



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea in Odontoiatria e Protesi Dentaria

**Trattamento ortodontico complesso con allineatori
Invisalign® senza l'utilizzo di attachment in gravi
anomalie della dentizione**

Relatore: Chiar.ma

Prof.ssa Lucia Memè

Tesi di Laurea di:

Sofia Pasqualini

Correlatore: Chiar.mo

Prof. Francesco Sampalmieri

A.A. 2023/2024

INDICE

INTRODUZIONE	4
1 INQUADRAMENTO ANOMALIE DENTARIE.....	5
1.1 CLASSIFICAZIONE ANOMALIE DENTARIE	5
1.2 AGENESIA	17
1.2.1 INTRODUZIONE	17
1.2.2 EPIDEMIOLOGIA	17
1.2.3 EZIOLOGIA	23
1.2.4 TRATTAMENTO E PREVENZIONE	27
1.3 TRASPOSIZIONE.....	29
1.3.1 INTRODUZIONE	29
1.3.2 CLASSIFICAZIONE	29
1.3.3 EPIDEMIOLOGIA	35
1.3.4 EZIOLOGIA	36
1.3.4 TRATTAMENTO E PREVENZIONE	38
2 TERAPIA ORTODONTICA CON ALLINEATORI TRASPARENTI (SISTEMA INVISALIGN®)	41
2.1 INTRODUZIONE ALLA TERAPIA ORTODONTICA CON ALLINEATORI TRASPARENTI.....	41
2.2 FASI TRATTAMENTO INVISALIGN®	43
2.3 MECCANICA DEGLI ALLINEATORI TRASPARENTI.....	45
2.3.1 CONCETTI BASE DI MECCANICA ORTODONTICA	45
2.3.2 TEORIE DEL MOVIMENTO DENTALE	60
2.3.3 TRASDUZIONE DELLA FORZA ALLE STRUTTURE DENTALI E PARODONTALI	62
2.3.4 RISPOSTE TISSUTALI ALL'APPLICAZIONE DELLE FORZE ORTODONTICHE	66
2.3.5 MOVIMENTO DENTALE CON ALLINEATORI TRASPARENTI.....	72
2.4 EFFICIENZA ED EFFICACIA CLINICA DEGLI ALLINEATORI TRASPARENTI.....	75
3 ATTACCHI.....	76
3.1 EVOLUZIONE DELLA PROGRAMMAZIONE CON GLI ATTACCHI.....	76
3.2 TIPI DI ATTACCHI	77
3.2.1 ATTACCHI CONVENZIONALI	78
3.2.2 ATTACCHI OTTIMIZZATI	80

3.3 COME GLI ATTACCHI INFLUENZANO IL MOVIMENTO ORTODONTICO	80
3.4 CORRELAZIONE TRA ATTACCHI E MATERIALI	87
4 TRATTAMENTO CON ALLINEATORI TRASPARENTI SENZA ATTACCHI	89
4.1 LETTERATURA SCIENTIFICA A SUPPORTO DELL'USO DEGLI ATTACCHI.....	90
4.2 STUDIO SULLA PRECISIONE DEL MOVIMENTO DENTALE CON ALLINEATORI CON ATTACCHI OTTIMIZZATI, RETTANGOLARI E SENZA ATTACCHI	91
4.3 CASO DI ALLINEATORI INVISIBILI SENZA L'UTILIZZO DI ATTACCHI.....	94
5 STUDIO CASE REPORT	99
5.1 MATERIALI E METODI	99
5.2 RISULTATI E DISCUSSIONE.....	105
5.3 CONCLUSIONE	110
6 BIBLIOGRAFIA	111

INTRODUZIONE

Nel presente elaborato di tesi si esaminerà la possibilità di effettuare un trattamento ortodontico con sistema Invisalign® senza attachments.

Il primo capitolo di questa tesi analizzerà le anomalie della dentizione; avremo un excursus su tutte le anomalie, classificate in base al momento in cui si verificano e in base alle loro caratteristiche. Verrà data maggior luce alle anomalie del sito di eruzione, in particolare all'ectopia. Si è deciso di porre attenzione sulle agenesie e sulle trasposizioni, andando a trattarne l'epidemiologia, l'eziologia e il trattamento.

