LSE 450 con $p = 0,036$), la distanza 1.6-2.6 ($5,1 \pm 2,4$ mm di LE 450 vs $2,9 \pm 1,8$ mm di LSE 450 con $p < 0,001$) e l'incremento del perimetro di arcata ($4,9 \pm 3,9$ mm di LE 450 vs $2,5 \pm 3,1$ mm di LSE 450 con $p = 0,007$). Nessuna differenza è stata riscontrata a livello della rotazione dei primi molari permanenti superiori ($p = 0,975$).

Misurazioni su Modelli	Distanza C-C	Distanza E-E	Distanza 1.6-2.6	Angolo Rotazione Medio 1.6/2.6	Perimetro Arcata Superiore
Dispositivi	T1-T0	T1-T0	T1-T0	T1-T0	T1-T0
LE 450	5,5±2,0	5,8 ±1,9	5,1± 2,4	-5,2 ±1,8	4,9 ±3,9
LSE 450	4,6 ±2,6	4,8 ±2,3	2,9 ±1,8	-5,2 ±2,2	2,5 ±3,1
Test T LE 450 vs LSE 450	0,101	0,036*	< 0,001*	0,975	0,007*

Tabella 13 – Misurazioni su modelli digitali: Test T LE 450 vs LSE 450.

I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

Il confronto tra Leaf Expander 450 g e Leaf Self Expander 450 g per quanto riguarda le misurazioni lineari medie effettuate sui modelli digitali tra T0 e T1 è rappresentato nel Grafico 4.

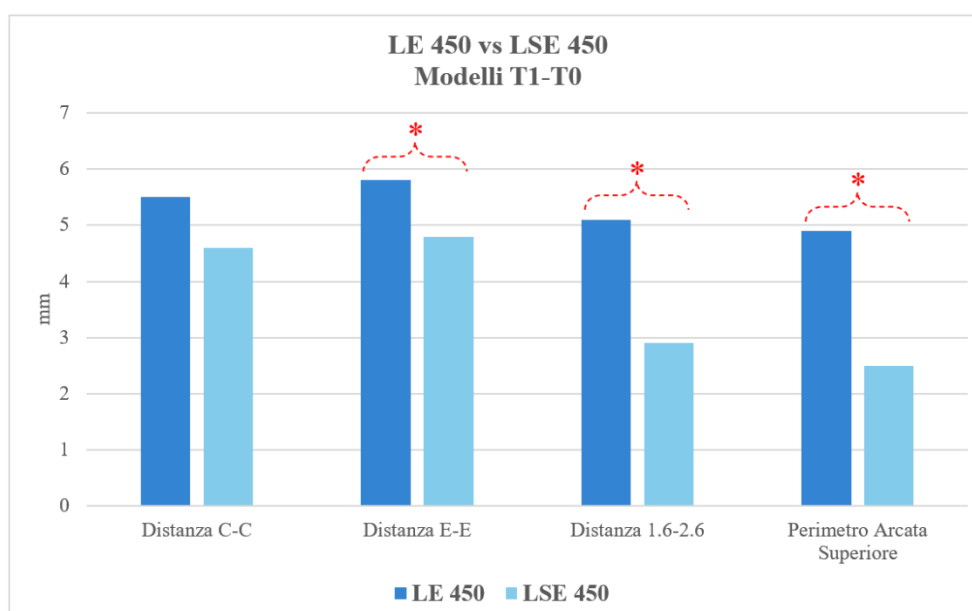


Grafico 4 – Misurazioni su modelli digitali T1-T0: variabili lineari.

Confronto LE 450 vs LSE 450.

I confronti statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

Nel confronto tra Leaf Expander 900 g e Leaf Self Expander 900 g invece sono risultate statisticamente significative le misurazioni relative alla distanza tra canini decidui ($7,2 \pm 3,2$ mm di LE 900 vs $5,1 \pm 2,0$ mm di LSE 900 con $p = 0,020$), molari decidui ($6,9 \pm 2,6$ mm di LE 900 vs $5,1 \pm 2,3$ mm di LSE 900 con $p = 0,038$), molari permanenti ($4,9 \pm 3,1$ mm di LE 900 vs $3,1 \pm 2,3$ mm di LSE 900 con $p = 0,021$) e l’incremento del perimetro di arcata ($6,6 \pm 3,4$ mm di LE 900 vs $4,1 \pm 2,2$ mm di LSE 900 con $p = 0,003$). Nessuna differenza è stata evidenziata a livello delle rotazioni dei primi molari permanenti superiori ($p = 0,991$) (Tabella 14).

Misurazioni su Modelli	Distanza C-C	Distanza E-E	Distanza 1.6-2.6	Angolo Rotazione Medio 1.6/2.6	Perimetro Arcata Superiore
Dispositivi	T1-T0	T1-T0	T1-T0	T1-T0	T1-T0
LE 900	7,2 ± 3,2	6,9 ± 2,6	4,9 ± 3,1	-4,8 ± 1,7	6,6 ± 3,4
LSE 900	5,1 ± 2,0	5,1 ± 2,3	3,1 ± 2,3	-4,2 ± 2,1	4,1 ± 2,2
Test T LE 900 vs LSE 900	0,020*	0,038*	0,021*	0,991	0,003*

Tabella 14 – Misurazioni su modelli digitali: Test T LE 900 vs LSE 900.
I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

Il confronto tra Leaf Expander 900 g e Leaf Self Expander 900 g per quanto riguarda le misurazioni lineari medie effettuate sui modelli digitali tra T0 e T1 è rappresentato nel Grafico 5.

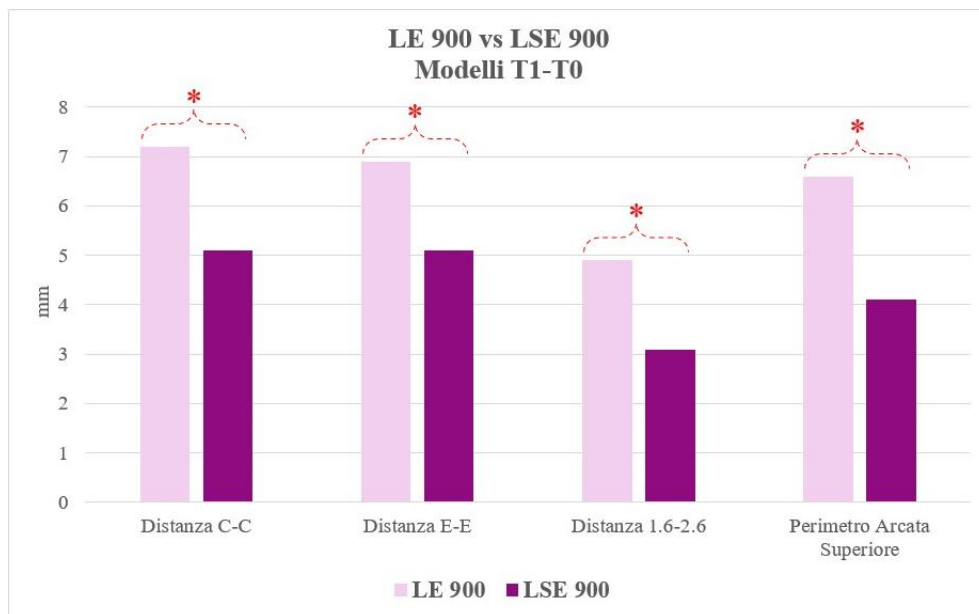


Grafico 5 – Misurazioni su modelli digitali T1-T0: variabili lineari.
Confronto LE 900 vs LSE 900.

I confronti statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori: variazione all’interno dei sottogruppi e confronto tra sottogruppi

Per quanto riguarda l’analisi delle teleradiografie postero-anteriori, sia il Leaf Expander che il Leaf Self Expander hanno determinato un incremento significativo delle variabili analizzate tra inizio (T0) e fine trattamento (T1), sia nella versione 450 g che nella versione 900 g, con valori di $p < 0,001$ (Tabella 15, Tabella 16, Tabella 17, Tabella 18).

LE 450 (n. 37) - Misurazioni su Teleradiografie PA				
Variabili	T0	T1	T1-T0	Test T LE 450 T0 vs T1
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	p - value
Ampiezza Mascellare	52,5 ± 3,3	55,6 ± 3,1	3,1 ± 2,2	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mascellare	49,3 ± 2,9	52,9 ± 2,3	3,6 ± 2,0	< 0,001*
Ampiezza Mandibolare	65,9 ± 3,9	68,9 ± 4,3	3,1 ± 1,5	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mandibolare	50,2 ± 2,3	51,5 ± 2,5	1,3 ± 1,2	< 0,001*
Ampiezza Latero-nasale	22,6 ± 2,1	24,8 ± 1,5	2,2 ± 1,8	< 0,001*

Tabella 15 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori: risultati gruppo LE 450. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

LSE 450 (n. 36) - Misurazioni su Teleradiografie PA				
Variabili	T0	T1	T1-T0	Test T LSE 450 T0 vs T1
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	p - value
Ampiezza Mascellare	53,5 ± 2,8	56,3 ± 3,5	2,7 ± 1,9	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mascellare	50,1 ± 2,7	53,3 ± 2,7	3,1 ± 2,5	< 0,001*
Ampiezza Mandibolare	67,3 ± 3,7	70,0 ± 3,5	2,6 ± 1,6	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mandibolare	50,3 ± 3,8	52,0 ± 2,4	1,7 ± 2,0	< 0,001*
Ampiezza Latero-nasale	22,5 ± 1,9	24,5 ± 1,9	1,9 ± 1,3	< 0,001*

Tabella 16 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori: risultati gruppo LSE 450. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

LE 900 (n. 34) - Misurazioni su Teleradiografie PA				
Variabili	T0	T1	T1-T0	Test T LE 900 T0 vs T1
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	p - value
Ampiezza Mascellare	53,6 ± 2,4	56,8 ± 2,4	3,3 ± 1,7	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mascellare	49,7 ± 2,4	53,5 ± 2,9	3,8 ± 2,3	< 0,001*
Ampiezza Mandibolare	66,1 ± 5,1	69,6 ± 3,8	3,4 ± 2,1	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mandibolare	50,7 ± 2,8	51,6 ± 2,6	0,9 ± 1,4	< 0,001*
Ampiezza Latero-nasale	24,2 ± 2,4	25,9 ± 2,1	1,7 ± 1,5	< 0,001*

Tabella 17 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori: risultati gruppo LE 900. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

LSE 900 (n. 33) - Misurazioni su Teleradiografie PA				
Variabili	T0	T1	T1-T0	Test T LSE 900 T0 vs T1
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	p - value
Ampiezza Mascellare	55,3 ± 3,8	58,4 ± 3,7	3,1 ± 1,4	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mascellare	51,2 ± 3,5	54,2 ± 3,5	3,0 ± 1,4	< 0,001*
Ampiezza Mandibolare	69,4 ± 6,6	72,5 ± 5,7	3,0 ± 2,1	< 0,001*
Ampiezza Intermolare Mandibolare	51,1 ± 2,9	52,4 ± 3,0	1,4 ± 1,3	< 0,001*
Ampiezza Latero-nasale	25,2 ± 2,5	27,3 ± 2,9	2,2 ± 1,3	< 0,001*

Tabella 18 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori: risultati gruppo LSE 900. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

Nel confronto tra Leaf Expander e Leaf Self Expander, il Test T non ha mostrato differenze significative in nessuna delle variabili analizzate sulle teleradiografie postero- anteriori, né nella versione 450 g né nella versione 900 g (Tabella 19, Tabella 20).

