

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Neuroscienze
Direttore Prof. Raffaele De Caro

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE A CICLO UNICO
IN ODONTOIATRIA E PROTESI DENTARIA
Presidente Prof. C. Mucignat

TESI DI LAUREA

**Predicibilità di espansione dento-alveolare mascellare con
allineatori trasparenti utilizzando tre diversi protocolli**

Relatore: Chiar.mo Prof Antonio L. T. Gracco
Correlatori: Dott. Alberto De Stefani
Dott. Giovanni Bruno

Laureanda: Canello Alessia

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

INDICE

RIASSUNTO	1
ABSTRACT	3
CAPITOLO 1.....	5
INTRODUZIONE.....	5
1.1 Ortodonzia	5
1.1.1 Malocclusione.....	5
1.1.2 Sei chiavi dell'occlusione di Andrews.....	9
1.1.3 Malocclusioni dentali secondo Angle.....	14
1.1.4 Prevalenza delle malocclusioni	16
1.2 Movimenti ortodontici.....	17
1.2.1 Problemi trasversali.....	21
1.2.2 Espansione mascellare.....	23
1.2.3 Espansione mascellare in pazienti in età prepuberale	23
1.2.4 Espansione mascellare in pazienti adulti	24
1.3 Allineatori	26
1.3.1 Storia	27
1.3.2 Comparazione fra allineatori e apparecchiature fisse tradizionali	29
1.3.3 Comparazione fra allineatori e apparecchiature fisse linguali	34
1.3.4 Materiali	37
1.3.5 Predicibilità dei movimenti ortodontici con allineatori trasparenti	41
1.3.6 Riduzione dei tempi di trattamento.....	45
1.3.7 Ausiliari di trattamento	46
1.3.7.1 Attachment.....	48
1.3.8 Planning digitale	50
1.3.9 Consegna degli allineatori.....	52
1.3.10 Allineatori in pazienti parodontali	53
1.4 Espansione dento-alveolare con allineatori	54
1.4.1 Espansione mascellare con allineatori in dentizione mista.....	56
1.4.2 Espansione mascellare con allineatori in dentizione permanente	57
CAPITOLO 2.....	62
SCOPO DELLO STUDIO	62

CAPITOLO 3	63
MATERIALI E METODI	63
3.1 Selezione del campione di studio	63
3.2 Criteri di inclusione ed esclusione	64
3.3 Timing Operativo e Durata Dello Studio	64
4 Sede e Svolgimento dello Studio	65
4.1 Raccolta dati	65
4.2 Analisi Statistica	67
CAPITOLO 4	68
RISULTATI	68
CAPITOLO 5	71
DISCUSSIONE	71
CAPITOLO 6	75
CONCLUSIONE	75
BIBLIOGRAFIA	76

RIASSUNTO

Background: il trattamento ortodontico con allineatori presenta attualmente una diffusione sempre maggiore nella correzione delle malocclusioni, in quanto è aumentata la richiesta di apparecchiature estetiche da parte dei pazienti, in particolare di quelli adulti e comporta un maggior comfort rispetto alle apparecchiature fisse di tipo tradizionale. Anche se questa soluzione di trattamento è in crescita, in letteratura sono disponibili una quantità limitata di studi che valutano la predicibilità dei movimenti ortodontici utilizzando mascherine trasparenti.

Scopo: lo scopo di questo studio è di valutare la predicibilità di espansione dento-alveolare mascellare. È stato utilizzato il sistema di allineatori trasparenti Spark™ Clear Aligner System con tre diversi protocolli.

Materiali e metodi: sono stati selezionati 40 pazienti adulti in dentizione permanente. È stata inclusa in questo lavoro esclusivamente l'arcata superiore. I pazienti sono stati divisi in tre gruppi in base al tipo di protocollo utilizzato per la gestione dei secondi molari superiori. Il gruppo A di 15 pazienti in cui i secondi molari, durante la programmazione e lo svolgimento del trattamento ortodontico sono stati contratti rispetto alla posizione iniziale; il gruppo B di 10 pazienti in cui i secondi molari sono stati mantenuti fermi durante il movimento di tutti gli altri denti ed il gruppo C di 15 pazienti in cui sono stati espansi i secondi molari durante il movimento degli altri elementi dentari. Per ogni paziente sono state eseguite misurazioni lineari attraverso l'utilizzo del software Viewbox 4 (dHAL software, Kifissia, Greece) nei seguenti elementi:

- Secondi e primi molari: distanza lineare tra le cuspidi mesio-vestibolari, distanza lineare tra i punti di passaggio fra colletto e gengiva;
- Secondi e primi premolari: distanza lineare fra le cuspidi vestibolari;
- Canini: distanza lineare fra le cuspidi.

Tali misure sono state eseguite nei file STL ottenuti dalle scansioni delle arcate dentarie effettuate prima del trattamento ortodontico, della posizione finale dei denti nel trattamento ortodontico programmato e al termine della sequenza programmata di allineatori. I dati sono stati inseriti in Excel (Microsoft Corporation) e l'analisi statistica è stata effettuata con il software R 4.0 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). Per il confronto tra i diversi gruppi è stato eseguito Kruskal-Wallis equality-of-populations rank test, poiché essi non sono normalmente distribuiti. È stato considerato significativo un p-value inferiore a 0.05.

Risultati: dai risultati ottenuti si può osservare come il gruppo A, in cui i settimi sono stati compressi rispetto alla posizione iniziale, presenta valori significativamente inferiori rispetto agli altri gruppi (B e C) poiché il valore di errore non supera mai il valore 1. Nel gruppo B, i valori riguardanti il primo molare sono significativamente inferiori rispetto al gruppo C, a differenza dei due premolari e del canino in cui i valori sono assimilabili.

Conclusioni: attraverso lo studio eseguito, che presenta come limiti la presenza di un campione limitato e la valutazione solo del primo set di aligners, si può convenire che il miglior protocollo per l'espansione dento-alveolare dell'arcata superiore con allineatori trasparenti è il protocollo che prevede contrazione dei secondi molari durante il movimento di espansione dell'arcata del paziente.

ABSTRACT

Background: Orthodontic treatment with clear aligners is increasingly popular for correcting malocclusions, as there is a growing demand for aesthetic appliances, particularly among adult patients. This type of treatment also offers greater comfort compared to traditional fixed appliances. However, there is limited literature available evaluating the predictability of orthodontic tooth movements using clear aligners.

Aim: The aim of this study is to evaluate the predictability of maxillary dental-alveolar expansion using the Spark™ Clear Aligner System with three different protocols.

Materials and Methods: Forty adult patients in permanent dentition were selected for this study. Only the maxillary arch was included. The patients were divided into three groups based on the protocol used for managing the maxillary second molars. Group A consisted of 15 patients in whom the second molars were contracted during the planning and execution of orthodontic treatment. Group B consisted of 10 patients in whom the second molars were kept stationary while the other teeth were moved. Group C consisted of 15 patients in whom the second molars were expanded during the movement of other teeth. Linear measurements were taken for each patient using Viewbox 4 software (dHAL software, Kifissia, Greece) in the following dental elements:

- Second and first molars: linear distance between the mesio-vestibular cusps, linear distance between the gingival margin and the cemento-enamel junction.
- Second and first premolars: linear distance between the vestibular cusps.

- Canines: linear distance between the cusps. These measurements were taken from STL files obtained from dental arch scans before orthodontic treatment, STL files of the planned final tooth positions, and STL files acquired from dental arch scans at the end of the programmed sequence of aligners.

The data were entered into Excel (Microsoft Corporation), and statistical analysis was performed using R 4.0 software (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). A Kruskal-Wallis equality-of-populations rank test was used for comparing the different groups, as the data were not normally distributed. A p-value less than 0.05 was considered significant.

Results: The results showed that Group A, where the second molars were contracted from their initial position, had significantly lower values compared to the other groups (B and C), as the error value never exceeded 1. In Group B, where the second molars were kept stationary, the values for the first molar were significantly lower compared to Group C, while the values for the two premolars and the canine were similar.

Conclusions: Based on this study, which has as limitations the presence of a limited sample and the evaluation of only the first set of aligners, it can be concluded that the optimal protocol for maxillary dental-alveolar expansion with clear aligners is the protocol that involves contraction of the second molars during the arch expansion movement.

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1 Ortodonzia

L'ortodonzia è definita la branca della stomatologia che si occupa della correzione delle malformazioni dei mascellari, delle anomalie di posizione dei denti per il danno che queste alterazioni portano sull'estetica del volto e sulle funzioni della respirazione, della masticazione e della fonazione.

Il trattamento ortodontico mira a correggere la malocclusione, ottenendo un'occlusione corretta in cui la relazione centrica (CR) coincide con l'occlusione centrica (CO), garantendo la stabilità dei risultati nel tempo. Inoltre, si pone grande attenzione all'estetica dentale e facciale, cercando di ottenere un aspetto armonioso del viso e del sorriso, senza trascurare la salute dei denti e delle gengive.

1.1.1 Malocclusione

La prima definizione di "occlusione normale" risale storicamente alla fine del XIX secolo, enunciata da Edward H. Angle, che propose una sua classificazione delle malocclusioni basata sul rapporto posizionale del primo molare permanente superiore con il primo molare permanente inferiore. Si definisce normale l'occlusione in cui gli elementi dentali seguono una disposizione curva armonica e in cui la cuspidè mesiovestibolare del primo molare superiore contatta, in massima intercuspidação, con il solco vestibolare del primo molare inferiore. Le

malocclusioni dentarie sono rappresentate da un anomalo rapporto tra i denti del mascellare superiore e quelli del mascellare inferiore e possono verificarsi nei tre piani dello spazio: verticale, trasversale e sagittale.

Una malocclusione è definita come un'irregolarità dei denti o una scorretta relazione delle arcate dentarie al di là di ciò che è accettato come normale. (1)

Le cause che portano ad avere una malocclusione sono molteplici e possono essere genetiche oppure acquisite.

Si può osservare una forte influenza dell'ereditarietà sui tratti del volto. Infatti, alcuni tipi di malocclusione sono familiari, come la tendenza alla terza classe scheletrica/dentale. In aggiunta alle cause ereditarie sono possibili anche cause specifiche e cause acquisite. (2)

Fra le cause specifiche si annoverano:

- Disturbi nello sviluppo embriologico: molti difetti sono di origine genetica, ma bisogna considerare anche gli effetti ambientali che possono avere ripercussioni sul feto, definiti agenti teratogeni, come il fumo di sigaretta, l'alcol etilico e l'aspirina. Tali agenti hanno un effetto teratogeno se somministrati a dosi minori, mentre effetto letale per il feto quando somministrati in alte dosi.
- Disturbi della crescita nel periodo fetale e perinatale: divisibili in modellamento intrauterino e trauma mandibolare durante il parto. La pressione sul viso in via di sviluppo in fase prenatale può portare alla distorsione delle aree in rapida crescita, come rari casi in cui all'interno dell'utero il braccio è premuto contro il viso causando una grave atrofia mascellare. Tali disturbi rientrano nelle lesioni da parto poiché anche se

avvengono durante la vita intrauterina, sono manifestate solamente al momento del parto. Inoltre, in alcuni parti complessi l'uso di pinze sulla testa per assistere il parto potrebbe danneggiare una o entrambe le articolazioni temporo-mandibolari. Tale teoria si basava sulla credenza che le cartilagini delle articolazioni fossero dei centri di crescita essenziali per la mandibola. Alla luce delle attuali conoscenze sul fatto che la cartilagine condilare non è fondamentale per la corretta crescita della mandibola, non è facile attribuire il sottosviluppo della mandibola alle lesioni congenite.

- Deformazioni progressive nell'infanzia: suddivisibile in fratture mascellari e disfunzione muscolare. Nelle frequenti cadute e urti dell'infanzia, il collo del condilo della mandibola è particolarmente vulnerabile e le fratture di quest'area sono relativamente comuni nei bambini. Il processo condilare tende a rigenerarsi bene dopo le prime fratture. I migliori dati suggeriscono che circa il 75% dei bambini con fratture precoci del condilo hanno in seguito una crescita mandibolare normale e quindi non sviluppano malocclusioni che non avrebbero avuto in assenza di tale trauma. Le fratture condilari unilaterali sono molto più frequenti di quelle bilaterali. Quando si verifica un problema a seguito di una frattura condilare, di solito si tratta di un deficit di crescita asimmetrico dal lato della frattura. Un'altra causa è la disfunzione muscolare poiché la muscolatura è una parte importante dei tessuti molli, la cui crescita normalmente porta i mascellari verso il basso e avanti. La perdita di parte della muscolatura è più probabile che derivi da danni al nervo motorio. In questo caso si avrà un sottosviluppo sia dei tessuti molli che dei tessuti duri. Inoltre, un'eccessiva

contrazione muscolare può limitare la crescita più o meno allo stesso modo delle cicatrici dopo un infortunio, risultando in un'asimmetria facciale con minor crescita dal lato coinvolto.

- Disturbi dello sviluppo dentale: agenesie dentali congenite, elementi dentari sovranumerari e/o malformati e spostamento traumatico degli elementi. (3)

Fra le cause acquisite si annoverano:

- Perdita prematura degli elementi decidui: fra i ruoli di tali elementi bisogna ricordare anche l'ausilio meccanico che danno nello sviluppo del processo alveolare, oltre a mantenere lo spazio per poter far erompere i denti permanenti una volta completata l'esfoliazione del corrispettivo deciduo.
- Permanenza per un tempo superiore al necessario degli elementi decidui: può comportare l'insorgenza di una malocclusione per mancata eruzione oppure eruzione in una posizione ectopica o scorretta del permanente sottostante.
- Perdita di denti permanenti: può avvenire una chiusura dello spazio estrattivo attraverso un'inclinazione delle corone degli elementi adiacenti che porta ad una intercuspidação errata fra le due arcate.
- Abitudini viziate: come deglutizione atipica o succhiare il dito e/o il *ciuccio* per un tempo lungo e in modo costante. Ciò può portare ad un cambiamento della forma del palato che a sua volta porta alla formazione di morso aperto e disallineamento dentale. Fra le abitudini viziate può comparire anche la respirazione orale, che comporta un minore sviluppo

delle vie aeree nasali ed un disequilibrio delle forze presenti a livello muscolare del cavo orale. (3–6)

Le malocclusioni possono provocare una serie di problemi per il paziente, tra cui:

- Problemi funzionali: le malocclusioni possono causare dolore, incoordinazione muscolare, disturbi articolari, difficoltà nella masticazione e problemi nella deglutizione o fonazione.
- Problemi estetici: le malocclusioni possono influire sull'estetica del sorriso, portando a alterazioni visibili e persino a asimmetrie facciali.
- Problemi psico-sociali: le malocclusioni gravi possono causare disagio psicologico e avere un impatto negativo sulla vita sociale del paziente.
- Problemi odontoiatrici: i denti mal posizionati possono aumentare il rischio di traumi, carie e malattia parodontale se il paziente non segue adeguatamente le norme di igiene orale.

1.1.2 Sei chiavi dell'occlusione di Andrews

Nel 1972 sono state redatte le sei chiavi dell'occlusione ideale da parte di Andrews, a partire dalla valutazione di 120 pazienti non ortodontici che presentavano un'occlusione definita normale. Esse sono state ritenute significative non solo perché presenti in ognuno dei 120 soggetti normali non ortodontici, ma anche perché la mancanza di una di esse era predittiva di un trattamento ortodontico incompleto.

Le sei chiavi sono:

- *Rapporto molare*: la superficie distale della cuspid distobuccale dei primi molari permanenti superiori occlude con la superficie mesiale delle cuspidi

mesiobuccali dei secondi molari permanenti inferiori. La cuspidate mesiobuccale dei primi molari permanenti superiori contatta con il solco tra le cuspidate mesiale e media dei primi molari permanenti inferiori.