Il secondo 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.

Il terzo capitolo verterà sugli attacchi, verrà analizzata la loro evoluzione, la loro classificazione, e come questi influenzino il movimento ortodontico e come si relazionino con i materiali degli allineatori.

Il quarto capitolo è dedicato alla ricerca bibliografica sui casi trattati senza l'uso degli attachments. Valuteremo sia il supporto della letteratura all'uso degli attacchi, sia gli studi sul movimento di rotazione con i vari tipi di attacchi e senza attacchi e un case report trattato senza l'utilizzo di attachments.

Infine, nel quinto e ultimo capitolo verrà riportato uno studio case report che mira a valutare come l'assenza di attacchi nell'utilizzo dell'apparecchio Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) si sia rivelata un'ottima soluzione per risolvere un caso con diverse anomalie di dentizioni, in una paziente adulta odontofobica in collaborazione con la Dottoressa Emanuela Caciari.

1 INQUADRAMENTO ANOMALIE DENTARIE

1.1 CLASSIFICAZIONE ANOMALIE DENTARIE

Le anomalie dei tessuti duri dentali vengono classificate in base al momento in cui si verificano¹:

1) prima e durante lo sviluppo dei denti all'interno delle ossa mascellari

Disturbi dell'odontogenesi, cioè un errore dello sviluppo del germe dentale, o durante lo sviluppo del dente, sono entrambe dovute a cause endogene. I disturbi includono le variazioni del numero dei denti, le anomalie morfologiche e le anomalie strutturali dello smalto e della dentina. Potrebbe sembrare che queste anomalie si verificano indipendentemente le une dalle altre, ma non è così. Anomalie nelle dimensioni di alcuni denti, ad esempio, possono essere associate all'assenza di altri denti, il che implica una relazione tra il numero di denti e le loro dimensioni. Ad esempio, l'agenesia di un ottavo può essere accompagnata da un ritardo nello sviluppo dei premolari dello stesso quadrante o di un altro. Ciò può essere dovuto al fatto che il numero, le dimensioni e la morfologia dei denti sono determinati dall'interazione dei geni. I caratteri che sono ereditati poligeneticamente sono distribuiti normalmente nella popolazione (cioè statisticamente la loro distribuzione segue la normale curva a campana)¹.

Tra queste anomalie troviamo le anomalie di numero:

- **Ipodonzia**, è la mancanza congenita fino a sei denti¹.
- **Agenesia**, è l'assenza congenita di un numero variabile di denti, dovuta alla mancata formazione del dente².
- **Oligodonzia**, rappresenta la mancanza di 4 o 6 denti o di più di 8 denti, esclusi i terzi molari¹. L'oligodonzia ha diverse rappresentazioni, possono mancare sia denti anteriori che posteriori. La disposizione dei denti mancanti è spesso

simmetrica bilateralmente. La frequenza dell'oligodonzia è bassa, circa lo 0,1-0,5% delle persone ha da sette a otto denti mancanti. Può verificarsi sporadicamente nella popolazione sana o può associarsi ad altre anomalie.

- **Anodonzia**, la mancanza dell'intera dentizione, si verifica in sindromi gravi, spesso fatali¹.
- **Iperdonzia**, rappresenta la presenza di uno o più denti in più, cioè una dentatura con più di 20 denti decidui e/o 32 denti permanenti. I denti extra possono essere morfologicamente simili o dissimili dimensione o forma rispetto ai denti normali. Il dente extra può essere un singolo elemento o più elementi, potrebbe essere monolaterale o bilaterale. La loro morfologia può essere simile a quella dei denti normali (*eumorfico*), consentendone il riconoscimento come dente specifico, tali denti sono detti **denti supplementari**. Altri denti aggiuntivi *atipici* o *dismorfici*, rudimentali per forma e dimensione, con una corona conica, o con una corona ridotta o con più cuspidi, vengono chiamati **denti soprannumerari**. Denti extra non erotti all'interno delle ossa mascellari, può essere rilevato occasionalmente eseguendo esami radiografici, oppure i denti adiacenti possono fornirci indicazioni, dato che la loro eruzione verrà disturbata¹.
- **Extra dentizione**, alcuni fonti menzionano più di due dentature negli umani, cioè compresi i denti erotti intorno alla nascita e i denti erotti dopo la perdita della dentizione permanente¹.
- **Fusione e parziale schizodonzia**. La fusione è l'unione precoce di due germi dentali distinti ad uno stadio precoce dell'odontogenesi, in cui due denti condividono parte almeno dello smalto e/o della dentina (radice). Nella vera fusione i denti possono mostrare dentina confluyente. Possono essere usati sinonimi come *synodontia* e *connation*, a volte usati insieme. La schizodonzia denota la scissione del germe del dente. Se la divisione è completa si formano due denti e si ha iperdonzia. La schizodonzia parziale durante la parte iniziale dello sviluppo dei denti risulta come due denti parzialmente congiunti. Altri termini usati sono "denti gemelli siamesi" e "geminazione parziale"¹.