Misurazioni su Teleradiografie PA	Ampiezza Mascellare	Ampiezza Intermolare Mascellare	Ampiezza Mandibolare	Ampiezza Intermolare Mandibolare	Ampiezza Latero-nasale
	T1-T0	T1-T0	T1-T0	T1-T0	T1-T0
LE 450	3,1 ± 2,2	3,6 ± 2,0	3,1 ± 1,5	1,3 ± 1,2	2,2 ± 1,8
LSE 450	2,7 ± 1,9	3,1 ± 2,5	2,6 ± 1,6	1,7 ± 2,0	1,9 ± 1,3
T Test LE 450 vs LSE 450	0,535	0,534	0,333	0,529	0,524

Tabella 19 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori: Test T LE 450 vs LSE 450. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

Misurazioni su Teleradiografie PA	Ampiezza Mascellare	Ampiezza Intermolare Mascellare	Ampiezza Mandibolare	Ampiezza Intermolare Mandibolare	Ampiezza Latero-nasale
	T1-T0	T1-T0	T1-T0	T1-T0	T1-T0
LE 900	3,3 ± 1,7	3,8 ± 2,3	3,4 ± 2,1	0,9 ± 1,4	1,7 ± 1,5
LSE 900	3,1 ± 1,4	3,0 ± 1,4	3,0 ± 2,1	1,4 ± 1,3	2,2 ± 1,3
T Test LE 900 vs LSE 900	0,706	0,208	0,562	0,301	0,370

Tabella 20 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori: Test T LE 900 vs LSE 900. I valori statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

Il confronto tra Leaf Expander 450 g e Leaf Self Expander 450 g per quanto riguarda le misurazioni medie effettuate sulle teleradiografie postero-anteriori tra T0 e T1 è rappresentato nel Grafico 6.

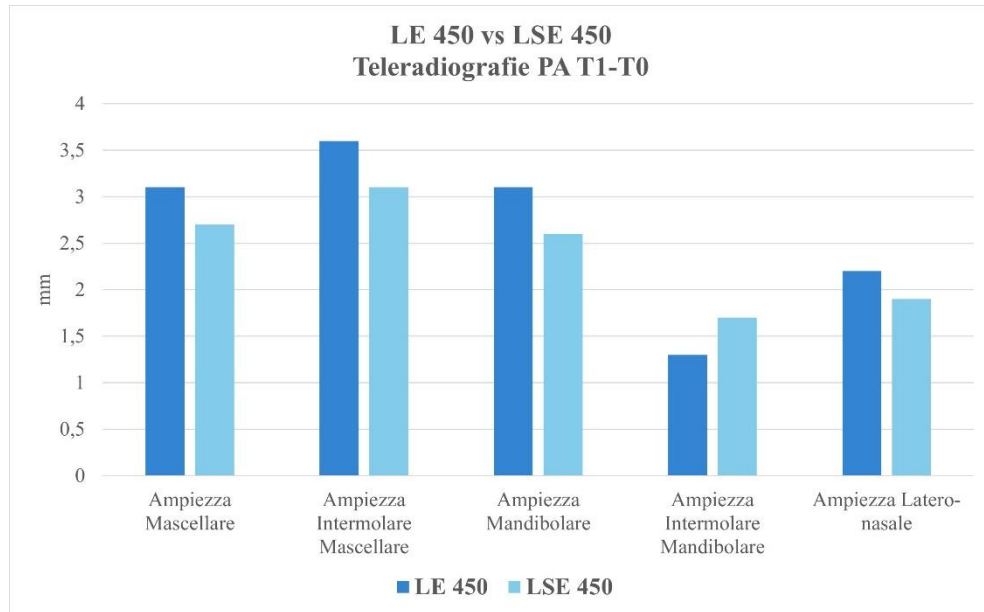


Grafico 6 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori T1-T0.
Confronto LE 450 vs LSE 450.

I confronti statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

Il confronto tra Leaf Expander 900 g e Leaf Self Expander 900 g per quanto riguarda le misurazioni medie effettuate sulle teleradiografie postero-anteriori tra T0 e T1 è rappresentato nel Grafico 7.

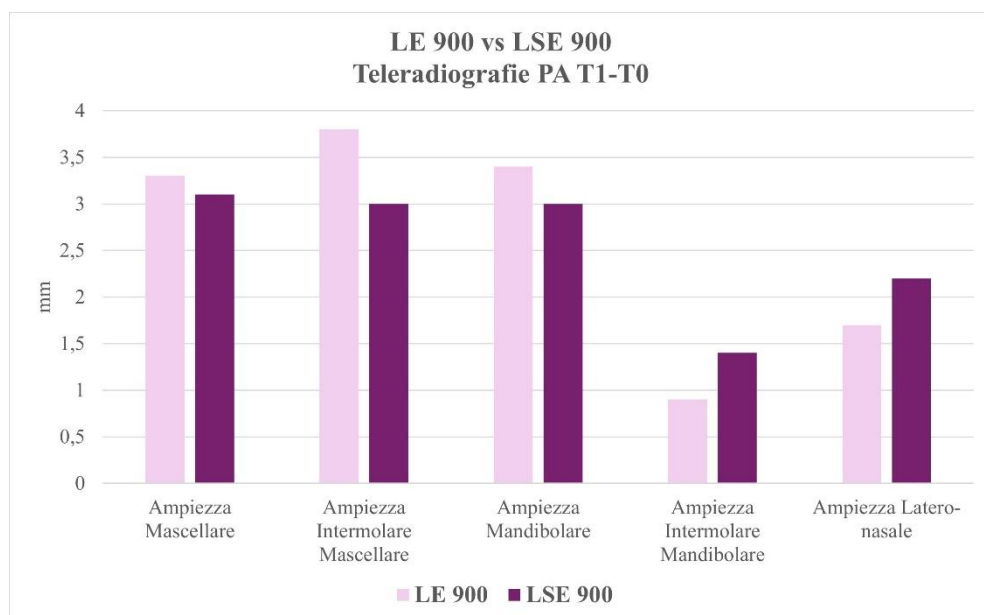


Grafico 7 – Analisi cefalometrica su teleradiografie postero-anteriori T1-T0.
Confronto LE 900 vs LSE 900.

I confronti statisticamente significativi con $p < 0,05$ sono evidenziati con il simbolo “*”.

Capitolo 9 – DISCUSSIONE DEI RISULTATI

L'obiettivo del presente studio è stato quello di confrontare gli effetti indotti da differenti dispositivi ortodontici - Espansore Mascellare Rapido (RME), Leaf Expander 450 g (e sua variante Leaf Self Expander 450 - LSE 450), Leaf Expander 900 g (e sua variante Leaf Self Expander 900 g - LSE 900) - sulle modificazioni dento-alveolari e scheletriche in una popolazione di pazienti in crescita. La valutazione è stata effettuata mediante analisi di modelli digitali tridimensionali e teleradiografie postero-anteriori, mettendo a confronto le misurazioni rilevate in fase iniziale (T0) e al termine del trattamento (T1).

Il deficit trasversale del mascellare è stato correlato a numerose alterazioni di natura funzionale ed estetica [Camacho et al, 2017; Cossellu et al, 2016; Canuto et al, 2010; Di Blasio et al, 2009].

Nei pazienti in fase di crescita, la sua correzione può essere ottenuta mediante espansione mascellare, realizzata tramite dispositivi quali l'Espansore Mascellare Rapido (RME) o l'Espansione Mascellare Lenta (SME), che rappresentano il trattamento di scelta nei casi di crossbite mono o bilaterale [Lanteri V. et al, 2018^b].

L'obiettivo clinico primario dell'espansione rapida del mascellare (RME) consiste nell'ampliare l'arcata superiore mediante un'azione combinata a livello dento-alveolare e scheletrico. La risposta biologica alla base dell'espansione scheletrica si manifesta quando la forza trasmessa ai denti ed ai processi alveolari supera la soglia necessaria per il semplice movimento ortodontico, determinando così la separazione delle due metà del mascellare [Ugolini et al, 2025].

Nonostante la sua ampia diffusione clinica, l'espansione rapida del mascellare (RME) può indurre effetti indesiderati quali apertura del morso, recidiva, microtraumi a carico dell'articolazione temporo-mandibolare e della sutura palatina mediana, riassorbimenti radicolari, compressione dei tessuti molli, dolore ed un'eccessiva inclinazione dei denti di ancoraggio [Lagravère et al, 2005].

In alternativa, le espansioni del mascellare con forze leggere, come quelle realizzate mediante l'impiego del Leaf Expander, si sono dimostrate efficaci nel mitigare o prevenire tali effetti avversi [Lanteri V. et al, 2018^b].

In particolare, il Leaf Expander è un dispositivo ortodontico caratterizzato da una vite centrale la cui attivazione determina la compressione di due o più molle a balestra in lega di Nichel-Titanio; tali molle, durante la fase di disattivazione, tendono a recuperare la loro

configurazione originaria [Lanteri C. et al, 2016]. Esso è in grado di generare sistemi di forze leggere, costanti e prolungate nel tempo [Rutili et al, 2021].

Per quanto riguarda i risultati del nostro studio, in linea con quanto riportato da Silvestrini Biavati F. e collaboratori, la correzione della contrazione mascellare è stata raggiunta in tutti i soggetti esaminati, indipendentemente dal dispositivo impiegato [Silvestrini Biavati F. et al, 2024]. Tale risultato conferma l'assenza di differenze clinicamente rilevanti tra RME e Leaf Expander, in accordo con quanto precedentemente documentato in letteratura [Abate et al, 2023; Paoloni et al, 2022].

Nel presente studio sono state riscontrate variazioni statisticamente significative in tutte le misurazioni eseguite sui modelli digitali tra T0 e T1 all'interno di ciascun gruppo, confermando l'efficacia dei dispositivi ortodontici utilizzati nel produrre espansione trasversale, riduzione della rotazione molare ed incremento del perimetro dell'arcata superiore. Inoltre, l'analisi ANOVA per il confronto tra i gruppi ha rilevato differenze significative in tutte le variabili analizzate. In particolare, il test Post-Hoc ha evidenziato che i dispositivi Leaf 450 e Leaf 900 hanno determinato una rotazione molare significativamente più marcata rispetto all'RME ($p < 0,001$ per entrambi i confronti), senza differenze rilevanti tra Leaf 450 e Leaf 900 ($p = 0,050$). Gli effetti dell'espansione mascellare sulla derotazione dei primi molari permanenti risultano, ad oggi, poco approfonditi nella letteratura scientifica. Cerruto e collaboratori avevano evidenziato nel loro studio che l'impiego dei secondi molari decidui come elementi di ancoraggio per l'espansore determina una distorotazione spontanea dei primi molari mascellari [Cerruto et al, 2017]. Tale fenomeno sarebbe verosimilmente riconducibile all'apertura triangolare della sutura palatina mediana, conseguente alla diversa posizione del centro di resistenza del mascellare rispetto a quella della vite di espansione [Da Silva Filho et al, 1995]. In questa configurazione biomeccanica, i primi molari superiori, non essendo incorporati nel dispositivo, restano liberi di effettuare movimenti adattativi in risposta alla nuova condizione oclusale.

