



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE  
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

---

Corso di Laurea in Odontoiatria e Protesi Dentaria

**Trattamento Invisalign® First con dispositivo  
MA nel paziente in crescita**

Relatore: Chiar.ma  
**Prof.ssa Lucia Memè**

Tesi di Laurea di:  
**Manuela di Noia**

A.A. 2022/2023



## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>5</b>
<b>1. INQUADRAMENTO DELLA MALOCCLUSIONE DI II CLASSE</b> .....	<b>7</b>
1.1 Le sei chiavi dell'occlusione.....	7
1.2 Classificazione della malocclusione di II classe.....	10
1.3 Epidemiologia .....	13
1.4 Eziologia .....	15
1.5 Analisi cefalometrica .....	18
<b>2. TRATTAMENTO DELLA MALOCCLUSIONE DI II CLASSE</b> .....	<b>21</b>
2.1 Dispositivi ortodontici impiegati nella modifica della crescita dei mascellari.....	22
2.1.1 Trazione extraorale (TEO) .....	23
2.1.2 Apparecchi funzionali .....	24
2.1.2.1 Apparecchi funzionali fissi.....	25
2.1.2.2 Apparecchi funzionali rimovibili .....	26
2.1.3 Confronto dell'efficacia dei vari apparecchi funzionali .....	27
2.1.4 Distalizzazione dei molari superiori .....	29
<b>3. TERAPIA ORTODONTICA CON ALLINEATORI TRASPARENTI (SISTEMA INVISALIGN®)</b> .....	<b>31</b>
3.1 Introduzione alla terapia ortodontica con allineatori trasparenti	

3.2 Fasi del trattamento Invisalign® .....	33
3.3 Meccanica degli allineatori trasparenti.....	38
3.3.1 Concetti base di meccanica ortodontica.....	38
3.3.2 Movimento dentale con allineatori trasparenti .....	49
3.3.3 Efficienza ed efficacia clinica degli allineatori trasparenti .	54
3.3.4 Confronto tra apparecchi fissi e allineatori trasparenti .....	55
<b>4. STUDIO CASE REPORT.....</b>	<b>60</b>
4.1 Materiali e metodi.....	60
4.2 Risultati e discussione .....	65
4.3 Conclusioni.....	69
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>72</b>



## INTRODUZIONE

La malocclusione, secondo l'OMS, è uno dei più importanti problemi di salute orale dopo la carie e la malattia parodontale. La sua prevalenza è molto variabile ed è stimata tra il 39% e il 93% nei bambini e negli adolescenti. È dunque di fondamentale importanza correggerla, poiché la persistenza della problematica senza alcun trattamento, ha un impatto negativo sulla qualità di vita dei bambini e dei loro genitori, conducendo a problemi di estetica, masticazione e fonazione. (1)

Questo elaborato di tesi esaminerà la malocclusione di II Classe scheletrica, una disgnazia dovuta a protrusione mascellare o nella maggior parte dei casi, a retrusione mandibolare (11). L'approccio terapeutico nei confronti del paziente in crescita affetto da malocclusione scheletrica di II Classe prevede una prima fase di terapia intercettiva che comporta la modifica della crescita dei mascellari seguita da una fase ortodontica. Se la malocclusione di II Classe è dettata da retrognazia mandibolare, la terapia ortopedica viene eseguita mediante apparecchi funzionali che hanno il compito di produrre avanzamento e aumento della lunghezza mandibolare.

In alternativa a questi dispositivi ortodontici, per ovviare al problema estetico e aumentare la compliance del paziente al trattamento ortodontico, nel 2017 Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) ha ideato l'apparecchio Mandibular Advancement Feature (IMAF), progettato per il trattamento di pazienti in crescita con malocclusione di Classe II. (2) Questo dispositivo è dotato di "ali di precisione" lungo l'aspetto vestibolare degli allineatori che servono a posizionare la mandibola in avanti con contemporaneo allineamento dentale.

Il primo capitolo di questo elaborato di tesi fornirà un inquadramento generale della malocclusione di II Classe: verrà stabilita la prevalenza di tale problematica a livello globale, la sua classificazione da un punto di vista dentale e scheletrico, quali sono i fattori principali che la determinano e le configurazioni scheletriche che può assumere.

Nel secondo capitolo, dopo aver brevemente analizzato i vari protocolli terapeutici da attuare nell'ambito della correzione di una malocclusione di II Classe in base all'età del paziente, andremo a descrivere quali sono i principali dispositivi impiegati nella modifica della crescita dei mascellari, oltre a confrontarne l'efficacia.

Il terzo capitolo sarà dedicato interamente agli allineatori trasparenti Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA). Verranno definiti i vantaggi e gli svantaggi prodotti dagli aligner, quali sono le varie fasi che caratterizzano un trattamento ortodontico Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA), i principali meccanismi che sono alla base dello spostamento dentale con allineatori trasparenti e le principali differenze con le apparecchiature tradizionali fisse.

Infine, nel quarto e ultimo capitolo verrà riportato uno studio case report che mira a valutare come l'apparecchio Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) First con Mandibular Advancement Feature (IMAF) si sia rivelato un valido dispositivo ortodontico nella correzione della malocclusione dento-scheletrica di II Classe in un paziente in crescita.

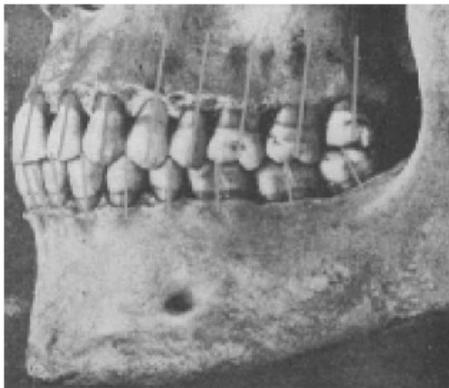
# 1. INQUADRAMENTO DELLA MALOCCLUSIONE DI II CLASSE

## 1.1 Le sei chiavi dell'occlusione

Quando si parla di normocclusione si fa riferimento non solo al rapporto corretto di intercuspidação dei singoli elementi dentali, ma anche all'armonia statica e dinamica tra le strutture basali-neuromuscolari-dentali e i tessuti molli. (3)

Il primo studioso a individuare diversi criteri per definire un'occlusione ottimale fu Andrews (4) che, negli anni '70, osservando i modelli in gesso di 120 soggetti non trattati ortodonticamente, individuò sei parametri principali che definì "chiavi" dell'occlusione, i quali costituiscono ad oggi, il punto di arrivo di qualsiasi trattamento ortodontico di successo. Le "Sei Chiavi dell'Occlusione" (4) sono:

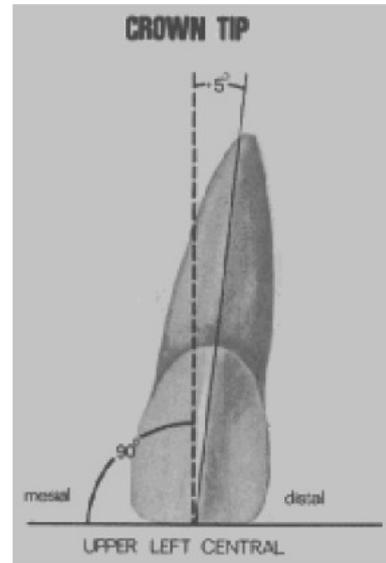
**1 chiave: relazione molare** → la superficie distale della cuspid



**Figura 1 - Relazione molare e canina**

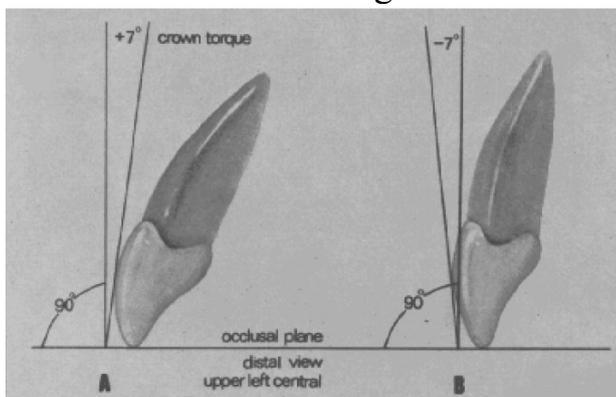
la superficie distale della cuspid distovestibolare del primo molare permanente superiore occlude con la superficie mesiale della cuspid mesiovestibolare del secondo molare permanente inferiore. Invece, la cuspid mesiovestibolare del primo molare superiore permanente cade nel solco mesiovestibolare del primo molare permanente inferiore (i canini e i premolari rispettano il rapporto cuspid-incisura vestibolarmente e mostrano una relazione cuspid-fossa lingualmente);

**2 chiave: inclinazione mesio-distale della corona(tip)**→ si riferisce all'angolo che si forma tra l'asse longitudinale del dente ed una retta posta a 90° sul piano occlusale. Nell'occlusione normale, la porzione gengivale dell'asse longitudinale di ogni corona, si trova in posizione distale rispetto alla porzione incisale. Il grado di angolazione cambia da dente a dente;



**Figura 2 - Tip della corona**

**3 chiave: inclinazione vestibolo-linguale della corona(torque)**→ corrisponde all'angolo che si forma tra una retta a 90° rispetto al piano occlusale e una linea tangente al sito del bracket (che si trova al centro dell'asse lungo della corona clinica). Nel torque positivo, la porzione gengivale della linea tangente (o della corona) è linguale rispetto alla porzione incisale. Invece, il torque negativo, si verifica quando la porzione gengivale della linea tangente (o della corona) è labiale alla porzione incisale. Per cui avremo:



**Figura 3 - Torque della corona**

dell'asse lungo della corona clinica). Nel torque positivo, la porzione gengivale della linea tangente (o della corona) è linguale rispetto alla porzione incisale. Invece, il torque negativo, si verifica quando la porzione gengivale della linea tangente (o della corona) è labiale alla porzione incisale. Per cui avremo:

- denti anteriori (incisivi centrali e laterali): le corone degli incisivi superiori e inferiori sono orientate in modo da resistere alla

sovraestrusione e, anche, per garantire un corretto posizionamento dei denti posteriori nella loro relazione con gli antagonisti;

- denti posteriori superiori (canini-premolari-molari): presentano anch'essi un torque che è costante e simile dai canini ai secondi premolari, mentre è debolmente più pronunciato nei molari;
- denti posteriori inferiori (canini-premolari-molari): il torque aumenta progressivamente da canino a secondo molare;

Dunque, gli incisivi superiori possiedono un torque positivo, mentre gli altri gruppi dentali (incisivi inferiori, canini, premolari, molari) possiedono torque negativo;

**4 chiave: assenza di rotazioni** → i denti di entrambe le arcate dentarie devono essere privi di rotazioni;



**Figura 4 - Assenza di rotazioni**

**5 chiave: punti di contatto** → gli elementi dentali delle due arcate non presentano spazi ma punti di contatto stretti con gli elementi mesiale e distale;

**6 chiave: piano oclusale** → il piano oclusale deve essere piano per garantire la migliore intercuspidação. Una curva di Spee profonda si traduce in minor spazio per i denti mascellari. Una curva di Spee inversa determina affollamento dentario nella mandibola e spazi nel mascellare.

Come conseguenza dei sopracitati principi (5), abbiamo:

- Modello naturale “dente a due denti”: ogni dente deve occludere con due denti dell’arcata antagonista. Fanno eccezione gli incisivi centrali inferiori ed i terzi molari superiori che si articolano con un solo dente, rispettivamente gli incisivi centrali superiori ed i terzi molari inferiori;
- Overbite: è definito come la distanza sul piano verticale tra il margine incisale degli incisivi centrali superiori e quello degli inferiori. Misura circa 2 mm;
- Overjet: è definito come la distanza sul piano sagittale tra il margine incisale degli incisivi superiori e la superficie vestibolare degli inferiori. Misura circa 2 mm;
- Coincidenza delle linee interincisive;
- Denti mascellari sporgono vestibolarmente rispetto ai mandibolari, a causa del diametro maggiore dell’arcata mascellare;

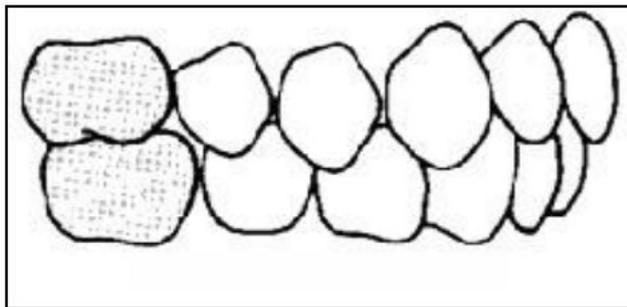
## **1.2 Classificazione della malocclusione di II classe**

La malocclusione si verifica quando le arcate dentarie assieme alle strutture ossee e alla muscolatura della faccia sono in disequilibrio tra loro, tanto da non garantire le adeguate funzioni fonetiche, masticatorie ed estetiche (5).

### Classificazione secondo Angle

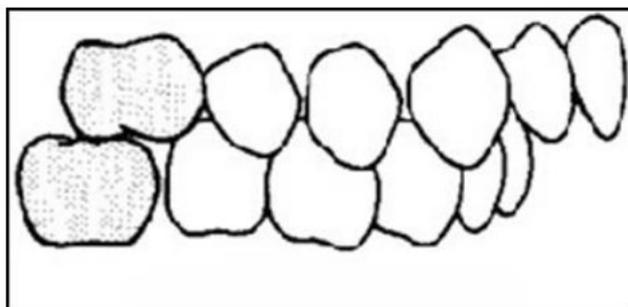
Edward Angle, nel 1907, fu il promotore della prima classificazione delle malocclusioni. Egli (6) fondò la sua suddivisione, sulla teoria secondo cui l’occlusione normale si ha quando la cuspid

mesiovestibolare del 1° molare permanente superiore occlude nel solco vestibolare del 1° molare permanente inferiore, mentre la cuspidine del canino superiore è situata tra il canino ed il 1° premolare inferiore. I rapporti tra le due arcate e le due basi ossee sono in armonia tra loro.



**Figura 5** - Rappresentazione schematica rapporto di I Classe

Invece, nella malocclusione di II Classe (distocclusione) dentale, il rapporto intermolare è caratterizzato dal solco mesiovestibolare del 1° molare permanente inferiore collocato distalmente rispetto alla cuspidine mesiovestibolare del 1° molare permanente superiore. Vi è quindi una relazione distale della mandibolare rispetto al mascellare superiore oppure è il mascellare superiore ad essere mesializzato rispetto alla mandibola: da una relazione molare simile possono perciò derivare morfologie craniofacciali differenti.