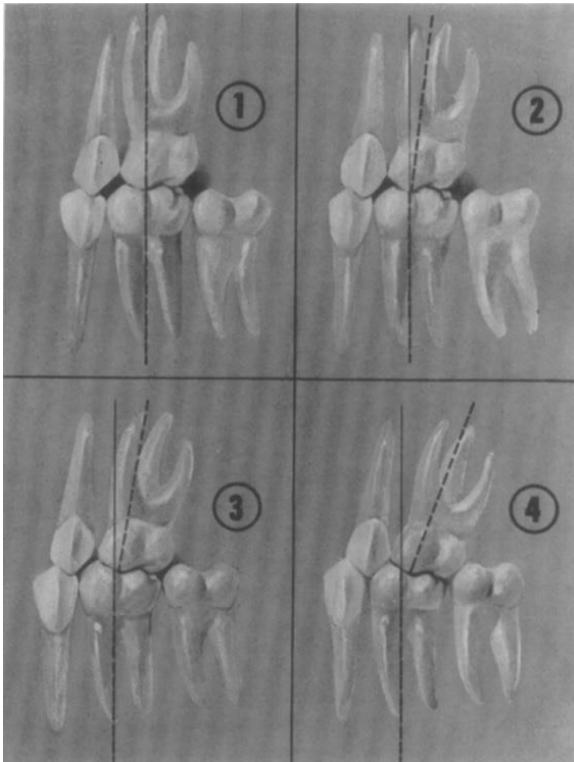


Figura 1: 1 relazione molare impropria; 2 e 3 relazione molare migliorata; relazione molare adeguata.

- *Inclinazione mesio-distale delle corone:* la porzione gengivale dell'asse lungo della corona di ciascun dente è distale alla porzione oclusale. Il grado di questa "inclinazione mesiale" dipende dal tipo di dente.

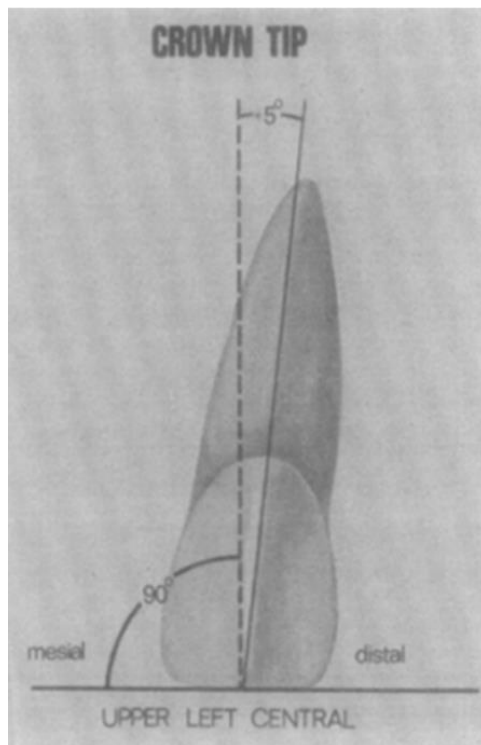


Figura 2: inclinazione mesio-distale dell'elemento 2.1.

- *Inclinazione vestibolo-linguale delle corone:* Gli assi degli incisivi superiori e inferiori sono inclinati vestibolarmente di un grado sufficiente a resistere alla sovraeruzione dei loro antagonisti. L'inclinazione labiale permette l'adeguato posizionamento distale dei punti di contatto dei denti superiori in relazione ai rispettivi punti di contatto dei loro antagonisti mandibolari, permettendo un'occlusione ideale delle corone posteriori. Gli elementi dentali posteriori, sia superiori che inferiori hanno un'inclinazione della

corona verso il lato linguale simile, che aumenta progressivamente passando dai canini ai secondi molari.

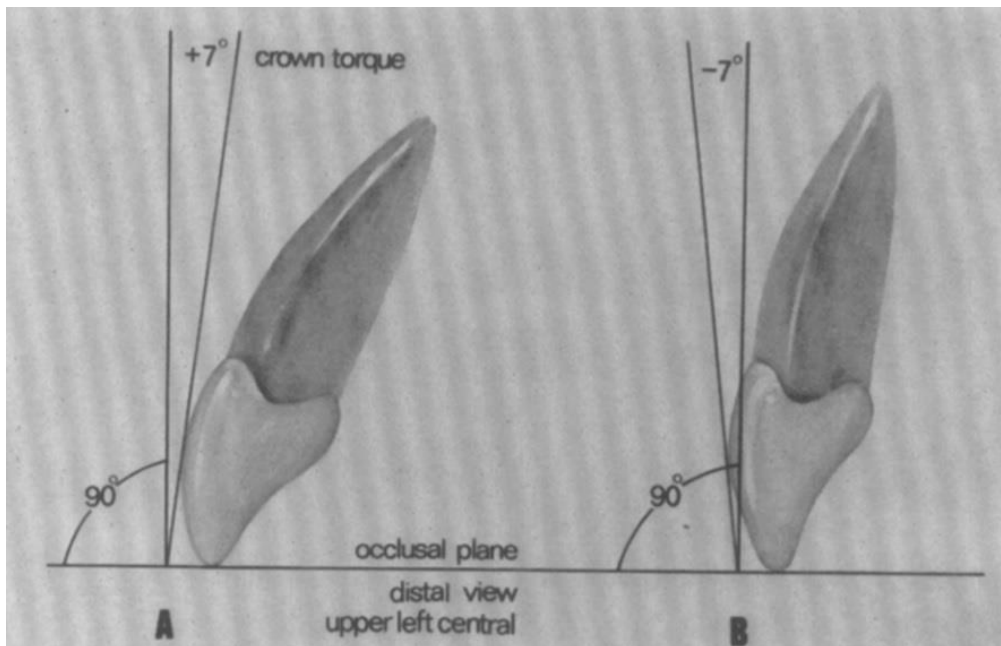


Figura 3: inclinazione vestibolo-linguale dell'elemento 2.1.

- Assenza di rotazioni sull'asse lungo degli elementi dentali sia superiori che inferiori.

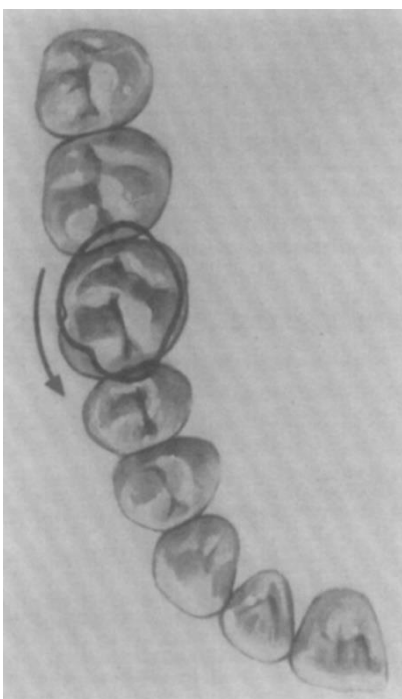


Figura 4: la rotazione dell'elemento 4.6 comporta la necessità di maggior spazio in arcata.

- *Rapporti di contiguità:* gli elementi dentali delle due arcate non presentano spazi ma sono giustapposti, presentando punti di contatto con l'elemento mesiale e distale (fatta eccezione per i terzi molari).
- *Piano oclusale:* Il piano oclusale è livellato o può essere presente una leggera curva di Spee. (7)

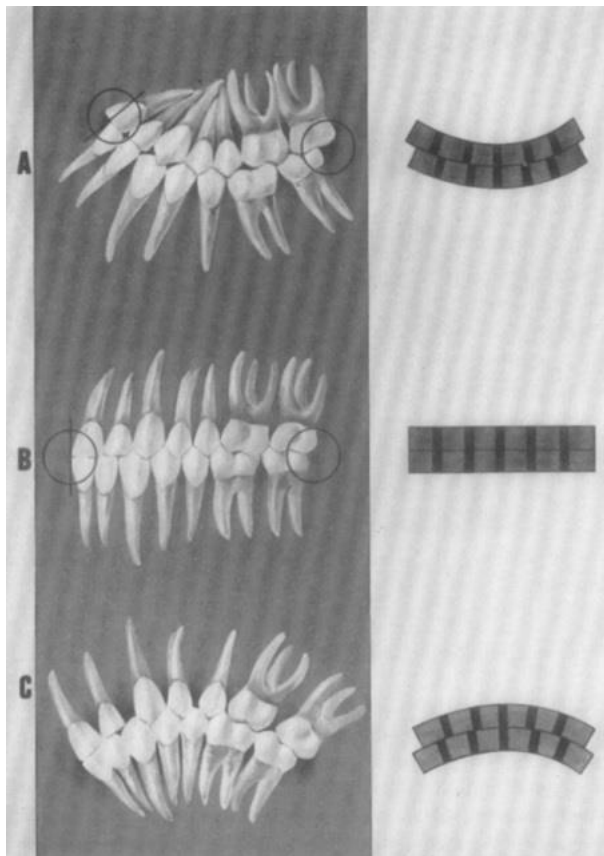


Figura 5: Curva di Spee.

1.1.3 Malocclusioni dentali secondo Angle

Angle propose una classificazione delle malocclusioni suddivisa in quattro gruppi:

- Occlusione di I classe: cuspidate mesiovestibolare del primo molare superiore occlude con il solco vestibolare del primo molare inferiore, gli elementi dentali sono allineati. Oltre alla I classe molare è presente un rapporto di I classe canina, dato dal canino superiore che occlude fra il canino inferiore ed il primo premolare inferiore.

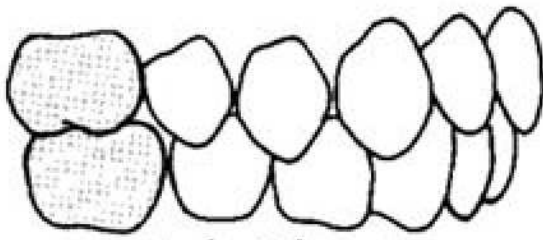


Figura 6: occlusione di I classe.

- Malocclusione di I classe: presenza di I classe molare e I classe canina ma disallineamento dentale.

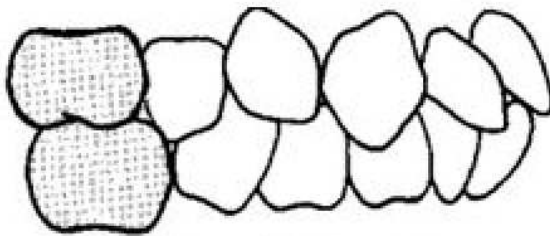


Figura 7: malocclusione di I classe.

- Malocclusione di II classe: gli elementi dentali inferiori occludono distalmente rispetto ad un'occlusione di I classe. All'interno di questa malocclusione si distinguono
 - Divisione 1: gli incisivi superiori sono inclinati vestibolarmente; l'overjet è dunque generalmente aumentato.
 - Divisione 2: gli incisivi centrali superiori sono normoinclinati o palatoversi mentre gli incisivi laterali superiori sono hanno un'inclinazione vestibolare aumentata; non si ha pertanto un aumento dell'overjet ma generalmente questo tipo di malocclusione è accompagnata da aumento dell'overbite.

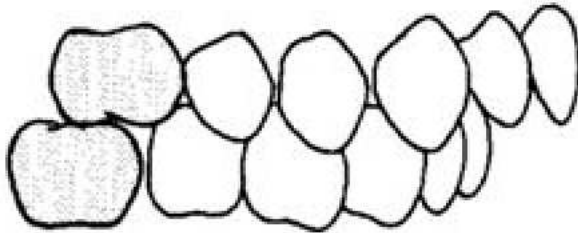


Figura 8: malocclusione di II classe.

- Malocclusione di III classe: gli elementi dentali inferiori occludono mesialmente rispetto ad un'occlusione di I classe.

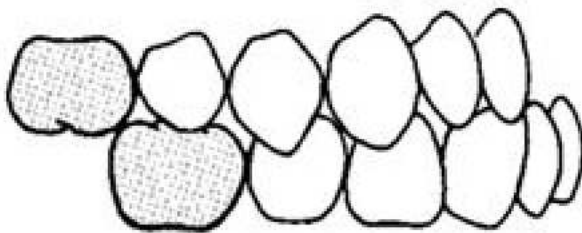


Figura 9: malocclusione di III classe.

Nonostante la classificazione di Angle sia ancora oggi molto utilizzata nella pratica clinica, essa presenta il grande limite di riferirsi esclusivamente al livello dentoalveolare della malocclusione. Essa, infatti, non si occupa né di analizzare i rapporti tra le basi ossee della faccia né di valutare le ripercussioni della posizione dentale sui tessuti molli del viso. ((8)

Di conseguenza, con lo sviluppo dell'ortodonzia i ricercatori hanno proposto classificazioni più dettagliate delle malocclusioni, prendendo in considerazione la tridimensionalità dell'occlusione, la funzione e l'estetica. (9)

1.1.4 Prevalenza delle malocclusioni

La prevalenza mondiale della malocclusione tra i bambini e gli adolescenti è stata del 56% senza differenze di genere rilevanti. Considerando la distribuzione epidemiologica della malocclusione tra i continenti, sono stati riscontrati punteggi percentuali più elevati in Africa, con l'81% e in Europa, con il 71%, seguiti dall'America con il 53% e dall'Asia con il 48%. Secondo i nostri dati, più della metà dei bambini e degli adolescenti nel mondo soffre di una forma di malocclusione. La malocclusione raggiunge la massima prevalenza a livello mondiale nella prima infanzia durante il periodo della dentizione decidua (54%) e si mantiene invariata nella dentizione permanente (54%). (10) (6)

In uno studio del 2020 è stata analizzata la prevalenza delle malocclusioni a livello mondiale. È risultato che nella dentizione permanente, le distribuzioni globali della I Classe, della II Classe e della III Classe dentali sono rispettivamente 74,7%, 19,56% e 5,93%. L'overjet aumentato e inverso è stato registrato rispettivamente nel 20,14% e nel 4,56%. Per quanto riguarda le malocclusioni verticali, l'overbite

aumentato e il morso aperto sono stati osservati rispettivamente nel 21,98% e nel 4,93%. Considerando le discrepanze occlusali trasversali, il morso crociato posteriore ha interessato il 9,39% del campione totale esaminato. Nella dentizione permanente, l'Europa ha mostrato la più alta prevalenza di Classe II e di morso crociato posteriore (33,51% e 13,8%), e la più bassa prevalenza di Classe I (60,38%). (11)

1.2 Movimenti ortodontici

Per quanto concerne i movimenti dentali, ci si riferisce al termine biomeccanica poiché vengono applicate delle forze su un corpo biologico. Oltre alle forze e alle coppie di forze necessarie per spostare un dente, è fondamentale comprendere le risposte fisiologiche dei diversi componenti interessati al fine di ottenere il risultato desiderato e mantenerlo nel tempo. I principali componenti che sono coinvolti nel movimento del dente includono il dente stesso, il legamento parodontale e la porzione di osso in cui è alloggiato.

Il legamento parodontale ha un ruolo cruciale nel trasferimento delle forze applicate al dente e all'osso circostante. Durante il movimento del dente viene sottoposto a tensione e compressione, stimolando le cellule ossee coinvolte nel processo di rimodellamento osseo.

L'osso alveolare è la porzione di osso che circonda e sostiene il dente. Durante il movimento del dente, l'osso alveolare subisce un processo di rimodellamento osseo in risposta alle forze applicate. Questo processo comporta il riassorbimento in prossimità della direzione di spostamento del dente e la deposizione ossea in

prossimità della sua direzione opposta. Ciò consente al dente di spostarsi attraverso l'osso alveolare e di mantenere la sua stabilità nella nuova posizione.

È importante pianificare attentamente le forze applicate e la sequenza dei movimenti dentali per minimizzare i possibili effetti negativi del trattamento ortodontico come il riassorbimento eccessivo dell'osso o delle radici e il sovraccarico del legamento parodontale.

I diversi movimenti ortodontici sono:

- Tip

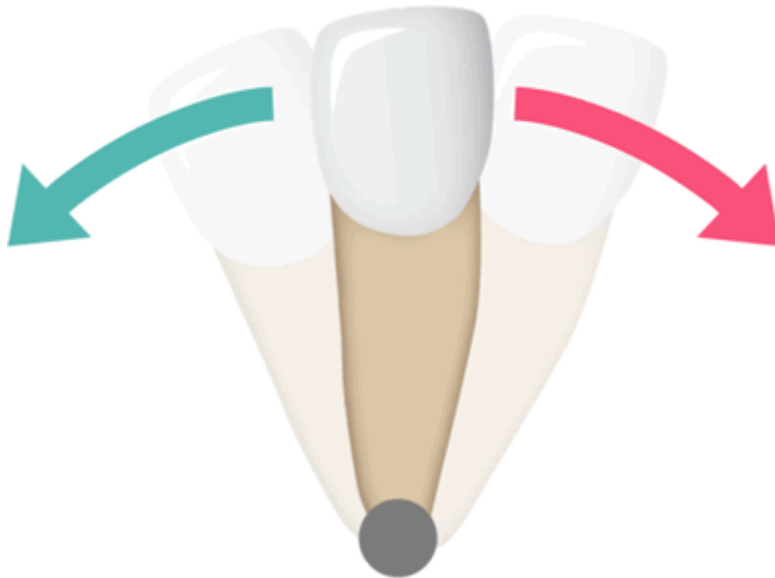


Figura 10: movimento di tip.