- **Concrescenza.** La concrescenza è l'unione delle radici di due denti adiacenti solo attraverso il loro cemento. L'unione del cemento al momento dell'odontogenesi è chiamata vera concrescenza, mentre lo sviluppo successivo all'odontogenesi è chiamata falsa concrescenza o in alternativa possiamo definire una concrescenza "primaria" e una "secondaria", anche se nella pratica clinica è impossibile distinguere tra le due condizioni¹.

Le deformazioni per morfologia e dimensioni:

- **Compressione.** La compressione avviene quando un dente in via di sviluppo non riesce a crescere e raggiungere le sue dimensioni ottimali perché viene premuto contro una barriera dura anatomica¹.
- **Dens invaginatus.** È un'anomalia dello sviluppo, una profonda invaginazione di una porzione dell'organo dello smalto, che provoca uno smalto e una dentina a livello occlusale o linguale profondamente invertito e spesso una corona dalla forma insolita. Altre invaginazioni possono originare dalla superficie dei denti apicale e/o laterale. Si può descrivere la superficie invaginata coronalmente come un forame a fondo cieco profondo, la piccola fossa cieca palatale che si estende in profondità dello smalto¹.
- **Solco palato-gengivale.** È un tipo di invaginazione, un solco acuto alquanto irregolare, a forma di imbuto che scorre dallo smalto palatale della corona e si estende lungo la radice. Ciò si verifica in particolare negli incisivi laterali mascellari permanenti, si formano anche solchi labio-radicolari¹.
- **Dilacerazione.** È un'anomalia dello sviluppo dei denti causata da un trauma meccanico che strappa via la parte calcificata dalla parte non calcificata, a seguito della quale durante la mineralizzazione vengono unite queste due parti inclinate l'una rispetto all'altra¹.
- **Perle dello smalto ed estensione dello smalto.** La perla dello smalto è un piccolo bulbo di smalto che può essere ovale o rotondo, che può avere o meno dentina e tessuto pulpare. Si può notare tipicamente interno alle radici e talvolta

sulla corona. La perla “vera” è composta da smalto, la perla “composita” da dentina e raramente abbiamo la perla “smalto-dentina-polpa”. Un’ estensione dello smalto è lo smalto che parte dalla regione cervicale o verso la corona o verso l’area della biforcazione dei molari¹.

- **Radici fuse.** Si verificano quando i denti pluriradicolati condividono la parte interna della dentina radicolare. Qui i solchi radicolari indicano essenzialmente che ci sono più radici e più canali sono presenti nelle radici¹.
- **Macro-Microdonzia.** I denti possono essere relativamente grandi (*macrodonzia*) o piccoli (*microdonzia*). Per definire le misure anomale dei denti potrebbe essere necessario effettuare un’analisi statistica dei dati, utilizzando lo score medio della popolazione e lo standard di deviazione¹.
- **Cuspidi extra.** In alcuni denti le cuspidi aggiuntive sono la regola piuttosto che l’eccezione; ad esempio, i primi molari mascellari con la **cuspidi di Carabelli** mesio-palatale, nei caucasici e i secondi premolari mandibolari con due cuspidi linguali. **Dens evaginatus** descrive la presenza di una cuspidi conica aggiuntiva occlusale, spesso sottile, costituita da smalto, dentina e un prolungamento pulpare. **L’artiglio**, è un accessorio, un’escrescenza del cingolo, degli incisivi e dei canini costituiti da smalto e dentina con o senza estensione della polpa. Il **tubercolo paramolare o cuspidi** è una cuspidi aggiuntiva che si verifica sul secondo e terzo molare e tra l’altro anche nei premolari. Il tubercolo è solitamente localizzato mesio-buccalmente¹.
- **Radici sovrannumerarie.** Ne parliamo quando troviamo una o più radici su un dente in eccesso rispetto al numero regolare. Presumibilmente questa è una conseguenza di una fessura radicolare o una radice aggiuntiva. Possono essere radici bifide o aggiuntive¹.
- **Taurodontismo.** È caratterizzato da una radice cilindrica, una cavità pulpare allargata. In questi denti il sistema del canale radicolare assomiglia a quello dei denti a più radici¹.