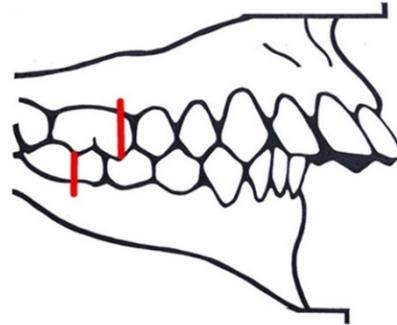
**Figura 6** - rappresentazione schematica rapporto di II Classe

La II Classe comprende (6) due sottoclassi:

- **II Classe I Divisione:**

Permangono le condizioni generiche della malocclusione di II classe. Nella distocclusione, gli incisivi superiori sono inclinati vestibolarmente, con un conseguente aumento dell'overjet ed un caratteristico profilo retrognatico;

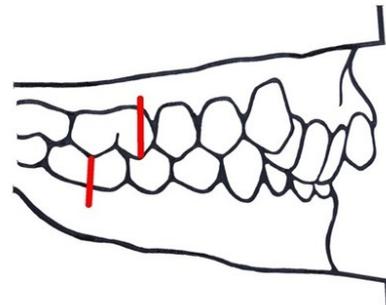
2<sup>a</sup> classe - 1<sup>a</sup> divisione



- **II Classe II Divisione:**

Permangono le condizioni generiche della malocclusione di II classe. La distocclusione determina negli incisivi centrali superiori un'inclinazione normale o anche in direzione palatina mentre gli incisivi laterali superiori sono inclinati vestibolarmente e mesialmente. Spesso è presente un morso profondo o deep bite;

2<sup>a</sup> classe - 2<sup>a</sup> divisione



(6)

La classificazione di Angle presenta però il limite di riferirsi esclusivamente al livello dentoalveolare della malocclusione e non scheletrico. (5)

### Classificazione secondo Ballard

Ballard elaborò una classificazione delle malocclusioni basata sulla valutazione del rapporto sagittale tra mascellare superiore e mandibola, Essa individua due angoli, SNA ed SNB, che indicano rispettivamente la posizione del mascellare superiore e della mandibola rispetto alla base cranica. La classificazione di Ballard si basa sull'angolo ANB che analizza il rapporto sagittale tra le due basi ossee craniofacciali ed è il risultato della sottrazione tra il valore degli angoli SNA e SNB. (5)

I punti che determinano questi due angoli sono:

punto A di Downs → è il punto più rientrante, sul piano sagittale, della regione anteriore del mascellare superiore;

punto B di Downs → è il punto più rientrante, sul piano sagittale, della regione anteriore della sinfisi mandibolare;

punto N, nasion → è il punto più anteriore, sul piano sagittale, della sutura fronto-nasale;

punto S → è il punto centrale della sella turcica;

Secondo la classificazione di Ballard, la *II Classe scheletrica* si verifica quando l'angolo ANB > 4° e può essere dovuta ad una protrusione superiore basale, ad una retrusione inferiore basale o a entrambe;

(5)

### **1.3 Epidemiologia**

Una revisione sistematica (7), pubblicata nel Dental Press Journal of Orthodontics nel 2018, ha voluto analizzare la prevalenza delle

malocclusioni in varie popolazioni e continenti. La ricerca è stata condotta su motori scientifici quali PubMed, Embase e Google Scholar, fino a dicembre 2016 e nei siti web di riviste come Angle Orthodontist, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Journal of Orthodontics ed European Journal of Orthodontics. Sono stati esaminati 2977 studi. È emerso come nella dentizione permanente, le distribuzioni globali di Classe I, Classe II e Classe III sono state rispettivamente del 74,7%, 19,56% e 5,93. Per quanto riguarda la distribuzione delle malocclusioni in base alla posizione geografica, l'Europa ha mostrato la più alta prevalenza di Classe II (33,51%) e la più bassa prevalenza di Classe I (60,38%). Nell'ambito della dentizione permanente, le più alte prevalenze di malocclusione di Classe I (89,44%) sono state registrate tra la popolazione africana, mentre la più alta prevalenza di Classe II (22,9%) è stata riportata tra i caucasici. Invece, le distribuzioni globali delle classi I, II e Classe III in fase di dentizione mista erano rispettivamente 72,74%, 23,11% e 3,98%. Per quanto riguarda la prevalenza delle malocclusioni in dentizione mista in base alla posizione geografica, l'Africa ha mostrato la più alta prevalenza di Classe I (90%), ma la più bassa prevalenza di malocclusione di Classe II (7,5%), che invece ha riportato i valori più alti di prevalenza in Europa (31,95%). (7)

Osservando i vari risultati ottenuti, possiamo concludere come nello specifico, la malocclusione di Classe II risulti a livello globale, seconda per prevalenza, con maggior frequenza in dentizione mista che in quella permanente. Inoltre si riscontra maggiormente in Europa e nelle popolazioni caucasiche.

## 1.4 Eziologia

La malocclusione è il risultato di una complessa interazione tra molteplici fattori che influenzano la crescita e lo sviluppo, in cui è difficile individuare una specifica causa (8).

Tre diverse tipologie di fattori eziologici portano alla genesi di una malocclusione:

- cause specifiche;
- influenze genetiche;
- fattori ambientali.

### Cause specifiche

Fra gli agenti eziologici specifici della disarmonia di II Classe troviamo alterazioni che si possono realizzare durante lo sviluppo embrionale e disturbi della crescita che si verificano durante il periodo fetale. I difetti di sviluppo embrionale sono per la maggior parte dovuti ad un'alterazione del genoma, ma anche gli agenti chimici, fisici, microbici o virali, intervenendo in queste prime fasi dello sviluppo, possono dare vita ad un'anomalia. Molti difetti cranio-facciali si verificano tra la terza e la quarta settimana di vita intrauterina, in cui si assiste all'origine e alla migrazione delle cellule della cresta neurale. Quest'ultime sono responsabili della formazione di tutto il tessuto connettivale e scheletrico della regione facciale, comprese le ossa mascellari e i denti. Ad esempio, nella Sindrome di Treacher- Collins, la mutazione del gene TCOF1 produce un effetto teratogeno sull'embrione, che porta ad una riduzione dei livelli di tessuto mesenchimale, soprattutto a livello laterale del viso, con genesi di una malformazione. I disturbi della crescita che si verificano durante il

periodo fetale e neonatale si suddividono in due categorie: le deformazioni per compressione intrauterina e i traumi mandibolari che si verificano durante il parto. Durante la vita intrauterina, occasionalmente, ad esempio per una riduzione del volume del liquido amniotico, la testa del feto flette eccessivamente sul torace impedendo un normale sviluppo sagittale della mandibola che risulterà alla nascita deficitaria. Le dimensioni ridotte della mandibola spesso si accompagnano alla presenza di una palatoschisi poiché la limitazione all'avanzamento mandibolare causa una spinta verso l'alto della lingua che impedisce la chiusura dei due processi palatini. Questo quadro clinico è noto come Sindrome di Pierre Robin.

(8)

#### Influenze genetiche

Nella genesi della malocclusione di II classe, anche la genetica occupa un ruolo importante. Un tratto ereditato da uno dei due genitori o da combinazione di tratti di entrambi i genitori, può produrre caratteristiche simili o modificate nella prole (9). Secondo uno studio condotto da Lundström (10), nei gemelli monozigoti c'era una concordanza del 68% di avere una malocclusione di II Classe; mentre, nei gemelli dizigoti, quest'ultima ammontava al 24%.

Gli studiosi Harris e Jonhson (8), stabilirono attraverso ulteriori ricerche, come la componente ereditaria influisce maggiormente nelle malocclusioni scheletriche, mentre le alterazioni dentali sembrano determinate principalmente da fattori ambientali.

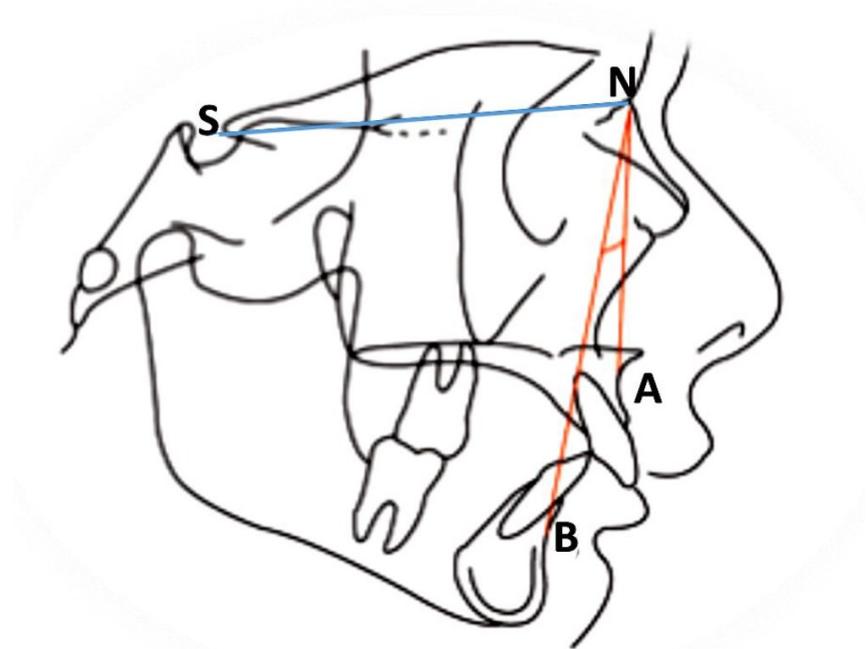
### Fattori ambientali

All'interno del cavo orale, la posizione degli elementi dentali è in equilibrio quando la dentizione è sottoposta ad una serie di forze di vario tipo che si annullano tra di loro. Sulla base di questo principio è evidente come abitudini viziate che si instaurino in età precoce, alterando gli equilibri pressori nel cavo orale, possano costituire dei fattori eziologici di una malocclusione. Per quanto riguarda l'eziologia della malocclusione di II Classe è particolarmente evidente il ruolo del succhiamento del dito: se questa abitudine viziosa perdura fino all'eruzione della dentatura permanente, la spinta antero-posteriore prolungata nel tempo ed esercitata dal dito, provoca un'inclinazione vestibolare degli incisivi centrali superiori e un'inclinazione linguale degli incisivi inferiori causando un aumento dell'overjet. La suzione del pollice conduce anche ad un open bite anteriore: la mandibola postruota come conseguenza di un'eccessiva eruzione dei settori posteriori ed una diminuita eruzione dei settori anteriori dovuta al pollice o un altro dito che si interpone tra i denti anteriori. Inoltre, il succhiamento del dito fa sì che la lingua, posizionata inferiormente, diminuisca la sua pressione contro la zona linguale dei denti superiori posteriori. Allo stesso tempo, nell'arcata superiore, la pressione delle guance contro i denti è aumentata dalla contrazione del muscolo buccinatore durante la suzione. Dunque, questo squilibrio pressorio tra guance e labbra porta alla genesi di un'arcata superiore a forma a "V", con un restringimento a livello dei canini piuttosto che dei molari. Anche un'alterazione nella postura della lingua (deglutizione atipica, respirazione orale) o l'interposizione del labbro inferiore possono determinare spinte

indesiderate sugli elementi dentali che concorrono nella genesi della disto-occlusione. (8)

### 1.5 Analisi cefalometrica

La malocclusione di II Classe si può manifestare clinicamente attraverso molteplici configurazioni dentali e scheletriche.



**Figura 7** - Esempio di tracciato cefalometrico di una malocclusione di II classe

Può essere infatti caratterizzata (5) da:

- Protrusione superiore basale → viene identificata con un rapporto molare di II Classe, un aumento dell'overjet, un'inclinazione degli incisivi normale, un aumento degli angoli SNA e SNB;
- Retrusione inferiore basale → si può verificare:
  - Con dimensioni mandibolari normali → la retrusione in questo caso può essere:
    - funzionale da interferenze occlusali: dipende da un insieme di elementi che durante la funzione, costringono una mandibola con un livello basale

normale, ad una posizione più arretrata: questi elementi, definiti come “interferenze di II Classe”, possono essere:

- dentali: inclinazione palatina degli incisivi centrali e/o laterali superiori;
- anomalie della superficie palatina degli incisivi superiori (cingolo accentuato);
- dento-alveolari: aumento dell'overbite per estrusione degli incisivi superiori e inferiori; ridotta altezza dento-alveolare nei settori posteriori; inclinazione vestibolare degli incisivi inferiori (tentativo di compenso); inclinazione palatina dei denti latero-posteriori; minus trasversale superiore con discrepanza trasversale;
- basali: riduzione trasversale del mascellare superiore;
- muscolari: interposizione del labbro inferiore nell'overjet, determinato da problematiche dento-alveolari degli incisivi superiori e/o inferiori; ipertono del labbro inferiore;

La retrusione basale funzionale presenta un rapporto intermolare di II Classe, un aumento dell'overjet, incisivi inferiori inclinati lingualmente ed estrusi, una retrusione del labbro inferiore e del mento. La mandibola, avendo una conformazione e un volume normali, possiede una lunghezza mandibolare (Co-Gn), del corpo mandibolare (Go-Me), del ramo (Ar-Go) e dell'angolo goniale (Ar-Go-Me) nella norma.

L'analisi cefalometrica evidenzia l'angolo SNB diminuito, mentre l'angolo ANB risulta aumentato;

- anatomica da posizione arretrata della fossa glenoide oppure da eccesso verticale del mascellare superiore: è contraddistinta da un rapporto intermolare di II Classe, un aumento dell'overjet, incisivi inferiori inclinati vestibolarmente come tentativo di compenso per ridurre l'overjet, una retrusione del labbro inferiore e del mento.
- Con dimensioni mandibolari ridotte: la retrusione è dovuta a:
  - Iposviluppo totale;
  - Iposviluppo ramo;
  - Iposviluppo corpo;
  - Ridotta ampiezza angolo mandibolare;

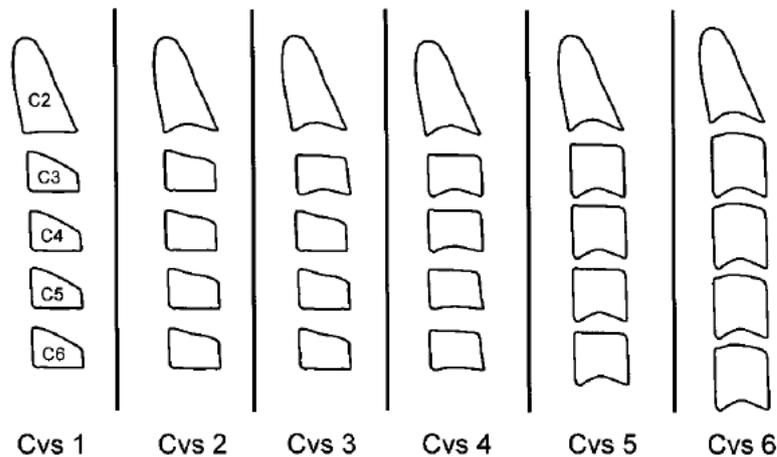
## **2. TRATTAMENTO DELLA MALOCCLUSIONE DI II CLASSE**

Uno studio di McNamara (11), in cui è stato analizzato un campione di 277 bambini di entrambi i sessi di età compresa tra gli 8 e i 10 anni, ha messo in evidenza come la malocclusione di II Classe è dovuta maggiormente ad una retrusione basale inferiore, mentre la protrusione basale superiore è relativamente infrequente. Infatti, il mascellare superiore, nella maggior parte dei soggetti, risulta essere nella norma.

Il tipo di terapia da intraprendere dipende dall'età del paziente e dalla sua estetica, dalla gravità della malocclusione scheletrica o dentale, dal potenziale di crescita e dalla conformità del paziente al trattamento.

Solitamente, il momento ideale per modificare una classe scheletrica di II classe è durante il picco di crescita adolescenziale, che si verifica comunemente nelle ragazze di 10-13 anni di età e nei ragazzi di 11-14 anni di età. Baccetti, Franchi e McNamara, (12) stabilirono il picco di crescita, analizzando la forma delle vertebre cervicali C2, C3, C4 e definendo la loro morfologia in sei stadi di sviluppo. I due stadi iniziali sono differenziati dalla concavità del bordo inferiore di C2 allo stadio cervicale 2 (CS2). Lo stadio cervicale 3 (CS3) è lo stadio ideale per iniziare l'ortopedia mascellare funzionale in quanto correlato con il picco della crescita mandibolare, ed è identificato da una concavità visibile al bordo inferiore di C3. A CS4, si sviluppa una concavità nel bordo inferiore anche di C4 con corpi sia di C3 che di C4 sono rettangolari. In CS5 almeno uno di loro è di forma quadrata e le concavità sono ben delineate anche nei bordi inferiori di tutte le sei vertebre cervicali. Infine, nel CS6, tutte le concavità si sono

approfondite e i corpi sono più alti che larghi identificandosi in forme rettangolari e si può dedurre che sono passati più di due anni dal picco della crescita mandibolare.



**Figura 8 - Stadi di sviluppo delle vertebre cervicali**

Nei soggetti ancora in fase di crescita, la correzione della malocclusione di II Classe, prevede terapia intercettiva (con l'obiettivo di correggere la problematica scheletrica) con annessa terapia ortodontica fissa per la risoluzione del rapporto molare e canino (13).