Tali risultati sono stati successivamente confermati da Abate e collaboratori [2025], i quali hanno riportato che il Leaf Expander, quando ancorato ai secondi molari decidui, induce una distorotazione spontanea dei primi molari mascellari più marcata rispetto all'RME ($12,66^\circ$ vs $7,83^\circ$, $p = 0,014$). Gli autori attribuiscono questo effetto al differente protocollo di attivazione dei due dispositivi: mentre l'espansore rapido genera forze intense e intermittenti, il Leaf Expander produce un'espansione basata su un rimodellamento dento-alveolare mediato da forze leggere, continue e fisiologicamente più compatibili,

predeterminate sia in intensità che in direzione. Questo tipo di stimolazione sembrerebbe favorire una correzione più efficace della rotazione molare [Ugolini et al, 2025]. Il fenomeno è interpretabile considerando il comportamento dei primi molari permanenti, i quali, influenzati dalle fibre trasversali, tendono a seguire i movimenti dei secondi molari decidui, un meccanismo già descritto in letteratura [Rosa et al, 2016]. Tale dinamica favorisce un'espansione trasversale accompagnata da una rotazione spontanea in direzione mesio-distale. L'effetto può essere ulteriormente spiegato dall'allungamento delle fibre trasversali che si estendono tra il secondo molare deciduo ed il primo molare permanente: essendo localizzate in posizione mesiale rispetto al primo molare ed al suo centro di resistenza, la loro tensione genera una distorotazione spontanea del dente permanente [Abate et al, 2025]. Al contrario, durante il trattamento con RME, l'applicazione di forze elevate determina fenomeni di ialinizzazione del legamento parodontale, i quali riducono la capacità di movimento dei denti decidui [Bruni et al, 2024]. Le forze leggere e prolungate generate dal Leaf Expander permettono un adattamento più favorevole delle fibre trasversali alla nuova posizione dentale conseguente all'espansione mascellare, facilitando così una rotazione dei molari più fisiologica e coerente con la biomeccanica del sistema dento-alveolare [Abate et al, 2025]. D'altra parte, il fatto che il rimodellamento delle fibre trasversali sia modulato dall'intensità della forza applicata agli elementi dentari era già stato evidenziato in precedenti lavori, tra cui lo studio di Tenshin e collaboratori, che aveva documentato come differenti livelli di carico influenzino in modo significativo la risposta adattativa delle strutture parodontali [Tenshin et al, 1995].

L'impiego dei secondi molari decidui come elementi di ancoraggio per l'espansore era già stato proposto in precedenti studi, i quali avevano evidenziato come tale scelta potesse limitare i potenziali effetti indesiderati di natura endodontica e parodontale associati alla cementazione dell'RME sui denti permanenti [Lo Giudice et al, 2018; Lione et al, 2013; Cozzani M. et al, 2003].

Per quanto riguarda il perimetro d'arcata, sia il Leaf Expander 900 g sia l'RME hanno prodotto un incremento superiore rispetto al Leaf Expander 450 g. Tale risultato, emerso nel nostro RCT, potrebbe essere correlato alla minore intensità della forza generata dal Leaf Expander 450 g che, pur garantendo un'espansione trasversale efficace, risulta meno influente sull'aumento del perimetro di arcata rispetto ai dispositivi che erogano forze più elevate, quali il Leaf Expander 900 g e l'RME. Trattandosi di dati preliminari, sarà necessario approfondire attraverso ulteriori indagini l'effettivo ruolo dell'intensità di forza erogata dai diversi dispositivi sull'incremento del perimetro d'arcata.

Nel nostro studio sono inoltre emerse differenze statisticamente significative tra RME e Leaf 450 nelle misurazioni lineari ottenute sui modelli digitali relative alle distanze C-C ($p = 0,015$), E-E ($p = 0,013$) e 1.6-2.6 ($p = 0,001$), dove RME ha mostrato un incremento maggiore del Leaf Expander 450 g. La distanza intercanina decidua inoltre è aumentata significativamente in misura maggiore nel gruppo Leaf 900 rispetto al gruppo Leaf 450 ($p = 0,006$). Nessuna differenza nelle medesime variabili è stata riscontrata tra RME e Leaf 900. In letteratura c'è un sostanziale accordo sulle misurazioni lineari, infatti precedentemente altri autori [Abate et al, 2025; Abate et al, 2023; Cossellu et al, 2020] avevano trovato risultati clinicamente sovrapponibili; non in tutti gli studi però viene utilizzato lo stesso design di RME e Leaf Expander. In particolare, nello studio di Nieri e collaboratori [2021], il Leaf Expander non presentava estensioni linguali a supporto dei canini decidui mascellari, mentre l'espansore RME utilizzato da Cossellu e collaboratori [2020] era dotato di estensioni linguali in filo metallico posizionate tra i primi molari permanenti ed i canini decidui mascellari. Quando si utilizza il Leaf Expander, Abate e collaboratori raccomandano l'impiego sistematico dell'estensione linguale in filo fino ai canini decidui mascellari, al fine di garantire un incremento adeguato della distanza intercanina ed ottimizzare la distribuzione delle forze durante l'espansione mascellare [Abate et al, 2023].

Per quanto riguarda l'analisi cefalometrica postero-anteriore, essa ha evidenziato variazioni significative all'interno di ciascun gruppo per tutte le misurazioni scheletriche e dentali, confermando l'efficacia espansiva dei dispositivi e l'incremento dell'ampiezza mascellare. Tuttavia, l'analisi ANOVA non ha rilevato differenze statisticamente significative tra i gruppi per quanto riguarda l'ampiezza mascellare, l'ampiezza mandibolare, l'ampiezza intermolare mascellare e l'ampiezza intermolare mandibolare. L'unica variabile che ha mostrato differenze significative è stata l'ampiezza delle cavità nasali ($p = 0,008$), per la quale il gruppo RME ha evidenziato un'espansione superiore rispetto ai gruppi Leaf 450 e Leaf 900 ($3,1 \pm 1,6$ mm di RME vs $2,1 \pm 1,5$ mm di Leaf 450 e $1,9 \pm 1,4$ mm di Leaf 900, entrambi con $p < 0,05$), suggerendo un effetto scheletrico più pronunciato dell'espansione rapida, potenzialmente utile nei pazienti respiratori orali.

Tali risultati sono in accordo con quanto riportato da Abate e collaboratori i quali, mediante valutazioni CBCT, hanno dimostrato che solo l'RME determina un incremento significativo dei parametri scheletrici posteriori [Abate et al, 2023]. Ciò risulta coerente anche con lo studio di Nieri e collaboratori che avevano evidenziato una maggiore, seppur modesta, componente scheletrica a favore dell'RME [Nieri et al, 2021].

I risultati del presente studio si discostano parzialmente da quanto osservato da Lanteri V. e collaboratori che non avevano riscontrato differenze significative nella distanza latero-nasale tra RME, SME e Leaf Expander né nelle altre variabili dento-alveolari e scheletriche analizzate tramite teleradiografie postero-anteriori [Lanteri V. et al, 2018^b]. Queste discrepanze nei risultati potrebbero essere attribuite alle differenze nei protocolli di attivazione dei dispositivi: l'RME, applicando forze elevate in un intervallo di tempo ridotto, determina effetti più marcati sulle strutture scheletriche, mentre dispositivi come il Leaf Expander, grazie ad un'azione graduale e controllata, inducono modificazioni più contenute a livello delle componenti ossee maggiormente resistenti, come quelle della regione nasale.

In letteratura sono pochi gli studi che hanno analizzato i cambiamenti indotti sull'arcata mandibolare in seguito all'espansione mascellare [Cossellu et al, 2020; Di Ventura et al, 2019]. Nonostante l'apparecchiatura agisca unicamente sull'arcata superiore, nel presente studio l'espansione mascellare ha determinato un incremento dell'ampiezza intermolare mandibolare in tutti e tre i gruppi analizzati, un risultato già osservato anche da Abate e collaboratori [2023] e da Lanteri V. e collaboratori [2018^b]. Questi dati supportano l'ipotesi di un adattamento spontaneo dell'occlusione mandibolare in risposta alla modifica del diametro trasversale mascellare. Tale adattamento potrebbe essere attribuito a diversi fattori funzionali: l'aumento della pressione linguale contro l'arcata inferiore conseguente alla presenza dell'espansore, la riduzione della pressione esercitata da labbra e guance e la formazione di nuovi contatti occlusali, che favoriscono un riposizionamento dento-alveolare spontaneo dell'arcata mandibolare.

L'analisi dei sottogruppi ha confrontato gli effetti dento-scheletrici del Leaf Expander e del Leaf Self Expander, evidenziando differenze significative nelle variazioni trasversali dell'arcata mascellare. I dati ottenuti mostrano che il Leaf Expander determina un incremento significativamente maggiore delle distanze E-E, 1.6-2.6 e del perimetro di arcata superiore rispetto al Leaf Self Expander, sia nella versione da 450 g sia in quella da 900 g, con $p < 0,05$. Un risultato di particolare rilevanza clinica è rappresentato dall'effetto del Leaf Expander 900 g, che ha mostrato anche un aumento statisticamente significativo della distanza intercanina (C-C) rispetto al Leaf Self Expander di forza corrispondente ($p = 0,020$).

Questo risultato risulta coerente con il lavoro di riferimento di Beretta e collaboratori, che analizza in modo approfondito il percorso evolutivo dal Leaf Expander al Leaf Self Expander. In tale studio viene documentata l'efficacia clinica del dispositivo nel

raggiungimento di una completa correzione del crossbite, associata ad un incremento delle larghezze intermolari ed intercanine e ad una riduzione dell'affollamento anteriore mascellare. Gli autori sottolineano come l'impiego di forze leggere e continue sia in grado di determinare un minor trauma a livello suturale, con un discomfort contenuto per il paziente ed una potenziale riduzione della sintomatologia dolorosa rispetto ai protocolli di espansione rapida mascellare, in modo analogo a quanto già descritto per il Leaf Expander tradizionale. Un ulteriore vantaggio del sistema consiste nella possibilità di pianificare il trattamento in maniera predefinita, selezionando il dispositivo più appropriato (6 o 9 mm; 450 o 900 g) sulla base della discrepanza trasversale stimata [Beretta et al, 2019].

Risultati sovrapponibili sono riportati anche nella review di Vella e collaboratori, nella quale viene evidenziato come sia il Leaf Expander sia il Leaf Self Expander siano in grado di produrre espansioni trasversali clinicamente significative nei soggetti in crescita. Secondo gli autori, tali dispositivi determinano effetti scheletrici comparabili a quelli ottenuti con i tradizionali protocolli di espansione lenta, pur operando con livelli di forza inferiori e continui, con una possibile riduzione del dolore percepito e del tipping dentale [Vella et al, 2021].

Per quanto riguarda le rotazioni dei primi molari permanenti (1.6/2.6), il presente studio non ha evidenziato differenze significative tra Leaf Expander e Leaf Self Expander. Questo dato suggerisce che, nonostante le differenze in termini di incremento trasversale e perimetrale, entrambi i dispositivi determinino effetti simili sul controllo rotazionale dei primi molari, probabilmente legati ad una distribuzione comparabile delle forze a livello dento-alveolare, ed a forze e biomeccanica diverse dall'espansore palatale rapido.

Analogamente, le misurazioni effettuate sulle teleradiografie postero-anteriori non hanno mostrato differenze significative tra i due dispositivi, suggerendo un effetto scheletrico sovrapponibile. A tal riguardo, diversi autori hanno sottolineato come la modalità di rilascio della forza giochi un ruolo determinante sia nell'entità dell'espansione ottenuta sia nella distribuzione degli effetti dento-alveolari e scheletrici [Bishara e Staley, 1987].

Il confronto con la letteratura conferma che il Leaf Expander, in particolare nella versione 900 g, appare in grado di ottenere un'espansione trasversale più ampia e più uniformemente distribuita lungo l'arcata mascellare rispetto al Leaf Self Expander corrispondente.

Tuttavia, nella letteratura scientifica attuale, il Leaf Self Expander viene frequentemente incluso nella stessa categoria del Leaf Expander all'interno delle review sistematiche, senza che venga condotta una distinzione specifica tra i rispettivi effetti scheletrici e dentali. Di conseguenza, le evidenze disponibili riferite esclusivamente al Leaf Self Expander risultano

tuttora limitate e sono costituite prevalentemente da studi osservazionali non controllati, indagini retrospettive monocentriche e da un numero ristretto di trial randomizzati, per lo più focalizzati sul Leaf Expander nella sua configurazione tradizionale.

Alla luce di tali considerazioni, appaiono necessari ulteriori studi controllati, preferibilmente randomizzati e caratterizzati da un follow-up a medio-lungo termine, al fine di definire con maggiore accuratezza gli effetti scheletrici e dento-alveolari, nonché la stabilità nel tempo, del Leaf Self Expander. Tuttavia, considerando che il Leaf Self Expander si basa sul medesimo principio biomeccanico del Leaf Expander, ovvero l'applicazione di forze leggere e continue mediante molle in Nichel-Titanio, ma senza la necessità di riattivazioni cliniche, risulta plausibile ipotizzare un pattern espansivo sovrapponibile a quello del Leaf Expander. Tale caratteristica potrebbe inoltre tradursi in un vantaggio in termini di compliance, eliminando la dipendenza dall'attivazione da parte del paziente o del clinico, e potenzialmente in profili di dolore e discomfort analoghi o inferiori rispetto ai protocolli di espansione mascellare lenta.