Le deformazioni per anomalie dello smalto e della dentina:

- **Ipomineralizzazione degli incisivi-molari.** Abbiamo questa condizione quando uno o più dei primi molari permanenti mostra grandi aree marcate giallo-bruno di smalto ipocalcificato¹.
- **Amelogenesi imperfetta ereditaria.** È costituita da difetti strutturali e morfologici eterogenei sullo smalto. Ha un'origine genetica che si verifica in assenza di malattie sistemiche. Si può dividere in varie classi in base alle manifestazioni; ipoplasia, ipomaturazione, ipocalcificazioni e la combinazione di ipomaturazione – ipoplasia- taurodentismo¹.
- **Displasia dentinale.** È un'anomalia strutturale della dentina che si manifesta in entrambe le dentizioni con diverse manifestazioni; displasia della dentina radicolare, displasia della dentina coronale¹.
- **Dentinogenesi imperfetta.** È un'anomalia ereditaria della struttura dentinale che si presenta con o senza osteogenesi imperfetta, con corone bulbose di un color marrone tenue, radici sottili e corte, spesso trasparenti e l'obliterazione pulpare dopo l'eruzione del dente¹.

1. *durante l'eruzione dei denti*

Le anomalie dell'eruzione possono essere dovute a disturbi in tempi di eruzione o nel percorso e nel sito di eruzione. Queste anomalie possono avere effetti endogeni o esogeni¹.

- **Eruzione patologicamente accelerata**, come la **perdita precoce dei decidui**, periodontiti prepuberali¹.
- **Eruzione patologicamente ritardata**, che possono essere dovute sia a fattori locali, come fibromatosi e iperplasia gengivale, iperdonzia, bambini nati prematuramente, sia fattori generali come carenze vitaminiche, disordini endocrini, ereditarietà, HIV, ipofosfatasia¹.

- **Denti parzialmente erotti.** Rimangono in quella posizione perché una barriera fisica (dentitio difficilis) può essere parzialmente ricoperto di gengiva (opercolo)¹.
- **Infra-occlusione.** Si riferisce all' eruzione permanente arrestata di un dente una volta che è emerso. È causato da anchilosi e il dente rimane al di sotto del piano occlusale dei denti adiacenti, che continuano ad erompere¹.
- **Anomalie del sito di eruzione.** Deviazioni nel sito dell'eruzione possono verificarsi in modo minore (distopia) o più grave (eterotopia). I denti leggermente spostati sono presenti in tutte le dentature. Fattori estetici influenzano la scelta del trattarle o meno leggere deviazioni. Se le deviazioni rimangono non trattate abbiamo maggiore possibilità di sviluppare patologie secondarie, come carie o malattia parodontale. Anche piccole deviazioni possono considerarsi altrettanto dannose¹.

1) **Distopia**, è una leggera deviazione del sito di eruzione del dente che possiamo risolvere tranquillamente con un trattamento ortodontico¹.