Al contrario, in pazienti adulti o tardi adolescenti con scarso potenziale di crescita, si compensa dentalmente la moderata discrepanza scheletrica, attraverso tecniche di camouflage ortodontico. Invece in soggetti adulti con severe malocclusioni di II classe, la chirurgia ortognatica, rappresenta l'unica scelta di trattamento per curare efficacemente una mandibola retrognatica (14).

## **2.1 Dispositivi ortodontici impiegati nella modifica della crescita dei mascellari**

Per i pazienti in fase di crescita, affetti da malocclusione di II Classe, la terapia intercettiva, che si pone come obiettivo la modifica della crescita dei mascellari, prevede l'uso di trazione extraorale (nei rari casi in cui

la disgnazia scheletrica sia dettata da protrusione mascellare) o impiego di apparecchi funzionali rimovibili o fissi (nei casi in cui la disarmonia scheletrica sia dovuta a retrusione mandibolare).

Invece nei soggetti di Classe II non estrattivi, la distalizzazione dei molari superiori può essere utilizzata per correggere la relazione molare e per alleviare l'affollamento nell'arcata mascellare.

### **2.1.1 Trazione extraorale (TEO)**

La TEO (trazione extraorale) è un dispositivo ortodontico extraorale utile nel trattamento della malocclusione di II classe da protrusione mascellare. Contiene la crescita del mascellare superiore, garantendo nel frattempo alla mandibola di raggiungere un corretto rapporto con la base ossea superiore. (17)

Per esplicare al meglio la sua funzione, la trazione extraorale va indossata dalle 10 alle 12 ore al giorno (solitamente da dopo cena fino alle prime ore al risveglio) poiché il rilascio dell'ormone della crescita si verifica nelle prime ore della sera (17) e la forza orale deve essere nell'ordine di 400-600g per lato per ottenere gli effetti scheletrici massimi e gli effetti dentali minimi (13).

La trazione extraorale produce nei pazienti di II classe:

#### -Effetti ortopedici (16):

- diminuzione della crescita scheletrica mascellare: a seguito del trattamento, si ha arretramento del punto A con annessa riduzione angolo ANB;
- postrotazione della mandibola;
- aumento dell'altezza facciale anteriore;

### -Effetti dentali (16):

- distalizzazione dei molari mascellari;
- intrusione o estrusione dei molari mascellari;
- apertura del morso;
- riduzione overjet che minimizza il rischio di traumi dentali nei pazienti in crescita;
- quando il vettore della forza passa sopra al centro di resistenza dei molari (a livello della regione media radicolare), la trazione produce un movimento distale radicolare; si genera un movimento corporeo se le forze passano per il centro di resistenza; mentre se passano al di sotto di questo punto si ottiene un tipping distale della corona (17);

### **2.1.2 Apparecchi funzionali**

Gli apparecchi funzionali sono dei dispositivi ortodontici in grado di alterare la postura della mandibola, costringendola all'avanzamento, per la correzione della malocclusione di Classe II (17).

Da un punto di vista ortopedico, oltre al rimodellamento verso il basso e in avanti della fossa glenoidea che porta alla correzione di Classe II, si genera anche un "effetto trazione extraorale", riducendo così la crescita del mascellare superiore. Da un punto di vista ortodontico, questi dispositivi sono in grado di far erompere mesialmente e occlusalmente i denti mandibolari posteriori e inibire l'eruzione dei denti posteriori mascellari (13).

Gli apparecchi funzionali possono essere suddivisi in rimovibili o fissi.

### **2.1.2.1 Apparecchi funzionali fissi**

Gli apparecchi funzionali fissi presentano alcuni vantaggi rispetto ai sistemi rimovibili (13):

1. Sono progettati per essere indossati 24 ore al giorno;
2. Sono di dimensioni più ridotte;
3. Riducono la necessità di compliance del paziente;
4. Trasmettono le forze direttamente ai denti;

Alcuni di loro sono cementati sui denti come il MARA (Mandibular Anterior Repositioning Appliance) e l'Herbst. Altri sono attaccati al filo dell'arco o alle bande sui denti, come l'apparecchio Forsus R.

Il MARA si compone di quattro corone in acciaio (cementate sui primi molari permanenti) dotate di loop che si collegano solo quando il paziente occlude. Quest'apparecchio fornisce una maggiore libertà di movimento mandibolare, poiché non presenta sistemi di tubi telescopici o molle che collegano le arcate in modo permanente. Nel dispositivo ortodontico, sono incorporati un arco linguale e una barra transpalatale per stabilizzare rispettivamente i molari superiori e inferiori. (18)

Il Forsus R. è dotato di una molla telescopica che si attacca al primo molare superiore e un'asta di spinta collegata al filo dell'arco inferiore, distalmente al canino o al primo premolare. La molla e l'asta FRD creano una forza uguale e contraria alla dentatura mascellare e mandibolare. (19)

L'Herbst è un apparecchio funzionale fisso molto efficace se usato alla fine della dentizione mista (20). È formato da quattro corone cementate

ai primi molari e da due bracci telescopici collegate a bande ortodontiche.

Secondo lo studio di LeCornu et al. (21), il dispositivo può indurre il rimodellamento del condilo e della fossa glenoidea causando una protrusione mandibolare. L'apparecchio Herbst è un ottimo dispositivo ortodontico efficace nel correggere le malocclusioni di Classe II limitando la crescita mascellare, aumentando la lunghezza mandibolare, distalizzando e intrudendo i molari mascellari, costruendo la mandibola. (21)

### **2.1.2.2 Apparecchi funzionali rimovibili**

All'interno della famiglia degli apparecchi funzionali rimovibili troviamo il Bionator, Functional Regulator-II (FR-II) e Twin Block.

L'apparecchio Bionator è costituito da un arco vestibolare che mantiene separate le labbra dai denti e da un connettore principale palatale che stabilizza i settori posteriori. Induce propulsione mandibolare per contatto tra le flange linguali con la mucosa linguale. (17)

Il FR-II è dotato di scudi vestibolari e cuscinetti labiali inferiori, concepiti per trattenere la muscolatura e rimuovere le forze che altrimenti limiterebbero lo sviluppo scheletrico e dentale. Lo stimolo per il riposizionamento mandibolare è fornito dal bordo inferiore dello scudo vestibolare, dai cuscinetti labiali inferiori che toccano la mucosa labiale e dalla mucosa labiale. La pressione prodotta sulla mucosa provoca propulsione mandibolare. (22)

Il Twin Block è costituito da due blocchi di resina acrilica inclinati tra loro di 70°, che producono avanzamento mandibolare durante la fase di chiusura. Le forze occlusali così trasmesse alla dentizione generano uno

stimolo propriocettivo sensorio che permette la crescita dell'osso mandibolare. (23)

Uno studio prospettico effettuato nella Clinica Ortodontica dell'Università di Erciyes ha confrontato gli effetti dentoscheletrici ottenuti con Twin Block e con apparecchio di Herbst. Analizzando 67 soggetti (di cui 23 inclusi nel gruppo di Herbst, 24 nel gruppo Twin Block e 20 nel gruppo controllo), si evince come le terapie con entrambi gli apparecchi hanno portato alla correzione del rapporto di classe II, riduzione dell'overjet e miglioramento della discrepanza scheletrica. Dopo il trattamento, il Twin Block si è rivelato essere l'apparecchio funzionale che genera maggiori cambiamenti scheletrici rispetto all'apparecchio di Herbst. A differenza del gruppo controllo, la terapia con Twin Block, ha prodotto un aumento della lunghezza mandibolare di circa 3,37 mm e da 12 a 16 mesi post-trattamento, si è osservato un incremento di 1,46-4,75 millimetri. Oltre alla protrusione mandibolare e all'aumento della lunghezza della mandibola, il TB è in grado di produrre vari effetti dentali, tra cui protrusione degli incisivi inferiori, retroclinazione degli incisivi superiori, movimento distale dei molari superiori. (24)

### **2.1.3 Confronto dell'efficacia dei vari apparecchi funzionali**

Uno studio condotto (25) da N.J. Siara-Olds e pubblicato nell'*Angle Orthodontist* ha confrontato i cambiamenti dentoscheletrici a lungo termine ottenuti con gli apparecchi funzionali Bionator, Herbst, Twin Block e MARA. Il campione di trattamento comprendeva 80 pazienti affetti da malocclusione scheletrica di II Classe, suddivisi equamente

tra i gruppi di apparecchi funzionali Bionator, Herbst, Twin Block e MARA.

Dopo trattamento, il gruppo Bionator ha mostrato un aumento di  $2,0^\circ$  l'anno dell'angolo goniaco, dovuto alla direzione di crescita del condilo e al rimodellamento del bordo posteriore del ramo. L'avanzamento mandibolare ha consentito anche una significativa riduzione dell'overbite. All'interno di questo gruppo di trattamento, si è ottenuta anche una maggior quantità di tipping della corona linguale degli incisivi mascellari che può essere correlata con la pressione dell'arco labiale. Il gruppo Herbst ha ottenuto una drastica riduzione di overjet e overbite al termine del trattamento, oltre a una significativa diminuzione dell'indice di Wits, legata ad una restrizione della crescita mascellare e al cambiamento nel piano occlusale. I pazienti trattati con Twin Block hanno ottenuto una diminuzione dell'indice di Wits, un angolo ANB diminuito con angolo SNB aumentato e uno spostamento del pogonion in posizione anteriore dimostrando così una maggior stabilità dei cambiamenti scheletrici ed anche una miglior controllo verticale rispetto agli altri apparecchi. Il gruppo Twin Block ha prodotto anche effetti dentali, riducendo overjet e overbite a lungo termine (25).

Tutti gli apparecchi funzionali di questo studio hanno causato un aumento della lunghezza mandibolare (Twin Block:1,5 mm l'anno; Herbst:1,2 mm l'anno e MARA:0,94 mm l'anno), ma è importante notare come il Twin Block sia il dispositivo funzionale che ha generato la maggior quantità di avanzamento mandibolare (25).

#### **2.1.4 Distalizzazione dei molari superiori**

In passato, i principali dispositivi distalizzanti dei molari superiori che venivano impiegati nei trattamenti non estrattivi della malocclusione di II Classe erano la trazione extraorale, la placca rimovibile Cetlin, gli archi di Wilson. Però, tutti questi apparecchi necessitano una parziale o totale collaborazione del paziente (26).

Ad oggi, molti ortodontisti utilizzano sistemi di distalizzazione intraorale, in modo da ridurre al minimo tutte le problematiche che derivano da una scarsa compliance del paziente. Gli apparecchi distalizzanti intraorali proposti in letteratura sono costituiti da un'unità di ancoraggio (di solito comprendente premolari o molari decidui e un bottone di Nance in acrilico) e un'unità di generazione della forza. Diversi tipi di componenti attivi della forza includono magneti repellenti, molle elicoidali su un arco continuo, archi superelastici in nichel-titanio, molle elicoidali su un arco sezionale (Jones jig, Distal Jet, Keles slider), e molle in lega di beta titanio (Pendulum, K-loop). Questi dispositivi presentano svantaggi legati alla perdita di ancoraggio, al tipping del primo molare mascellare, alla postrotazione mandibolare e alla protrusione delle labbra. Anche il First Class (FCA) è considerato come dispositivo intraorale distalizzante dei molari mascellari. (26)

Uno studio di Arturo Fortini (26) et al., analizzando gli effetti dentoscheletrici prodotti dal First Class, ha messo in evidenza come, rispetto a dispositivi quali Pendulum, Jones jig, Distal Jet, l'apparecchio intraorale FCA ha prodotto una distalizzazione molare "rapida" (1,7 mm al mese in media) e un movimento distale medio di 4,0 mm per lato delle corone dei primi molari superiori durante un periodo di 2,4

mesi. La quantità di distalizzazione media del primo molare generata dal First Class è maggiore di quella riportata da Ghosh e Nanda (27) e Byloff e Darendeliler (28) per il Pendulum, ed è anche superiore di quella prodotta dal Jones jig (29) e dal Distal Jet (30). Altri studi (31) sul Pendulum hanno riportato un movimento distale maggiore rispetto al FCA.

Per quanto riguarda i cambiamenti dentoscheletrici verticali, il FCA ha prodotto un'estrusione media rispettivamente di 1,2 mm e 1,0 mm sui primi molari e i secondi premolari superiori, dovuta a cambiamenti minimi sia nell'inclinazione del piano mandibolare rispetto alla base cranica (0,5 mm) che nell'overbite (-0,8 mm). In particolar modo, la rilevante estrusione delle cuspidi mesiali dei primi molari superiori (1,2 mm) era conseguenza dell'inclinazione distale dei molari. Risultati simili sono stati riportati in altri studi per il Distal Jet (32) e il Jones jig (33).

### **3. TERAPIA ORTODONTICA CON ALLINEATORI TRASPARENTI (SISTEMA INVISALIGN®)**

#### **3.1 Introduzione alla terapia ortodontica con allineatori trasparenti**

Uno dei principali motivi che spinge il paziente a sottoporsi a un trattamento ortodontico è rappresentato dall'estetica. Pertanto, gli studiosi, per soddisfare al meglio le richieste e le esigenze del paziente, hanno sviluppato diverse soluzioni, come gli apparecchi in ceramica o in composito, l'ortodonzia linguale e gli allineatori trasparenti come alternativa agli apparecchi convenzionali (34).

Kesling negli anni '40, introdusse il posizionatore dei denti, un dispositivo che producendo piccoli movimenti dentali, veniva utilizzato principalmente nella fase finale di rifinitura, al termine di un trattamento ortodontico (35).

L'evoluzione di questa idea è stata la realizzazione di una sequenza di allineatori che consentivano il movimento di più denti simultaneamente per più denti contemporaneamente, in modo da raggiungere progressivamente la posizione dentale programmata e correggere le varie malocclusioni. (36) Gli allineatori trasparenti venivano originariamente fabbricati su modelli in cera da impronte dentali, il che rendeva il trattamento molto dispendioso in termini di tempo e quindi inefficiente. I progressi nei materiali dentali e nella tecnologia informatica degli ultimi decenni hanno consentito un uso molto più semplice ed efficiente degli allineatori trasparenti e tali apparecchi hanno iniziato a guadagnare popolarità. Nel 1997, Align Technology ha introdotto l'apparecchio Invisalign® (Align Technology, Santa Clara,

CA, USA) (35), una serie di allineatori rimovibili in poliuretano realizzati per la prima volta mediante la tecnologia CAD-CAM. (36)

Ad oggi, gli allineatori trasparenti si distinguono in convenzionali e allineatori progettati e stampati in 3D. Quest'ultimi vengono realizzati secondo la tecnologia CAD-CAM e contengono attachments in resina, che possono essere ellissoidali, smussati e rettangolari, oppure punti di pressione, Bite Ramp, Power ridge, che permettono di effettuare un'ampia scala di movimenti dentali. Esempi di questa categoria di allineatori trasparenti sono Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA), ClearCorrect, ClearPath, eClinger, K Line e Orthocaps(35).

Oggi, gli aligner trasparenti Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) sono realizzati in plastica flessibile. Nello specifico, si tratta di un materiale termoplastico chiamato SmartTrack™ (37) Verranno indossati per 20 ore al giorno e cambiati circa ogni 2 settimane. Ogni allineatore sposterà i denti da 0,25 a 0,3 mm. (34)

Le mascherine sono trasparenti, estetiche, confortevoli e non possiedono bracket metallici o fili che possono generare in bocca irritazione o lacerazioni. Essendo invisibili, gli allineatori consentono al paziente di sorridere con maggior fiducia (34). Rispetto ai bracket tradizionali, gli aligner garantiscono una migliore igiene orale. Le mascherine infatti essendo rimovibili, permettono al paziente di spazzolare i denti e passare il filo interdentale come farebbe normalmente, riducendo il rischio di carie e gengivite che spesso si verifica con le apparecchiature ortodontiche tradizionali. (35) La metodica Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) è ideale anche nei casi di ritrattamento ed ha una durata del trattamento ortodontico inferiore rispetto alle metodiche tradizionali. (34)

Lo studio effettuato da Bushang et al. (38) ha valutato la differenza tra apparecchi fissi convenzionali e allineatori Invisalign® in termini di tempo totale di trattamento e tempo alla poltrona in pazienti non estrattivi. È emerso come nei soggetti trattati con Invisalign®, il tempo totale di trattamento è risultato inferiore del 67%, per via dell'assenza della fase di rifinitura e dettaglio nel protocollo operativo con allineatori, che può richiedere invece fino a 6 mesi con apparecchi fissi.