Il tipping è il movimento dentale più semplice che si verifica quando una singola forza viene applicata alla corona di un dente. Un tip controllato consente un movimento unidirezionale della corona mentre la radice si muove minimamente nella direzione opposta. Al contrario, un tip incontrollato fa muovere la corona nella direzione della forza, mentre la radice si muove nella direzione opposta.

- Intrusione ed estrusione

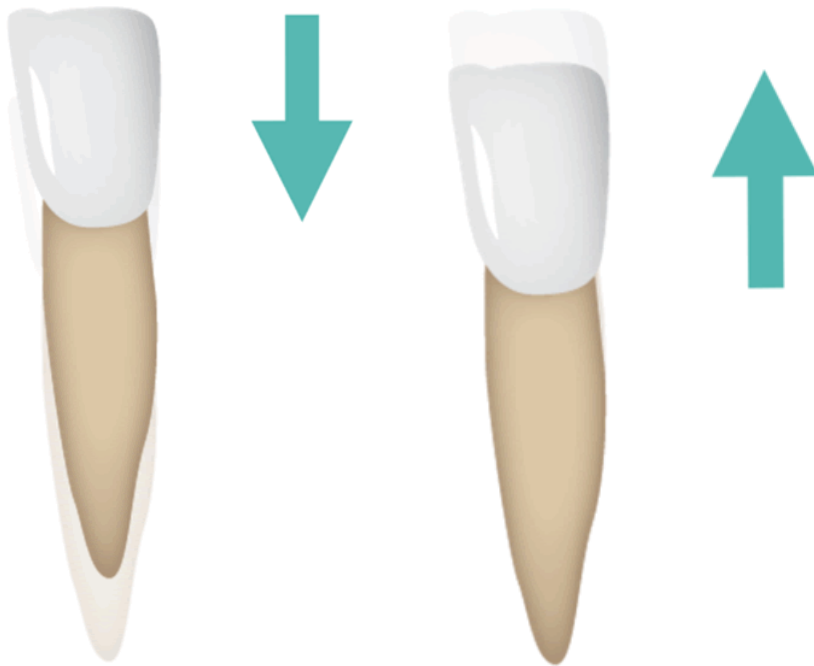


Figura 11: movimento di intrusione ed estrusione.

L'intrusione si verifica quando un dente esegue un movimento in direzione del suo asse lungo apicalmente. Al contrario, l'estrusione è il movimento corporeo di un dente lungo il suo asse lungo verso il piano oclusale.

- Rotazione

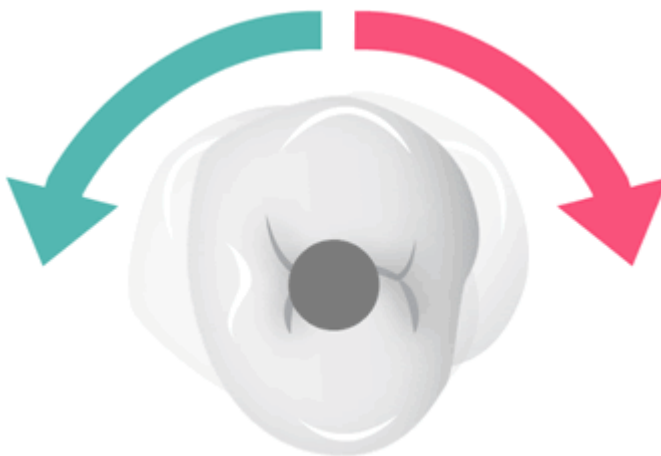


Figura 12: movimento di rotazione.

La correzione ortodontica prevede la correzione dei denti ruotati e il loro corretto allineamento. Ciò avviene attraverso il movimento rotazionale dei denti, che permette ai denti di muoversi vestibolarmente oppure lingualmente/palatalmente intorno al loro asse lungo.

- Torque

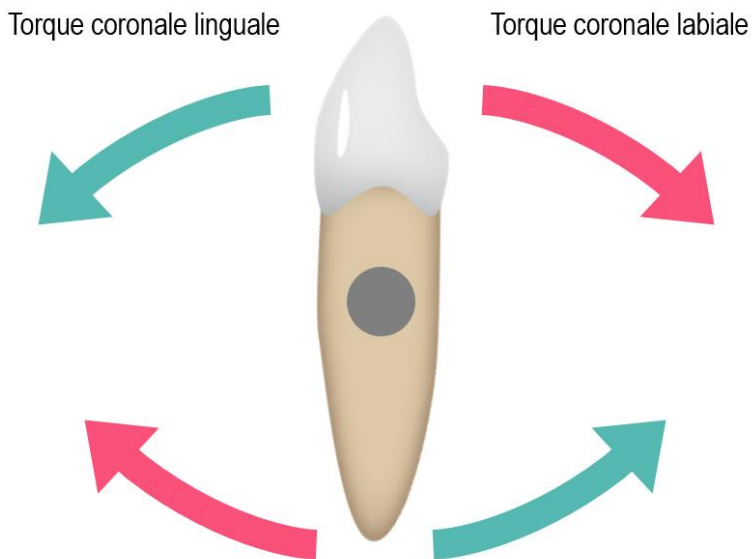


Figura 13: movimento di torque.

Il movimento di torque dei denti consente di controllare le inclinazioni assiali dei denti. Può anche essere considerato un tipo inverso, caratterizzato dal movimento linguale della radice.

- Traslazione

Il movimento corporeo o traslazione dei denti si verifica quando la corona e la radice si spostano di una stessa distanza nella stessa direzione. Questo avviene quando la forza applicata passa attraverso il centro di resistenza del dente. Il

centro di resistenza di un dente con una sola radice si trova tra un terzo e metà della radice, mentre in un dente con più radici si trova tra le radici.

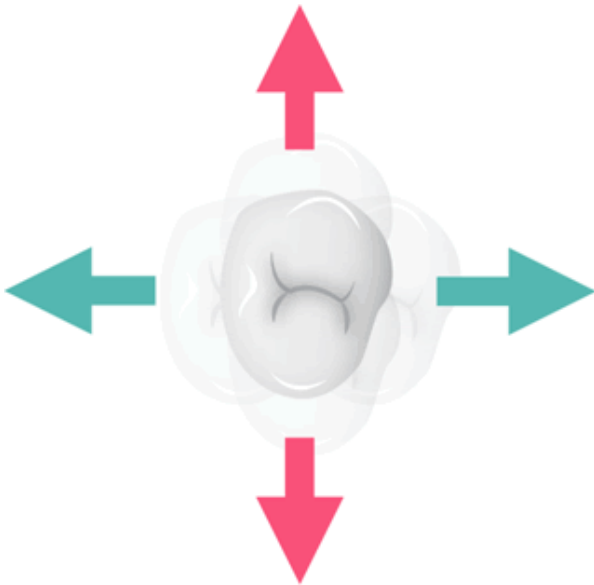


Figura 14: movimento di traslazione.

1.2.1 Problemi trasversali

I problemi trasversali riscontrabili durante un'analisi ortodontica sono la contrazione mascellare e/o la contrazione mandibolare. Si possono riscontrare:

- Crossbite bilaterale in cui i denti dell'arcata superiore occludono lingualmente rispetto ai denti dell'arcata inferiore da entrambi i lati.



Figura 15: crossbite bilaterale.

- Crossbite monolaterale in cui i denti dell'arcata superiore occludono lingualmente rispetto ai denti dell'arcata inferiore da un solo lato.



Figura 16: crossbite monolaterale.

- Morso di Brodie in cui i denti dell'arcata superiore occludono vestibolarmente.



Figura 17: morso di Brodie.

Per poter diagnosticare e classificare un problema trasversale vanno valutati l'ampiezza palatale, l'ampiezza mandibolare, l'ampiezza delle arcate dentarie allo stesso modo della curva di Wilson e delle linee mediane. La contrazione può essere sia di origine scheletrica se riguarda le ossa mascellari o mandibolari, sia di origine dento-alveolare quando le ossa sono della dimensione corretta ma gli elementi dentari presentano un torque lingualizzato.

1.2.2 Espansione mascellare

L'espansione mascellare è un trattamento ortodontico che mira ad ampliare la larghezza del palato. Questa procedura può essere effettuata in diverse fasi della vita, ma è più comune durante l'infanzia e l'adolescenza, quando le ossa sono ancora in fase di crescita e sviluppo.

La correzione della discrepanza trasversale richiede solitamente l'espansione del palato mediante una combinazione di movimenti ortopedici e ortodontici dei denti. Oggi si utilizzano diverse modalità di trattamento dell'espansione nei pazienti in fase di crescita in età prepuberale in cui le suture mascellari non si sono ancora saldate fra loro: l'espansione mascellare rapida (RME, rapid maxillary expansion) e l'espansione mascellare lenta (SME, slow maxillary expansion). Nei pazienti adulti che hanno raggiunto la maturità scheletrica si possono eseguire l'espansione mascellare chirurgicamente assistita oppure un'espansione dento-alveolare nel caso in cui il problema trasversale non sia scheletrico ma dento-alveolare. (13–15)

1.2.3 Espansione mascellare in pazienti in età prepuberale

L'espansione rapida mascellare comporta un minimo movimento dentale (tipping) e un massimo movimento scheletrico. Viene eseguita con apparecchiature che possono ancorarsi ai denti decidui o permanenti, attraverso l'utilizzo di bande, oppure alle ossa mascellari utilizzando delle TADs (Temporary Anchorage Devices).

(16) Quando si applicano forze pesanti e rapide ai denti posteriori, non c'è tempo sufficiente per il movimento dentale e le forze vengono trasferite alle suture.

Quando la forza erogata dall'apparecchio supera il limite necessario per il

movimento ortodontico dei denti e la resistenza suturale, le suture si aprono mentre i denti si muovono solo in minima parte rispetto all'osso di supporto. L'apparecchio comprime il legamento parodontale, piega il processo alveolare, dà tip ai denti di ancoraggio e apre gradualmente la sutura palatale mediana e tutte le altre suture mascellari. L'apertura della sutura palatina mediana è disparallela e triangolare, con la massima apertura in corrispondenza della regione incisiva e che diminuisce gradualmente verso la parte posteriore del palato. Vista frontalmente, la sutura mascellare si separa supero-inferiormente in modo non parallelo. È di forma piramidale con la base della piramide situata sul lato orale dell'osso.

Nei molari mascellari si verifica un tip buccale ed una concomitante estrusione. La mascella posteriore si espande meno facilmente a causa della resistenza prodotta dagli archi zigomatici e dai piatti pterigoidei.

Le procedure di espansione palatale lenta producono una minore resistenza dei tessuti intorno alle strutture mascellari e, quindi, migliorano la formazione ossea nella sutura palatina mediana. È stato riscontrato che l'espansione lenta favorisce una maggiore stabilità post-espansione se viene concesso un adeguato periodo di contenzione. L'apparecchio eroga una forza fisiologica costante fino all'ottenimento dell'espansione richiesta. L'apparecchio è sufficientemente leggero e confortevole da poter essere mantenuto in posizione per un periodo di contenzione sufficiente. (17–24)

1.2.4 Espansione mascellare in pazienti adulti

Con l'avanzare dell'età le suture palatine si saldano ed eseguendo un'espansione rapida mascellare si può incorrere in diverse problematiche quali tipping

vestibolare dei denti posteriori, estrusione dentale, riassorbimento della radice buccale, fenestrazione della parete buccale, necrosi della mucosa palatale, incapacità di aprire la sutura mesio-palatina, dolore e l'instabilità dell'espansione. Per ovviare a tali effetti indesiderati, nei pazienti adulti, si possono prendere in considerazione tecniche chirurgicamente assistite quali l'espansione chirurgicamente assistita (SARPE, Surgically assisted rapid palatal expansion).

Le indicazioni per l'espansione chirurgica sono:

- Allargare l'arcata
- Correzione del morso crociato posteriore quando è necessaria un'espansione di grandi dimensioni (>7 mm) per evitare il potenziale aumento del rischio di osteotomie segmentali. Le metà mascellari vengono poi separate e mantenute nella nuova posizione. Prima dell'intervento, il trattamento ortodontico prevede lo spostamento delle radici degli incisivi centrali mascellari per migliorare l'accesso chirurgico al sito dell'osteotomia. (25)
- Fornire spazio nel caso in cui sia presente affollamento quando le estrazioni non sono indicate.
- Ridurre ampi corridoi buccali neri osservabili quando il paziente sorride.

Le apparecchiature fisse vengono principalmente utilizzate per la SARPE, poiché le apparecchiature mobili non sono raccomandate perché sono efficaci solo nella dentizione decidua o mista precoce. Inoltre, le apparecchiature mobili non hanno una ritenzione e una stabilità sufficienti per l'uso intraoperatorio e postoperatorio. Le complicanze associate alla SARPE riportate in letteratura includono emorragia significativa, recessione gengivale, riassorbimento radicolare, lesione dei rami del

nervo mascellare, infezione, dolore, problemi parodontali, infezione del seno mascellare, estrusione dei denti ancorati all'apparecchio, recidiva ed espansione unilaterale. (26)

1.3 Allineatori

L'ortodonzia con allineatori, nota anche come trattamento ortodontico invisibile, ha rivoluzionato il campo dell'ortodonzia consentendo al clinico di correggere la maggior parte delle malocclusioni in modo discreto ed efficace. Questo innovativo approccio al trattamento ortodontico utilizza una serie di mascherine trasparenti e rimovibili, chiamate allineatori, per spostare gradualmente i denti nella posizione desiderata.

Negli ultimi decenni, l'ortodonzia con allineatori ha guadagnato popolarità grazie ai notevoli progressi nella tecnologia dei materiali e delle tecniche di produzione. Questo ha reso possibile la produzione su larga scala di allineatori customizzati che si adattano perfettamente alla bocca di ogni paziente, garantendo una maggiore precisione e risultati ottimali nel trattamento ortodontico.

L'obiettivo principale dell'ortodonzia con allineatori è quello di correggere i difetti dentali. Ogni paziente riceve un piano di trattamento personalizzato, che prevede la sostituzione degli allineatori ogni due settimane circa. Ogni nuovo set di allineatori, progressivamente adattati alla posizione desiderata dei denti, sposta i denti in modo graduale e controllato.

Uno dei principali vantaggi dell'ortodonzia con allineatori è la sua natura invisibile.

(27) Gli allineatori trasparenti sono praticamente invisibili quando indossati, consentendo ai pazienti di sorridere e parlare senza timore di mostrare

apparecchiature ortodontiche tradizionali. Questo rende il trattamento ortodontico con allineatori particolarmente popolare tra gli adulti e gli adolescenti che desiderano un approccio più discreto per correggere i loro difetti di occlusione.

Oltre alla loro natura invisibile, gli allineatori offrono anche altri vantaggi rispetto ai dispositivi ortodontici tradizionali. Poiché sono rimovibili, i pazienti possono mangiare liberamente e pulire i denti senza restrizioni, il che contribuisce a una migliore igiene orale durante il trattamento. Gli allineatori rimovibili sono anche più comodi rispetto ai dispositivi tradizionali, poiché non causano sfregamenti o lesioni delle gengive e delle mucose orali.

1.3.1 Storia

La storia degli allineatori trasparenti può essere ricondotta al 1945, quando il dottor H. D. Kesling propose per la prima volta un apparecchio trasparente per il posizionamento dei denti mediante una tecnica di aspirazione sottovuoto per piccoli spostamenti dentali. Si trattava di un processo laborioso che richiedeva il riposizionamento manuale dei denti in cera e la creazione di un dispositivo trasparente per ogni fase di movimento dei denti fino al raggiungimento dell'allineamento desiderato. Questa tecnica permetteva solo piccoli aggiustamenti dentali, ma l'alto livello di lavoro richiesto ne precludeva l'utilizzo su larga scala, soprattutto per la correzione di malocclusioni più complesse.

Sulla base delle idee di Kesling, negli anni '60 è stata sviluppata una nuova macchina in grado di modificare i materiali termoplastici sotto pressione o sottovuoto. Nel 1969 è stato commercializzato un nuovo materiale elastico

trasparente che poteva essere utilizzato con questa macchina chiamata Biostar. Da quel momento il positioner è diventato un apparecchio ampiamente utilizzato per la rifinitura e la contenzione.

Nel 1971, Ponitz ha introdotto un dispositivo simile chiamato "Reitaner Invisibile", ma era in grado di realizzare solo piccoli movimenti dentali.