- **Rotazioni**

I premolari mandibolari, in particolare i primi premolari, sono spesso leggermente ruotati (media di 13°). Soprattutto nelle femmine, si può notare una rotazione idiopatica del secondo premolare di 90° verso mesiale. Quando abbiamo un diastema mesiale, l'apice della radice è piegata mesialmente e l'eruzione è ritardata. La dimensione maggiore del secondo molare deciduo lascia lo spazio necessario affinché il secondo premolare, che è più piccolo, ruoti di 90-180°. Una relazione con la carenza di spazio è improbabile, sebbene sia possibile un'influenza genetica. Gli incisivi mascellari possono essere ruotati di 60° e anche fino a 180°. Il primo molare mascellare permanente spesso erompe con una

rotazione mesio-palatale, riducendo così lo spazio disponibile per i denti più anteriori¹.

- **Sito di eruzione vicino all'arcata dentaria**

In un campione di bambini tra i 9-10 anni, il secondo premolare mandibolare erompe vicino all'arcata dentale in circa 1% delle volte. I canini mascellari permanenti se abbiamo carenza di spazio erompono in posizione ectopica palatale o labiale. L'estrazione dei canini erotti vestibolarmente non è indicata, a meno che non sia presente un riassorbimento radicolare o un'altra patologia. In quasi il 2% dei canini mascellari abbiamo eruzione ritardata o ectopica solitamente in direzione palatale. Altri studi hanno riscontrato che circa il 10% dei bambini di 9-10 anni ha i canini mascellari disposti in modo errato. È consigliato il trattamento precoce in questi casi perché i movimenti di eruzione possono indurre il riassorbimento della radice degli incisivi. L'ectopia vestibolare dei canini può essere diagnosticata precocemente con i raggi X e con la palpazione del solco buccale: normalmente il canino è palpabile già 18 mesi prima rispetto all'eruzione, a 9-10 anni. I primi molari permanenti mascellari possono erompere mesialmente a causa di una combinazione di fattori, tra cui la macrodontia e un percorso eruttivo anomalo. Il dente si blocca sotto il rigonfiamento distale della corona decida del secondo molare e induce un riassorbimento precoce della radice distale di quel dente, mentre nell'altro le radici rimangono intatte: il dente deciduo rimane così in situ. Conseguenze di questa condizione sono la formazione di ascessi parodontali, l'inclinazione parziale del primo molare incluso e la mancanza di spazio per i premolari e per il canino. Particolarmente predisposti sono i pazienti con schisi del labbro e del palato, osteogenesi

imperfetta tipo III e IV e quelli con la zona media del volto sottosviluppata (sindrome di Crouzon). La prevalenza complessiva è del 2-6%.

A meno che il secondo molare deciduo non venga perso prematuramente, i denti devono essere separati o il dente deciduo estratto

precocemente. La variabilità delle prevalenze riportate è in parte dovuta alla differenza d'età dei bambini studiati. Negli USA non sono state trovate differenze tra i soggetti caucasici e gli afroamericani, o tra i sessi, ma l'eruzione ectopica del primo molare mascellare ha forse un'origine genetica con una maggiore frequenza nei maschi piuttosto che nelle femmine. È stata proposta un'origine sindromica perché sembra che i canini mascellari ectopici siano correlati all'infra-occlusione dei molari decidui e dei premolari agenetici. Ci sono due tipi di eruzione ectopica dei primi molari permanenti. Un tipo è reversibile: in due terzi dei casi il dente si libera dalla sua posizione bloccata ed erompe in una posizione normale. L'auto-correzione potrebbe essere possibile tra i 6 e 7 anni. Nei bambini con schisi l'auto-correzione avviene in pochi casi. L'altro tipo è irreversibile. Il dente continua ad erompere in direzione mesiale, a meno che non siano trattati tempestivamente mediante distalizzazione. È indicata l'estrazione del secondo molare deciduo a causa di un importante riassorbimento e inclusione, eventualmente seguita da espansione trasversale del mascellare. Solitamente i denti vengono separati con gli elastici, bande ortodontiche, apparecchi ortodontici removibili, fili di separazione in ottone (meno preferibili) o trazione cervicale (tramite distalizzazione dei primi molari permanenti). Gli incisivi laterali sono i denti ectopici più frequenti nella mandibola. L'eruzione ectopica dei secondi molari permanenti si verifica nell'1,5% della popolazione¹.