Inoltre, la terapia con allineatori prevede che i pazienti con una buona compliance effettuino visite di controllo dall'ortodontista a intervalli di 10-12 settimane con tempi alla poltrona più brevi permettendo al medico di trattare più pazienti. Nel caso di trattamento con terapia fissa, invece le visite di controllo si verificano circa ogni 4-6 settimane e tempi alla poltrona più lunghi. (38)

Per raggiungere i risultati desiderati, gli allineatori trasparenti vanno indossati 22 ore al giorno e rimossi solo durante i pasti o le pratiche di igiene orale. Dunque, questi dispositivi richiedono una maggiore motivazione del paziente e autodisciplina: se il paziente non segue le istruzioni del dentista, oppure non indossa gli allineatori per il numero di ore richieste o nel caso in cui le mascherine ortodontiche vadano incontro a rottura, il tempo di trattamento può allungarsi e influenzare la qualità dei risultati finali. (35)

### **3.2 Fasi del trattamento Invisalign®**

La gestione di un caso clinico con Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) prevede varie fasi (39):

#### **Step 1: raccolta dei records diagnostici:**

Il percorso diagnostico con gli allineatori trasparenti è lo stesso di qualsiasi altro tipo di trattamento ortodontico. I dati che l'ortodontista dovrà raccogliere per avere una visione globale odontoiatrica del paziente sono costituiti (39) da:

- Fotografie del viso (frontale a riposo, frontale con sorriso, profilo destro a riposo, profilo destro con sorriso) efficaci nell'analizzare l'estetica del paziente, registrare il caso in archivio, monitorare il trattamento e valutarne la sua stabilità nel lungo periodo, controllare i risultati ottenuti e motivare il paziente;
- Fotografie intraorali (frontale, laterale destra e sinistra, oclusale superiore e inferiore) che aiutano a descrivere la forma delle arcate, la posizione dei singoli elementi dentali e l'occlusione del paziente;
- Rx ortopantomica fondamentale per la valutazione della fase di dentizione, delle condizioni degli elementi dentali in eruzione, dello stato dei tessuti ossei e delle posizioni delle radici. Questo tipo di esame inoltre verificare l'eventuale presenza di anomalie di numero (agenesie), anomalie di forma e di posizione dei singoli elementi dentali, impianti osteointegrati, ricostruzioni protesiche;
- Teleradiografia del cranio in proiezione latero-laterale con annesso tracciato cefalometrico, di fondamentale importanza per stabilire il percorso terapeutico più consono per il paziente e consente di esaminare il rapporto tra le componenti ossee e dentali, il pattern di crescita e il profilo dei tessuti molli. Inoltre, questo esame controlla anche la presenza di eventuali

meccanismi di compensazione dento-alveolare nelle discrepanze scheletriche;

- Indagini radiografiche aggiuntive, richieste in base alle necessità;
- Impronte intraorali di precisione utili nel valutare la forma e le dimensioni delle arcate, il loro rapporto in occlusione statica, le dimensioni e la posizione dei denti, lo spazio disponibile ed eventualmente quello necessario per l'allineamento dentale. Vengono prese in materiale siliconico polivinilico (polivinilsilossano PVS) con una tecnica di impronta monofase o bifase, oppure in digitale con lo scanner intraorale;
- Registrazione della massima intercuspidação ottenuta con carte oclusali per evidenziare i contatti oclusali;

### **Step 2: Elaborazione del piano di trattamento:**

Le informazioni che l'ortodontista ricava dal colloquio con il paziente, dall'esame clinico e dagli esami strumentali (modelli in gesso con cera in massima intercuspidação, fotografie del viso e intraorali, ortopantomica, teleradiografia latero-laterale del cranio con annesso tracciato cefalometrico) permetteranno al clinico di sviluppare il piano di trattamento più adatto alle esigenze del paziente e al contesto biologico che lo circonda. (39)

### **Step 3: Compilazione del modulo di prescrizione:**

In questa fase, il clinico compila un modulo online denominato "modulo di prescrizione" in cui comunica le caratteristiche del proprio paziente e gli obiettivi del trattamento che intende raggiungere. Le voci presenti in questo documento seguono un ordine ben definito, che inizia con la scelta della tipologia di trattamento da effettuare (che sarà deciso

in base all'età del paziente, alla fase della dentatura e alla complessità della malocclusione da risolvere) e continua poi con la definizione delle istruzioni iniziali dell'operatore relativamente ai movimenti dentali da eseguire, alle correzioni occlusali da effettuare e ai mezzi scelti. (39)

#### **Step 4: Controllo del piano di trattamento virtuale:**

Le indicazioni cliniche ricevute relative al progetto di correzione della malocclusione dentale sono visibili mediante un software dedicato(es.Clincheck). Uno dei vantaggi del sistema è quello di previsualizzare il risultato previsto al termine del trattamento prima di passare alla realizzazione degli allineatori, permettendo così all'ortodontista e al paziente di osservare come evolverà la terapia con tutti i passaggi intermedi. Per la visualizzazione del piano di trattamento, il clinico:

- confronta l'occlusione iniziale digitale con le fotografie del paziente, analizzando overbite, relazione molare e canina;
- analizza il risultato finale e controlla il modello 3D in visione frontale, laterale e occlusale. È importante paragonare il modulo di prescrizione inviato con il risultato proposto dal software esaminando la quantità di Riduzione Interprossimale dello Smalto programmata e la stadiazione dei movimenti (in quest'ultimo caso, il clinico si avvale di una tabella dei movimenti offerta dal software, che lo aiuta a riconoscere quali sono gli spostamenti dentali più significativi presenti nel piano di trattamento);

(39)

### **Step 5: Realizzazione e gestione clinica degli allineatori:**

Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) rappresenta uno tra i primi trattamenti ortodontici basato esclusivamente sulla tecnologia digitale tridimensionale CAD- CAM. Una volta realizzati gli allineatori trasparenti, questi verranno indossati sequenzialmente per un periodo di tempo variabile di circa una/due settimane, secondo le indicazioni dell'ortodontista. Alla consegna della prima coppia di allineatori, il paziente verrà istruito sull'inserimento e la rimozione degli allineatori, su quante ore al giorno dovrà indossarle e sulla manutenzione e cura che dovrà avere. È fondamentale rafforzare la compliance e motivare il paziente a indossare gli allineatori per 20-22 ore al giorno: a tal fine sarà utile informare costantemente il paziente circa i progressi del trattamento e incentivarlo positivamente alla collaborazione. Al secondo appuntamento, prima della consegna della terza coppia di allineatori si posizionano gli Attachments, spessori in composito dello stesso colore della dentatura, la cui sede, forma e posizione vengono decise durante la progettazione del piano di trattamento. Servono ad aumentare la ritenzione degli allineatori e permettere di ottenere i movimenti dentali desiderati, poiché consentono una corretta trasmissione della forza espressa dall'allineatore verso la direzione programmata con il piano di trattamento. Seguiranno visite di controllo nelle settimane successive, in modo da permettere al clinico di monitorare la terapia.

(39)

### 3.3 Meccanica degli allineatori trasparenti

#### 3.3.1 Concetti base di meccanica ortodontica

Prima di analizzare i principali meccanismi alla base dello spostamento dentale con gli allineatori trasparenti, occorre fare riferimento ad alcuni concetti base di fisica e di meccanica ortodontica.

#### **Forza**

Si definisce forza, un carico applicato ad un oggetto che tende a spostarlo in una posizione diversa nello spazio.

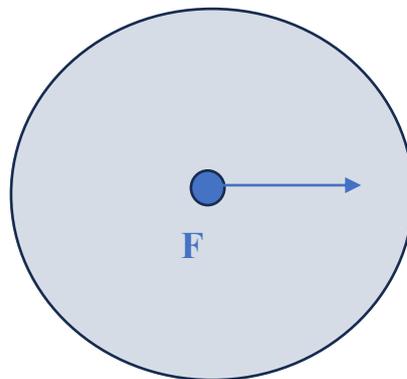
È rappresentata dal prodotto tra la massa  $\times$  accelerazione e si misura in unità di Newton, ma in ambito ortodontico, il fattore accelerazione è considerato trascurabile per cui le forze vengono misurate in termini di grammi.

(40)

#### **Centro di massa**

Il centro di massa rappresenta il punto di equilibrio di un sistema: se nessuna forza agisce su un corpo, quest'ultimo si comporterebbe come se tutta la sua massa fosse concentrata in quel singolo punto.

Se la linea di azione della forza passa attraverso il centro di massa l'oggetto si muoverà nella direzione della forza senza alcuna rotazione (traslazione pura).



**Figura 9** – Rappresentazione grafica del centro di massa

Invece, se la linea d'azione è posta lontano dal centro di massa, si ottiene una combinazione di rotazione e traslazione.

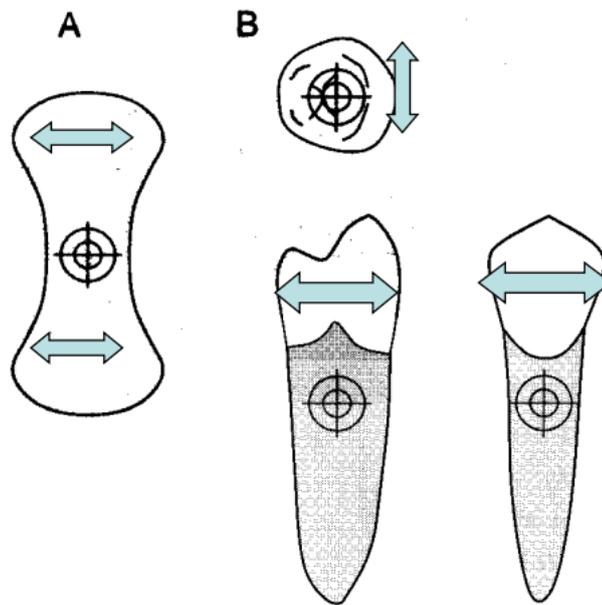
(41)



Figura 10 – Linea d'azione di una forza posta ad una distanza dal centro di massa

### **Centro di resistenza (CR)**

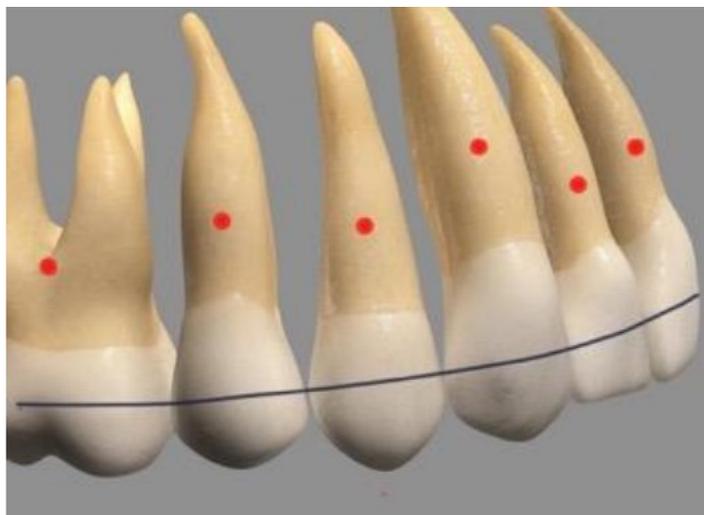
Si definisce centro di resistenza quel punto in cui si concentra tutta la resistenza allo spostamento. (40) Rispetto al centro di massa, il centro di resistenza è spostato più apicalmente e varia a seconda del dente e del supporto parodontale presente.



**Figura 11** - Localizzazione del centro di resistenza secondo diverse prospettive:

A. Radicolare, B: Occlusale, C: Labio-linguale, D: Mesio-distale

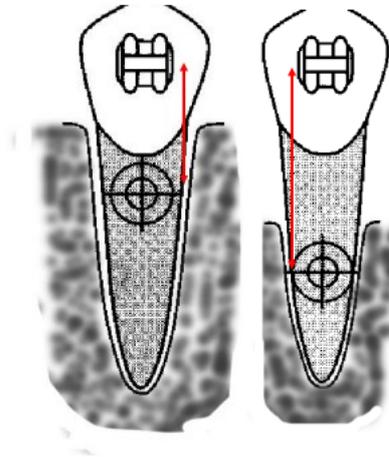
Si trova approssimativamente al centro della porzione radicolare nell'osso (a metà strada tra l'apice e la cresta dell'osso alveolare).



**Figura 12** - Varie posizioni del centro di resistenza in caso di supporto parodontale uniforme

In presenza di un dente con supporto parodontale ridotto, la cresta dell'osso alveolare è più apicale: ne consegue come anche il centro di

resistenza del dente si sposti più apicalmente e la distanza dal bracket al centro di resistenza aumenta quasi di due volte.



**Figura 13** - Centro di resistenza apicale quando si verifica perdita ossea orizzontale

Nell'immagine (figura 13), se la stessa forza viene applicata al bracket su questi due denti, ne risulterà un movimento ortodontico diverso: il dente a destra tenderà a ruotare di più in base alla maggiore distanza della linea di forza dal centro di resistenza del dente.

Inoltre, la posizione del centro di resistenza si modifica anche al variare dell'altezza dell'osso alveolare.

(41)

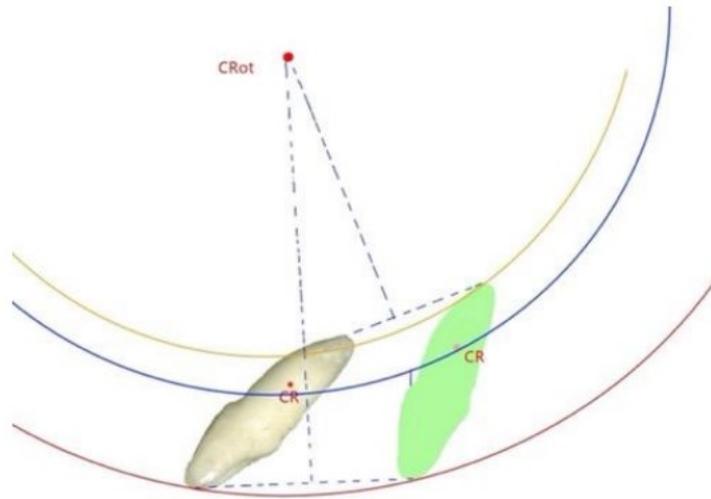
### **Centro di rotazione**

Il centro di rotazione è il punto intorno al quale l'oggetto ruota. Questo varia con la posizione del centro di resistenza e la forza applicata all'oggetto.

La rotazione pura si verifica quando il centro di rotazione coincide col centro di resistenza. Per localizzare il centro di rotazione attorno al quale si verifica un movimento rotatorio del dente, è necessario scegliere due punti qualsiasi sul dente (o sull'oggetto), e tracciare una

linea tra le posizioni prima e dopo ogni punto. Il punto di intersezione tra le linee perpendicolari è il centro di rotazione.