Nel 1974, Modlin ha proposto una procedura innovativa chiamata "stripping" per correggere affollamenti e rotazioni lievi. Questa procedura prevedeva la creazione di spazi tra i denti prima di utilizzare una mascherina di bachelite rigida e trasparente chiamata "Omnivac Machine" per ottenere piccoli movimenti dentali.

Nel 1993, sono stati introdotti i Retainer "Essix", che erano contenzioni estetiche, economiche e confortevoli per il paziente. Questi retainer erano realizzati con materiale termoplastico e coprivano i denti da canino a canino.

Nel 1994, sono stati modificati gli Essix per creare veri e propri dispositivi ortodontici. Tuttavia, il limite principale nell'uso delle mascherine terapeutiche prima dell'avvento di Invisalign® era la necessità di un set-up manuale in laboratorio.

Solamente nel 1997, due studenti universitari di Stanford applicarono la grafica tridimensionale (3D) al campo dell'ortodonzia, creando così il primo sistema di allineatori trasparenti personalizzati prodotti in serie al mondo. Questa nuova tecnologia rivoluzionò il mondo della odontoiatria e dell'ortodonzia, portandoli nel ventunesimo secolo.

Gli allineatori trasparenti sono già evoluti da quando sono stati introdotti sul mercato nel 1999. Inizialmente per ogni caso clinico veniva eseguita una programmazione virtuale a seguito di cui venivano stampati i modelli delle arcate

dentarie di ogni fase e termopressato l'allineatore. Adesso le nuove tecnologie di stampa 3D permettono la stampa diretta degli aligners.

Nei primi giorni degli allineatori trasparenti, la maggior parte degli specialisti li considerava come un apparecchio ortodontico adatto al trattamento dei casi di Classe I con leggero affollamento, risolvibile principalmente con riduzione interprossimale (IPR). Oggi, gli allineatori trasparenti di Align Technology sono realizzati con un nuovo materiale plastico tripolare e utilizzano attachments ottimizzati. (28,29)



Figura 18: allineatore Invisalign®.

1.3.2 Comparazione fra allineatori e apparecchiature fisse tradizionali

Gli allineatori trasparenti sono particolarmente adatti a trattare alcune malocclusioni in modo più efficiente rispetto agli apparecchi fissi, offrendo un migliore controllo verticale.

Un aspetto fondamentale che differenzia il modo in cui un apparecchio fisso sposta i denti rispetto agli allineatori trasparenti è che esercita una trazione sui denti, mentre gli allineatori trasparenti esercitano una spinta.

La forza esercitata sul dente dipende dalla flessibilità del filo arcata e dalla quantità di deflessione che avviene per agganciare il dente. Analogamente, durante la chiusura di uno spazio mediante l'uso di apparecchi fissi, una catenella elastica si contrae e ritorna alla sua forma originale, facendo avvicinare i denti grazie alla chiusura degli spazi.

Al contrario, gli allineatori trasparenti spostano i denti applicando una forza di spinta. Quando un allineatore viene posizionato, si creano piccole differenze tra le posizioni dei denti all'interno della bocca e le posizioni dei denti nell'allineatore. L'allineatore si adatta ai denti e l'elasticità del materiale spinge i denti verso la posizione desiderata. Gli attachments ottimizzati forniscono una superficie maggiore, piana e attiva, su cui l'allineatore può esercitare una spinta per ottenere movimenti dentali come la rotazione.

Nella tecnica con apparecchiature fisse, un arco più spesso e rigido garantisce una miglior interfaccia arcata-apparecchio. La serie di archi utilizzati per il trattamento ortodontico inizia con fili rotondi e flessibili con un'ampia gamma di azione e grande elasticità, passando poi a fili rigidi e rettangolari in acciaio inossidabile. In un arco con dimensioni simili a quelle dello slot del bracket, i dettagli come il tip, il torque e l'in-out sono espressi in modo più completo.

D'altra parte, gli allineatori trasparenti esprimono le loro informazioni grazie al contatto che si crea fra la superficie della corona del dente e l'allineatore stesso. avvolge. Un maggior contatto tra il materiale ed il dente garantisce una miglior espressione dei movimenti che devono essere eseguiti. Nei denti con corone cliniche lunghe e una superficie più ampia, si ottiene un miglior contatto e quindi

un migliore movimento dentale. Al contrario, nei denti con corone cliniche corte e una superficie minore, il contatto è minore e il movimento dentale è ridotto. Per aumentare il contatto degli allineatori sui denti con morfologia ridotta, è possibile posizionare un attachment sul dente, aumentando la superficie del dente e quindi il contatto dell'allineatore.

Allo stesso modo, nei casi in cui è prevista una distalizzazione sequenziale, è essenziale registrare la superficie distale del dente più esterno dell'arcata in modo che l'allineatore possa garantire un completo contatto per spostarlo in posizione distale.

Negli apparecchi ortodontici fissi, l'ancoraggio reciproco è il modello di ancoraggio più comune e si basa sulla terza legge di Newton: "Per ogni azione c'è una reazione uguale e contraria", cioè un gruppo di denti funge da unità di ancoraggio per un altro gruppo di denti.

Nel trattamento con allineatori trasparenti, i segmenti di ancoraggio possono essere definiti inizialmente e possono cambiare nelle diverse fasi del trattamento. Gli allineatori trasparenti offrono un ottimo controllo dell'ancoraggio poiché i denti di ancoraggio possono essere resi immobili in diverse fasi del trattamento.

(28)

Concentrandosi sui singoli movimenti, con gli apparecchi fissi tradizionali è relativamente semplice eseguire l'estrusione di un singolo elemento, anche se essendo i denti collegati fra loro dall'arco, sono presenti movimenti uguali e contrari dei denti adiacenti che perciò tendono ad intrudere. Utilizzando nelle fasi finali archi più rigidi l'arcata tornerà a livellarsi correttamente. L'estrusione di un

singolo dente può essere un movimento dentale moderatamente difficile da realizzare con gli allineatori trasparenti, a seconda dell'entità dell'estrusione richiesta. A volte, per facilitare l'estrusione di un singolo dente, potrebbe essere necessario utilizzare ulteriori trattamenti ausiliari come bottoni ed elastici. Tuttavia, l'estrusione di gruppi di denti, ad esempio quando gli incisivi mascellari vengono estrusi per chiudere un morso aperto anteriore, può essere eseguita con successo utilizzando gli allineatori trasparenti.

Negli apparecchi fissi edgewise, le arcate dentali vengono livellate attraverso un'intrusione relativa con curve inverse dell'arco. Quando i denti anteriori si intrudono, si verifica una concomitante estrusione dei denti posteriori. Nel trattamento con allineatori trasparenti si può procedere all'intrusione selettiva di singoli denti per correggere un'inclinazione oclusale o livellare i margini gengivali. Se lo si desidera, ciò può essere eseguito senza la contemporanea estrusione dei segmenti posteriori. Di conseguenza, gli allineatori trasparenti offrono un ottimo controllo verticale.

Negli apparecchi ortodontici fissi, l'informazione del torque è all'interno dello slot del bracket. La quantità di torque espressa è correlata alla dimensione del filo dell'arco e alle caratteristiche dello slot del bracket. Esistono prescrizioni di torque diverse per i vari sistemi di bracket.

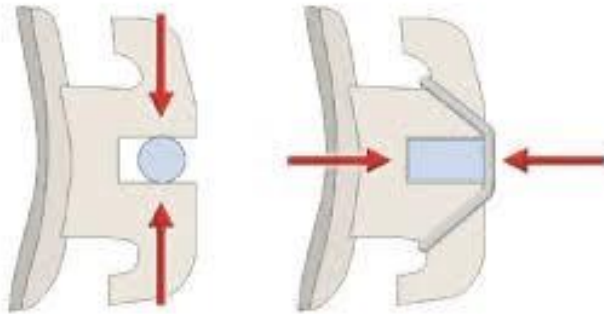


Figura 19: interazione fra slot del bracket e arco ortodontico.

Un torque aggiuntivo può essere apportato effettuando delle pieghe di terzo ordine nell'arco. Tuttavia, quando c'è una differenza di dimensioni tra il filo e lo slot del bracket, il filo ha un angolo di libertà di movimento all'interno dello slot stesso. Questo gioco tra lo slot del bracket e l'arco è responsabile del fatto che la coppia effettiva espressa sarà sempre inferiore alla coppia prescritta in un sistema di apparecchi fissi. Il torque incisivo nell'occlusione finita può essere predeterminato per i singoli pazienti in base alla malocclusione iniziale, all'occlusione finale desiderata e al supporto labiale dei tessuti molli. Inoltre, gli allineatori trasparenti sono molto efficienti nella gestione del torque incisivo.

Tuttavia, come per gli apparecchi fissi, esiste un elemento di gioco tra l'allineatore e i denti, che rende il torque effettivo espresso clinicamente inferiore a quello prescritto. Pertanto, nei casi di estrazione in cui si prevede una certa perdita di torque incisivo, il software dovrebbe prevedere un torque aggiuntivo nell'occlusione finale.

Allo stesso modo, anche l'informazione del tip negli apparecchi è incorporato nello slot del bracket. Se è necessario un ulteriore aggiustamento del tip radicolare, si possono realizzare anche delle pieghe sull'arco. Anche in questo caso, può esserci un certo gioco tra lo slot e l'arco che preclude l'espressione completa del tip stesso. Nel trattamento con allineatori trasparenti, gli attachments ottimizzati per il controllo radicolare offrono il controllo delle inclinazioni radicolari. Gli attachments rettangolari lunghi e verticali offrono anch'essi il controllo delle inclinazioni radicolari. (30–32)

1.3.3 Comparazione fra allineatori e apparecchiature fisse linguali

Un'alternativa al trattamento ortodontico fisso vestibolare è data dalle apparecchiature fisse linguali che offrono il massimo dell'estetica grazie al bonding dei brackets direttamente alla superficie linguale dei denti.

Allo stesso modo del trattamento con allineatori, si è osservato come l'età media dei pazienti che richiedono un trattamento linguale, perciò estetico, è maggiore rispetto a quella dei pazienti che vanno incontro a trattamento con apparecchiature fisse vestibolari tradizionali. Ciò indica che i pazienti più anziani tendono a preferire apparecchiature più estetiche e/o che possono permettersi un trattamento con allineatori o linguale che sono economicamente più costosi rispetto ai trattamenti vestibolari.

Si tratta però di apparecchiature che non garantiscono lo stesso comfort al paziente dato dagli allineatori. Infatti, i pazienti riferiscono problemi differenti, tra cui alterazioni del linguaggio, indolenzimento della lingua, difficoltà a mantenere l'igiene orale e a rimuovere il cibo incastrato tra i brackets.

I brackets linguali alterano la morfologia della superficie linguale e della seconda zona di articolazione, causando difficoltà nell'esecuzione del discorso, in particolare per quanto riguarda i suoni "s" e "t". Sia i pazienti che i logopedisti ritengono che il linguaggio sia più scadente con le apparecchiature linguali, e la maggior parte, ma non tutti, superano i problemi di linguaggio con il debond. I sistemi di apparecchiature linguali più recenti, realizzati su misura per adattarsi alla superficie di un singolo dente, tendono a incorporare un bracket meno ingombrante. È stato dimostrato che ciò produce meno problemi di restrizione della lingua, disturbi del linguaggio e alterazioni della masticazione e del morso.

Questa tecnica è particolarmente adatta per i pazienti che presentano lieve affollamento degli incisivi e/o un deep bite anteriore accentuato. Inoltre, i pazienti con una superficie dentale linguale uniforme, senza otturazioni, corone o ponti, possono trarre vantaggio dall'ortodonzia linguale. È importante che il paziente abbia una buona salute parodontale e sia motivato e collaborante nel seguire il trattamento. La capacità del paziente di aprire adeguatamente la bocca ed estendere il collo è anche un fattore importante da considerare.

Passando ai casi sfavorevoli per l'ortodonzia linguale, sono presenti situazioni in cui le superfici linguali dei denti sono corte, usurate o irregolari. Inoltre, un'ortodonzia linguale può essere problematica per i pazienti con numerosi elementi dentali con otturazioni estese. Se il paziente ha limitate capacità di aprire la bocca, l'ortodonzia linguale potrebbe non essere la scelta migliore. Allo stesso modo, i pazienti con anchilosi cervicali o problemi al collo potrebbero non essere candidati adatti per questo tipo di trattamento, come i pazienti con denti non completamente erotti.

Uno dei principali vantaggi del trattamento linguale è l'aspetto estetico. Le apparecchiature ortodontiche linguali sono praticamente invisibili quando si sorride e parla. Inoltre, il design degli attacchi utilizzati nell'ortodonzia linguale può aiutare nell'apertura del morso e nell'intrusione dei denti. Questo significa che è possibile correggere problemi di morso profondo o denti che sono eccessivamente estrusi. In aggiunta, esistono sistemi di posizionamento precisi degli attacchi che garantiscono una correzione accurata e mirata.

Un altro vantaggio importante è la ridotta incidenza di white spots rispetto alla terapia labiale. Le lesioni di white spots, che possono verificarsi attorno agli attacchi ortodontici tradizionali, sono meno comuni con l'ortodonzia linguale. Ciò contribuisce a preservare l'integrità dello smalto e a migliorare l'estetica del sorriso.

L'ortodonzia linguale è anche un trattamento altamente adattabile. Questa flessibilità consente all'ortodontista di personalizzare il trattamento in base alle esigenze specifiche di ciascun paziente.

Passando agli svantaggi dell'ortodonzia linguale, è importante considerare il costo e la necessità di un coinvolgimento di laboratorio. Le apparecchiature ortodontiche linguali possono essere più costosi rispetto alle apparecchiature tradizionali, in quanto richiedono un maggiore lavoro di laboratorio per la creazione degli attacchi personalizzati.

L'accesso e la visualizzazione diretta per l'operatore possono essere limitati rispetto alla terapia labiale. La posizione degli attacchi sul lato interno dei denti può rendere più difficile per l'ortodontista vedere e lavorare sui brackets stessi.

Un altro svantaggio da considerare è l'impatto che le apparecchiature ortodontiche linguali possono avere sulla pronuncia di alcuni suoni e il periodo di tempo richiesto per abituarsi a parlare correttamente, come analizzato in precedenza.

La scomodità e il fastidio sono anche svantaggi comuni. Alcuni pazienti possono sperimentare dolore o sensibilità alla lingua e alle gengive a causa del contatto con gli attacchi e l'attrito con il tessuto orale. Tuttavia, è importante sottolineare che questi sintomi di solito diminuiscono nel tempo e possono essere gestiti con l'aiuto dell'ortodontista. Inoltre, è stato visto come i pazienti linguali hanno avuto un tempo di recupero notevolmente più lungo rispetto ai pazienti trattati vestibolari e con allineatori per la maggior parte dei parametri: difficoltà nel parlare, la limitazione o mancanza nel mangiare, i disturbi nella scuola/lavoro. (33,34)

Infine, la difficoltà nel mantenere l'igiene orale è un altro aspetto da considerare. Le apparecchiature ortodontiche linguali possono rendere più complesso il processo di spazzolamento e l'utilizzo del filo interdentale. (35–39)

1.3.4 Materiali

La produzione in larga scala di allineatori che siano accurati dal punto di vista dimensionale e personalizzati è diventata possibile grazie alle moderne tecnologie di scansione e automazione disponibili oggi. Tradizionalmente, la maggior parte degli apparecchi ortodontici rimovibili, inclusi i retainers, venivano realizzati utilizzando modelli di riferimento in gesso, dove i singoli denti venivano riposizionati manualmente utilizzando la cera. Ad esempio, un apparecchio ortodontico come Invisalign richiede una sequenza variabile di allineatori che nei

casi semplici può essere di 6 allineatori fino ai casi più complessi che possono richiederne anche 40. La realizzazione manuale di un numero così elevato di apparecchi sarebbe proibitiva e difficile da mantenere con l'accuratezza richiesta (Kuo e Miller, 2003). Tuttavia, Align Technology utilizza la tecnologia della stereolitografia per creare i propri modelli di riferimento, rendendo il settore ortodontico il primo ad adottare la produzione digitale su richiesta per scopi commerciali.

La stereolitografia è un processo di fabbricazione additiva che consente di realizzare pezzi a partire da un file CAD. Questa tecnologia è particolarmente utile in campo biomedico, in quanto consente di produrre modelli o impianti specifici per il paziente utilizzando dati provenienti da scansioni, come risonanza magnetica o tomografia. Ogni set di allineatori inizia con una serie di modelli positivi realizzati in resina plastica fotoattivata. Questi modelli positivi vengono successivamente trasformati negli allineatori trasparenti rimovibili.