Il confronto tra RME, Leaf Expander 450 g e Leaf Expander 900 g condotto nel nostro studio ha quindi evidenziato l'assenza di differenze statisticamente significative, indicando che l'espansione indotta dai diversi dispositivi risulta sostanzialmente sovrapponibile nei risultati finali. Di conseguenza, la scelta clinica può essere guidata principalmente dall'esperienza dell'ortodontista e dalle specifiche esigenze del paziente.

Il Leaf Expander, e la sua variante Leaf Self Expander, presenta numerosi vantaggi: semplicità di utilizzo, assenza di necessità di collaborazione attiva da parte del paziente e dei genitori, possibilità di ottenere movimenti dentali prevalentemente corporei e un'apertura graduale della sutura palatina mediana mediante l'applicazione di forze predeterminate e costanti [Beretta et al, 2019; Lanteri V. et al, 2018^b]. Inoltre, rispetto agli espansori rapidi, si associa ad una riduzione degli effetti indesiderati [Ugolini et al, 2025], tra cui il dolore nelle prime settimane di trattamento e l'ingombro intraorale, rendendolo particolarmente indicato per pazienti sensibili al discomfort o con livelli elevati di ansia, che rappresentano aspetti cruciali per garantire l'adesione a lungo termine alla terapia ortodontica [Nieri et al, 2021; Rutili et al, 2021; Ugolini et al, 2020; Cossellu et al, 2019]. Come documentato in letteratura [Vella et al, 2021], gli effetti clinici e radiografici ottenuti con il Leaf Expander risultano comparabili a quelli dell'espansore rapido del palato (RME), motivo per cui esso può rappresentare una valida alternativa terapeutica, in particolare nei casi di scarsa collaborazione del paziente o in situazioni cliniche che rendano meno indicato l'utilizzo dell'RME [Lanteri V. et al, 2018^b].

Capitolo 10 – CONCLUSIONI

In sintesi, i risultati ottenuti in questo studio confermano che tutti i dispositivi valutati, Espansore Mascellare Rapido, Leaf Expander 450 g (e sua variante Leaf Self Expander 450 g), Leaf Expander 900 g (e sua variante Leaf Self Expander 900 g), sono efficaci nel determinare un'espansione trasversale significativa e nel produrre modificazioni dento-alveolari e scheletriche nei pazienti in crescita.

I principali esiti emersi possono essere riassunti come segue:

- L'Espansore Mascellare Rapido ha mostrato un incremento significativamente maggiore delle variabili lineari misurate sui modelli digitali rispetto al Leaf Expander 450 g; tuttavia, il confronto con il Leaf Expander 900 g non ha evidenziato differenze statisticamente significative per le medesime variabili.
- I dispositivi Leaf Expander 450 g e Leaf Expander 900 g hanno determinato una rotazione dei primi molari permanenti superiori significativamente più marcata rispetto all'Espansore Mascellare Rapido, senza differenze rilevanti tra Leaf Expander 450 g e Leaf Expander 900 g.
- L'ampiezza delle cavità nasali è aumentata in misura significativamente più marcata nel gruppo Espansore Mascellare Rapido rispetto al gruppo Leaf Expander 450 g e Leaf Expander 900 g.
- Il confronto tra Leaf Expander e Leaf Self Expander ha evidenziato un incremento maggiore nella distanza tra i secondi molari decidui, tra i primi molari permanenti e nel perimetro d'arcata a favore del Leaf Expander, sia nella variante 450 g che nella variante 900 g, mentre la distanza intercanina decidua è aumentata in modo significativamente maggiore nel sottogruppo Leaf Expander 900 g rispetto al sottogruppo Leaf Self Expander 900 g. Non sono state riscontrate differenze significative a livello della rotazione dei primi molari permanenti superiori né per quanto riguarda le variabili analizzate sulle teleradiografie postero-anteriori.

Il Leaf Expander rappresenta una moderna e valida alternativa, soprattutto in dentatura mista precoce, con sutura ancora plastica, capace di combinare risultati affidabili con un profilo biomeccanico più delicato ed una migliore tollerabilità, con vantaggi in termini di comfort e gestione clinica. Queste peculiarità ne suggeriscono un impiego preferenziale nei casi in cui sia desiderabile un trattamento più graduale, controllato e meglio tollerato dal paziente.

Sulla base delle evidenze raccolte, lo studio rafforza inoltre l'efficacia dell'ancoraggio ai secondi molari decidui. L'applicazione di forze leggere e continue, come quelle fornite dal Leaf Expander, sembra infatti favorire una distorotazione molare più efficiente, potenzialmente utile per raggiungere specifici obiettivi terapeutici nei pazienti in crescita; questo potrebbe tradursi in un vantaggio terapeutico in specifiche malocclusioni, offrendo al clinico un'alternativa valida all'espansore rapido. Tuttavia, sarà necessario approfondire i meccanismi biologici e biomeccanici responsabili di tale movimento, per chiarire la stabilità a lungo termine e definire in modo preciso le indicazioni elettive di ciascun dispositivo.

Lo studio presenta alcune limitazioni, tra cui la mancanza di un gruppo di controllo che permetta di osservare l'evoluzione della crescita mascellare in assenza di trattamento. Inoltre, l'assenza di un follow-up a distanza impedisce di verificare la stabilità dei risultati nel corso del tempo. Nonostante l'ampiezza del campione conferisca al presente studio una buona solidità statistica, saranno comunque necessari ulteriori studi longitudinali per valutare la stabilità nel tempo delle modificazioni ottenute e per approfondire i diversi pattern di risposta scheletrica e dento-alveolare associati ai vari protocolli di espansione. A tal fine, i pazienti arruolati nello studio proseguiranno il follow-up mediante visite a distanza, così da estendere il periodo di osservazione e consentire l'analisi comparativa dei dati nel tempo. Un futuro sviluppo di questo progetto consisterà nell'ampliare ulteriormente il campione e nell'includere un follow-up a lungo termine, al fine di valutare la durata e la solidità degli esiti contenuti in questo studio. Ciò renderebbe più robuste le analisi dei sottogruppi che abbiamo preliminarmente esposto nel presente elaborato.

Bibliografia

In ordine alfabetico:

Abate A, Ugolini A, Bruni A, Quinzi V, Lanteri V. Three-dimensional assessment on digital cast of spontaneous upper first molar distorotation after Ni-ti leaf springs expander and rapid maxillary expander: A two-centre randomized controlled trial. *Orthod Craniofac Res.* 2025 Feb;28(1):104-115. doi: 10.1111/ocr.12849. Epub 2024 Sep 8. PMID: 39244736; PMCID: PMC11701968.

Abate A, Ugolini A, Maspero C, Silvestrini-Biavati F, Caprioglio A, Lanteri V. Comparison of the skeletal, dentoalveolar, and periodontal changes after Ni-Ti leaf spring expander and rapid maxillary expansion: a three-dimensional CBCT based evaluation. *Clin Oral Investig.* 2023 Sep;27(9):5249-5262. doi: 10.1007/s00784-023-05144-6. Epub 2023 Jul 19. PMID: 37466717; PMCID: PMC10492880.

Aboalnaga AA, El-Ghafour MA, Mostafa YA. Effects of maxillary arch expansion: A Systematic Review of Systematic Reviews. *J Oral Health Dent.* 2021;5(1):411-426.

Akyalcin S, Alexander SP, Silva RM, English JD. Evaluation of three-dimensional root surface changes and resorption following rapid maxillary expansion: a cone beam computed tomography investigation. *Orthod Craniofac Res.* 2015 Apr;18 Suppl 1:117-26. doi: 10.1111/ocr.12069. PMID: 25865540.

American Academy of Pediatric Dentistry. Management of the developing dentition and occlusion in pediatric dentistry. In: *The Reference Manual of Pediatric Dentistry*. Chicago (IL): American Academy of Pediatric Dentistry; 2023. p. 466–483.

Anastasi G, Balboni GC, Motta P, et al. *Trattato di anatomia umana*. Milano: Edi Ermes; 2010.

Angelier F, Cevidanes LH, Franchi L, Gonçalves JR, Benavides E, McNamara JA Jr. Midpalatal suture maturation: classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013 Nov;144(5):759-69. doi: 10.1016/j.ajodo.2013.04.022. PMID: 24182592; PMCID: PMC4185298.

Angle EH. Classification of malocclusion. *Dent Cosmos.* 1899;41:248–264, 350–357.

Angle EH. *Treatment of malocclusion of the teeth*. 7th ed. Philadelphia: S.S. White Dental Manufacturing Co.; 1907.

Araugio RM, Landre J Jr, Silva Dde L, Pacheco W, Pithon MM, Oliveira DD. Influence of the expansion screw height on the dental effects of the hyrax expander: a study with finite elements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013 Feb;143(2):221-7. doi: 10.1016/j.ajodo.2012.09.016. PMID: 23374929.

- Araújo MC, Bocato JR, Oltramari PV, de Almeida MR, Conti AC, Fernandes TM. Tomographic evaluation of dentoskeletal effects of rapid maxillary expansion using Haas and Hyrax palatal expanders in children: A randomized clinical trial. *J Clin Exp Dent*. 2020 Oct 1;12(10):e922-e930. doi: 10.4317/jced.57277. PMID: 33154793; PMCID: PMC7600207.
- Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA Jr. Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthod*. 2001 Oct;71(5):343-50. doi: 10.1043/0003-3219(2001)071<0343:TFRME>2.0.CO;2. PMID: 11605867.
- Baccetti T, Franchi L, McNamara JA Jr. The cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics. *Semin Orthod*. 2005;11:119–129.
- Bala AK, Campbell PM, Tadlock LP, Schneiderman ED, Buschang PH. Short-term skeletal and dentoalveolar effects of overexpansion: a pilot randomized controlled trial. *Angle Orthod*. 2022;92(1). Doi: 10.2319/032921-243.1
- Barone M, De Stefani A, Cavallari F, Gracco A, Bruno G. Pain during rapid maxillary expansion: a systematic review. *Children (Basel)*. 2023 Mar 31;10(4):666. doi: 10.3390/children10040666. PMID: 37189916; PMCID: PMC10136853.
- Baysal A, Uysal T, Veli I, Ozer T, Karadede I, Hekimoglu S. Evaluation of alveolar bone loss following rapid maxillary expansion using cone-beam computed tomography. *Korean J Orthod*. 2013 Apr;43(2):83-95. doi: 10.4041/kjod.2013.43.2.83. Epub 2013 Apr 25. PMID: 23671833; PMCID: PMC3650217.
- Bazargani F, Knode V, Plaksin A, Magnuson A, Ludwig B. Three-dimensional comparison of tooth-borne and tooth-bone-borne RME appliances: a randomized controlled trial with 5-year follow-up. *Eur J Orthod*. 2023 Nov 30;45(6):690-702. doi: 10.1093/ejo/cjad024. PMID: 37253126; PMCID: PMC10687513.
- Bazargani F, Lund H, Magnuson A, Ludwig B. Skeletal and dentoalveolar effects using tooth-borne and tooth-bone-borne RME appliances: a randomized controlled trial with 1-year follow-up. *Eur J Orthod*. 2021 Jun 8;43(3):245-253. doi: 10.1093/ejo/cjaa040. PMID: 32761047.
- Bazargani F, Magnuson A, Ludwig B. Effects on nasal airflow and resistance using two different RME appliances: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod*. 2018 May 25;40(3):281-284. doi: 10.1093/ejo/cjx081. PMID: 29069383.
- Bazargani F, Ugolini A, Cobourne MT. Management of posterior crossbite with maxillary expansion: a narrative review of contemporary evidence. *Semin Orthod*. 2025; 15: 52. DOI: 10.1053/j.sodo.2025.08.011.
- Beltrami F, Kiliaridis S, Antonarakis GS. Long-term stability of posterior crossbite correction, treated in the mixed or permanent dentition of growing children: A systematic review and meta-analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2024 Feb;27(1):1-14. doi: 10.1111/ocr.12690. Epub 2023 Jul 9. PMID: 38169092.