(41)

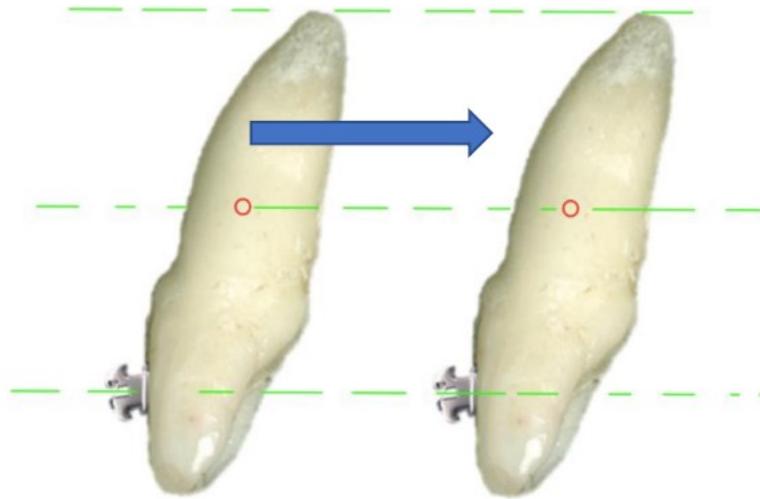


**Figura 14** - Metodo per localizzare il centro di rotazione

## **Movimenti dentali**

### **Traslazione**

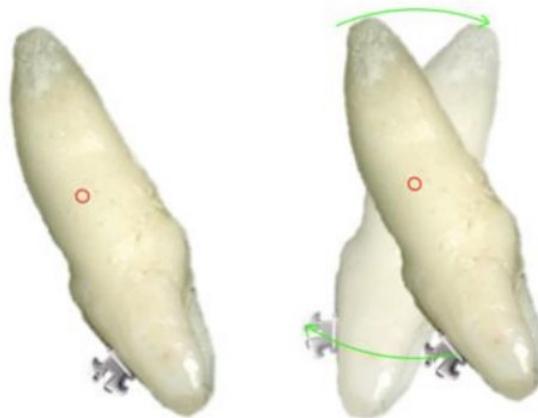
Nella traslazione, tutti i punti di un corpo si muovono nella stessa direzione e con la stessa intensità. Il centro di rotazione tende ad infinito in quanto non si verifica alcuna rotazione. (41)



**Figura 15 - Movimento di traslazione**

### **Rotazione(pura)**

Nella rotazione pura, un corpo ruota intorno al centro di resistenza ( $C_r$ ) (il centro di rotazione corrisponde con il centro della resistenza). (41)

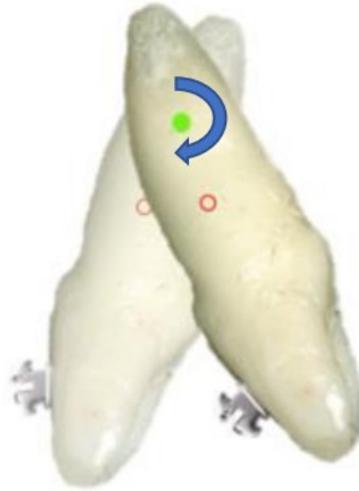


**Figura 16 - Movimento di rotazione pura**

### **Tipping**

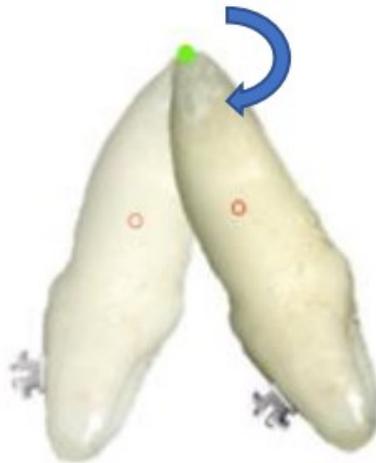
Il movimento dentale di tipping , produce effetti diversi a seconda di dove viene applicata la forza. (41)

Tipping incontrollato → quando una forza è posta sulla corona, quest'ultima si muove in una direzione, mentre la radice si muove nell'altra. In questo caso, il centro di rotazione è vicino o apicale al centro di resistenza, quindi il dente ruota intorno al  $C_r$ . (41)



**Figura 17 - Movimento di tipping incontrollato**

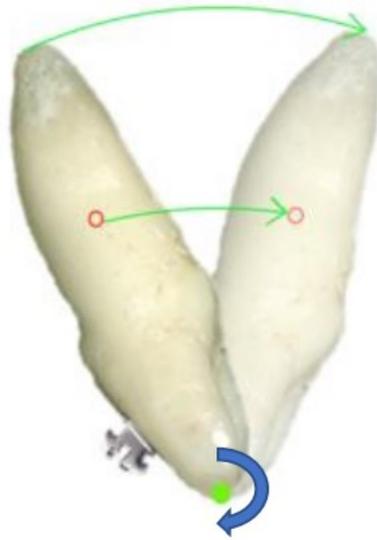
Tipping controllato → il centro di rotazione è all'apice del dente. Questo comporta un momento e una forza, e il dente si inclina ruotando intorno al  $R_c$ . (41)



**Figura 18 - Movimento di tipping controllato**

## **Movimento radicolare**

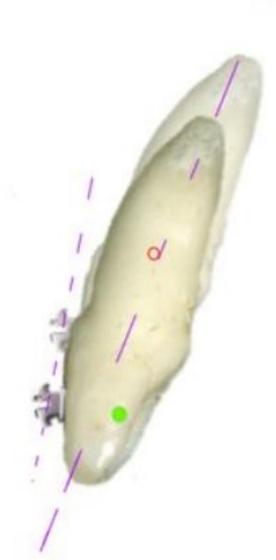
Il movimento radicolare si verifica quando il centro di rotazione è al o vicino al bordo incisale, e la rotazione avviene intorno a questo punto. La corona quindi si sposta meno della radice. I movimenti radicolari richiedono più tempo a causa del riassorbimento osseo necessario per il movimento. (41)



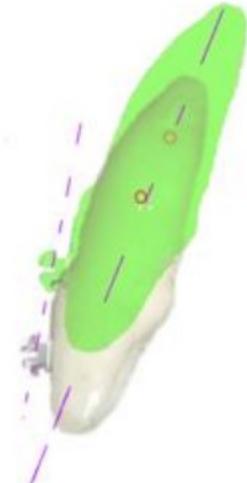
**Figura 19 - Movimento radicolare**

## **Intrusione/estrusione**

L'intrusione e l'estrusione comportano un movimento lungo l'asse del dente. In questi tipi di movimento, il centro di rotazione tende all'infinito perché non vi è rotazione. (41)



**Figura 20 - Movimento di intrusione**



**Figura 21 - Movimento di estrusione**

Per capire come creare i movimenti dentali desiderati, occorre saper conoscere il concetto di momento di una forza, il cui rapporto determina il tipo di movimento prodotto.

### **Momento**

Il momento misura la tendenza di un oggetto a ruotare intorno ad un certo punto. (40)

E' determinata dall'intensità della forza applicata moltiplicata per il braccio della forza (ovvero la distanza tra la retta sulla quale agisce la forza e il centro di resistenza del dente). L'unità di misura è il grammo-millimetro. (41)

$$M = F \times d(\text{braccio della forza})$$

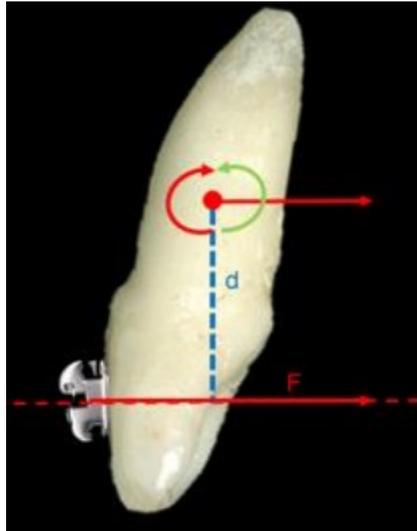


Figura 22 - Momento prodotto da una forza applicata ad una distanza dal centro di resistenza

Dunque, ogni qualvolta, la linea di azione misurata perpendicolarmente, non passa per il centro di resistenza, si genera momento. Inoltre, quando si applica una forza singola alla corona di un dente, quest'ultimo non trasla solamente ma ruota anche attorno al suo centro di resistenza, perché applicando una forza in un punto lontano da  $C_r$  si crea un momento.

(40)

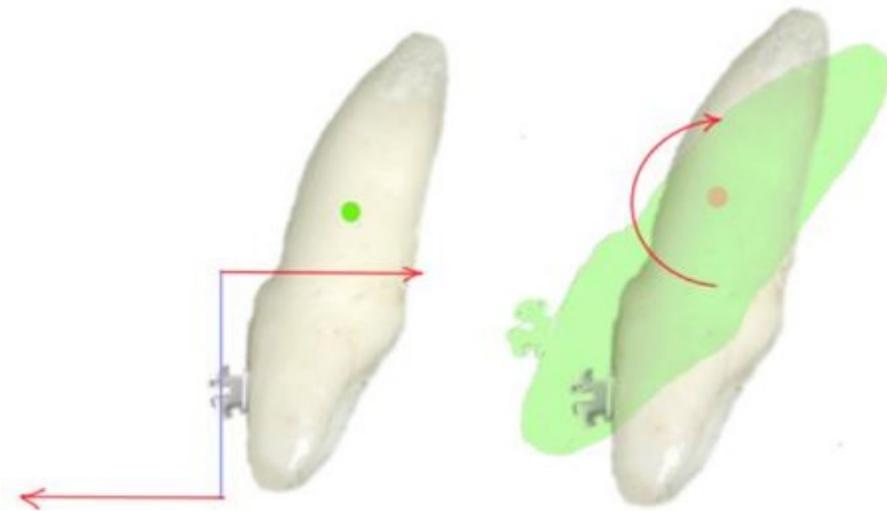
### **Coppia di forze**

Una coppia di forze è definita come due forze di uguale intensità ma con direzione opposta. L'applicazione di una coppia di forza produce

una rotazione pura. Per calcolare il momento della coppia di forze, si considerano le forze separatamente.

Nell'immagine (figura 23) possiamo notare come un sistema di coppia di forze,  $F_1$  e  $F_2$ , non produce effetti di traslazione perché hanno direzioni uguali e opposte. Però i loro momenti non si annullano a vicenda perché producono una rotazione nella stessa direzione.

(41)



**Figura 23** - Esempio di coppia di forze

### 3.3.2 Movimento dentale con allineatori trasparenti

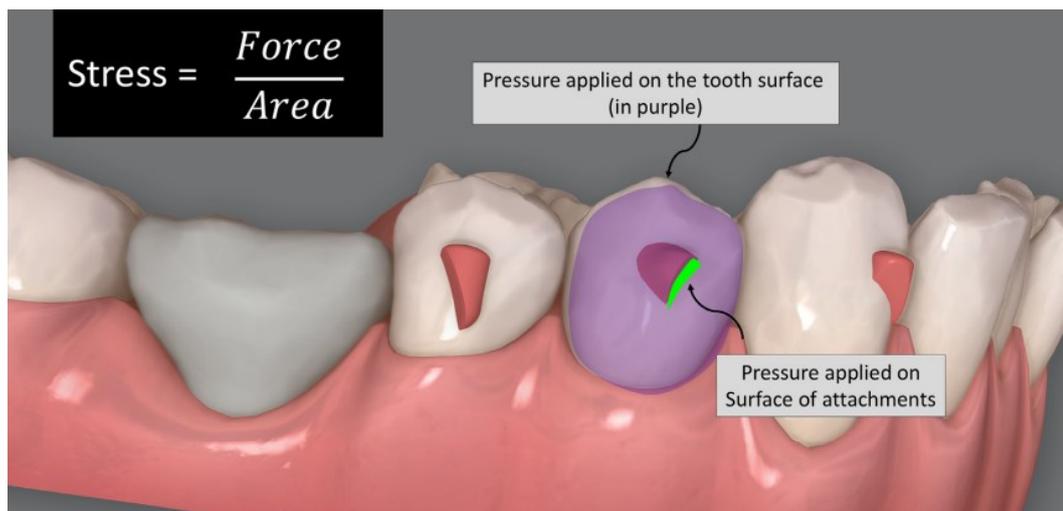
Lo spostamento dentale con gli allineatori è più complesso rispetto a quello con gli apparecchi fissi. Questa differenza può essere attribuita all'assenza di punti specifici di applicazione della forza, all'anatomia del dente, alle proprietà del materiale dell'allineatore e alla mancata corrispondenza tra le geometrie dell'allineatore e della dentizione. Il movimento dentale avviene mediante l'uso di più allineatori trasparenti, ciascuno dei quali riposiziona di piccole quantità progressivamente i denti. (36)

Questo spostamento incrementale è determinato da 2 meccanismi principali:

- effetto di modellazione della forma (shape molding): il metodo consiste nel guidare il movimento dei denti target, in base alla forma dell'allineatore utilizzato. I disallineamenti prestabiliti tra la forma dell'allineatore e la geometria della corona dentale generano sistemi di forze tridimensionali (3D) distribuite su tutte le superfici di contatto. Lo spostamento consiste, dunque, in una serie di allineatori con forme che variano in sequenza, dalla geometria anatomica iniziale alle posizioni finali dei denti. Questo fenomeno si verifica in caso di movimenti semplici come tipping e piccole rotazioni; (36)
- sistema guidato dalla forza: il software Clincheck®(Align Technology, Santa Clara, CA, USA) stabilisce il movimento richiesto per singolo dente, i principi meccanici per determinare questo movimento e la forma dell'allineatore, che non sempre è la stessa del dente ma verrà di conseguenza modificata, in virtù del Clincheck®(Align Technology, Santa Clara, CA, USA),

attraverso l'introduzione di punti di pressione(per eseguire i movimenti di intrusione e uprighting) e power ridge(per effettuare movimenti di torque). Questo meccanismo permetterà di applicare correttamente la forza desiderata sul dente; (42)

Lo spostamento dentale è dovuto ad un'interazione tra l'allineatore e il complesso biologico costituito dal legamento parodontale e dall'osso circostante. Affinché si generi movimento dentale, la mascherina trasparente deve mantenere livelli di stress accettabili (forza ottimale) per tutta la durata del trattamento. Questa forza viene trasmessa al complesso parodontale circostante grazie all'effetto di modellazione o agli attacchi. Teoricamente, lo stress (forza/area) esercitato dall'effetto di shape molding sarà significativamente inferiore a quello creato da un attacco per lo stesso sistema di forze (figura 24), perché nel primo caso la forza viene trasmessa a una superficie più ampia del dente; nel caso dello spostamento dentale dovuto agli attacchi la superficie di distribuzione della forza sarà significativamente più piccola. (36)



**Figura 24** – In viola chiaro, la pressione applicata sulla superficie dentale; in verde chiaro, la pressione applicata sulla superficie dell'attachment

Ecco perché, tra i due meccanismi, la maggior parte del trattamento ortodontico beneficia dell'effetto shape molding, che consente anche di preservare più a lungo le proprietà elastiche dell'allineatore. Sulla base dei meccanismi sopra descritti, gli allineatori sono stati utilizzati per trattare diverse malocclusioni. In questa tesi, analizzeremo come avviene ad esempio la risoluzione di alcune problematiche, quali morso profondo, morso aperto e affollamento. (36)

### **Morso profondo**

La correzione del morso profondo (36) con gli allineatori avviene per:

- Effetto watermelon seed → gli allineatori, abbracciando il dente, hanno la capacità intrinseca di impegnare simultaneamente le superfici occlusali, buccali e linguali dei denti, generando così forze di compressione da tutte le direzioni; da qui il termine "watermelon seed". L'idea alla base di questo effetto, è quella di creare un vettore di forza risultante diretto verso il centro di resistenza dei denti target. Le corone dentali, però essendo asimmetriche spesso creano una distribuzione non uniforme delle forze e la forza risultante non passerà tramite il centro di resistenza e creerà un momento. Se quest'ultimo viene previsto in anticipo, è possibile aggiungere agli allineatori alcune modifiche chiamate "aree di pressione" per creare una forza aggiuntiva che reindirizzi la forza di compressione netta attraverso il centro di resistenza;
- Bite ramp → la correzione del morso profondo si ottiene anche con l'estrusione dei denti posteriori. Per cui si usano le bite ramp o le prominente linguali che aggiunte alla superficie palatale

degli incisivi mascellari o dei canini vicino all'area del cingolo, disoccludono i denti posteriori e favoriscono l'estrusione;

- Effetto drawbridge → il tipping dei denti anteriori può portare a una pseudo-correzione dell'overbite, nota come "effetto drawbridge". Quest'ultimo non comporta una "vera" intrusione dei denti anteriori (un movimento lungo l'asse longitudinale dei denti), ma piuttosto un movimento della corona degli incisivi verso il basso e all'indietro. Questo metodo potrebbe essere il modo più semplice per correggere un overbite eccessivo, perché dirigere le forze attraverso il centro di resistenza dei denti bersaglio è molto difficile. Per migliorare il tipping degli incisivi si utilizzano i "Power Ridge", ovvero rientranze posizionate sugli allineatori nel terzo gengivale della corona.