Il processo di produzione degli oggetti 3D mediante stereolitografia si basa sulla solidificazione spazialmente controllata di una resina liquida tramite fotopolimerizzazione. Utilizzando un raggio laser o un proiettore di luce digitale controllati da un computer, il modello viene illuminato sulla superficie di una resina, facendo solidificare la resina del disegno a una profondità definita e aderendo a una piattaforma di supporto. Dopo la fotopolimerizzazione del primo strato, la piattaforma viene rimossa dalla superficie e uno strato successivo viene ricoperto di resina liquida e polimerizzato per creare un nuovo strato del modello.

(40)

Per quanto riguarda le diverse tecniche di scansione, nella scansione laser viene creato un modello positivo che riflette la luce laser, e il modello di dispersione risultante viene catturato da un sensore ottico per ricostruire la forma originale tramite algoritmi matematici. Questa tecnica è relativamente economica, ma il processo è lento e la risoluzione è limitata a circa 300 micron. È possibile scansionare solo un oggetto alla volta, il che limita il numero di modelli che possono essere elaborati al giorno. La scansione laser non può essere utilizzata per scansionare direttamente le impronte, a causa delle superfici nascoste create dai sottosquadri dell'impronta che sono inaccessibili al raggio laser.

La scansione distruttiva prevede la creazione di un modello positivo racchiuso in una resina di contrasto, seguita dalla rimozione incrementale di fette sottili dell'oggetto incassato utilizzando una fresa a controllo numerico computerizzato. Dopo la rimozione di ciascun incremento, viene acquisita un'immagine digitale dell'area esposta, e gli strati scansionati vengono combinati elettronicamente per ricostruire la geometria originale. Questa tecnica di scansione è precisa fino a circa 50 micron, ma distrugge l'oggetto nel processo. È possibile incapsulare molti oggetti insieme per una maggiore efficienza durante la scansione distruttiva.

Infine, la scansione TC (tomografia computerizzata) coinvolge l'acquisizione di una serie di radiografie digitali dell'oggetto, che vengono poi elaborate elettronicamente per generare una riproduzione tridimensionale estremamente dettagliata. Questa tecnica consente di scannerizzare sia i modelli in gesso che le impronte, poiché eventuali tagli sono completamente visibili durante la scansione.

Inizialmente, le mascherine trasparenti ortodontiche erano realizzate con materiali rigidi come il polimetilmetacrilato (PMMA), che offrivano una buona trasparenza ma potevano risultare ingombranti e poco confortevoli per i pazienti. Tuttavia, grazie ai progressi tecnologici e all'obiettivo di migliorare il comfort del paziente, sono stati sviluppati materiali termoplastici che offrono una maggiore flessibilità, adattabilità e comfort.

Tra questi materiali, spiccano il poliuretano termoplastico (TPU) e il polietilene tereftalato glicolico (PETG). Il TPU è un materiale flessibile e resistente che si adatta perfettamente alla struttura dentale, consentendo di esercitare una forza costante sui denti per spostarli gradualmente nella posizione desiderata. La sua flessibilità garantisce un maggiore comfort durante l'utilizzo e rende le mascherine più facili da indossare e rimuovere, oltre a offrire una buona trasparenza che le rende quasi invisibili.

Il PETG è un materiale termoplastico altamente trasparente che ha trovato applicazione nella produzione di mascherine trasparenti ortodontiche. È caratterizzato da una maggiore resistenza agli urti rispetto al TPU e presenta una superficie liscia che facilita la pulizia e la manutenzione delle mascherine. Inoltre, il PETG è ipoallergenico e biocompatibile, riducendo il rischio di reazioni allergiche o irritazioni per i pazienti.

Oltre ai materiali termoplastici, sono stati introdotti materiali innovativi come il poliuretano termoplastico reticolato (Cross-Linked TPU), che offre maggiore stabilità e resistenza nel tempo, mantenendo la forma originale per un periodo più lungo e garantendo un trattamento ortodontico efficace nel corso del tempo. Un altro materiale che sta guadagnando popolarità è il poliuretano termoplastico a

base di biossido di titanio, con proprietà antibatteriche e antimicrobiche che riducono il rischio di infezioni e promuovono una migliore igiene orale durante il trattamento ortodontico.

Inoltre, l'evoluzione delle tecnologie di produzione, come la stereolitografia, ha contribuito alla produzione su larga scala delle mascherine trasparenti ortodontiche. Questa tecnologia permette di creare modelli di riferimento tridimensionali a partire da file CAD, assicurando la precisione e l'accuratezza necessarie per un trattamento ortodontico efficace.

1.3.5 Predicibilità dei movimenti ortodontici con allineatori trasparenti

Le malocclusioni trattabili in modo predicibile e prevedibile con gli allineatori trasparenti sono molto varie. In alcune malocclusioni selezionate, il trattamento con gli allineatori trasparenti può essere completato in modo più efficiente e prevedibile e con un migliore controllo verticale rispetto agli apparecchi ortodontici fissi. Tuttavia, proprio come con qualsiasi apparecchio ortodontico, il grado di difficoltà del trattamento aumenta con la gravità della malocclusione. I clinici più esperti utilizzano gli allineatori trasparenti per trattare malocclusioni complesse grazie ad una corretta comprensione della biomeccanica della tecnica degli allineatori, unita alla capacità di pianificazione digitale del trattamento e a protocolli di trattamento adeguati. Le diverse malocclusioni trattabili in modo predicibile sono:

- Malocclusioni di Classe I con affollamento minore/moderato e buona occlusione interarcata
- Malocclusioni di Classe II con affollamento minore

- Malocclusioni di Classe III non estrattive con minimo overbite/overjet
- Morso profondo
- Morso aperto anteriore
- Estrazione di incisivi inferiori
- Estrazioni di premolari con affollamento minore
- Chirurgia ortognatica

Concentrandosi sui singoli movimenti ortodontici la predicibilità con allineatori trasparenti è diventata sempre più precisa e affidabile grazie agli avanzamenti tecnologici e alla ricerca nel campo dell'ortodonzia.

I software di progettazione assistita da computer (CAD) consentono agli ortodontisti di simulare il movimento dei denti lungo il percorso desiderato e di visualizzare il risultato finale previsto prima ancora di iniziare il trattamento effettivo. Questa capacità di previsione consente di identificare e correggere eventuali problemi o sfide che potrebbero sorgere durante il trattamento, assicurando un risultato ottimale.

L'aderenza e il rispetto delle indicazioni del paziente sono fattori cruciali per garantire la predicibilità dei movimenti ortodontici con allineatori trasparenti. È importante che i pazienti indossino gli allineatori per il tempo raccomandato, rimuovendoli solo per mangiare, bere e per l'igiene orale domiciliare.

In un articolo del 2014 di Rossini et Al. sono stati analizzati singolarmente i vari movimenti ortodontici eseguiti con allineatori trasparenti per poter studiare la loro precisione e predicibilità.

- *Intrusione*: La massima precisione nell'intrusione è stata raggiunta dagli incisivi centrali superiori (45%) e inferiori (47%). La minore precisione nell'intrusione è stata raggiunta dagli incisivi laterali superiori (33%). La quantità media di intrusione effettuata è stata di 0,72 mm.
- *Estrusione*: è stato il movimento dentale meno preciso ottenuto con CAT (Clear Aligner Technology) (30% di predicibilità). Gli incisivi centrali superiori (18%) e inferiori (25%) hanno avuto la minore precisione. La quantità media di estrusione tentata è stata di 0,56 mm.
- *Rotazione*: È stata valutata una precisione media della rotazione dei canini del 36%. I canini che hanno ricevuto una riduzione interprossimale (IPR) hanno riportato la maggiore precisione media di rotazione e la minore deviazione standard (43%; SD 5 22,6%). In Kravitz et al. la precisione della rotazione dei canini superiori è stata del 32%, inferiore a quella degli incisivi centrali superiori (55%) e degli incisivi laterali inferiori (52%). La minore precisione è stata riscontrata per il canino inferiore (29%). Per rotazioni superiori a 15°, la precisione del movimento del canino superiore è stata significativamente ridotta (19%).
- *Tip mesiodistale*: Nel loro studio del 2009 sui denti anteriori, Kravitz et al.4 hanno dimostrato una precisione media del 41% per l'inclinazione mesiodistale, in cui la maggiore precisione è stata raggiunta dagli incisivi laterali superiori (43%) e inferiori (49%). I canini superiori (35%) e inferiori

(27%) e gli incisivi centrali superiori (39%) hanno avuto la minore precisione.

- *Torque buccolinguale*: Kravitz et al. hanno mostrato che il torque coronale linguale (53%) è stato un movimento significativamente più preciso rispetto al torque coronale vestibolare (38%), in particolare per gli incisivi superiori. Simon et al. non hanno evidenziato differenze sostanziali se il movimento di torque dell'incisivo centrale superiore era supportato da un attachment ellissoidale orizzontale (precisione media: 51,5%; SD 5 0,2%).

(41–47)

In un altro articolo del 2009 di Kravitz et Al. riguardante la precisione dei movimenti con Invisalign si evince che l'accuratezza media di Invisalign per tutti i movimenti dentali è stata del 41%.

Durante il trattamento, è emerso che la contrazione linguale ha raggiunto la maggiore accuratezza, con il 47,1%, mentre l'estrusione ha registrato l'accuratezza più bassa, pari al 29,6%.

In dettaglio, i movimenti dentali più precisi sono stati:

1. Contrazione linguale dei canini mandibolari, con il 59,3%, e degli incisivi laterali, con il 54,8%.
2. Rotazione degli incisivi centrali mascellari, con il 54,2%. Per rotazioni superiori a 15 gradi, si è riscontrata una significativa riduzione dell'accuratezza del movimento del canino mascellare.

Al contrario, i movimenti dentali meno precisi sono stati:

1. Estrusione degli incisivi centrali mascellari, con l'18,3%, e mandibolari, con il 24,5%.

(48)

1.3.6 Riduzione dei tempi di trattamento

La gravità della malocclusione è un fattore determinante per la durata del trattamento ortodontico. Si può asserire che le terapie con gli allineatori siano più brevi, ma solo nei casi semplici o quando la complessità è moderata. D'altra parte, nei casi gravi o, per esempio, estrattivi, le mascherine invisibili sembrano produrre risultati meno prevedibili per ragioni biomeccaniche, motivo per cui richiedono una serie di procedure di rifinitura che inevitabilmente prolungano la durata della terapia.

Nei casi semplici e moderati, in cui il problema principale è l'affollamento dei denti anteriori, gli allineatori possono ottenere risultati eccellenti in un periodo di tempo estremamente breve, perché massimizzano i movimenti dentali desiderati e minimizzano quelli indesiderati. (49)

È dimostrato che, rispetto agli apparecchi fissi, il tempo richiesto alla poltrona sia significativamente inferiore. In un normale appuntamento ortodontico di paziente in trattamento con allineatori, le procedure alla poltrona non richiedono molto tempo: si tratta di registrazioni (foto, radiografie, impronte o scansioni), dell'esecuzione di IPR se necessario e dall'applicazione di attachment se richiesti. Gli appuntamenti successivi servono a verificare l'adattamento delle mascherine o a spiegare l'uso degli elastici intermascellari.

Se la diagnosi e il piano di trattamento sono stati formulati correttamente, la terapia sarà rapida e non richiederà molte procedure di rifinitura. In media, un paziente con apparecchi fissi, oltre alle registrazioni e all'IPR, necessita di molti più appuntamenti per il bandaggio, il cambio degli archi, le emergenze dovute a distacchi, il rebracketing e il debonding. In uno studio comparativo è emerso che i pazienti trattati con apparecchi fissi necessitavano di un maggior numero di visite (circa quattro), un maggior tempo alla poltrona (circa 90 minuti) e un maggior numero di visite di emergenza rispetto ai pazienti trattati con allineatori. Lo studio ha anche riconosciuto che questo tipo di dispositivo mobile aumenta in modo significativo i costi di gestione dello studio e che il dentista deve trascorrere molto tempo al computer per pianificare il trattamento ortodontico. Se la diagnosi, il piano di trattamento e la stadiazione sono corretti, il trattamento stesso sarà efficiente ed efficace, riducendo al minimo le richieste di collaborazione del paziente. Se invece il piano di trattamento non è realistico e richiede troppe fasi, sarà necessario un numero eccessivo di allineatori, nuove impronte, set-up e diverse fasi di finitura, e infine il trattamento complessivo richiederà più tempo e il paziente dovrà collaborare troppo a lungo. Tutto ciò può annullare i vantaggi dei trattamenti con allineatori e addirittura renderli più svantaggiosi dal punto di vista ortodontico, gestionale e quindi economico rispetto agli apparecchi fissi. (49)

1.3.7 Ausiliari di trattamento

Il principio dell'ancoraggio dell'allineatore è dato dal materiale dell'allineatore stesso che ricopre i denti. Se il dente è completamente registrato sulla scansione digitale o sull'impronta, il materiale dell'allineatore che copre le superfici occlusali,

buccali, linguali, mesiali e distali del dente si aggancia al dente stesso e ne provoca il movimento.

D'altro canto, l'interazione tra l'allineatore e il dente è complicata a causa della forma complessa e irregolare dell'allineatore, perciò le forze possono agire su qualsiasi posizione della superficie della corona.

È stato riscontrato che le forze e le coppie erogate dagli allineatori sono determinate dalla forma della corona e dal tipo e dall'entità dello spostamento del dente e, quindi, dai contrasti tra il dente e la superficie interna dell'apparecchio.

(50)

Per coadiuvare il movimento dentale possono essere utilizzati degli attachment.

Gli attachments oltre ad aumentare la ritenzione degli allineatori, permettono di ottenere i movimenti dentali desiderati poiché consentono una corretta trasmissione della forza espressa dall'allineatore verso la direzione programmata coerentemente con il piano di trattamento e rendono possibile determinare la posizione su cui agiscono le forze ortodontiche, in base alla posizione dell'attachment. (51–53)

Alcuni tipi di movimenti dentali richiedono l'ancoraggio in diverse parti dell'arcata dentale. Altri movimenti dentali, come la traslazione, possono richiedere il controllo della radice per mantenerne l'inclinazione. Le rotazioni su denti con morfologia coronale circolare, come i premolari, possono richiedere un impegno aggiuntivo dell'allineatore attraverso l'uso di attachment per aiutare questi movimenti dentali ad esprimersi pienamente dal punto di vista clinico. Gli studi hanno dimostrato che gli attachment sono necessari affinché alcuni tipi di movimento dentale si esprimano correttamente.

1.3.7.1 Attachment

Gli attachment possono essere classificati in due categorie: attachment convenzionali e attachment ottimizzati.

Gli attachment convenzionali sono attachment passivi che aumentano la superficie di contatto dell'allineatore con il dente. Questi attachment possono essere posizionati sui denti in modo predefinito attraverso il software o tramite richiesta scritta durante la pianificazione del trattamento. Esistono tre tipi di attachment convenzionali: ellissoidali, rettangolari e smussati.

Gli attachment ellissoidali sono passivi, utilizzati principalmente per la ritenzione o l'ancoraggio. A volte sono ancora utilizzati, soprattutto quando la superficie del dente è limitata, ad esempio la superficie vestibolare degli incisivi laterali mascellari o la superficie linguale di un secondo molare mandibolare inclinato lingualmente.

Gli attachment rettangolari sono passivi e possono essere verticali o orizzontali.

I primi, cioè quelli rettangolari verticali sono utili per il controllo delle radici. Anche gli attachment rettangolari orizzontali possono essere utilizzati per il controllo della radice, in particolare nella direzione buccolinguale per dare torque radicolare buccale sui molari. Possono essere utilizzati anche quando una corona clinica corta o un'interferenza oclusale non consente il posizionamento di un attachment rettangolare verticale.

Sia gli attachment verticali che quelli orizzontali possono essere smussati. La superficie smussata è una superficie attiva. La smussatura fornisce una superficie

piana contro cui l'allineatore deve spingere per ottenere il movimento dentale desiderato.

Gli attachment ottimizzati vengono posizionati automaticamente dal software quando rileva determinati limiti nel movimento dentale programmato. Sono progettati per controllare il punto di applicazione della forza, la direzione della forza e la quantità di forza applicata, che viene personalizzata per ogni singolo dente.