- Bench RW. The quad helix appliance. *Semin Orthod.* 1998 Dec;4(4):231-7. doi: 10.1016/s1073-8746(98)80028-5. PMID: 10219178.
- Beretta M, Lanteri C, Lanteri V, Cherchi C, Franchi L, Gianolio A. Evolution of the Leaf Expander: a maxillary Self Expander. *J Clin Orthod.* 2019;53(5):260-266. PMID: 31393845.
- Bi WG, Li K. Effectiveness of miniscrew-assisted rapid maxillary expansion: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig.* 2022 Jun;26(6):4509-4523. doi: 10.1007/s00784-022-04415-y. Epub 2022 Feb 24. PMID: 35211817.
- Bishara SE, Staley RN. Maxillary expansion: clinical implications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987 Jan;91(1):3-14. doi: 10.1016/0889-5406(87)90202-2. PMID: 3541577.
- Björk A, Helm S. Prediction of the age of maximum puberal growth in body height. *Angle Orthod.* 1967 Apr;37(2):134-43. doi: 10.1043/0003-3219(1967)037<0134:POTAOM>2.0.CO;2. PMID: 4290545.
- Björk A, Skieller V. Growth in width of the maxilla studied by the implant method. *Scand J Plast Reconstr Surg.* 1974;8(1-2):26-33. doi: 10.3109/02844317409084367. PMID: 4450107.
- Borrie FR, Bearn DR, Innes NP, Iheozor-Ejiofor Z. Interventions for the cessation of non-nutritive sucking habits in children. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015 Mar 31;2015(3):CD008694. doi: 10.1002/14651858.CD008694.pub2. PMID: 25825863; PMCID: PMC8482062.
- Brezniak N, Wasserstein A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part I: The basic science aspects. *Angle Orthod.* 2002 Apr;72(2):175-9. doi: 10.1043/0003-3219(2002)072<0175:OIIRRP>2.0.CO;2. PMID: 11999941.
- Brodie AG. Behavior of normal and abnormal facial growth patterns. *Am J Orthod Oral Surg.* 1941;27(11):633-647.
- Brodie AG. Emerging concepts of facial growth. *Angle Orthod.* 1971 Apr;41(2):103-18. doi: 10.1043/0003-3219(1971)041<0103:ECOFG>2.0.CO;2. PMID: 5280365.
- Bruni A, Abate A, Maspero C, Castroflorio T. Comparison of mechanical behavior of clear aligner and Rapid Palatal Expander on transverse plane: an in vitro study. *Bioengineering (Basel).* 2024 Jan 23;11(2):103. doi: 10.3390/bioengineering11020103. PMID: 38391589; PMCID: PMC10886082.
- Bucci R, D'Antò V, Rongo R, Valletta R, Martina R, Michelotti A. Dental and skeletal effects of palatal expansion techniques: a systematic review of the current evidence from systematic reviews and meta-analyses. *J Oral Rehabil.* 2016 Jul;43(7):543-64. doi: 10.1111/joor.12393. Epub 2016 Mar 23. PMID: 27004835.
- Bukhari A, Kennedy D, Hannam A, Aleksejūnienė J, Yen E. Dimensional changes in the palate associated with slow maxillary expansion for early treatment of posterior crossbite. *Angle Orthod.* 2018 Jul;88(4):390-396. doi: 10.2319/082317-571.1. Epub 2018 Mar 21. PMID: 29561655; PMCID: PMC8191935.

- Camacho M, Chang ET, Song SA, Abdullatif J, Zaghi S, Pirelli P, Certal V, Guilleminault C. Rapid maxillary expansion for pediatric obstructive sleep apnea: A systematic review and meta-analysis. *Laryngoscope*. 2017 Jul;127(7):1712-1719. doi: 10.1002/lary.26352. Epub 2016 Oct 31. PMID: 27796040.
- Cameron CG, Franchi L, Baccetti T, McNamara JA Jr. Long-term effects of rapid maxillary expansion: a posteroanterior cephalometric evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2002 Feb;121(2):129-35; quiz 193. doi: 10.1067/mod.2002.120685. PMID: 11840125.
- Canuto LF, de Freitas MR, Janson G, de Freitas KM, Martins PP. Influence of rapid palatal expansion on maxillary incisor alignment stability. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010 Feb;137(2):164.e1-6; discussion 164-5. doi: 10.1016/j.ajodo.2009.06.017. PMID: 20152665.
- Caprioglio D, Levrini A, Lanteri C, Caprioglio A, Levrini L. *Ortodonzia intercettiva*. Milano: Edizioni Martina; 2000. ISBN: 978-88-7572-131-1.
- Caroccia F, Moscagiuri F, Falconio L, Festa F, D'Attilio M. Early orthodontic treatments of unilateral posterior crossbite: a systematic review. *J Clin Med*. 2020 Dec 24;10(1):33. doi: 10.3390/jcm10010033. PMID: 33374420; PMCID: PMC7795353.
- Cerruto C, Ugolini A, Di Vece L, Doldo T, Caprioglio A, Silvestrini-Biavati A. Cephalometric and dental arch changes to Haas-type rapid maxillary expander anchored to deciduous vs permanent molars: a multicenter, randomized controlled trial. *J Orofac Orthop*. 2017 Sep;78(5):385-393. English. doi: 10.1007/s00056-017-0092-2. Epub 2017 Apr 10. PMID: 28397083.
- Cossellu G, Farronato G, Nicotera O, Biagi R. Transverse maxillary deficit and its influence on the cervical vertebrae maturation index. *Eur J Paediatr Dent*. 2016 Jun;17(2):147-50. PMID: 27377114.
- Cossellu G, Lanteri V, Lione R, Ugolini A, Gaffuri F, Cozza P, Farronato M. Efficacy of ketoprofen lysine salt and paracetamol/acetaminophen to reduce pain during rapid maxillary expansion: a randomized controlled clinical trial. *Int J Paediatr Dent*. 2019 Jan;29(1):58-65. doi: 10.1111/ipd.12428. Epub 2018 Oct 9. PMID: 30298560.
- Cossellu G, Ugolini A, Beretta M, Farronato M, Gianolio A, Maspero C, Lanteri V. Three-dimensional evaluation of Slow Maxillary Expansion with Leaf Expander vs. Rapid Maxillary Expansion in a sample of growing patients: direct effects on maxillary arch and spontaneous mandibular response. *Appl Sci*. 2020;10:4512. doi: 10.3390/app10134512
- Costa JG, Galindo TM, Mattos CT, Cury-Saramago AA. Retention period after treatment of posterior crossbite with maxillary expansion: a systematic review. *Dental Press J Orthod*. 2017 Mar-Apr;22(2):35-44. doi: 10.1590/2177-6709.22.2.035-044.oar. PMID: 28658354; PMCID: PMC5484268.
- Cozza P, Pachì F, Macchiarulo E. Il tessuto di sostegno delle arcate dentarie. Parte prima. Mascellare superiore e premaxilla. *Virtual J Orthod*. [serial online] 2003 August 01; 5(3).

- Cozzani M, Rosa M, Cozzani P, Siciliani G. Deciduous dentition-anchored rapid maxillary expansion in crossbite and non-crossbite mixed dentition patients: reaction of the permanent first molar. *Prog Orthod.* 2003;4:15-22. doi: 10.1034/j.1600-9975.2002.02034.x. PMID: 12887575.
- Da Silva Filho OG, Montes LA, Torelly LF. Rapid maxillary expansion in the deciduous and mixed dentition evaluated through posteroanterior cephalometric analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995 Mar;107(3):268-75. doi: 10.1016/s0889-5406(95)70142-7. PMID: 7879759.
- Da Silva Filho OG, Santamaria M Jr, Capelozza Filho L. Epidemiology of posterior crossbite in the primary dentition. *J Clin Pediatr Dent.* 2007 Fall;32(1):73-8. doi: 10.17796/jcpd.32.1.h53g027713432102. PMID: 18274476.
- Di Blasio A, Mandelli G, Generali I, Gandolfini M. Facial aesthetics and childhood. *Eur J Paediatr Dent.* 2009 Sep;10(3):131-4. PMID: 19761287.
- Di Ventura A, Lanteri V, Farronato G, Gaffuri F, Beretta M, Lanteri C, Cossellu G. Three-dimensional evaluation of Rapid Maxillary Expansion anchored to primary molars: direct effects on maxillary arch and spontaneous mandibular response. *Eur J Paediatr Dent.* 2019 Mar;20(1):38-42. doi: 10.23804/ejpd.2019.20.01.08. PMID: 30919643.
- Drago S, Campobasso A, Battista G, De Mari A, Menini M, Migliorati M. Torque changes of anchorage units in preadolescent patients treated with a digitally designed tooth-borne expander anchored to deciduous vs. permanent molars. *Eur J Paediatr Dent.* 2023 Dec 1;24(4):297 - 303. doi: 10.23804/ejpd.2023.1933. Epub 2023 Oct 1. PMID: 37861070.
- Enlow DH, Bang S. Growth and remodeling of the human maxilla. *Am J Orthod.* 1965 Jun;51(6):446-464. doi:10.1016/0002-9416(65)90242-3. PMID: 14287831.
- Enlow DH, Hunter WS. A differential analysis of sutural and remodeling growth in the human face. *Am J Orthod.* 1966 Nov;52(11):823-30. doi: 10.1016/0002-9416(66)90251-x. PMID: 5223047.
- Enlow DH, Hunter WS. The growth of the face in relation to the cranial base. *Rep Congr Eur Orthod Soc.* 1968 Jun;44:321-35. PMID: 5258417.
- Enlow DH, Kuroda T, Lewis AB. The morphological and morphogenetic basis for craniofacial form and pattern. *Angle Orthod.* 1971 Jul;41(3):161-88. doi: 10.1043/0003-3219(1971)041<0161:TMAMBF>2.0.CO;2. PMID: 5283666.
- Enlow DH, Moyers RE. Growth and architecture of the face. *J Am Dent Assoc.* 1971 Apr;82(4):763-74. doi: 10.14219/jada.archive.1971.0144. PMID: 5280078.
- Enlow DH. A study of the post-natal growth and remodeling of bone. *Am J Anat.* 1962 Mar;110(2):79-101. doi:10.1002/aja.1001100202. PMID: 13890322.
- Enlow DH. Facial growth and development. *Int J Oral Myol.* 1979 Oct;5(4):7-10. PMID: 298567.
- Enlow DH. *Handbook of facial growth.* Philadelphia: Saunders; 1982.