### **Morso aperto**

I principi di base descritti sopra per il morso profondo sono simili nel caso di correzione del morso aperto, poiché il meccanismo di risoluzione è l'inverso della correzione del morso profondo. In caso di morso aperto, i denti anteriori necessitano di estrusione, mentre i posteriori di intrusione provocando un'anterotazione della mandibola, con conseguente riduzione del morso aperto. (36)

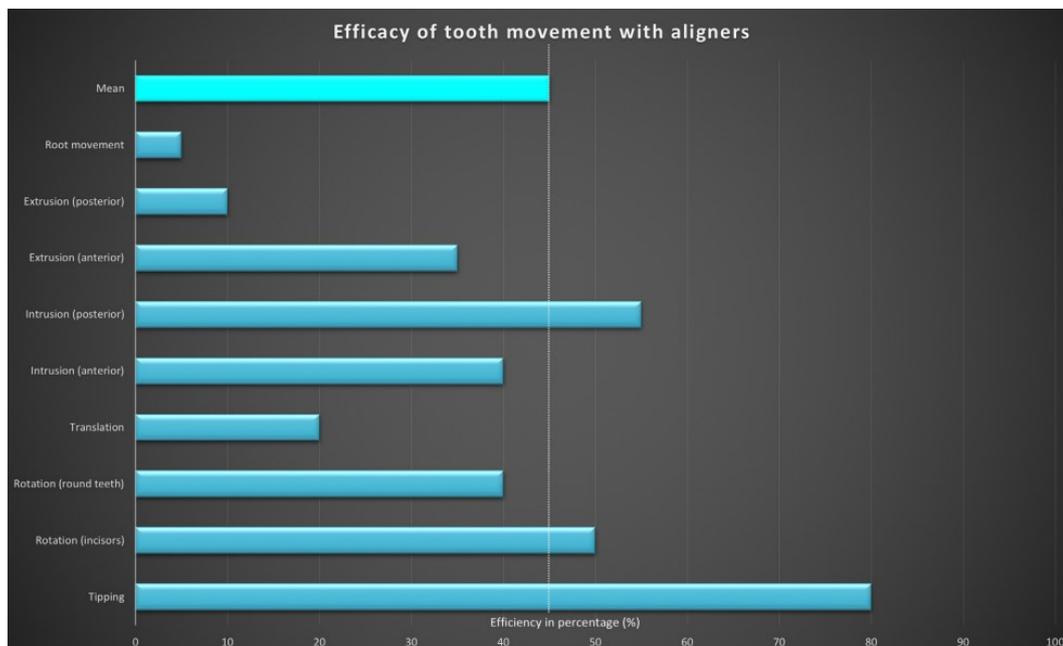
Secondo uno studio condotto da Harris et al. (43) il meccanismo principale di chiusura del morso aperto deriva per un 60% dall'effetto drawbridge o dal tipping degli incisivi, per un 30% dall'anterotazione della mandibola causata dall'intrusione dei denti posteriori e per un 10% dalla combinazione di questi due effetti che permette l'estrusione dei denti anteriori.

## Affollamento

I metodi di risoluzione dell'affollamento prevedono diverse opzioni, come l'espansione dell'arcata dentale, la proclinazione degli incisivi, e/o la riduzione interprossimale (IPR). Per guadagnare spazio, il meccanismo principale è il tipping, uno dei movimenti più semplici da ottenere con gli allineatori, in quanto il vettore della singola forza da applicare sulla corona, non deve avere una relazione particolare con il centro di resistenza. Per raggiungere quest'obiettivo, gli allineatori sfruttano l'effetto di shape molding. (36)

Per stimare l'efficienza del movimento dentale basato sugli aligner, si calcola il rapporto tra il movimento finale raggiunto del dente e il movimento desiderato/previsto del dente, come segue:

$$\text{Efficienza degli allineatori (in \%)} = \frac{\text{Movimento clinico del dente}}{\text{Movimento dentale previsto o desiderato}} \times 100$$



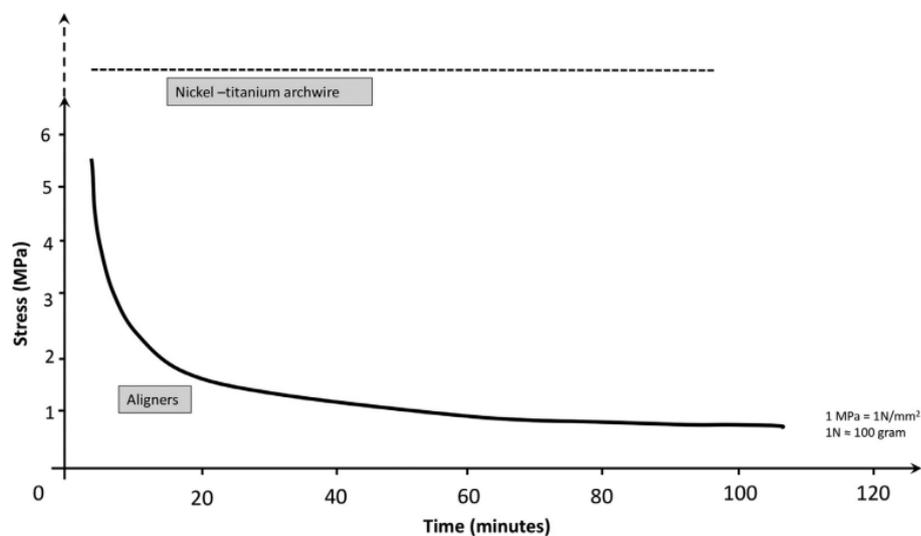
**Figura 25** – Efficienza degli aligner (espressa in %) per i diversi tipi di movimento dentale

In questo grafico (figura 25), possiamo notare come il tipping risulti essere il movimento dentale più prevedibile da eseguire, seguito dall'intrusione dei settori posteriori e dalla rotazione, mentre il movimento radicolare, l'estrusione dei settori posteriori e la traslazione sono i meno prevedibili. (36)

Gli allineatori trasparenti presentano spessori diversi, da 0,50 a 1,5 mm: i materiali più sottili sono più adatti a produrre forze leggere, necessarie per eseguire il movimento di tipping, mentre il movimento di traslazione o radicolare potrebbe richiedere un materiale più spesso. (36)

### **3.3.3 Efficienza ed efficacia clinica degli allineatori trasparenti**

Il rilassamento da stress è uno dei fattori che influenza maggiormente l'efficienza degli allineatori: in presenza di una deformazione costante, l'allineatore va incontro ad una diminuzione della forza in funzione del tempo che non è lineare, bensì "esponenziale" e si verifica soprattutto nelle prime ore di utilizzo, per via della fatica del materiale. (36)



**Figura 26** – Curva di rilassamento da stress degli allineatori rispetto ad un arco in NI-Ti austenitico. Da notare la diminuzione esponenziale della sollecitazione (forza/area)

Con gli allineatori trasparenti l'efficacia clinica di espressione del movimento dentale sarà maggiore, quanto migliore risulterà l'ingaggio della mascherina trasparente, ovvero quanto maggiore sarà la superficie dell'allineatore che avvolgerà l'elemento dentale. Invece in casi particolari in cui sono presenti denti di morfologia piccola (ad esempio gli incisivi laterali a forma conoide), per permettere un buon ingaggio dell'allineatore, dal momento che la superficie dentale è poco estesa, la si aumenta mediante un attachment sul dente. (42)

### 3.3.4 Confronto tra apparecchi fissi e allineatori trasparenti

Nelle apparecchiature fisse, il movimento dentale desiderato si ottiene cambiando il tipo (modulo di elasticità, E) del filo dell'arco (nichel titanio o acciaio inossidabile) e le dimensioni, in combinazione con l'uso di diversi tipi di bracket. Invece, gli allineatori, essendo realizzati in materiale termoplastico, non offrono questa flessibilità: presentano una rigidità prestabilita che non può essere modificata. Quando l'allineatore è usato come retainer, in alcuni siti specifici, il materiale

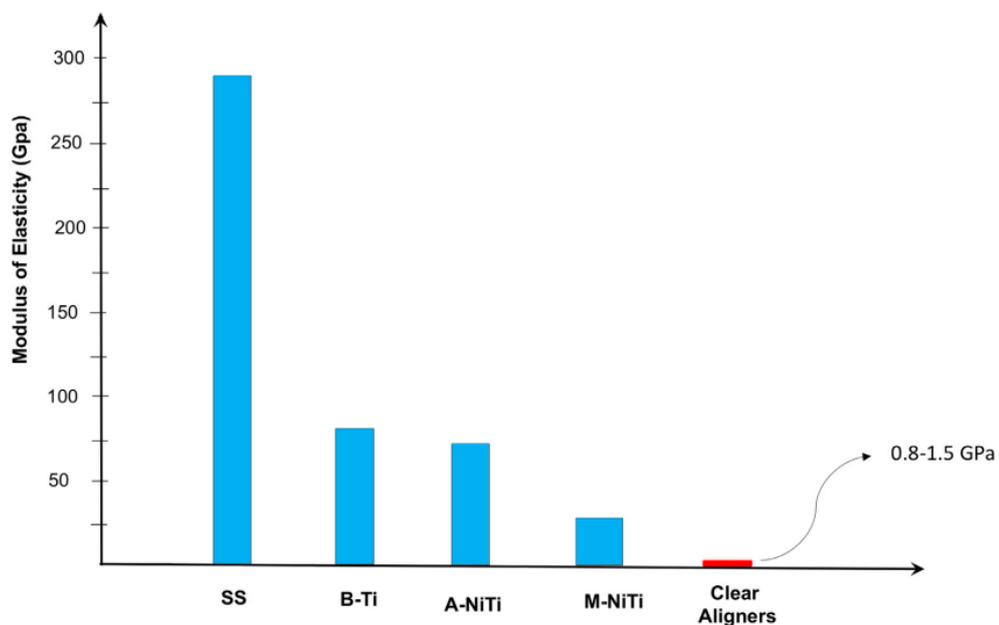
mostra segni di abrasione, delaminazione, adsorbimento di tegumenti e depositi localizzati di biofilm calcificato, che conducono ad una riduzione del modulo elastico, acquisendo fragilità e diventando più inclini a sviluppare crepe. Inoltre, il cavo orale può degradare la struttura molecolare del polimero a causa dell'assorbimento di acqua, causando una diminuzione delle forze ortodontiche erogate dagli allineatori nel corso del tempo. (36)

La metodica tradizionale con bracket e fili prevede un'attivazione frequente del filo degli archi, tramite piegatura del filo, torsione del filo e riposizionamento del bracket, che porta alla genesi di una forza maggiore, necessaria per eseguire movimenti dentali complessi come la traslazione e la correzione della radice. Negli allineatori l'attivazione frequente della mascherina, invece, causa una diminuzione dell'entità della forza. (36)

A differenza degli apparecchi fissi non è possibile regolare la meccanica degli allineatori con il progredire del trattamento. Per cui, il sistema di forze e il movimento dentale risultante devono essere stabiliti in anticipo per l'intero periodo di trattamento. Tale previsione richiede una conoscenza delle proprietà del materiale, del sistema di forze del materiale e delle strutture biologiche circostanti. Ad esempio, è importante sapere come gli allineatori dentali non prendono in considerazione l'anatomia della radice, in particolare la posizione del centro di resistenza ( $C_r$ ), importante per stabilire il momento di coppia, responsabile dei vari tipi di movimento del dente e del controllo radicolare. (36)

Idealmente, un allineatore per poter tollerare diversi gradi di deformazione ed essere in grado di produrre il sistema di forze

desiderato, dovrebbe erogare una forza leggera e costante nel tempo, essere rigido, possedere un'elevata resistenza allo snervamento e garantire l'erogazione della forza entro l'intervallo elastico. Queste caratteristiche sono correlate a una proprietà meccanica interna, denominata, modulo di elasticità(E) che misura la resistenza di un materiale alla deformazione elastica. Un materiale rigido, come i fili in acciaio inossidabile, possiede un elevato E, sono rigidi, si deformano poco e creano sistemi di forze pesanti. Un materiale flessibile, come ad esempio il filo in Ni-ti, hanno una E più bassa, per cui sono molto flessibili, possono deformarsi facilmente e creano livelli di forza inferiori. Gli allineatori hanno un E 40-50 volte inferiore rispetto ad un filo in NiTi, per cui possono deformarsi facilmente con poca forza e sono dotati di una minor resistenza alla deformazione permanente rispetto agli altri tipi di fili per archi. Questo spiega il motivo per cui sono necessari una serie di allineatori per correggere le malocclusioni.

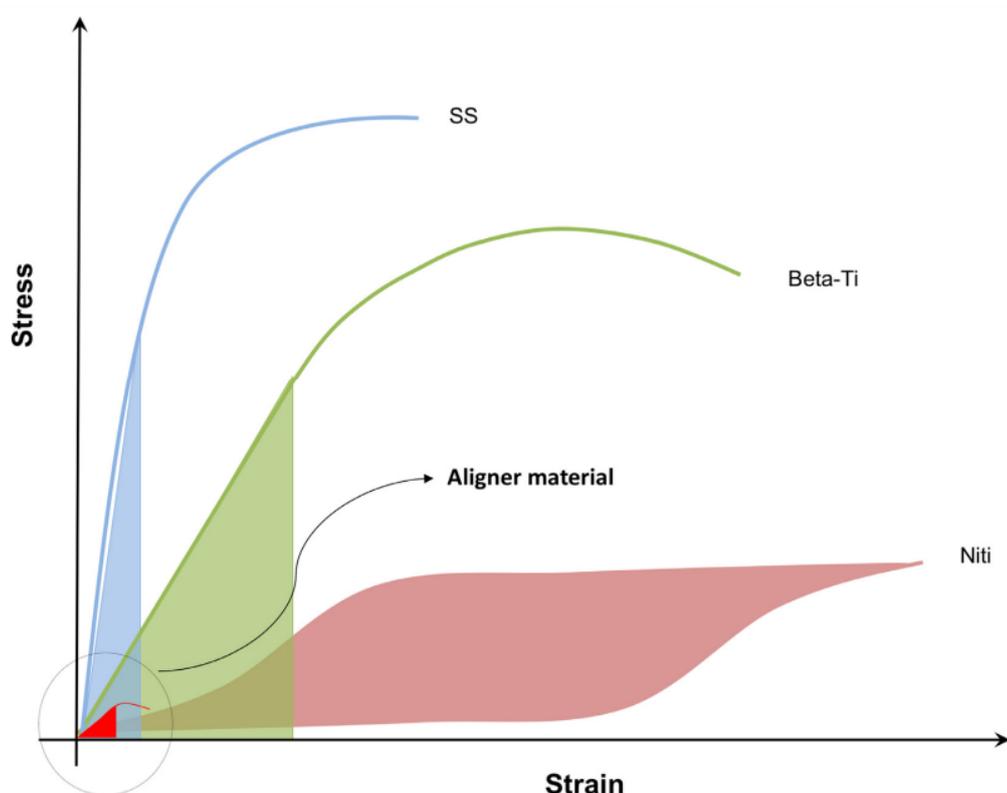


**Figura 27** – Moduli di elasticità(E) dei diversi tipi di materiali utilizzati in ortodonzia, che mostra l'enorme divario tra il materiale dell'allineatore in rapporto agli altri. (I grafici sono approssimazioni e non riflettono valori accurati). SS = Acciaio inossidabile. B-Ti= Beta-

titanio. NiTi= Nichel-titanio. A-NiTi= Nichel titanio austenitico. M-NiTi= Nichel titanio martensitico. GPa= GigaPascal

Riassumendo gli allineatori applicano una forza ridotta, funzionano meglio con una minore attivazione, presentano una bassa flessibilità e subiscono un rapido decadimento della forza.