Inoltre, per garantire risultati ottimali in termini di precisione delle dimensioni, resistenza all'usura e aderenza, è importante selezionare compositi e adesivi compatibili tra loro. Si procede perciò all'isolamento del campo di lavoro, all'asciugatura, all'applicazione dell'agente di mordenzatura, all'applicazione dell'adesivo e alla fotopolimerizzazione su ciascun dente su cui verrà fissato un attachment.

La scelta del colore del composito utilizzato per gli attachment è di fondamentale importanza, poiché deve essere perfettamente coerente con il colore dei denti del paziente. Una volta bondati gli attachment, è necessario rimuovere eventuali residui di materiale utilizzando una fresa, poiché il corretto fitting degli allineatori potrebbe essere compromesso dalla presenza di eccessi di composito residuo.

L'obiettivo è ottenere una superficie dentale liscia e priva di irregolarità che possa garantire una perfetta adattabilità degli allineatori. Pertanto, è importante prestare attenzione e dedicare il tempo necessario per rimuovere accuratamente qualsiasi residuo di materiale, al fine di ottenere il migliore risultato estetico e funzionale possibile.

La scelta e l'applicazione corrette dei materiali di fissaggio e la pulizia accurata dei denti sono procedure cruciali per garantire la corretta aderenza degli attachments e il successo del trattamento con gli allineatori trasparenti. (28,54,55)

1.3.8 Planning digitale

La qualità dei risultati ottenuti con gli allineatori è strettamente correlata alla precisione e alla personalizzazione del piano di trattamento. La principale innovazione di questo sistema consiste nell'utilizzo della tecnologia CAD-CAM (Computer Aided Design e Computer Aided Manufacturing), cioè utilizzare una tecnica computerizzata che permette di ottenere un oggetto tridimensionale a partire da un disegno vettoriale eseguito al computer, in particolare ci si basa su una valutazione tridimensionale (CAD) e un sistema di produzione degli allineatori (CAM) basato sulle più avanzate tecnologie.

Grazie ai progressi nella tecnologia digitale, come la scansione 3D e il software di progettazione, è possibile creare modelli digitali accurati dei denti e delle arcate dentali di ogni paziente. Questi modelli digitali consentono agli ortodontisti di pianificare il movimento dei denti in modo dettagliato e personalizzato, garantendo un corretto allineamento e un risultato estetico ottimale.

Nella terapia con gli allineatori, l'ortodontista deve avere una visione d'insieme del risultato finale per poter programmare attraverso i suddetti software di progettazione i vari movimenti che devono essere applicati ai diversi denti, anche se ovviamente si può modificare e correggere il trattamento pianificato durante tutta la durata della terapia ortodontica. Il piano di correzione della malocclusione dentale viene realizzato basandosi sulle indicazioni cliniche ricevute. Ogni

allineatore può produrre al massimo un movimento di 0,25 mm, una rotazione di 2 gradi e torque di 1 grado.

Nel caso in cui non vengano fornite indicazioni dettagliate nella prescrizione, la sequenza dei passaggi e l'entità dei movimenti saranno definiti da un algoritmo all'interno del software di trattamento.

Il primo passo consiste nella verifica della posizione iniziale dei denti mediante una scansione digitale e nel confronto con le fotografie del paziente. Si valutano l'overbite e le linee mediane a livello frontale, nonché l'overjet e la relazione tra i denti posteriori e anteriori a livello laterale.

In seguito si passa all'analisi della posizione finale desiderata e il controllo del modello tridimensionale da diverse angolazioni: frontale, laterale e oclusale. In questa fase, si studia il risultato proposto dal software utilizzando le informazioni specificate nella prescrizione inviata. Si controlla anche la quantità di riduzione interprossimale (IPR) programmata e la sequenza dei movimenti. Una tabella dei movimenti aiuta il clinico a identificare gli spostamenti dentali più significativi previsti nel piano di trattamento e a valutarne la difficoltà e la prevedibilità clinica.

I denti che richiedono spostamenti di entità lieve o moderata possono essere evidenziati, consentendo all'ortodontista di considerare l'utilizzo di tecniche ausiliarie per la correzione della malocclusione.

Una volta che il piano di trattamento viene approvato, attraverso l'uso di software computerizzati in grado di manipolare immagini tridimensionali delle singole malocclusioni, viene creata una sequenza di algoritmi che determina lo spostamento dei denti e per ogni fase del trattamento, vengono realizzati modelli

stereolitografici che servono come base per la produzione degli allineatori trasparenti. (54)

1.3.9 Consegna degli allineatori

L'appuntamento per la consegna degli allineatori trasparenti è equivalente all'appuntamento per il bandaggio degli apparecchi tradizionali. Il clinico può scegliere di rimandare il posizionamento degli attachments sugli allineatori alla fase 2 o successive, selezionando questa opzione nel software di progettazione. Posticipando il posizionamento degli attachments ad un appuntamento successivo l'ortodontista può concentrarsi sulle istruzioni post-operatorie per l'inserimento e la rimozione degli allineatori e sulle istruzioni di igiene orale. Inoltre, consente al paziente di abituarsi a indossare gli allineatori senza gli attachments, che sono più facili da rimuovere. Il paziente può quindi tornare in studio alcune settimane dopo per l'inserimento di questi ultimi.

È di estrema importanza garantire la compliance del paziente e motivarlo ad indossare gli allineatori per un periodo di 20-22 ore al giorno. Soprattutto con gli adulti, la collaborazione può essere favorita presentando e spiegando correttamente e chiaramente le basi del trattamento. Anche se il paziente potrebbe non avere una conoscenza precisa delle anomalie dell'occlusione e delle esigenze del trattamento ortodontico, è in grado di comprendere il percorso che lo attende.

Il clinico ha il compito di sviluppare una strategia che mantenga viva la motivazione del paziente e minimizzi le difficoltà che possono insorgere durante il corso della

terapia. A tal fine, è utile informare costantemente il paziente sui progressi del trattamento e incoraggiarlo positivamente a collaborare attivamente.

Una comunicazione aperta e continua tra il clinico e il paziente è fondamentale per mantenere alta la motivazione. Il paziente deve essere coinvolto nel processo decisionale e sentirsi parte attiva del trattamento. Spiegazioni chiare sulle fasi del trattamento e sui benefici attesi possono aiutare il paziente a comprendere l'importanza dell'aderire alle indicazioni fornite.

La motivazione del paziente è un fattore chiave per il successo del trattamento ortodontico, e il ruolo del clinico nel fornire informazioni chiare, supporto costante e incentivi positivi è fondamentale per mantenere il paziente focalizzato e collaborativo lungo tutto il percorso terapeutico.

1.3.10 Allineatori in pazienti parodontali

A differenza del paziente adolescente, in cui la carie è la principale preoccupazione odontoiatrica, il paziente adulto può anche presentare o essere a rischio di malattia parodontale. La reazione parodontale a un apparecchio ortodontico dipende da diversi fattori, come la resistenza dell'ospite, la presenza di condizioni sistemiche e la quantità e composizione della placca dentale. Il trattamento ortodontico è stato considerato una procedura preziosa per supportare il trattamento parodontale finalizzato alla risoluzione di specifici problemi parodontali. La letteratura esistente sostiene il legame tra l'aumento degli indici di placca (PI) e la diminuzione delle condizioni generali di salute orale nei pazienti ortodontici, soprattutto se trattati con apparecchi fissi. L'uso di apparecchi

rimovibili può minimizzare gli effetti negativi dell'ortodonzia sulla salute parodontale, consentendo ai pazienti procedure di igiene orale più semplici.

L'ortodonzia con allineatori, infatti, può essere un mezzo adeguato attraverso cui migliorare la salute dei tessuti parodontali. Utilizzando un software per programmare i movimenti ortodontici, si possono eseguire movimenti dentali minimi con applicazione di forze leggere, riducendo al minimo lo stress sul supporto parodontale. Inoltre, l'uso corretto dei mezzi digitali riduce il rischio di peggioramento del supporto parodontale, in particolare nel caso di recessioni gengivali in cui il movimento buccale incontrollato delle radici potrebbe causare danni. Pertanto, è necessario progettare movimenti dentali con un controllo accurato delle radici per evitare che queste vengano spinte al di fuori del confine della cresta alveolare.

L'intero complesso parodontale, comprese le componenti ossee e dei tessuti molli, si rimodella con il movimento ortodontico dei denti. Tuttavia, la presenza di infiammazione parodontale può inibire il rimodellamento e compromettere il risultato del trattamento a causa della perdita di attacco del tessuto connettivo parodontale. La salute parodontale, così come la quantità e la qualità della placca, sono risultate migliori durante il CAT rispetto ai trattamenti con apparecchi fissi, poiché è stata osservata una diminuzione significativa degli indici parodontali (IG, PBI, BoP e PPD). (56–60)

1.4 Espansione dento-alveolare con allineatori

L'espansione dento-alveolare può essere ottenuta utilizzando apparecchi fissi tradizionali. Per il trattamento non estrattivo, la gestione dell'affollamento moderato e delle arcate mascellari strette può essere richiesto un aumento del perimetro dell'arcata attraverso l'espansione trasversale e la proclinazione degli incisivi.

Il trattamento con allineatori trasparenti è in grado di correggere il cross bite dento-alveolare e di ottenere la coordinazione trasversale interarcata. Con gli apparecchi fissi convenzionali, l'espansione mascellare avviene attraverso il tipping dei denti in direzione buccale, sia nelle regioni posteriori che in quelle anteriori. Al contrario, con il CAT è consentita la pianificazione digitale dell'espansione dell'arcata superiore utilizzando una combinazione di due movimenti dentali: il tipping buccale dei denti e la traslazione corporea dei denti posteriori. Tuttavia, diversi autori hanno concordato sul fatto che clinicamente si osserva più tipping vestibolare rispetto a traslazione corporea.

In uno studio di Lione et Al. è stata analizzata l'espansione con allineatori Invisalign, da cui emerge una progressiva riduzione del tasso di espansione dai segmenti anteriori a quelli posteriori. È stata registrata una maggiore espansione della larghezza mascellare di 3,5 mm e di 3,8 mm rispettivamente al primo e al secondo premolare, corrispondente a un aumento medio dell'8,5% rispetto ai valori iniziali. Tale schema, caratterizzato da diverse quantità di espansione nelle regioni canina (6,5%), premolare (8,5%) e posteriore (5% per i primi molari, 1% per i secondi molari), ha portato allo sviluppo dell'arco mascellare da una forma a V a una forma più parabolica. In particolare, è stato possibile osservare che i premolari hanno una maggiore tendenza all'espansione perché si trovano su una linea retta,

mentre i canini sono disposti sull'arco di un cerchio, il cui raggio è determinato dalle dimensioni degli incisivi e dei canini, e mentre i molari sono curvi verso la linea mediana. I risultati di questo studio hanno dimostrato che con il CAT si può ottenere l'espansione dell'arcata con una quantità minima di tip vestibolare. In questo studio, l'inclinazione del dente è aumentata significativamente per tutti i denti mascellari, ad eccezione dei secondi molari, seguendo lo stesso gradiente decrescente dall'anteriore al posteriore osservato per la larghezza trasversale. (61,62)

1.4.1 Espansione mascellare con allineatori in dentizione mista

In letteratura sono pochi gli elaborati che studiano il trattamento di espansione mascellare con allineatori trasparenti, sia in dentizione mista che in dentizione permanente.

Per quanto riguarda la prima fase di trattamento ortodontico durante la fase di crescita, è presente uno studio di Levrini et Al. che indaga l'espansione mascellare in dentizione mista con Invisalign® First. La fase 1, tradizionalmente eseguita con espansori d'arco, archi linguali e apparecchi funzionali, rappresenta un trattamento ortodontico intercettivo precoce per i pazienti in crescita in dentizione mista. Rispetto agli apparecchi fissi tradizionali, l'uso di apparecchi rimovibili minimizza gli effetti negativi dell'ortodonzia fissa sul parodonto e consente una migliore igiene orale.

Lo scopo dello studio è stato quello di valutare i cambiamenti dentoalveolari nei pazienti trattati con gli allineatori trasparenti Invisalign® First in dentizione mista,

concentrandosi su larghezza dell'arcata mascellare, perimetro dell'arcata, profondità dell'arcata, inclinazione dei molari ed espansione alveolare.

La durata media del trattamento è stata di 8 mesi e il numero medio di allineatori utilizzati è stato di 33.

Le arcate mascellari dei pazienti erano significativamente più larghe dopo il trattamento. Gli aumenti maggiori sono stati ottenuti a livello dei molari decidui, con un aumento medio di 3,28 mm a livello delle cuspidi e di 2,24 mm a livello gengivale per i primi molari decidui e un aumento medio di 3,72 mm a livello delle cuspidi e di 2,59 mm a livello gengivale per i secondi molari decidui. Le larghezze intercanine sono aumentate meno, di 2,8 mm a livello delle punte delle cuspidi e di 2,01 mm a livello gengivale. La larghezza dell'arcata dei molari permanenti è aumentata di 3,05 mm a livello delle cuspidi e di 2 mm a livello gengivale.

La quantità di inclinazione vestibolare osservata con questo protocollo di espansione è di 4,62 gradi, paragonabile a quella osservata durante altri protocolli di espansione mascellare lenta.

Sebbene la validità di questa tecnica per la valutazione dell'espansione alveolare sia ancora in fase di valutazione, i risultati di questo studio hanno mostrato un aumento in tutti i punti di riferimento considerati. L'espansione alveolare registrata in corrispondenza dei canini decidui superiori è stata di 1,88 mm, dei primi molari decidui superiori di 1,6 mm, dei secondi molari decidui superiori di 1,4 mm e dei primi molari permanenti superiori di 1,16 mm. (63,64)

1.4.2 Espansione mascellare con allineatori in dentizione permanente

Quando la malocclusione è di origine dentale, la base ossea ha una proporzione trasversale corretta, a differenza dei processi dento-alveolari. Il cross bite di un singolo dente è un caso facile da trattare con gli allineatori trasparenti, poiché essi funzionano come piani di appoggio che eliminano le interferenze occlusali e aiutano a correggere il morso crociato.

Il cross bite di più denti può essere più complicato da trattare, solitamente attraverso un movimento di torque vestibolare delle corone dei molari. L'espansione può essere eseguita assieme a livello di canini, molari e premolari, oppure differenziata mantenendo un settore alla volta ferma. Diversi autori nei loro studi hanno osservato che il trattamento con il sistema Invisalign® consente di ottenere un aumento significativo delle misure trasversali della larghezza dell'arcata e del perimetro dell'arcata.

Si consiglia, in caso di morso crociato, di ipercorreggere l'espansione nella programmazione iniziale fino a quando le cuspidi palatali dei molari superiori non entrano in contatto con le cuspidi buccali dei molari mandibolari. Oltre i 2 mm di espansione, possono essere necessari elastici trasversali o altri ausili per ottenere il risultato previsto.

Inoltre, è stato valutato che nell'espansione delle arcate dentali, per ridurre al minimo il rischio di recidiva e recessione gengivale, il limite di espansione dell'ampiezza dell'arcata dovrebbe essere al massimo di 2-3 mm per quadrante.

(65–67)

Analizzando i vari studi eseguiti sull'argomento, il più recente è di Galluccio et Al. pubblicato a Marzo 2023 in cui è stata valutata la predicibilità di espansione mascellare con allineatori Invisalign®, i risultati mostrano che è possibile

espandere una percentuale maggiore a livello dell'area molare e minore a livello del canino. I risultati di questo studio hanno mostrato un'accuratezza media dell'efficacia dell'espansione mascellare del 70%. Le differenze di accuratezza tra le diverse misure non erano statisticamente significative; pertanto, l'accuratezza complessiva del trattamento di espansione era del 70%, indipendentemente dal tipo di dente.

Inoltre, il loro studio ha dimostrato che l'efficacia è minore se misurata sul lato palatale del dente, poiché non è possibile un movimento corporeo ma piuttosto un torque vestibolare del dente.

L'efficacia è minore a livello linguale, con una media del 55% a livello molare e del 46% a livello canino. Sono state riscontrate differenze statisticamente significative tra l'efficacia a livello delle cuspidi rispetto all'efficacia misurata nel punto più apicale della superficie palatale del dente, indicando che c'è più movimento di inclinazione radicolo-coronale. (65)

Analizzando lo studio di Zhou et Al. del 2020, tutti i soggetti avevano una necessità di espansione dentale o scheletrica inferiore a 3 mm.