- Enlow DH. The "V" principle. *Am J Orthod.* 1984 Jan;85(1):96. doi: 10.1016/0002-9416(84)90129-5. PMID: 6581733.
- Enlow DH. *The Human Face: An Account of the Postnatal Growth and Development of the Craniofacial Skeleton.* New York: Harper & Row; 1968.
- Esenlik E, Rübendüz M. An evaluation of the dentoskeletal effects of slow maxillary expansion from the mixed to the permanent dentition. *Aust Orthod J.* 2015 May;31(1):2-13. PMID: 26219141.
- Feldmann I, Bazargani F. Pain and discomfort during the first week of rapid maxillary expansion (RME) using two different RME appliances: a randomized controlled trial. *Angle Orthod.* 2017 May;87(3):391-396. doi: 10.2319/091216-686.1. Epub 2016 Dec 28. PMID: 28029266; PMCID: PMC8381995.
- Fernández-Barriales M, Lafuente-Ibáñez de Mendoza I, Alonso-Fernández Pacheco JJ, Aguirre-Urizar JM. Rapid maxillary expansion versus watchful waiting in pediatric OSA: a systematic review. *Sleep Med Rev.* 2022 Apr;62:101609. doi: 10.1016/j.smrv.2022.101609. Epub 2022 Feb 11. PMID: 35286895.
- Ferro R, Marzo G, Quinzi V. *L'ortodonzia pediatrica o delle prime due dentature con poco... tanto.* Milano: Ariesdue; 2018. ISBN: 978-88-98789-12-2.
- Fishman LS. Maturational patterns and prediction during adolescence. *Angle Orthod.* 1987 Jul;57(3):178-93. doi: 10.1043/0003-3219(1987)057<0178:MPAPDA>2.0.CO;2. PMID: 3477966.
- Fonzi L. *Anatomia funzionale e clinica dello splancnocranio.* Milano: Edi Ermes; 2000. ISBN: 978-88-7051-238-0.
- Frank SW, Engel GA. The effects of maxillary Quad-Helix appliance expansion on cephalometric measurements in growing orthodontic patients. *Am J Orthod.* 1982 May;81(5):378-89. doi: 10.1016/0002-9416(82)90075-6. PMID: 6758598.
- Gianni E, Manetti V, Segù F, Segù S. *Atlante di cefalometria ortognatodontica.* Vigevano: G.M.S.; 1975.
- Gianolio A, Cherchi C, Lanteri V. Rapid and slow maxillary expansion: a posteroanterior cephalometric study. *Eur J Paediatr Dent.* 2014 Dec;15(4):415-8. PMID: 25517592.
- Giri J, Bockmann M, Brook A, Gurr A, Palmer L, Brook O'Donnell M, Hughes T. Relative contributions of genetic and environmental factors to palatal morphology: a longitudinal twin study. *Eur J Orthod.* 2024 Dec 4;47(1):cjae076. doi: 10.1093/ejo/cjae076. PMID: 39704017; PMCID: PMC11659640.
- Graber TM, Vanarsdall RL Jr. *Ortodonzia. Diagnosi e linee guida di terapia. Tecniche e procedure.* Torino: UTET; 2003.
- Greenbaum KR, Zachrisson BU. The effect of palatal expansion therapy on the periodontal supporting tissues. *Am J Orthod.* 1982 Jan;81(1):12-21. doi: 10.1016/0002-9416(82)90283-4. PMID: 6758588.

- Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. Stanford (CA): Stanford University Press; 1959.
- Haas AJ. Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *Am J Orthod.* 1970 Mar;57(3):219-55. doi: 10.1016/0002-9416(70)90241-1. PMID: 5263785.
- Haas AJ. Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod.* 1961;31:73–90.
- Haas AJ. The Treatment of maxillary deficiency by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod.* 1965 Jul;35:200-17. doi: 10.1043/0003-3219(1965)035<0200:TTOMDB>2.0.CO;2. PMID: 14331020.
- Hansson S, Josefsson E, Lindsten R, Magnuson A, Bazargani F. Pain and discomfort during the first week of maxillary expansion using two different expanders: patient-reported outcomes in a randomized controlled trial. *Eur J Orthod.* 2023 May 31;45(3):271-280. doi: 10.1093/ejo/cjac067. PMID: 36331513; PMCID: PMC10230245.
- Hashim HA, Mansoor H, Mohamed MHH. Assessment of skeletal age using hand-wrist radiographs following Bjork system. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2018 Nov-Dec;8(6):482-487. doi: 10.4103/jispcd.JISPCD_315_18. Epub 2018 Nov 14. PMID: 30596037; PMCID: PMC6280566.
- Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995 Jan;107(1):58-66. doi: 10.1016/s0889-5406(95)70157-5. Erratum in: *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995 Jun;107(6):19. PMID: 7817962.
- Henry RJ. Slow Maxillary Expansion: a review of Quad-Helix therapy during the transitional dentition. *ASDC J Dent Child.* 1993 Nov-Dec;60(4):408-13. PMID: 8126306.
- Hezenci Y, Bulut M. Correlation of skeletal development and midpalatal suture maturation. *Eur J Med Res.* 2024 Sep 16;29(1):461. doi: 10.1186/s40001-024-02058-1. PMID: 39285501; PMCID: PMC11406733.
- Hicks EP. Slow maxillary expansion. A clinical study of the skeletal versus dental response to low-magnitude force. *Am J Orthod.* 1978 Feb;73(2):121-41. doi: 10.1016/0002-9416(78)90183-5. PMID: 343597.
- Hunter CJ. The correlation of facial growth with body height and skeletal maturation at adolescence. *Angle Orthod.* 1966 Jan;36(1):44-54. doi: 10.1043/0003-3219(1966)036<0044:TCOFGW>2.0.CO;2. PMID: 5218761.
- Huynh T, Kennedy DB, Joondeph DR, Bollen AM. Treatment response and stability of slow maxillary expansion using Haas, Hyrax, and Quad-Helix appliances: a retrospective study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 Sep;136(3):331-9. doi: 10.1016/j.ajodo.2007.08.026. PMID: 19732666.
- Inchingolo AM, Patano A, De Santis M, Del Vecchio G, Ferrante L, Morolla R, Pezzolla C, Sardano R, Dongiovanni L, Inchingolo F, Bordea IR, Palermo A, Inchingolo AD, Dipalma G. Comparison of different types of Palatal Expanders: scoping review. *Children (Basel).* 2023 Jul 21;10(7):1258. doi: 10.3390/children10071258. PMID: 37508755; PMCID: PMC10378123.

- Iodice G, Danzi G, Cimino R, Paduano S, Michelotti A. Association between posterior crossbite, skeletal, and muscle asymmetry: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2016 Dec;38(6):638-651. doi: 10.1093/ejo/cjw003. Epub 2016 Jan 28. PMID: 26823371.
- Kapetanović A, Theodorou CI, Bergé SJ, Schols JGJH, Xi T. Efficacy of Miniscrew-Assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE) in late adolescents and adults: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod.* 2021 Jun 8;43(3):313-323. doi: 10.1093/ejo/cjab005. PMID: 33882127; PMCID: PMC8186837.
- Karaman AI. The effects of Nitanium Maxillary Expander appliances on dentofacial structures. *Angle Orthod.* 2002 Aug;72(4):344-54. doi: 10.1043/0003-3219(2002)072<0344:TEONME>2.0.CO;2. PMID: 12169035.
- Kawala B, Malinowski J. Orthodontic treatment of morphological disorders of the dental arch with Crozat and Schwarz appliances – comparative study. *Dent Med Probl.* 2004;41(2):249-254.
- Kennedy DB, Osepchook M. Unilateral posterior crossbite with mandibular shift: a review. *J Can Dent Assoc.* 2005 Sep;71(8):569-73. PMID: 16202196.
- Krüsi M, Eliades T, Papageorgiou SN. Are there benefits from using bone-borne maxillary expansion instead of tooth-borne maxillary expansion? A systematic review with meta-analysis. *Prog Orthod.* 2019 Feb 25;20(1):9. doi: 10.1186/s40510-019-0261-5. PMID: 30799516; PMCID: PMC6387979.
- Kurol J, Berglund L. Longitudinal study and cost-benefit analysis of the effect of early treatment of posterior cross-bites in the primary dentition. *Eur J Orthod.* 1992 Jun;14(3):173-9. doi: 10.1093/ejo/14.3.173. PMID: 1628683.
- Lagravère MO, Major PW, Flores-Mir C. Long-term skeletal changes with rapid maxillary expansion: a systematic review. *Angle Orthod.* 2005 Nov;75(6):1046-52. doi: 10.1043/0003-3219(2005)75[1046:LSCWRM]2.0.CO;2. PMID: 16448254.
- Lamons F.F. The Crozat removable appliance. *Am J Orthod.* 1964;50(4):265-292. doi:10.1016/S0002-9416(64)80004-X
- Lamparski DG. Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae. *Am J Orthod.* 1975;67(4):458-459.
- Langlade M. Cefalometria ortodontica. Milano: Scienza e Tecnica Dentistica, Edizioni Internazionali s.n.c.; 1979.
- Langlade M. Diagnosi ortodontica. Milano: Edizioni Scienza e Tecnica Dentistica; 1983.
- Lanteri C, Beretta M, Gianolio A, Cherchi C, Lanteri V. Nuove prospettive dell'espansione mascellare: il Leaf Expander. *Doctor Os.* 2018 Nov–Dec;29(9).
- Lanteri C, Beretta M, Lanteri V, Gianolio A, Cherchi C, Franchi L. The Leaf Expander for Non-Compliance Treatment in the Mixed Dentition. *J Clin Orthod.* 2016 Sep;50(9):552-560. PMID: 27809214.
- Lanteri C, Beretta M, Lanteri V, Gianolio A, Cherchi C. Il Leaf Expander. Milano: Ariesdue; 2023. ISBN: 978-88-98789-28-3.

- Lanteri C, Lanteri V, Gianolio A, Beretta M, Cherchi C. LEAF EXPANDER®: i nuovi orizzonti dell'espansione mascellare in ortodonzia intercettiva. *Bollettino Leone*. 2017 Oct;(100). Pubblicato anche come *OrthoNews*. 2018;1(40).
- Lanteri V, Abate A, Cavagnetto D, Ugolini A, Gaffuri F, Gianolio A, Maspero C. Cephalometric changes following maxillary expansion with Ni-Ti Leaf Springs Palatal Expander and Rapid Maxillary Expander: a retrospective study. *Appl Sci*. 2021;11:5748. doi: 10.3390/app11125748.
- Lanteri^a V, Gianolio A, Gualandi G, Beretta M. Maxillary tridimensional changes after slow expansion with leaf expander in a sample of growing patients: a pilot study. *Eur J Paediatr Dent*. 2018 Mar;19(1):29-34. doi: 10.23804/ejpd.2018.19.01.05. PMID: 29569450.
- Lanteri^b V, Cossellu G, Gianolio A, Beretta M, Lanteri C, Cherchi C, Farronato G. Comparison between RME, SME and Leaf Expander in growing patients: a retrospective postero-anterior cephalometric study. *Eur J Paediatr Dent*. 2018 Sep;19(3):199-204. doi: 10.23804/ejpd.2018.19.03.6. PMID: 30063151.
- Latham RA. The development, structure and growth pattern of the human mid-palatal suture. *J Anat*. 1971 Jan;108(Pt 1):31-41. PMID: 5100975; PMCID: PMC1234225.
- Lee WC, Tu YK, Huang CS, Chen R, Fu MW, Fu E. Pharyngeal airway changes following maxillary expansion or protraction: A meta-analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2018 Feb;21(1):4-11. doi: 10.1111/ocr.12208. Epub 2017 Dec 28. PMID: 29283499.
- Lemos Rinaldi MR, Azeredo F, Martinelli de Lima E, Deon Rizzato SM, Sameshima G, Macedo de Menezes L. Cone-beam computed tomography evaluation of bone plate and root length after maxillary expansion using tooth-borne and tooth-tissue-borne banded expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018 Oct;154(4):504-516. doi: 10.1016/j.ajodo.2017.12.018. PMID: 30268261.
- Leonardi R, Lo Giudice A, Rugeri M, Muraglie S, Cordasco G, Barbato E. Three-dimensional evaluation on digital casts of maxillary palatal size and morphology in patients with functional posterior crossbite. *Eur J Orthod*. 2018 Sep 28;40(5):556-562. doi: 10.1093/ejo/cjx103. PMID: 29474543.
- Leonardi R, Ronsivalle V, Barbato E, Lagravère M, Flores-Mir C, Lo Giudice A. External root resorption (ERR) and rapid maxillary expansion (RME) at post-retention stage: a comparison between tooth-borne and bone-borne RME. *Prog Orthod*. 2022 Dec 5;23(1):45. doi: 10.1186/s40510-022-00439-y. PMID: 36464753; PMCID: PMC9719874.
- Linder-Aronson S, Rolling S. Ortodonzia preventiva. In: Magnusson B, Koch G, Poulsen S, editors. *Pedodonzia: un approccio sistematico*. Cap. 12. Milano: EDI-ERMES; 1985.
- Lindhe J. *Textbook of clinical periodontology*. Copenhagen: Munksgaard; 1986.
- Lindner A. Longitudinal study on the effect of early interceptive treatment in 4-year-old children with unilateral cross-bite. *Scand J Dent Res*. 1989 Oct;97(5):432-8. doi: 10.1111/j.1600-0722.1989.tb01457.x. PMID: 2617141.