(36)



**Figura 28** – Gli allineatori hanno una bassa resilienza paragonata ai fili dell'arco. SS = Acciaio inossidabile. B-Ti= Beta-titanio. NiTi= Nichel-titanio. A-NiTi= Nichel titanio austenitico. M-NiTi= Nichel titanio martensitico. GPa= GigaPascal

La resilienza è la capacità di un oggetto di assorbire energia quando è elasticamente "carico" o deformato e di rilasciare quell'energia quando viene "scaricato", senza causare una deformazione permanente del materiale. È rappresentata dall'area ombreggiata sotto la curva sforzo-

deformazione fino al limite elastico (dopo questo punto il materiale subisce una certa deformazione permanente). Lo scarico è la misura della forza esercitata da un materiale per spostare i denti. (36)

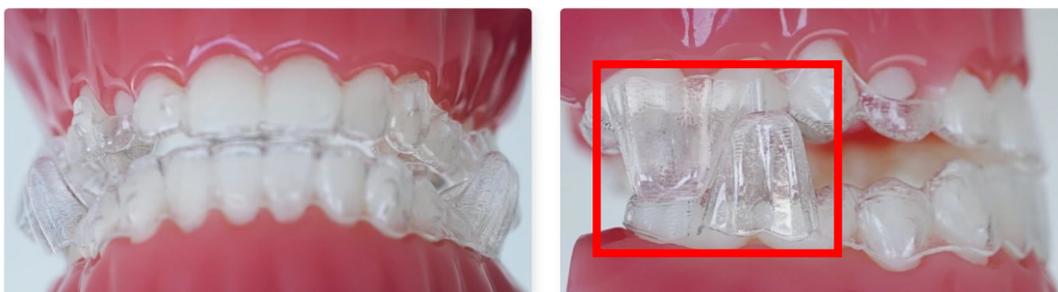
Come si deduce dalla figura 28, i fili in Ni-Ti, sono in grado di accumulare energia (carico) e trasferirla (scarico) ai denti per un certo periodo di tempo. Gli allineatori possiedono una resilienza molto bassa rispetto ai fili ad arco, assorbono meno energia che viene per lo più dissipata sotto forma di calore e solo una quantità viene trasferita ai denti. Pertanto, sono di natura "viscoelastica". (36)

## 4. STUDIO CASE REPORT

### 4.1 Materiali e metodi

Il trattamento, volto a valutare se l'apparecchio Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) con Mandibular Advancement Feature (IMAF) ha corretto la malocclusione dento-scheletrica di II Classe, solo da un punto di vista dentale o anche scheletrico, è stato eseguito su un paziente di età 12 anni di sesso maschile. Secondo gli stadi di maturazione vertebrale cervicale di Baccetti et al. (12), il soggetto si trova tra lo stadio cervicale 3 (CVM3) e 4 (CVM4), per cui nel suo picco crescita adolescenziale, momento ideale per la correzione della problematica scheletrica di II Classe.

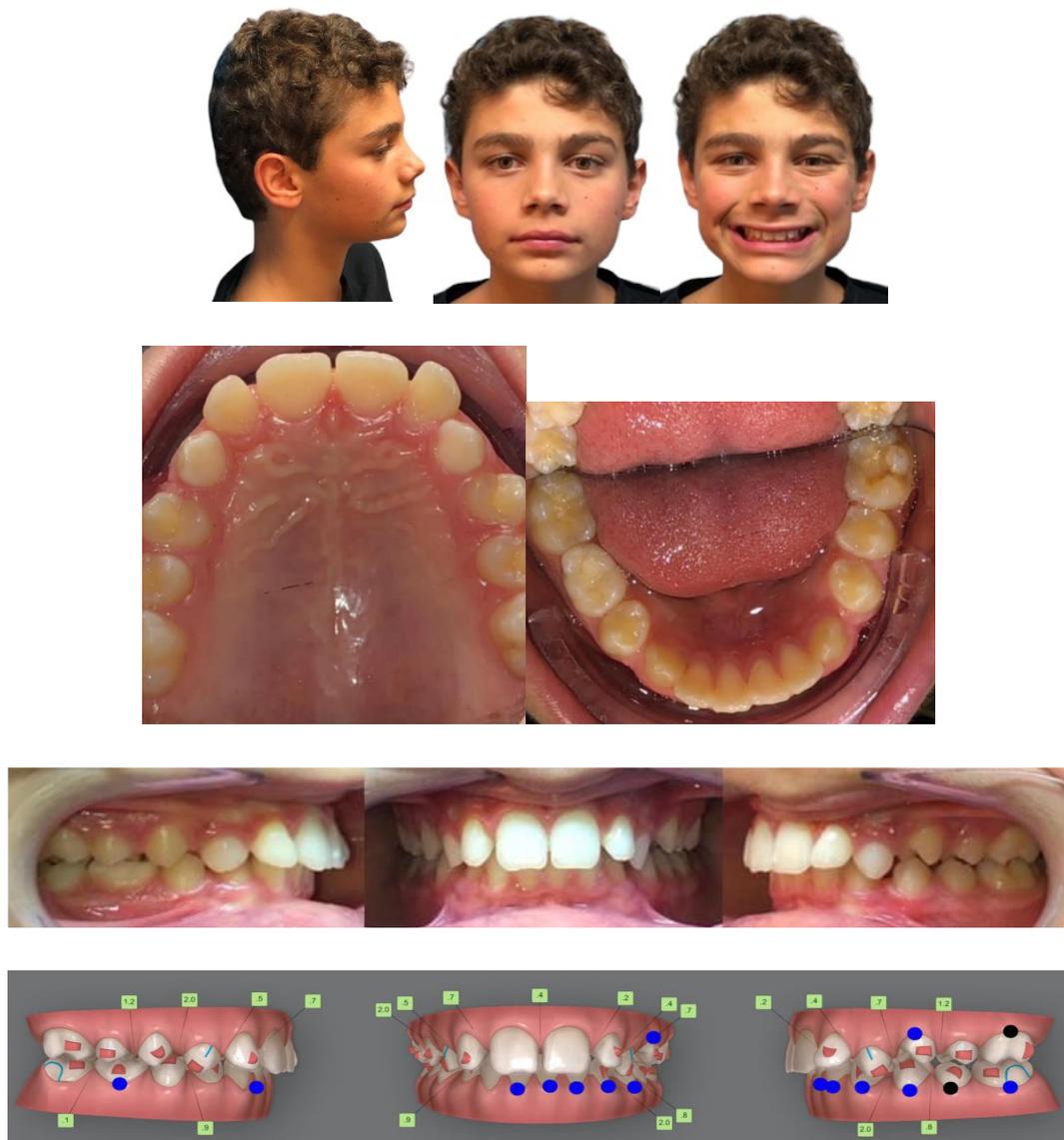
Gli allineatori trasparenti Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) con avanzamento mandibolare (MA) replicano l'azione degli apparecchi funzionali in quanto presentano Precision Wings vestibolari tra il 1° molare e i premolari che si incastrano tra loro solo quando il paziente posiziona la mandibola in avanti (un meccanismo simile a Twin Block) correggendo contemporaneamente la malocclusione e i problemi di affollamento. (44)



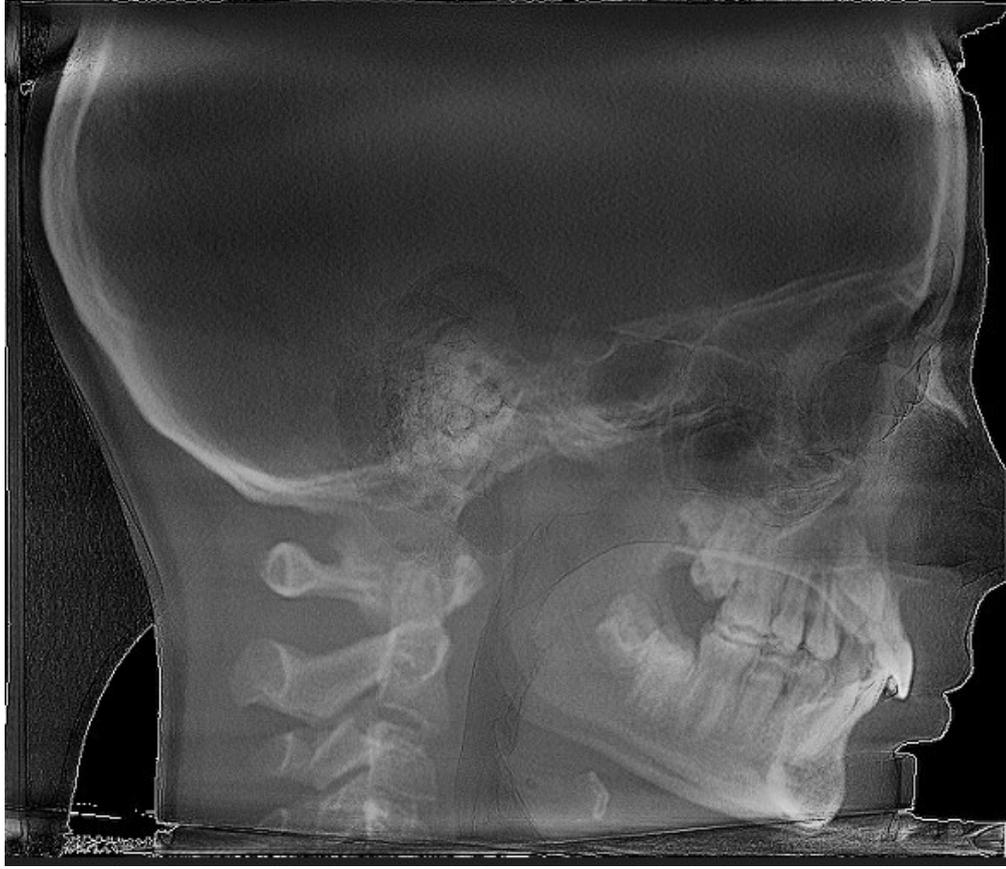
**Figura 29 - Apparecchio Mandibular Advancement Feature**

Analizzando le fotografie del viso pre-trattamento (frontale a riposo, laterale a riposo, frontale col sorriso), emerge come il soggetto sia brachifacciale, ipodivergente, con profilo convesso.

L'esame intraorale e radiografico, evidenziano una dentizione mista, una malocclusione dentale di II classe I divisione con overjet aumentato (4.5 mm) e overbite aumentato (4.6 mm), presenza di diastema interincisivo, vestibolo-inclinazione degli elementi dentali 1.2 e 2.1, estrusione di 5.3, palato-inclinazione e estrusione di 6.3, derotazione mesiale di 2.4, deviazione della linea mediana superiore su quella inferiore. Sono presenti diastemature e lieve affollamento in entrambe le arcate.



**Figura 30** – Fotografie del viso, intraorali e Clincheck pre-trattamento(T0)



**Figura 31 - Teleradiografia pre-trattamento(T0)**



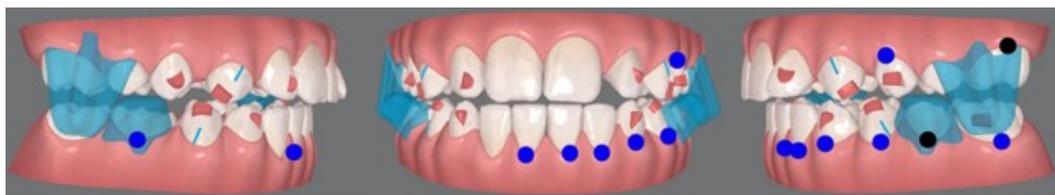
**Figura 32 – Ortopantomografia pre-trattamento(T0)**

L'analisi cefalometrica evidenzia una II Classe scheletrica dovuta a retrognazia mandibolare (SNA=80°; SNB=75°; ANB=5°).

La prima fase del trattamento ortodontico (fase pre-MA), che aveva come scopo quello di preparare entrambe le arcate allo step di

avanzamento mandibolare della fase successiva, è stata realizzata tramite 23 set di allineatori trasparenti (allineatori #01-23) ed elastici interarcata di 2 classe.

La fase di avanzamento mandibolare (MA), durata 7 mesi, è stata eseguita mediante 27 allineatori trasparenti (allineatori #24-51) e prevedeva tre avanzamenti mandibolari “bite jump” con incrementi di 2 mm ciascuno. Ogni “salto del morso” è stato raggiunto dopo 8 aligner (allineatore nr. 24 per il primo salto del morso; allineatori nr. 32 per il secondo salto del morso; allineatori nr. 40 per il terzo salto del morso).



**Figura 33 - Fase iniziale MA**



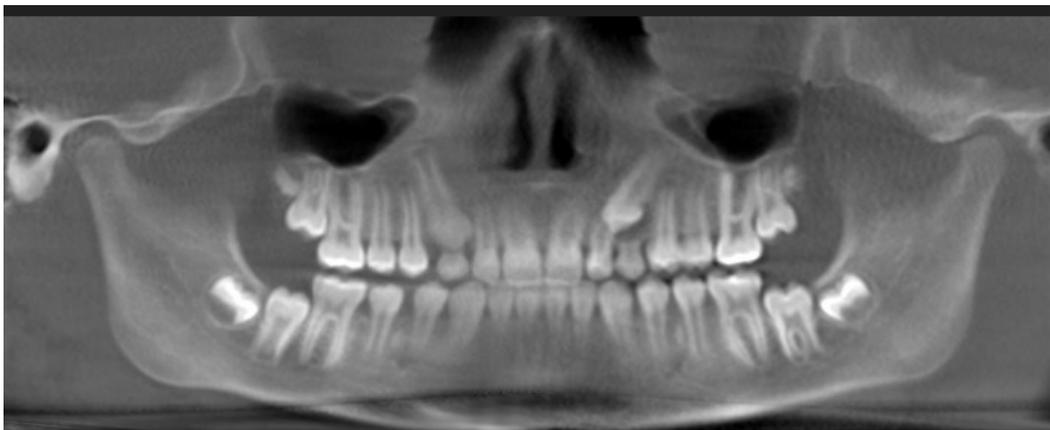
**Figura 34 - Fase finale MA**

Dopo aver corretto la relazione di Classe II tramite la fase MA, è stata realizzata la fase di transizione, attuata mediante un set di 4 allineatori (allineatori #52-55) e volta a mantenere la mandibola in posizione avanzata nell’attesa della consegna degli allineatori standard o aggiuntivi.

Per ultimare il caso (mediante il controllo del torque degli incisivi, il livellamento della curva di Spee e la riduzione di overjet e overbite), il paziente è stato nuovamente scansionato e un set di 29 allineatori (allineatori #56-84) assieme ad elastici di Classe II è stato utilizzato, per un periodo di 9 mesi.



**Figura 35 – Teleradiografia dopo la fase MA**



**Figura 36 – Ortopantomografia dopo la fase MA**

## 4.2 Risultati e discussione

Al termine del trattamento, dall'analisi delle fotografie intraorali post-trattamento si evidenzia una I classe molare, I classe canina, overjet e overbite nella norma, appiattimento della curva di Spee, linee mediane centrate, chiusura del diastema centrale e di vari spazi interarcata, espansione di entrambe le arcate. Il tracciato cefalometrico invece, mette in risalto una modesta correzione della classe scheletrica ( $SNA=80^\circ$ ;  $SNB=79^\circ$ ;  $ANB=1^\circ$ ).