- **Diastema**

I diastemi sono comuni nella dentatura decidua, ma non nella dentatura permanente, a meno che non vi sia una microdonzia. In un piccolo studio non è stata trovata alcuna relazione tra iperdonzia e diastema, ma la concomitanza tra la presenza di diastemi e mal posizioni sembra frequente¹.

2) Eterotopia, è l'eruzione di un dente lontano dal suo previsto luogo difficile o impossibile da trattare ortodonticamente. In generale le cause possono essere un germe dentale posizionato in modo errato, la mancanza di spazio, traumi, migrazioni e probabilmente anche altre cause sconosciute¹.

-Canini mascellari

I canini mascellari eterotopici erompono occasionalmente nel palato, ma più spesso rimangono inclusi. L'eterotopia può causare il riassorbimento della radice di un altro dente, così come i canini mascellari erompono nella zona degli incisivi laterali¹.

-Terzi molari

I terzi molari possono essere occasionalmente, unilateralmente o bilateralmente, posizionati troppo caudalmente, in alto nella parte ascendente del ramo e ancora più lontano e possono migrare in queste aree. La mancanza di spazio non è necessariamente un prerequisito: un paziente con una severa ipodonzia aveva i terzi molari inclusi nel processo coronoide. I terzi molari ectopici inclusi possono essere associati ad una cisti dentigera¹.

-Esempi più estremi

La migrazione distale dei premolari supplementari mandibolari inclusi può essere osservata radiologicamente in alto nel ramo ascendente. Questa migrazione può causare dolore in caso di coinvolgimento del nervo

mandibolare. È stato osservato come i terzi molari mascellari possono migrare verso una posizione orizzontale sopra gli apici dei primi e secondi molari. Un terzo molare, un odontoma e anche altri denti possono erompere nel tetto del seno mascellare o nelle zone vicino al naso. Complicazioni sono le cisti dentigere, follicolari, infezioni (sinusiti), dolore da ostruzione e deformità facciali. Una di queste lesioni è stata interpretata come una neoplasia maligna. Un mesiodens primario è eretto palatalmente. Inoltre, sono erotti anche denti extra e regolari nel naso. Sono stati osservati circa 50 studi di denti intranasali, uno del poeta Goethe, con o senza epistassi unilaterale. Un molare deciduo incluso traumaticamente è stato osservato erotto in posizione invertita nel naso. I denti intranasali possono indurre rinite e problemi nel linguaggio. Vengono rimossi chirurgicamente, ma possono essere attaccati debolmente alla mucosa nasale. L'endoscopia viene utilizzata per prevenire la comorbidità. È richiesta almeno una valutazione radiografica. Le cause sono l'infezione, l'osteomielite della mascella e carcinoma a cellule squamose e labbro leporino e palatoschisi.

Esistono casi più estremi: sono stati trovati anche nello spazio laterale della faringe, denti extra nella ghiandola ipofisaria e un mesiodens nei tessuti molli del viso. Sono stati trovati 12 denti extra sul viso e sulle orbite in un paziente. Dopo un incidente su cui emergeva un canino mandibolare nella parte inferiore del mento. È noto che gli incisivi laterali permanenti erompono al posto dei primi molari decidui mandibolari¹.

- 3) **Trasposizioni**, si riferisce alla situazione in cui la posizione tra due denti è invertita¹. Verrà analizzata in dettaglio nei sottocapitoli successivi.
- 4) **Trasmigrazione** è una migrazione mesiale di metà o più della lunghezza di un canino permanente attraverso la linea mediana. La persistenza del canino deciduo è un segno clinico; di solito non ci sono altri sintomi¹. Non sono stati segnalati denti diversi dai canini mandibolari trasmigrare, ma nel 2003 è stato affermato di aver osservato il primo caso di canino mascellare trasmigrato.