- Lione R, Franchi L, Cozza P. Does rapid maxillary expansion induce adverse effects in growing subjects? *Angle Orthod.* 2013 Jan;83(1):172-82. doi: 10.2319/041012-300.1. Epub 2012 Jul 23. PMID: 22827478; PMCID: PMC8805530.
- Liu H, Feng L, Wang L. Diagnostic value of cervical vertebral maturation stages for midpalatal suture maturation assessment: a study in the Chinese population. *BMC Oral Health.* 2023 Jul 20;23(1):504. doi: 10.1186/s12903-023-03220-7. PMID: 37474915; PMCID: PMC10360312.
- Liu S, Xu T, Zou W. Effects of rapid maxillary expansion on the midpalatal suture: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2015 Dec;37(6):651-5. doi: 10.1093/ejo/cju100. Epub 2015 Feb 19. PMID: 25700989.
- Lo Giudice A, Barbato E, Cosentino L, Ferraro CM, Leonardi R. Alveolar bone changes after rapid maxillary expansion with tooth-borne appliances: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2018 May 25;40(3):296-303. doi: 10.1093/ejo/cjx057. PMID: 29016774.
- Lombardo G, Vena F, Negri P, Pagano S, Barilotti C, Paglia L, Colombo S, Orso M, Cianetti S. Worldwide prevalence of malocclusion in the different stages of dentition: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Paediatr Dent.* 2020 Jun;21(2):115-122. doi: 10.23804/ejpd.2020.21.02.05. PMID: 32567942.
- Lombardo L, Gracco A, Zampini F, Stefanoni F, Mollica F. Optimal palatal configuration for miniscrew applications. *Angle Orthod.* 2010 Jan;80(1):145-52. doi: 10.2319/122908-662.1. PMID: 19852654; PMCID: PMC8978732.
- Lopponi G, Maino BG, Dalessandri D. Rapid Palatal Expansion should not be trivialized: two case reports of unexpected complications. *Eur J Dent.* 2021 Jul;15(3):599-605. doi: 10.1055/s-0041-1728840. Epub 2021 Jun 25. PMID: 34171932; PMCID: PMC8382503.
- Ludwig B, Glasl B, Bowman SJ, Wilmes B, Kinzinger GS, Lisson JA. Anatomical guidelines for miniscrew insertion: palatal sites. *J Clin Orthod.* 2011 Aug;45(8):433-41; quiz 467. PMID: 22094724.
- Luiz Ulema Ribeiro G, Jacob HB, Brunetto M, da Silva Pereira J, Motohiro Tanaka O, Buschang PH. A preliminary 3-D comparison of rapid and slow maxillary expansion in children: A randomized clinical trial. *Int J Paediatr Dent.* 2020 May;30(3):349-359. doi: 10.1111/ipd.12597. Epub 2020 Jan 16. PMID: 31755620.
- Lupoli M. *Moderna gestione della discrepanza trasversale e della rotazione molare: Il palatal expander.* Milano: Quintessenza Edizioni; 2013. ISBN: 978-88-7492-183-6.
- Manzella KS, Warunek S, Conley RS, Al-Jewair T. A controlled clinical study on the effects of the Ni-Ti Memoria® Leaf Spring Activated Expander. *Aust Orthod J.* 2018;34(2):196-204.
- Martina R, Cioffi I, Farella M, Leone P, Manzo P, Matarese G, Portelli M, Nucera R, Cordasco G. Transverse changes determined by rapid and slow maxillary expansion--a low-dose CT-based randomized controlled trial. *Orthod Craniofac Res.* 2012 Aug;15(3):159-68. doi: 10.1111/j.1601-6343.2012.01543.x. Epub 2012 Mar 27. PMID: 22812438.

- Martone VD, Enlow DH, Hans MG, Broadbent BH Jr, Oyen O. Class I and Class III malocclusion sub-groupings related to headform type. *Angle Orthod.* 1992 Spring;62(1):35-42; discussion 43-4. doi: 10.1043/0003-3219(1992)062<0035:CIACIM>2.0.CO;2. PMID: 1554161.
- Maschio M, Gaffuri F, Ugolini A, Lanteri V, Abate A, Caprioglio A. Buccal alveolar bone changes and upper first molar displacement after maxillary expansion with RME, Ni-Ti Leaf Springs Expander and Tooth- Bone-borne Expander. A CBCT based analysis. *Eur J Paediatr Dent.* 2023 Sep 1;24(3):211-215. doi: 10.23804/ejpd.2023.1896. PMID: 37668460.
- May G. *Manuale di ortodonzia.* Bologna: Riccardo Patron; 1964.
- McNamara JA Jr, Brudon WL. *Trattamento ortodontico e ortopedico in dentatura mista.* Traduzione di Mancini M. Milano: Masson; 1998. ISBN: 978-88-214-1244-3.
- McNamara JA Jr, Franchi L. The cervical vertebral maturation method: A user's guide. *Angle Orthod.* 2018 Mar;88(2):133-143. doi: 10.2319/111517-787.1. Epub 2018 Jan 16. PMID: 29337631; PMCID: PMC8312535.
- McNamara JA. Maxillary transverse deficiency. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000 May;117(5):567-70. doi: 10.1016/s0889-5406(00)70202-2. PMID: 10799117.
- Melsen B. A histological study of the influence of sutural morphology and skeletal maturation on rapid palatal expansion in children. *Trans Eur Orthod Soc.* 1972:499-507. PMID: 4596566.
- Mew J. Relapse following maxillary expansion. A study of twenty-five consecutive cases. *Am J Orthod.* 1983 Jan;83(1):56-61. doi: 10.1016/0002-9416(83)90272-5. PMID: 6336903.
- Miner RM, Al Qabandi S, Rigali PH, Will LA. Cone-beam computed tomography transverse analysis. Part I: Normative data. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012 Sep;142(3):300-7. doi: 10.1016/j.ajodo.2012.04.014. PMID: 22920695.
- Moss ML, Young RW. A functional approach to craniology. *Am J Phys Anthropol.* 1960 Dec;18(4):281-92. doi: 10.1002/ajpa.1330180406. PMID: 13773136.
- Moss ML. The functional matrix hypothesis. In: Kraus RM, Riedel RA, editors. *Vistas in Orthodontics.* Philadelphia: Lea & Febiger; 1962.
- Moss^a ML, Salentijn L. The primary role of functional matrices in facial growth. *Am J Orthod.* 1969 Jun;55(6):566-77. doi: 10.1016/0002-9416(69)90034-7. PMID: 5253955.
- Moss^b ML, Salentijn L. The capsular matrix. *Am J Orthod.* 1969 Nov;56(5):474-90. doi: 10.1016/0002-9416(69)90209-7. PMID: 5261161.
- Needleman HL, Hoang CD, Allred E, Hertzberg J, Berde C. Reports of pain by children undergoing rapid palatal expansion. *Pediatr Dent.* 2000 May-Jun;22(3):221-6. PMID: 10846733.
- Nieri M, Paoloni V, Lione R, Barone V, Marino Merlo M, Giuntini V, Cozza P, Franchi L. Comparison between two screws for maxillary expansion: a multicenter randomized controlled trial on patient's reported outcome measures. *Eur J Orthod.* 2021 Jun 8;43(3):293-300. doi: 10.1093/ejo/cjaa063. PMID: 33215652.

- Nucera R, Costa S, Bellocchio AM, Barbera S, Drago S, Silvestrini A, Migliorati M. Evaluation of palatal bone depth, cortical bone, and mucosa thickness for optimal orthodontic miniscrew placement performed according to the third palatal ruga clinical reference. *Eur J Orthod.* 2022 Sep 19;44(5):530-536. doi: 10.1093/ejo/cjac007. PMID: 35201320.
- Oliva G, Huanca Ghislanzoni L, Dalessandri D, Silvestrini-Biavati A, Ugolini A. Palatal changes in crossbite patients treated with Rapid Maxillary Expansion vs untreated ones: a geometric morphometric study. *Orthod Craniofac Res.* 2020 Nov;23(4):439-444. doi: 10.1111/ocr.12387. Epub 2020 May 20. PMID: 32390290.
- Pan Y, Peng W, Wang Y. Comparison of the effects of different palatal morphology on maxillary expansion via RME and MSE: a finite element analysis. *Clin Exp Dent Res.* 2024 Oct;10(5):e70005. doi: 10.1002/cre2.70005. PMID: 39295434; PMCID: PMC11411151.
- Paoloni V, Giuntini V, Lione R, Nieri M, Barone V, Merlo MM, Mazza F, Passaleva S, Cozza P, Franchi L. Comparison of the dento-skeletal effects produced by Leaf expander versus rapid maxillary expander in prepubertal patients: a two-center randomized controlled trial. *Eur J Orthod.* 2022 Mar 30;44(2):163-169. doi: 10.1093/ejo/cjab035. PMID: 34114608.
- Perinetti G, Perillo L, Franchi L, Di Lenarda R, Contardo L. Maturation of the middle phalanx of the third finger and cervical vertebrae: a comparative and diagnostic agreement study. *Orthod Craniofac Res.* 2014 Nov;17(4):270-9. doi: 10.1111/ocr.12052. Epub 2014 Sep 17. PMID: 25230196.
- Proffit WR, Fields HW, Sarver DM. *Contemporary orthodontics.* 6th ed. St. Louis: Elsevier; 2019.
- Proffit WR, Fields HW. *Ortodonzia moderna.* 2^a ed. Milano: Elsevier; 2001.
- Quinzi V, Federici Canova F, Rizzo FA, Marzo G, Rosa M, Primožic J. Factors related to maxillary expander loss due to anchoring deciduous molars exfoliation during treatment in the mixed dentition phase. *Eur J Orthod.* 2021 Jun 8;43(3):332-337. doi: 10.1093/ejo/cjaa061. PMID: 33215659.
- Quinzi V, Rossi O, Paglia L, Marzo G, Caprioglio A. Paediatric Orthodontics Part 2: Periodontal effects of maxillary expansion. *Eur J Paediatr Dent.* 2019 Jun;20(2):164-166. doi: 10.23804/ejpd.2019.20.02.16. PMID: 31246096.
- Ricketts RM, Roth RH, Chaconas SJ, Schulof RJ, Engel GA. *Orthodontic Diagnosis and Planning: Their Roles in Preventive and Rehabilitative Dentistry.* Vol 1. Denver, Colorado: Rocky Mountains Data Systems, 1982: 15-147. mettere solo se lasci snodell
- Rosa M, Lucchi P, Manti G, Caprioglio A. Rapid Palatal Expansion in the absence of posterior cross-bite to intercept maxillary incisor crowding in the mixed dentition: a CBCT evaluation of spontaneous changes of untouched permanent molars. *Eur J Paediatr Dent.* 2016 Dec;17(4):286-294. PMID: 28045316.