L'apparecchio Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) con Mandibular Advancement Feature (IMAF), è stato introdotto nel mercato globale solo dal 2017: pertanto la letteratura scientifica che valuta gli effetti dento-scheletrici del dispositivo, siano essi a breve o lungo termine, è carente e consiste principalmente in studi di casi clinici. Yanqi Wu et al. (45) hanno condotto una ricerca che mirava a confrontare, in bambini con malocclusione di II Classe, gli effetti dento-scheletrici ottenuti con vari apparecchi funzionali, tra cui Activator, Herbst e Twin Block e con l'IMAF. Tutti e quattro i dispositivi ortodontici si sono rivelati efficaci nella propulsione mandibolare con correzione della II Classe scheletrica, nel miglioramento del profilo facciale, nella modifica della relazione molare di classe II e dell'overjet. Inoltre, MA ha permesso anche una correzione della disgnazia scheletrica, ma soprattutto un miglior controllo dell'inclinazione degli incisivi. Quest'ultimo effetto è stato anche riscontrato all'interno di uno studio di Blackham (46), che ha valutato gli effetti scheletrici, dentali e sui tessuti molli a breve termine nelle malocclusioni di Classe II trattate con IMAF e apparecchio Twin Block. Entrambi i dispositivi ortodontici hanno permesso riduzione dell'angolo ANB, della convessità facciale e

dell'overjet (attraverso protrusione degli incisivi inferiori e retrusione degli incisivi superiori). È importante sottolineare come l'MA rispetto ad un Twin Block sia più facile da inserire in bocca al paziente, ma anche più semplice da gestire, migliorando così il grado di compliance del paziente al trattamento ortodontico (47). Gli effetti che possiamo produrre con l'apparecchio Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) Mandibular Advancement Feature variano a seconda dello stadio di crescita del paziente. Infatti, Ravera et al. (48) ha dimostrato come l'MA nei pazienti trattati in fase di crescita CVM2, produca principalmente effetti dentoalveolari; invece, come anche il case report di questa tesi vuole dimostrare, si ottengono maggior effetti scheletrici quando i pazienti vengono trattati in CVM3.



**Figura 37 –** Fotografie del viso, intraorali e Clincheck post-trattamento(T1)



Figura 38 - Teleradiografia post-trattamento(T1)

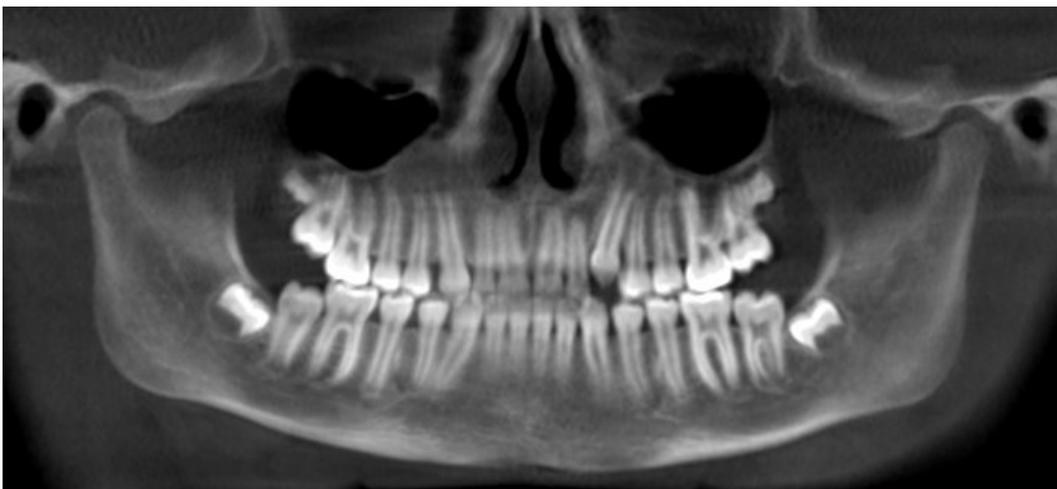


Figura 39 - Ortopantomografia post-trattamento(T1)

<b><u>Parametri cefalometrici</u></b>	<b><u>T0</u></b>	<b><u>T1</u></b>
<b>SNA</b>	80°	80°
<b>SNB</b>	75°	79°
<b>ANB</b>	5°	1°
<b>Wits</b>	3 mm	2 mm
<b>S-Na/Go-Me</b>	24°	30°
<b>S-Na/Bispinale</b>	5°	8°
<b>Angolo goniaco superiore</b>	50°	54°
<b>Angolo goniaco inferiore</b>	69°	74°
<b>Bispinale/Mandibolare</b>	19°	22°
<b>Overjet</b>	4.5 mm	2.6 mm
<b>Overbite</b>	4.6 mm	2.4 mm
<b>Interincisal Angle</b>	116°	128°

**Figura 40** - Tabella riassuntiva valori cefalometrici a T0(fase pre-trattamento) e T1(fase post-trattamento)

### 4.3 Conclusioni

Il trattamento ortodontico Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) con Mandibular Advancement Feature (IMAF), ha consentito:

- risoluzione della classe scheletrica (il soggetto è in I Classe), attraverso la mesializzazione dell'arcata inferiore generata dalle Precision Wings Feature vestibolari. Da notare dunque, un miglioramento dell'angolo ANB (T0 = 5°; T1 = 1°, indice di I Classe scheletrica) e dell'indice di Wits (T0 = 3 mm; T1= 2 mm);

- ampia correzione della classe dentale (si è ottenuto un rapporto molare e canino di I Classe come già sopra indicato, ma anche riduzione di overjet-T0 = 4,5 mm; T1 = 2,6 mm -, overbite- T0 = 4,6 mm; T1 = 2,4 mm e angolo interincisivo nella norma in T1 pari a 128°);
- miglioramento della convessità complessiva del viso e correzione dell'ipodivergenza;

Nel seguente studio, l'apparecchio Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) con Mandibular Advancement Feature (IMAF), si è rivelato un ottimo strumento nel trattamento della malocclusione dento - scheletrica di Classe II con retrognazia mandibolare in un paziente in crescita. A differenza dei vari apparecchi funzionali implicati nella correzione della disgnazia scheletrica di II Classe, IMAF garantisce una maggior resa estetica e possiede un elevato comfort per il paziente, permettendo anche di eseguire contemporaneamente sia la terapia ortopedica che ortodontica, riducendo così i tempi di trattamento ortodontico. L'apparecchio Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) con Mandibular Advancement Feature (IMAF) come dispositivo utile per la correzione della malocclusione scheletrica di II Classe nei pazienti in crescita, necessita però di ulteriori studi scientifici, che ne confermino l'efficacia.



## BIBLIOGRAFIA

- 1) Cenzato N., Nobili A., Maspero C. (2021). Prevalence of Dental Malocclusions in Different Geographical Areas: Scoping Review. *Dentistry Journal*, 117.
- 2) <https://investor.aligntech.com/news-releases/news-release-details/align-technology-announces-new-teen-solution-introduction/>
- 3) [https://online.scuola.zanichelli.it/fondamentignatologia/files/2022/08/La\\_protesi\\_ortodontica.pdf](https://online.scuola.zanichelli.it/fondamentignatologia/files/2022/08/La_protesi_ortodontica.pdf)
- 4) Lawrence F.A. (1972). The Six Keys to Normal Occlusion. *American Journal of Orthodontics*, 296–309.
- 5) S.a, Indagine cefalometrica sulla malocclusione di Classe II: analisi delle caratteristiche dento-scheletriche di paziente non trattati in età evolutiva, Università di Ortognatodonzia di Firenze, s.d.
- 6) Angle, E. H. (1907). *Treatment of malocclusion of the teeth: Angle's system*. White dental manufacturing Company.
- 7) Alhammadi M. S., Esam H., Mona S. F., Amr L.m Chrestina El-S. (2018) Global distribution of malocclusion traits: A systematic review. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 40.e1- 40.e10.
- 8) Proffit, W. R., Fields Jr., H. W., Larson, B. E., & Sarver, *Ortodonzia moderna. Eziologia dei problemi ortodontici*, Milano, Edra, 2021.

- 9) Bishara, S. E. (2006). Class II malocclusions: diagnostic and clinical considerations with and without treatment. *Seminars in orthodontics*, 11-24.
- 10) Lundström, A. (1948). *Tooth size and occlusion in twins*. Karger Publishers.
- 11) McNamara J.A.JR.(1981). Components of Class II Malocclusion in Children 8–10 Years of Age. *The Angle Orthodontist*, 177–202.
- 12) Baccetti T., Franchi L., McNamara J.A.JR. (2002). An Improved Version of the Cervical Vertebral Maturation (CVM) Method for the Assessment of Mandibular Growth. *Angle Orthodontist*.
- 13) Manche M., Sunitha C., Naveen R., Kumar P.Kiran, Saritha T. Treatment Options for Skeletal Class II Malocclusion in Growing Patients - A Review. *Journal of Dental and Medical Sciences*, 42-48.
- 14) Nanda R. s.d. Trattamento delle malocclusioni di seconda classe seconda divisione negli adulti: considerazioni biomeccaniche.
- 15) McNamara Jr. J. A., Peterson J.E., Alexander R.G. (1996) Three-Dimensional Diagnosis Andmanagement of Class II Malocclusion in the Mixed Dentition. *Seminars in Orthodontics*, 114–137.
- 16) Nucera R., Militi A., Lo Giudice A., Longo V., Fastuca R., Caprioglio A., Cordasco G., Papadopoulos M.A. (2018). Skeletal and Dental Effectiveness of Treatment of Class II Malocclusion With Headgear: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Evidence Based Dental Practice*, 41–58.

- 17) Proffit, W. R., Fields Jr., H. W., Larson, B. E., & Sarver, *Ortodonzia moderna. Modifica della crescita di Classe II, open bite/deep bite e problemi multidimensionali*, Milano, Edra, 2021.
- 18) Chiqueto K., Henriques J.F.C., Barros S.E.C., Janson G. (2013). Angle Class II Correction with MARA Appliance. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 35–44.
- 19) Cacciatore G., Ghislanzoni L.T.H., Alvetro L., Giuntini V., Franchi L. (2014). Treatment and posttreatment effects induced by the Forsus appliance: A controlled clinical study. *The Angle Orthodontist* ,1010–1017.
- 20) Lai M., McNamara Jr. J. A. (1998). An evaluation of two-phase treatment with the Herbst appliance and preadjusted edgewise therapy. *Seminars in orthodontics*, 46-58.
- 21) LeCornu, M., Cevidanes L.H.S., Zhu H., Wu C.,Larson B., Nguyen T.(2013).Three-Dimensional Treatment Outcomes in Class II Patients Treated with the Herbst Appliance: A Pilot Stud. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 818–830.
- 22) McNamara Jr. J. A., Howe R. P., Dischinger, T. G. (1990). A comparison of the Herbst and Fränkel appliances in the treatment of Class II malocclusion. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 134-144.
- 23) Scalzone A., F. d'Apuzzo F., Scalzone P.P, Vitale V, Cannavale R., Perillo L. (2015) Trattamento con Twin Block in pazienti in crescita

con malocclusione di Classe II: effetti dento-scheletrici. *Dental Cadmos*, 654–659.

- 24) Baysal A., Uysal T. (2014). Dentoskeletal effects of Twin Block and Herbst appliances in patients with Class II division 1 mandibular retrognathia. *European Journal of Orthodontics*, 164–72.
- 25) Siara-Olds N.J., Pangrazio-Kulbersh V., Berger Jeff, Bayirli B. (2010) Long-Term Dentoskeletal Changes with the Bionator, Herbst, Twin Block, and MARA Functional Appliances. *The Angle Orthodontist* 80, 18–29.
- 26) Fortini A., Lupoli M., Giuntoli F., Franchi L. (2004). Dentoskeletal Effects Induced by Rapid Molar Distalization with the First Class Appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 697–704.
- 27) Ghosh, J., & Nanda, R. S. (1996). Evaluation of an intraoral maxillary molar distalization technique. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 639-646.
- 28) Byloff, F. K., & Darendeliler, M. A. (1997). Distal molar movement using the pendulum appliance. Part 1: clinical and radiological evaluation. *The Angle Orthodontist*, 249-260.
- 29) Gulati, S., Kharbanda, O. P., & Parkash, H. (1998). Dental and skeletal changes after intraoral molar distalization with sectional jig assembly. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 319-327.

- 30) Carano, A. (1996). The distal jet for upper molar distalization. *J Clin Orthod*, 374-380.
- 31) Bussick, T. J., & McNamara Jr, J. A. (2000). Dentoalveolar and skeletal changes associated with the pendulum appliance. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 333-343.
- 32) Ngantung V., Nanda R. S., Bowman S. J. (2001). Posttreatment evaluation of the distal jet appliance. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 178-185.
- 33) Brickman, C. D., Sinha, P. K., & Nanda, R. S. (2000). Evaluation of the Jones jig appliance for distal molar movement. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 526-534.
- 34) Thukral R., Gupta A. (2015). Invisalign: Invisible Orthodontic treatment -a review. *Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research*.
- 35) Tamer. I, Öztaş E., Marşan G. (2019). Orthodontic Treatment with Clear Aligners and The Scientific Reality Behind Their Marketing: A Literature Review. *Turkish Journal of Orthodontics*, 241–246.
- 36) Upadhyay M., Arqub S.A. (2022). Biomechanics of Clear Aligners: Hidden Truths & First Principles. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, 12–21.

- 37) <https://www.invisalign.it/frequently-asked-questions>
- 38) Buschang PH, Shaw SG, Ross M, Crosby D, Campbell PM. (2014) Comparative time efficiency of aligner therapy and conventional edgewise braces. *Angle Orthod* 391-396
- 39) Cozza P., Pavoni C., Lione R., *Approccio sistematico alla terapia ortodontica con allineatori. Introduzione al trattamento con allineatori*, Milano, Edra, 2020.
- 40) Proffit, W. R., Fields Jr., H. W., Larson, B. E., & Sarver, *Ortodonzia moderna. Principi meccanici nel controllo delle forze ortodontiche*, Milano, Edra, 2021.
- 41) Retrouvey J.M., Kousaie K., Pera S. *Meccanica di base applicata all'ortodonzia*», s.d.
- 42) Tai S., *Allineatori trasparenti. Biomeccanica e gestione clinica. Confronto tra apparecchi edgewise e allineatori trasparenti*, Quintessenza, 2020.
- 43) Harris K, Ojima K, Dan C, Upadhyay M, Alshehri A, Kuo CL, et al. (2020). Evaluation of open bite closure using clear aligners: a retrospective study. *Prog Orthod*, 21-23.
- 44) Koukou M., Damanakis G., Tsolakis. A.I. (2022). Orthodontic Management of Skeletal Class II Malocclusion with the Invisalign

Mandibular Advancement Feature Appliance: A Case Report and Review of the Literature. *Case Reports in Dentistry*.

- 45) Wu Y., Yu Q., Xia Y., Wang B., Chen S., Gu K., ... & Zhu M. (2023). Does mandibular advancement with clear aligners have the same skeletal and dentoalveolar effects as traditional functional appliances? *BMC Oral Health*, 65.
- 46) Blackham SS. (2020). A Study of Short-Term Skeletal, Dental, and Soft Tissue Effects of Class II Malocclusions Treated with Invisalign® with Mandibular Advancement Feature or Twin Block Appliance Compared with Historical Controls, University of British Columbia.
- 47) Zybutz, T., Drummond, R., Lekic, M., Brownlee, M. (2021). Investigation and comparison of patient experiences with removable functional appliances: Invisalign Teen with Mandibular Advancement versus Twin Block. *The Angle Orthodontist*, 490-495.
- 48) Ravera S., Castroflorio T., Galati F., Cugliari G., Garino F., Deregibus A., Quinzi V. (2021). Short Term Dentoskeletal Effects of Mandibular Advancement Clear Aligners in Class II Growing Patients. A Prospective Controlled Study According to STROBE Guidelines. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 119–124.