Tuttavia, una ricerca lo ha rilevato precedentemente in letteratura (1980) tra 11 casi di trasmigrazione canina, tra cui ce ne erano alcune di canini mascellari. È stata una volta riportata la trasmigrazione di un canino mandibolare e il suo incisivo adiacente in una dentatura con un premolare supplementare. È stata riportata la trasmigrazione bilaterale dei canini mandibolari con eruzione ectopica. La trasmigrazione è documentata con radiografie seriali. Il fenomeno implica che se è necessaria l'anestesia per il trattamento deve essere fatta nel luogo di origine. I denti trasmigrati sono comunemente (80-95%) inclusi nell'osso, sotto gli apici degli incisivi, premolari e primi molari controlaterali, ma possono emergere sia sulla linea mediana tra gli incisivi centrali, o mesialmente o distalmente al canino al canino opposto. L'inclinazione mesioangolare del dente determina se si tratta di trasmigrazione (deflessione maggiore) o di trasposizione (deflessione minore). I modelli migratori della trasmigrazione sono stati classificati in 5 tipi, in base alla posizione dell'osso, all'angolazione e all'eruzione dei denti. Forse sono stati descritti circa 100 studi, di cui 15 su 4500 pazienti. Più femmine (80%) rispetto ai maschi (20%), ed è stato colpito più frequentemente il canino sinistro (60%). Studi più recenti del 2011 hanno rilevato 90 denti mandibolari trasmigranti in 87 persone su un campione di 112873 persone, di cui 2 erano incisivi laterali e 3 erano premolari. Il rapporto maschi: femmine è 1:1. L'anomalia è stata associata a una cisti(follicolare) ad un percorso di eruzione orizzontale e un odontoma. Si dice che la trasmigrazione sia "non ipotetica a causa della presenza della cartilagine della sinfisi" e dovuta a uno "spostamento anormale del germoglio dentale nella vita embrionale"¹.

2. dopo l'eruzione dei denti

Questi sono per lo più causati da fattori esogeni, ma anche le cause endogene possono contribuire. Questi disordini includono carie, che nonostante un calo dell'incidenza sono sempre molto diffuse. Altre malattie dentali post sviluppo sono: erosione, che è causata dall'azione degli acidi esterni sui tessuti duri dentali; riassorbimento, che è causato da cellule che riassorbono i tessuti ossei; l'usura dei denti; e condizioni traumatiche. Decolorazione dei denti possono iniziare sia nella fase evolutiva che in quella post evolutiva. Vediamo come una serie di sindromi in cui i denti sono coinvolti¹.

- **Carie.** È un processo localizzato, progressivo distruttivo che coinvolge la componente minerale dei tessuti duri (smalto, dentina esposta e cemento)¹.
- **Erosione.** L'erosione dentale è una perdita spesso indolore, progressiva e irreversibile del tessuto dentale duro, prima lo smalto denudato e decementato e successivamente la dentina esposta. L'erosione si verifica a causa della dissoluzione chimica di questi tessuti da parte di processi meccanici, acidi o idiopatici¹.
- **Ipersensibilità cervicale.** Alcuni pazienti con esposizione della dentina cervicale possono avvertire dolore acuto, breve percepito con sostanze chimiche, termiche, osmotiche, stimolazione evaporativa o tattile. La diagnosi viene fatta escludendo altre cause di dolore, sperimentato dal 15% al 50% dei pazienti¹.
- **Riassorbimento dentale.** Il riassorbimento dentale è la distruzione del tessuto duro del dente da parte degli osteoclasti. L'osso viene continuamente riassorbito dagli osteoclasti e riformato dagli osteoblasti. Anche il riassorbimento delle radici dei decidui è un fenomeno fisiologico. Il riassorbimento patologico del dente include il riassorbimento transitorio esterno, che arresta spontaneamente e il progressivo riassorbimento che parte dall' del dente, dalla camera pulpare o dalla superficie esterna del dente¹.

- **Usura dei denti e altri segni di invecchiamento.** L'usura dei denti è la progressiva perdita di smalto e cemento e dentina a causa del contatto per attrito tra i denti e il contatto tra i denti e il cibo o i corpi estranei. L'usura è un processo complesso e il tasso di perdita è difficile da prevedere, i denti possono usurarsi prematuramente o come processo naturale dell'invecchiamento. Ogni contatto di un dente con i suoi antagonisti, cibo, provoca la perdita di alcuni nanometri della superficie del dente che nel tempo risulta una marcata perdita di tessuto¹.
- **Fratture dentali e lesioni dentoalveolari traumatiche.** Il trauma dentale è una lesione dentale e/o parodontale causata meccanicamente. Può essere causata da abusi, crack o fratture accidentali dei denti, fratture traumatiche, lesioni traumatiche parodontali¹.
- **Discolorazione dei denti.** La discolorazione dei denti è quando il colore di tutti o di alcuni denti o di una parte di essi, è al di fuori dello spettro bianco-giallo. Possono essere discolorazioni endogene, esogene, danno iatrogeno¹.