- Roscoe MG, Meira JB, Cattaneo PM. Association of orthodontic force system and root resorption: A systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2015 May;147(5):610-26. doi: 10.1016/j.ajodo.2014.12.026. PMID: 25919107.
- Rutili V, Mrakic G, Nieri M, Franceschi D, Pierleoni F, Giuntini V, Franchi L. Dento-skeletal effects produced by rapid versus slow maxillary expansion using fixed jackscrew expanders: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthod*. 2021 Jun 8;43(3):301-312. doi: 10.1093/ejo/cjaa086. PMID: 33950178.
- Scott JH. The growth of the human face. *Proc R Soc Med*. 1954 Feb;47(2):91-100. doi: 10.1177/003591575404700203. PMID: 13134182; PMCID: PMC1918731.
- Seif-Eldin NF, Elkordy SA, Fayed MS, Elbeialy AR, Eid FH. Transverse skeletal effects of Rapid Maxillary Expansion in pre and post pubertal subjects: A Systematic Review. *Open Access Maced J Med Sci*. 2019 Feb 8;7(3):467-477. doi: 10.3889/oamjms.2019.080. PMID: 30834021; PMCID: PMC6390138.
- Sekertzi C, Koukouviti MM, Chatzigianni A, Kolokitha OE. Dental, Skeletal, and soft tissue changes after Bone-Borne Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: a systematic review and meta-analysis. *Dent J (Basel)*. 2023 Jun 1;11(6):143. doi: 10.3390/dj11060143. PMID: 37366666; PMCID: PMC10297662.
- Selvaraj A, George AM, Arvind P. Three-dimensional evaluation of dentoalveolar and skeletal transverse changes between rapid maxillary expansion and slow maxillary expansion in growing subjects – a systematic review and meta-analysis. *APOS Trends Orthod*. 2024;14(4):1-11. doi:10.25259/APOS_180_2022.
- Serafin M, Vella M, Boccalari E, Caprioglio A. Effectiveness of deciduous molar anchorage for rapid maxillary expansion: a systematic review and meta-analysis. *Angle Orthod*. 2025 Sep 17. doi: 10.2319/033125-257.1. Epub ahead of print. PMID: 41241386.
- Sicca N, Benedetti G, Nieri A, Vitale S, Lopponi G, Mura S, Verdecchia A, Spinass E. 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)*. 2025 Jan 22;13(2):47. doi: 10.3390/dj13020047. PMID: 39996921; PMCID: PMC11854554.
- Sicher H, Weinmann J. The sutural theory of craniofacial growth. In: Weinmann J, Sicher H, editors. *The cranio-facial skeleton*. Springfield (IL): C.C. Thomas; 1947.
- Sicher H. *Oral anatomy*. St. Louis: Mosby; 1952.
- Siddhisaributr P, Khlongwanitchakul K, Anuwongnukroh N, Manopatanakul S, Viwattanatipa N. Effectiveness of miniscrew assisted rapid palatal expansion using cone beam computed tomography: a systematic review and meta-analysis. *Korean J Orthod*. 2022 May 25;52(3):182-200. doi: 10.4041/kjod21.256. PMID: 35418520; PMCID: PMC9117794.

- Silvestrini-Biavati F, Oliva G, Ghislanzoni LH, Ottonelli E, Dalessandri D, Lanteri V, Ugolini A. Evaluation of palate morphology in patients treated with leaf expander and hyrax expander: a geometric morphometric analysis. *Orthod Craniofac Res.* 2024 Dec;27(6):959-966. doi: 10.1111/ocr.12839. Epub 2024 Aug 2. PMID: 39096030.
- Silvestrini-Biavati F, Ugolini A, Laffi N, Canevello C, Silvestrini-Biavati A. Early diagnostic evaluation of mandibular symmetry using orthopantomogram. *Indian J Dent Res.* 2014 Mar-Apr;25(2):154-9. doi: 10.4103/0970-9290.135909. PMID: 24992843.
- Singh IJ, Savara BS. Norms of size and annual increments of seven anatomical measures of maxillae in girls from three to sixteen years of age. *Angle Orthod.* 1966 Oct;36(4):312-24. doi: 10.1043/0003-3219(1966)036<0312:NOSAAI>2.0.CO;2. PMID: 5223796.
- Snodell SF, Nanda RS, Currier GF. A longitudinal cephalometric study of transverse and vertical craniofacial growth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993 Nov;104(5):471-83. doi: 10.1016/0889-5406(93)70073-W. PMID: 8237899.
- Srivastava SC, Mahida K, Agarwal C, Chavda RM, Patel HA. Longitudinal Stability of Rapid and Slow Maxillary Expansion: A Systematic Review. *J Contemp Dent Pract.* 2020 Sep 1;21(9):1068-1072. PMID: 33568597.
- Suri L, Taneja P. Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 Feb;133(2):290-302. doi: 10.1016/j.ajodo.2007.01.021. PMID: 18249297.
- Tai B, Goonewardene MS, Murray K, Koong B, Islam SM. The reliability of using postero-anterior cephalometry and cone-beam CT to determine transverse dimensions in clinical practice. *Aust Orthod J.* 2014 Nov;30(2):132-42. PMID: 25549515.
- Tanner JM, Whitehouse RH, Takaishi M. Standards from birth to maturity for height, weight, height velocity, and weight velocity. British children, 1965. II. *Arch Dis Child.* 1966 Dec;41(220):613-35. doi: 10.1136/adc.41.220.613. PMID: 5927918; PMCID: PMC2019692.
- Tenshin S, Tuchihashi M, Sou K, Lew HS, Hayashi H, Tanimura I, Kawata T. Remodeling mechanisms of transseptal fibers during and after tooth movement. *Angle Orthod.* 1995;65(2):141-50. doi: 10.1043/0003-3219(1995)065<0141:RMOTFD>2.0.CO;2. PMID: 7785805.
- Thilander B, Wahlund S, Lennartsson B. The effect of early interceptive treatment in children with posterior crossbite. *Eur J Orthod.* 1984 Feb;6(1):25-34. doi: 10.1093/ejo/6.1.25. PMID: 6583062.
- Tollaro I, Baccetti T, Franchi L, Tanasescu CD. Role of posterior transverse interarch discrepancy in Class II, Division 1 malocclusion during the mixed dentition phase. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1996 Oct;110(4):417-22. doi: 10.1016/s0889-5406(96)70045-8. PMID: 8876494.
- Trevizan M, Consolaro A. Premaxilla: an independent bone that can base therapeutics for middle third growth. *Dental Press J Orthod.* 2017 Mar-Apr;22(2):21-26. doi: 10.1590/2177-6709.22.2.021-026.oin. PMID: 28658352; PMCID: PMC5484266.

- Trevizan M, Nelson Filho P, Franzolin SOB, Consolaro A. Premaxilla: up to which age it remains separated from the maxilla by a suture, how often it occurs in children and adults, and possible clinical and therapeutic implications: Study of 1,138 human skulls. *Dental Press J Orthod.* 2018 Nov-Dec;23(6):16-29. doi: 10.1590/2177-6709.23.6.016-029.oim. PMID: 30672982; PMCID: PMC6340201.
- Tsanidis N, Antonarakis GS, Kiliaridis S. Functional changes after early treatment of unilateral posterior cross-bite associated with mandibular shift: a systematic review. *J Oral Rehabil.* 2016 Jan;43(1):59-68. doi: 10.1111/joor.12335. Epub 2015 Aug 8. PMID: 26257271.
- Ugolini A, Bruni A, Abate A, Pistoni F, Donelli M, Quinzi V, Silvestrini Biavati F, Lanteri V. Effects on palatal surface area in mixed dentition patients treated with Leaf Expander and Rapid Palatal Expander, compared to untreated subjects: a randomised clinical trial. *Eur J Paediatr Dent.* 2025 Mar 1;26(1):48-54. doi: 10.23804/ejpd.2024.2208. Epub 2024 Sep 1. PMID: 39360909.
- Ugolini A, Cerruto C, Di Vece L, Ghislanzoni LH, Sforza C, Doldo T, Silvestrini-Biavati A, Caprioglio A. Dental arch response to Haas-type rapid maxillary expansion anchored to deciduous vs permanent molars: a multicentric randomized controlled trial. *Angle Orthod.* 2015 Jul;85(4):570-6. doi: 10.2319/041114-269.1. Epub 2014 Oct 14. PMID: 25314034; PMCID: PMC8611738.
- Ugolini A, Cossellu G, Farronato M, Silvestrini-Biavati A, Lanteri V. A multicenter, prospective, randomized trial of pain and discomfort during maxillary expansion: Leaf expander versus hyrax expander. *Int J Paediatr Dent.* 2020 Jul;30(4):421-428. doi: 10.1111/ipd.12612. Epub 2020 Jan 20. PMID: 31894603.
- Ugolini A, Agostino P, Silvestrini-Biavati A, Harrison JE, Batista KB. Orthodontic treatment for posterior crossbites. *Cochrane Database Syst Rev.* 2021 Dec 24;12(12):CD000979. doi: 10.1002/14651858.CD000979.pub3. PMID: 34951927; PMCID: PMC8709729.
- Ulug B, Arman Özçırpıcı A. Early maxillary expansion with the Ni-Ti Memory Leaf Expander - a compliance-free fixed Slow Maxillary Expansion screw: a report of two cases. *Turk J Orthod.* 2021 Jun;34(2):143-149. doi: 10.5152/TurkJOrthod.2021.20154. PMID: 35110164; PMCID: PMC8939589.
- Van Limborgh J. The role of genetic and local environmental factors in the control of postnatal craniofacial morphogenesis. *Acta Morphol Neerl Scand.* 1972 Oct;10(1):37-47. PMID: 4643664.
- Vanarsdall RL Jr. Transverse dimension and long-term stability. *Semin Orthod.* 1999 Sep;5(3):171-80. doi: 10.1016/s1073-8746(99)80008-5. PMID: 10860069.
- Vella M, Cressoni P, Tripicchio C, Mainardi E, Esposito L. Early Treatment with a Slow Maxillary Ni-Ti Leaf Springs Expander. *Appl Sci.* 2021;11:4541. doi: 10.3390/app11104541.

- Verstraaten J, Kuijpers-Jagtman AM, Mommaerts MY, Bergé SJ, Nada RM, Schols JG; Eurocran distraction osteogenesis group. A systematic review of the effects of bone-borne surgical assisted rapid maxillary expansion. *J Craniomaxillofac Surg.* 2010 Apr;38(3):166-74. doi: 10.1016/j.jcms.2009.06.006. Epub 2009 Aug 6. PMID: 19664932.
- Viarani V, Festa P, Galasso G, D'Antò V, Putrino A, Mariani A, Bompiani G, Galeotti A. Randomized controlled clinical trial to evaluate skeletal and dental treatment effects of rapid maxillary expansion in children: comparison between two-band expander and bonded palatal expander. *Appl Sci.* 2025;15:7187.
- Warren JJ, Bishara SE. Duration of nutritive and nonnutritive sucking behaviors and their effects on the dental arches in the primary dentition. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002 Apr;121(4):347-56. doi: 10.1067/mod.2002.121445. PMID: 11997758.
- Weissheimer A, de Menezes LM, Mezomo M, Dias DM, de Lima EM, Rizzato SM. Immediate effects of rapid maxillary expansion with Haas-type and hyrax-type expanders: a randomized clinical trial. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011 Sep;140(3):366-76. doi: 10.1016/j.ajodo.2010.07.025. PMID: 21889081.
- Wertz R, Dreskin M. Midpalatal suture opening: a normative study. *Am J Orthod.* 1977 Apr;71(4):367-81. doi: 10.1016/0002-9416(77)90241-x. PMID: 322499.
- Yang P, Zhu M, Guo Y, Su C, Wang Y, Bai Y, Zhang N. Evaluation of midpalatal suture maturation stage in 5 to 20-year-olds using cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2024 Dec;166(6):572-582. doi: 10.1016/j.ajodo.2024.07.019. Epub 2024 Sep 10. PMID: 39254609.
- Zhao Z, Cao R, Yao M, Liao C. Effects of Hyrax Maxillary Expander on nasal cavity and upper airway in adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Healthcare (Basel).* 2024 Oct 29;12(21):2148. doi: 10.3390/healthcare12212148. PMID: 39517360; PMCID: PMC11544907.
- Zuccati G, Casci S, Doldo T, Clauser C. Expansion of maxillary arches with crossbite: a systematic review of RCTs in the last 12 years. *Eur J Orthod.* 2013 Feb;35(1):29-37. doi: 10.1093/ejo/cjr140. Epub 2011 Dec 9. PMID: 22158610.