La quantità di espansione per ciascun allineatore è stata fissata a 0,15-0,05 mm in base alla quantità di espansione totale necessaria e alle condizioni parodontali di base. I risultati di questo studio hanno dimostrato che gli allineatori Invisalign hanno un'efficacia del $79,75 \pm 15,23\%$ sulla del canino, del $76,1 \pm 18,32\%$ sulla cuspidi del primo premolare, del $73,27 \pm 19,91\%$ sulla cuspidi del secondo premolare e del $68,31 \pm 24,41\%$ sulla cuspidi del primo molare. Si osserva una diminuzione dell'efficienza dell'espansione passando dal canino al primo molare.

Non si è registrato un aumento statisticamente significativo della larghezza dell'osso basale mascellare o della larghezza tra i punti più convessi vestibolari dell'osso alveolare mascellare, a differenza della larghezza interdentale e la larghezza delle creste alveolari buccali e linguali che sono aumentate in modo significativo, indicando che l'effetto di espansione degli allineatori Invisalign è dovuto principalmente al movimento buccale dei denti. (68)

Infine, in uno studio precedente del 2017 di Houle et Al. in cui è stata indagata la predicibilità dei cambiamenti trasversali con Invisalign i risultati hanno mostrato una grande variabilità a seconda del dente studiato, del punto di misurazione e dell'arcata studiata. Le variazioni trasversali nell'arcata superiore sono risultate accurate nel complesso per il 72,8%, per l'82,9% a livello delle cuspidi e del 62,7% sui margini gengivali. La previsione più accurata è stata quella relativa alla cuspidi dei canini, con un'accuratezza dell'88,7%. Per quanto riguarda il margine gengivale del primo molare, invece, l'accuratezza è stata del 52,9% e quasi la metà delle modifiche pianificate sul margine gengivale dei primi molari superiori non si è verificata.

Nel complesso, i primi molari superiori sono stati i denti con la minore accuratezza di tracciamento. Questa differenza è molto probabilmente il risultato dell'anatomia della radice, dello spessore della corticale ossea, del carico masticatorio più elevato e della maggiore resistenza dei tessuti molli delle guance nella regione posteriore.

Anche in questo studio si è inoltre osservato come la previsione di espansione di Clincheck implica un movimento più corporeo dei denti rispetto a quello che si può

osservare clinicamente, in cui il maggior movimento è dato dalla modifica del torque degli elementi dentali coinvolti. (69)

CAPITOLO 2

SCOPO DELLO STUDIO

Lo scopo di questo studio osservazionale retrospettivo è di valutare la predicibilità di espansione dento-alveolare negli elementi dentari dell'arcata mascellare con allineatori Spark.

Nello specifico sono stati valutati tre protocolli di pianificazione del movimento differente:

- Contrazione dei secondi molari;
- Secondi molari bloccati;
- Espansione dei secondi molari.

Con tale studio si vuole verificare se abbinando un movimento di azione-reazione favorevole come lo spostamento più palatale dei secondi molari incida sulla predicibilità del movimento sugli elementi dentari che li precedono.

Per tutti i pazienti oggetto dello studio, la programmazione dell'espansione è stata eseguita attraverso pianificazione digitale utilizzando il Software di Spark™ Clear Aligner System by Ormco Corporation (Orange, CA, USA) al fine di verificare se sia presente un protocollo con maggiore predicibilità nell'espansione dento-alveolare mascellare in dentizione permanente.

CAPITOLO 3

MATERIALI E METODI

3.1 Selezione del campione di studio

Il campione dello studio è costituito da 40 soggetti (22 femmine e 18 maschi) in dentizione permanente con necessità di espansione dento-alveolare mascellare. L'età media dei soggetti è di 22 anni (IQR 19 – 24) al momento dell'inizio della terapia ortodontica con allineatori.

I casi selezionati sono stati raccolti da Settembre 2020 a Dicembre 2022.

I soggetti sono stati suddivisi in tre gruppi in base al movimento deciso durante il planning digitale a livello dei secondi molari superiori.

I tre gruppi sono suddivisi in:

- Gruppo A: include 15 pazienti a cui durante il planning digitale è stata eseguita una contrazione dei secondi molari superiori;
- Gruppo B: include 10 pazienti a cui durante il planning digitale i secondi molari superiori sono stati mantenuti fermi;
- Gruppo C: include 15 pazienti a cui durante il planning digitale è stata eseguita una espansione dei secondi molari superiori.

I pazienti che sono stati selezionati dagli archivi informatici presentavano tutti dentizione permanente a termine della crescita scheletrica con necessità di espansione dento-alveolare mascellare.

3.2 Criteri di inclusione ed esclusione

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

- Assenza di agenesie nell'arcata mascellare e nell'arcata mandibolare;
- Assenza di precedente trattamento ortodontico estrattivo;
- Affollamento lieve o moderato;
- Esecuzione di una programmazione ortodontica digitale attraverso il Software di Spark™ Clear Aligner System by Ormco Corporation (Orange, CA, USA);
- Disponibilità dei modelli di entrambe le arcate eseguite mediante Scanner intraolare di:
 - a. Prima del trattamento ortodontico
 - b. Trattamento ortodontico programmato
 - c. In seguito al trattamento ortodontico

Il campione di studio inizialmente includeva 56 pazienti, 16 dei quali sono stati esclusi per presenza di agenesie di elementi dentari, estrazioni pregresse e/o trattamento ortodontico con allineatori Spark™ solamente in una delle due arcate.

3.3 Timing Operativo e Durata Dello Studio

La durata dello studio è stata di circa 9 mesi, necessari per:

- Identificazione dei criteri di inclusione ed esclusione del campione.
- Raccolta del materiale necessario per lo studio, modelli digitali di entrambe le arcate prima del trattamento ortodontico, del trattamento ortodontico programmato e dopo il trattamento ortodontico.
- Esecuzione di misurazioni lineari su modelli del mascellare superiore di ogni paziente incluso nello studio.
- Raccolta dei dati acquisiti ed inserimento di questi in un foglio elettronico per la raccolta dati, suddivisi per le tre diverse scansioni analizzate.
- Analisi statistica.
- Discussione dei risultati.

4 Sede e Svolgimento dello Studio

I Soggetti in esame sono stati trattati tutti da due professionisti esperti in ortodonzia con allineatori in strutture private nelle province di Padova e Venezia. L'analisi dei dati è avvenuta presso la Clinica Odontoiatrica dell'Università degli Studi di Padova.

4.1 Raccolta dati

Per ciascun paziente incluso nello studio sono stati raccolti i seguenti dati:

- Modello digitale di entrambe le arcate prima del trattamento ortodontico.
- Modello digitale del trattamento ortodontico previsto.
- Modello digitale post trattamento ortodontico.

Per valutare se fosse presente una maggiore predicibilità in uno dei tre gruppi dello studio, sono state eseguite delle misurazioni lineari mediante il Software Viewbox 4 (dHAL software, Kifissia, Greece) sui modelli dell'arcata superiore prima del trattamento ortodontico, del trattamento ortodontico previsto dalla programmazione digitale e del risultato ottenuto in seguito al trattamento ortodontico.

Le misure lineari sono state prese nei seguenti punti:

- Secondi e primi molari: distanza lineare tra le cuspidi mesio-vestibolari, distanza lineare tra i punti di passaggio fra colletto e gengiva dal lato palatale;
- Secondi e primi premolari: distanza lineare fra le cuspidi vestibolari;
- Canini: distanza lineare fra le cuspidi.



Figura 20: sovrapposizione delle scansioni digitali di un paziente.

Per tutti i pazienti, i dati raccolti dalle misurazioni relative alle distanze lineari fra elementi dentari controlaterali sono stati organizzati in forma anonima in una tabella su foglio elettronico Excel (Microsoft® Office 365® Excel).

4.2 Analisi Statistica

L'analisi statistica è stata eseguita dal Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli studi di Padova.

L'analisi statistica è stata effettuata con il software R 4.0 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).

Per il confronto tra i diversi gruppi è stato eseguito Kruskal-Wallis equality-of-populations rank test, chiamato anche test H. Questo test è appropriato quando i dati non sono distribuiti in modo normale. A differenza di altri test, il test di Kruskal-Wallis non richiede l'assunzione di normalità dei dati.

L'obiettivo del test di Kruskal-Wallis è determinare se esistono differenze significative tra i gruppi rispetto alla variabile di interesse. Il test confronta i ranghi dei dati tra i gruppi anziché i valori reali.

È stato considerato significativo un p-value inferiore a 0.05.

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

CAPITOLO 4

RISULTATI

Lo studio ha preso in considerazione 40 soggetti in dentizione permanente che avevano necessità di eseguire espansione dento-alveolare mascellare, sottoposti a un trattamento ortodontico con allineatori trasparenti Spark™. I soggetti sono stati suddivisi in Gruppo A composto da 15 soggetti, in cui durante il planning digitale è stata programmata una contrazione sui secondi molari superiori, Gruppo B di 10 soggetti in cui i secondi molari sono stati mantenuti fermi e Gruppo C di 15 soggetti in cui i secondi molari sono stati espansi.

La Tabella I mostra il movimento programmato sui secondi molari durante la pianificazione digitale del trattamento ortodontico. Tale movimento è di contrazione per il Gruppo A e di espansione per il Gruppo C.

Tabella I: movimento programmato.

	Gruppo A	Gruppo B	Gruppo C
Movimento sui secondi molari	0,88 mm (ds 0,73) In contrazione	0 mm	0,79 mm (ds 0,65) In espansione

Nella tabella II sono mostrati media e deviazione standard della differenza (Delta) tra il movimento programmato ed il movimento ottenuto a seguito della prima sequenza di aligners.

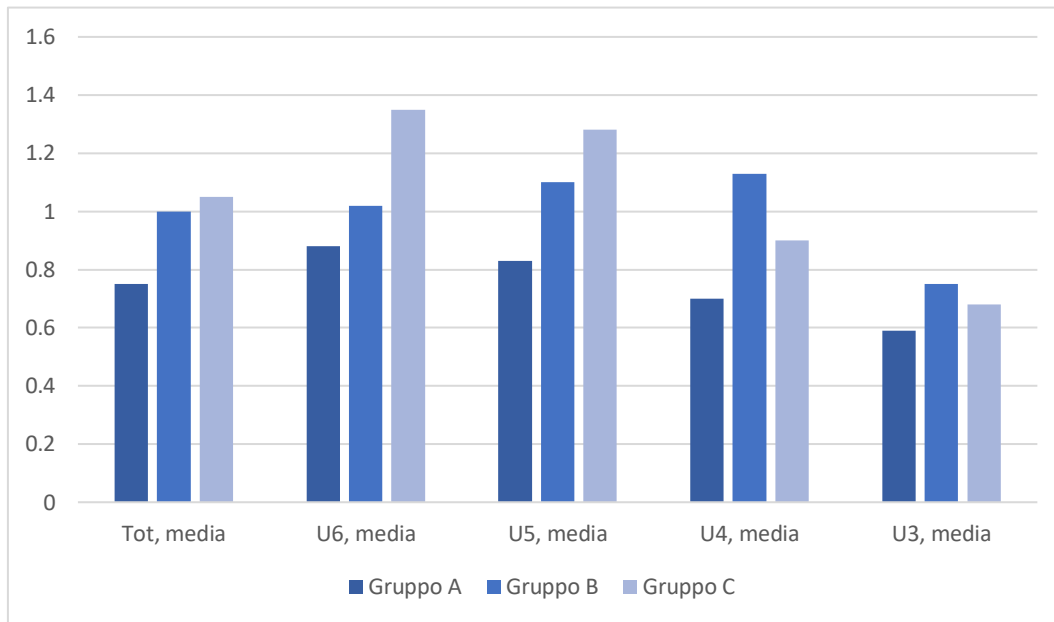
Tabella II: risultati ottenuti dall'analisi statistica.

	GRUPPO A	GRUPPO B	GRUPPO C
Tot, media (DS)	0,75 (0,56)	1,00 (0,82)	1,05 (0,99)
U6, media (DS)	0,8 (0,60)	1,02 (0,84)	1,35 (1,03)
U5, media (DS)	0,83 (0,65)	1,10 (0,96)	1,28 (1,23)
U4, media (DS)	0,70 (0,59)	1,13 (0,91)	0,90 (0,85)
U3, media (DS)	0,59 (0,35)	0,75 (0,60)	0,68 (0,71)

Dall'analisi statistica condotta si può osservare come nel Gruppo A, in cui è stata programmata una compressione dei secondi molari, sono emersi valori significativamente inferiori sia per il risultato complessivo di tutti gli elementi dentali analizzati, sia per i singoli risultati relativi ai primi molari, secondi premolari, primi premolari e canini. Questo suggerisce che la compressione dei secondi molari ha comportato una differenza minore fra il movimento programmato e il movimento ottenuto, con valori di media e deviazione standard sempre inferiori a 1.

Per quanto riguarda il Gruppo B, in cui i secondi molari sono rimasti fermi, si sono osservati valori significativamente inferiori rispetto al Gruppo C per quanto riguarda l'effetto sui primi molari. Tuttavia, non sono state riscontrate differenze statisticamente significative per i secondi premolari, primi premolari e canini. Ciò suggerisce che la mancanza di movimento dei secondi molari ha avuto un impatto limitato sulla posizione dei denti adiacenti, con una maggiore influenza sulla predicibilità di espansione dei primi molari, come mostrato nel Grafico III.

Grafico III: risultati divisi per ogni dente valutato.



CAPITOLO 5

DISCUSSIONE

Per il trattamento delle malocclusioni dentarie nel corso degli anni è aumentato l'impiego di apparecchi invisibili o trasparenti per poter andare incontro ad una maggior richiesta estetica da parte del paziente.

Diversi studi hanno dimostrato l'efficacia dei movimenti ortodontici con allineatori ed ausiliari come attachments ed elastici.

In particolare, in uno studio del 2020 di Morales e Burruezo è stata valutata la predicibilità di espansione dento-alveolare mascellare con allineatori Invisalign®, con il protocollo SmartTrack.

I risultati ottenuti sono stati di massima espansione a livello premolare, superando l'8%. A livello del secondo molare, invece, l'espansione è stata di 0,54%. Per quanto riguarda le inclinazioni e le rotazioni, l'aumento dell'inclinazione è stato significativo in tutti i casi, mentre le variazioni della rotazione sono state di circa il 2%. In percentuale, la predicibilità di espansione si è dimostrata del 74,8% a livello del canino, dell'80,3% al primo premolare, dell'81% al secondo premolare, del 79,1% al primo molare e del 65,2% al secondo molare. (70)

Nello stesso anno, Zhou et Al. hanno pubblicato uno studio sulla predicibilità di espansione mascellare con allineatori Invisalign® distribuendo i partecipanti in tre gruppi in base alla quantità di espansione unilaterale programmata per ciascun primo molare: Gruppo A con espansione minore di 1 mm, Gruppo B con espansione compresa tra 1 e 2 mm, Gruppo C con espansione maggiore di 2 mm.

Si è ottenuto che l'efficienza del movimento di espansione della corona per il canino è del 79,75%, per il primo premolare del 76,10%, per il secondo premolare del 73,27% e per il primo molare del 68,31%. In particolare, osservando i risultati ottenuti per i vari gruppi l'efficienza del gruppo A è stata del $56,03 \pm 19,79\%$, del gruppo B del $29,76 \pm 30,77\%$ e del gruppo C del $12,40 \pm 11,95\%$. Si è osservata una differenza significativa nell'efficienza media dell'espansione corporea tra i gruppi A e B e tra i gruppi A e C, mentre non è stata riscontrata alcuna differenza significativa tra i gruppi B e C. (68)

In uno studio di Galluccio et Al. del 2023 in cui è stata valutata la predicibilità di espansione mascellare con allineatori Invisalign®, è risultato che nelle misurazioni intercanine, inter-premolari e intermolari a livello delle cuspidi, le differenze tra l'espansione ottenuta e quella pianificata non erano statisticamente significative, mentre lo erano per le misurazioni gengivali (larghezza gengivale intercanina, larghezza gengivale intermolare). Ciò suggerisce che c'è più movimento di tipping vestibolare che movimento corporeo delle corone a livello del canino e dei primi molari.

Inoltre, l'accuratezza clinica globale del trattamento di espansione è stata del 70,88%. L'accuratezza delle misurazioni gengivali era minore, intorno al 50%, mentre per le misurazioni dell'espansione a livello delle cuspidi l'accuratezza era compresa tra il 70% e l'82%. Nelle misurazioni intercuspidali, l'espansione è stata più accurata per il primo premolare (93,53%) e meno per il primo molare (70,55%). (65)

Tale valutazione sulla predicibilità di espansione dento-alveolare mascellare con allineatori trasparenti non è mai stata eseguita utilizzando allineatori Spark™.

Lo scopo del presente studio era quello di valutare se fosse presente un protocollo maggiormente predicibile di espansione dento-alveolare mascellare utilizzando allineatori Spark™. I tre protocolli analizzati hanno volto la loro attenzione al diverso movimento programmato sui secondi molari superiori: Gruppo A con contrazione dei secondi molari, Gruppo B con secondi molari fermi, Gruppo C con espansione dei secondi molari.

Per rendere il campione di studio omogeneo sono stati esclusi dal campione stesso i soggetti che presentavano agenesie mascellari e/o mandibolari, pregressi trattamenti ortodontici estrattivi, trattamento ortodontico con allineatori di una sola delle due arcate.

Durante la prima parte dello studio sono state eseguite delle misure lineari tra le cuspidi mesiovestibolari dei secondi e primi molari, del punto di passaggio palatale fra gengiva e colletto dei secondi e primi molari, delle cuspidi vestibolari dei secondi e primi premolari, delle cuspidi dei canini.

Le misure lineari del punto di passaggio palatale fra gengiva e colletto dei secondi e primi molari sono state effettuate per poter valutare il movimento di tipping presente durante l'espansione mascellare.

In seguito, i pazienti sono stati suddivisi nel Gruppo A, Gruppo B e Gruppo C, valutando la posizione iniziale e finale dei secondi molari superiori.

Durante la seconda parte dello studio, attraverso un'analisi statistica si è valutato se fosse presente una maggiore predicibilità di espansione dento-alveolare mascellare in uno dei tre gruppi presi in considerazione.

I risultati hanno dimostrato che programmando una contrazione dei secondi molari mascellari, l'espansione dei primi molari, secondi e primi premolari e canini, ha un valore d'errore significativamente inferiore rispetto ai Gruppi B e C (P-value < 0.05).

Inoltre, nel gruppo B, la predicibilità di espansione dei primi molari è risultata maggiore rispetto al Gruppo C, a differenza degli altri elementi dentari presi in considerazione, in cui non si è osservata una differenza statisticamente significativa fra i due gruppi.

È possibile perciò affermare che, in caso in cui sia necessaria un'espansione dento-alveolare mascellare in pazienti con dentizione permanente, si può programmare durante il planning digitale una contrazione dei secondi molari per poter avere una maggiore predicibilità di espansione del resto dell'arcata.

Sebbene il movimento di espansione mascellare sia un movimento complesso da eseguire con allineatori trasparenti, l'utilizzo di ausiliari di trattamento come gli attachments e protocolli predicibili, come quello analizzato durante questo studio, può aiutare ad avere un'espansione più predicibile e perciò più stabile.

Un limite del presente studio è rappresentato dal ridotto numero dei soggetti analizzati; pertanto, uno studio multicentrico sarebbe indicato come prospettiva futura.

Inoltre, un altro limite osservato è stata la valutazione solo al primo set di aligners e non alla fine del trattamento ortodontico.

CAPITOLO 6

CONCLUSIONE

L'obiettivo di questo studio osservazionale retrospettivo era quello di valutare la predicibilità di espansione dento-alveolare degli elementi dell'arcata mascellare con allineatori Spark in pazienti con dentizione permanente, valutando tre differenti protocolli applicati sui secondi molari mascellari, per individuare se sia presente un protocollo più predicibile da applicare durante il planning digitale del trattamento ortodontico con allineatori Spark.

I risultati ottenuti hanno messo in evidenza come, con una contrazione dei secondi molari mascellari, sia possibile ottenere risultati maggiormente efficaci, con una differenza tra il movimento programmato ed il movimento ottenuto minore nell'espansione l'espansione dei primi molari, dei secondi e primi molari e dei canini, rispetto ai gruppi dove i secondi molari sono stati espansi o mantenuti fermi.

Tali risultati presentano un'importante valenza clinica, in quanto dimostrano come durante la programmazione ortodontica digitale e l'utilizzo di protocolli con contrazione dei secondi molari superiori, garantiscano una maggiore accuratezza e precisione durante la fase ortodontica, per avere risultati più predicibili e stabili nel tempo.

BIBLIOGRAFIA

1. Walther DP. Walther and Houston's orthodontic notes. 1994.
2. Townsend GC, Aldred MJ, Bartold PM. Genetic aspects of dental disorders. Aust Dent J. agosto 1998;43(3):269–86.
3. Proffit RW, Fields WH, Larson EB, Sarver MD. Contemporary orthodontics. Sixth Edition. 2018. 107–124 pag.
4. Grippaudo C, Paolantonio EG, Antonini G, Saulle R, La Torre G, Deli R. Associazione fra abitudini viziate, respirazione orale e malocclusione. Acta Otorhinolaryngologica Italica. 1 ottobre 2016;36(5):386–94.
5. Edward H. Angle. Treatment Of Malocclusion Of The Teeth And Fractures Of The Maxille./ Angle's System. 1900.

6. Masood Y, Masood M, Nadiah N, Zainul B, Binti N, Araby AA, et al. Impact of malocclusion on oral health related quality of life in young people. 2013.

7. Andrews LF, San Diego D. The six keys to normal occlusion.

8. Farisco Francesca. Covarianza morfometrica tra forma palatale e pattern scheletrico nei soggetti in crescita con malocclusione di II Classe non trattata.

9. Kozanecka A, Sarul M, Kawala B, Antoszevska-Smith J. Objectification of orthodontic treatment needs: Does the classification of malocclusions or a history of orthodontic treatment matter? *Advances in Clinical and Experimental Medicine*. 1 novembre 2016;25(6):1303–12.

10. Alhammadi MS, Halboub E, Fayed MS, Labib A, El-Saaidi C. Global distribution of malocclusion traits: A systematic review. *Dental Press J Orthod*. 2018;23(6):e1–10.

11. Lombardo G, Vena F, Negri P, Pagano S, Barilotti C, Paglia L, et al. Worldwide prevalence of malocclusion in the different stages of dentition: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Paediatr Dent.* 2020;21(2):115–22.
12. Mirabella D, Pasciuti E. *Appunti di tecnica MBT.*
13. Bishara E, Ortho D, Staley RN. Maxillary expansion: clinical implications.
14. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, Mcnamara JA. Treatment Timing for Rapid Maxillary Expansion [Internet]. Vol. 71, *Angle Orthodontist.* 2001.
15. Gill D, Naini F, McNally M, Jones A. The management of transverse maxillary deficiency. *Dent Update.* novembre 2004.
16. Lin L, Ahn HW, Kim SJ, Moon SC, Kim SH, Nelson G. Tooth-borne vs bone-borne rapid maxillary expanders in late adolescence. *Angle Orthodontist.* 1 marzo 2015;85(2):253–62.

17. Lione R, Franchi L, Cozza P. Does rapid maxillary expansion induce adverse effects in growing subjects? Vol. 83, Angle Orthodontist. 2013. pag. 172–82.
18. 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. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2009;136(3):331–9.
19. Bazargani F, Feldmann I, Bondemark L. Three-dimensional analysis of effects of rapid maxillary expansion on facial sutures and bones A systematic review. Vol. 83, Angle Orthodontist. 2013. pag. 1074–82.
20. Jia H, Zhuang L, Zhang N, Bian Y, Li S. Comparison of skeletal maxillary transverse deficiency treated by microimplant-assisted rapid palatal expansion and tooth-borne expansion during the post-pubertal growth spurt stage: A prospective cone beam computed tomography study. Vol. 91, Angle Orthodontist. Allen Press Inc.; 2021. pag. 36–45.
21. Moussa R, O’reilly MT, Close JM, Ma P°, Pittsburgh P. Long-term stability of rapid palatal expander treatment and edgewise mechanotherapy. 1995.

22. Gabriel da Silva Filho O, Andrade do Prado Montes L, Flores Torelly L, Alegre P. Rapid maxillary expansion in the deciduous and mixed dentition evaluated through posteroanterior cephalometric analysis. 1995.
23. Bell RA, Joseph LeCompte E, -Dr Bell V. The effects of maxillary expansion using a quad-helix appliance during the deciduous and mixed dentitions.
24. Zimring JF, Isaacson RJ. Forces produced bu rapid maxillary expansion. Angle Orthod. 1965.
25. Agarwal A. Maxillary Expansion. Int J Clin Pediatr Dent. 2010;3(3):139–46.
26. Suri L, Taneja P. Surgically assisted rapid palatal expansion: A literature review. Vol. 133, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 2008. pag. 290–302.
27. Alansari RA, Faydhi DA, Ashour BS, Alsaggaf DH, Shuman MT, Ghoneim SH, et al. Adult perceptions of different orthodontic appliances. Patient Prefer Adherence. 2019;13:2119–28.

28. Tai Sandra. Clear Aligner Technique.

29. Abdulreda S, Ali AH. Orthodontics Invisalign®, an Innovative Invisible Orthodontic Appliance to Correct Malocclusions: Advantages and Limitations The history. Vol. 39, Dent Update. 2012.

30. White DW, Julien KC, Jacob H, Campbell PM, Buschang PH. Discomfort associated with Invisalign and traditional brackets: A randomized, prospective trial. Angle Orthodontist. 1 novembre 2017;87(6):801–8.

31. Abbate GM, Caria MP, Montanari P, Mannu C, Orrù G, Caprioglio A, et al. Parodontale Gesundheit von Teenagern mit herausnehmbaren Alignern und festsitzenden kieferorthopädischen Apparaturen. Journal of Orofacial Orthopedics. 26 maggio 2015;76(3):240–50.

32. Pavoni C, Lione R, Laganà G, Cozza P. Self-ligating versus Invisalign: analysis of dento-alveolar effects.

33. Shalish M, Cooper-Kazaz R, Ivgi I, Canetti L, Tsur B, Bachar E, et al. Adult patients' adjustability to orthodontic appliances. Part I: A comparison between Labial, Lingual, and Invisalign™. *Eur J Orthod.* dicembre 2012;34(6):724–30.
34. AlSeraidi M, Hansa I, Dhaval F, Ferguson DJ, Vaid NR. The effect of vestibular, lingual, and aligner appliances on the quality of life of adult patients during the initial stages of orthodontic treatment. *Prog Orthod.* 1 dicembre 2021;22(1).
35. Baron P. [Invisible and almost invisible orthodontic appliances]. Vol. 85, *L'Orthodontie française.* 2014. pag. 59–91.
36. McMullin A. *Invisible Orthodontics Part 2: Lingual Appliance Treatment.*
37. Waring D. *Invisible Orthodontics Part 3: Aesthetic Orthodontic Brackets Properties of aesthetic brackets Hardness.*
38. Singh P, Cox S. *Lingual Orthodontics: An Overview.*

39. Malik HO, McMullin A, Waring TD. Invisible Orthodontics Part 1: Invisalign.
40. Melchels FPW, Feijen J, Grijpma DW. A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. Vol. 31, Biomaterials. 2010. pag. 6121–30.
41. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. Vol. 85, Angle Orthodontist. Allen Press Inc.; 2015. pag. 881–9.
42. Hennessy J, Al-Awadhi EA. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. J Orthod. 2016;43(1):68–76.
43. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Treatment outcome and efficacy of an aligner technique - regarding incisor torque, premolar derotation and molar distalization. BMC Oral Health. 11 giugno 2014;14(1).
44. Drake CT, McGorray SP, Dolce C, Nair M, Wheeler TT. Orthodontic Tooth Movement with Clear Aligners. ISRN Dent. 14 agosto 2012;2012:1–7.

45. Simon M, Keilig L, Schwarze J, Jung BA, Bourauel C. Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: Incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2014;145(6):728–36.
46. Charalampakis O, Iliadi A, Ueno H, Oliver DR, Kim KB. Accuracy of clear aligners: A retrospective study of patients who needed refinement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 1 luglio 2018;154(1):47–54.
47. Galan-Lopez L, Barcia-Gonzalez J, Plasencia E. A systematic review of the accuracy and efficiency of dental movements with invisalign®. *Korean J Orthod*. 1 maggio 2019;49(3):140–9.
48. Kravitz ND, Kusnoto B, BeGole E, Obrez A, Agran B. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. gennaio 2009;135(1):27–35.
49. Siciliani G, Lombardo L. *Aligners F22*. 2021.

50. Cai Y, He B, Yang X, Yao J. Optimization of configuration of attachment in tooth translation with transparent tooth correction by appropriate moment-to-force ratios: Biomechanical analysis. *Biomed Mater Eng.* 2015;26:S507–17.
51. Dasy H, Dasy A, Asatrian G, Rózsa N, Lee HF, Kwak JH. Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. *Angle Orthodontist.* 1 novembre 2015;85(6):934–40.
52. Kravitz ND, Kusnoto B, Agran B, Viana G. Influence of Attachments and Interproximal Reduction on the Accuracy of Canine Rotation with Invisalign A Prospective Clinical Study. *Angle Orthodontist.* 2008;78(4):682.
53. Dasy H, Dasy A, Asatrian G, Rózsa N, Lee HF, Kwak JH. Effects of variable attachment shapes and aligner material on aligner retention. *Angle Orthodontist.* 1 novembre 2015;85(6):934–40.
54. Cozza P, Pavoni Chiara, Lione R. Approccio sistematico alla terapia ortodontica con allineatori.

55. Colville C, Fischer K, Paquette D. A snap fit: using attachments to improve clear aligner therapy. *Orthod Prod.* 2006.

56. Mampieri G, Condò R, Di Caccamo G, Pirelli P, Giancotti A. Clear Aligner Treatments in Orthoperio Patients. *Case Rep Dent.* 2022;2022.

57. Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Periodontal health during clear aligners treatment: A systematic review. *Eur J Orthod.* 1 ottobre 2015;37(5):539–43.

58. Karkhanechi M, Chow D, Sipkin J, Sherman D, Boylan RJ, Norman RG, et al. Periodontal status of adult patients treated with fixed buccal appliances and removable aligners over one year of active orthodontic therapy. *Angle Orthodontist.* gennaio 2013;83(1):146–51.

59. Flores-Mir C. Clear Aligner Therapy Might Provide a Better Oral Health Environment for Orthodontic Treatment Among Patients at Increased Periodontal Risk. Vol. 19, *Journal of Evidence-Based Dental Practice.* Mosby Inc.; 2019. pag. 198–9.

60. Pini Prato GP, Chambrone L. Orthodontic treatment in periodontal patients: The use of periodontal gold standards to overcome the “grey zone”. Vol. 91, Journal of Periodontology. Wiley-Blackwell; 2020. pag. 437–41.
61. Lione R, Paoloni V, Bartolommei L, Gazzani F, Meuli S, Pavoni C, et al. Maxillary arch development with Invisalign system: Analysis of expansion dental movements on digital dental casts. Angle Orthodontist. 1 luglio 2021;91(4):433–40.
62. Solano-Mendoza B, Sonnemberg B, Solano-Reina E, Iglesias-Linares A. How effective is the Invisalign® system in expansion movement with Ex30' aligners? Clin Oral Investig. 1 giugno 2017;21(5):1475–84.
63. Levrini L, Carganico A, Abbate L. Maxillary expansion with clear aligners in the mixed dentition: A preliminary study with Invisalign® First system. Eur J Paediatr Dent. 2021;22(2):125–8.
64. Blevins R. Phase I orthodontic treatment using Invisalign First. J Clin Orthod; 53(2):73–83. 2019.

65. Galluccio G, De Stefano AA, Horodynski M, Impellizzeri A, Guarnieri R, Barbato E, et al. Efficacy and Accuracy of Maxillary Arch Expansion with Clear Aligner Treatment. *Int J Environ Res Public Health*. 1 marzo 2023;20(5).

66. Boyd RL. Esthetic Orthodontic Treatment Using the Invisalign Appliance for Moderate to Complex Malocclusions. Vol. 72, *Journal of Dental Education*.

67. Lione R, Lombardo Cretella E, Paoloni V, Meuli S, Pavoni C, Cozza P. Upper arch dimensional changes with clear aligners in the early mixed dentition : A prospective study. *Orofac, Othop*. 2023.

68. Zhou N, Guo J. Efficiency of upper arch expansion with the Invisalign system. *Angle Orthodontist*. 2020;90(1):23–30.

69. Houle JP, Piedade L, Todescan R, Pinheiro FHSL. The predictability of transverse changes with Invisalign. *Angle Orthodontist*. 1 gennaio 2017;87(1):19–24.

70. Morales-Burruezo I, Gandía-Franco JL, Cobo J, Vela-Hernández A, Bellot-Arcís C. Arch expansion with the Invisalign system: Efficacy and predictability. PLoS One. 1 dicembre 2020;15(12 December).