1.2 AGENESIA

1.2.1 INTRODUZIONE

Diverse definizioni sono state usate per descrivere il fenomeno dell'assenza congenita dei denti: ipodonzia, oligodonzia, anodonzia, assenza congenita dei denti e agenesia dentale. L'anodonzia viene usata per pazienti con completa assenza di denti in arcata, oligodonzia per pazienti con assenza di sei o più denti, esclusi i terzi molari. Gli autori preferiscono il termine di agenesia dentale poiché descrive più accuratamente lo disturbo dello sviluppo coinvolto³.

1.2.2 EPIDEMIOLOGIA

L'agenesia è la più frequente anomalia di sviluppo dell'uomo ed è frequentemente associata ad altre anomalie più gravi³.

Nella dentizione decidua

Meno dell'1% dei bambini presenta l'ipodonzia della dentizione decidua. I denti maggiormente coinvolti sono gli incisivi superiori, seguiti dagli incisivi inferiori, centrali o laterali, e anche i primi molari. Quando i canini decidui sono agenetici, spesso è presente la sindrome del labbro leporino. Circa il 50% dei bambini con ipodonzia, ha la mancanza di un dente, spesso l'incisivo laterale; negli altri casi solitamente abbiamo la mancanza di due o più denti³.

Dentizione permanente

Indagini, spesso retrospettivi, su circa 160.000 tra bambini e ragazzi adolescenti, provenienti da diversi paesi e da diverse popolazioni indicano che dal 2% al 10% delle dentature permanenti mostrano agenesia dentale isolata, esclusi i terzi molari. Uno studio ha trovato che il 13% dei pazienti ortodontici presentava ipodonzia; tuttavia, questo dato non è rappresentativo della popolazione e il risultato può essere considerato un'eccezione⁴. La maggior parte degli studi include popolazioni Europee e Caucasiche, ma qualche studio ha incluso anche diverse etnie e popolazioni. Nei bambini Europei e Australiani in generale riscontriamo una mancanza di denti maggiore dei Nord Americani Caucasici, in media due denti, spesso omologhi. Le femmine sono significativamente più suscettibili dei maschi, ma non tutti gli studi hanno trovato differenze tra i due sessi. L'agenesia dentale isolata può tuttavia verificarsi intorno al 1.4 volte più spesso nelle ragazze che nei ragazzi, e anche le agenesie più severe con più denti coinvolti è più comune nelle ragazze. In uno studio, la prevalenza dell'ipodonzia negli ebrei non differisce per sesso, ma le ragazze avevano la mancanza dell'incisivo laterale superiore con una maggiore frequenza e i ragazzi avevano un'agenesia più frequente degli incisivi

mandibolari. La prevalenza complessiva dell'agenesia nella mascella è paragonabile a quella della mandibola, ma c'è una marcata differenza nel pattern in base al tipo di dente tra le mascelle.

I cinque denti più inclini all'agenesia in ordine dal più prevalente al meno sono: terzi molari, secondi premolari mandibolari, incisivi laterali mascellari, secondi premolari mascellari, incisivi laterali mandibolari. Tuttavia, esistono anche altri gradi di agenesia dei denti, compresi denti diversi da quelli appena menzionati.

Analizzando la metanalisi condotta dal gruppo di ricerca di Polder BJ nel 2002³ attraverso un accurata ricerca bibliografica sulla prevalenza delle agenesie dentali, con esclusione dei pazienti sindromici, possiamo vedere la distribuzione della prevalenza dell'agenesia. Come possiamo vedere da Fig.1 la prevalenza dell'agenesia dentale appare minore in Nord America piuttosto che in Europa e in Australia. La prevalenza di agenesia dentale nelle femmine è largamente maggiore rispetto ai maschi, RR= 1.37 (95% CI per RR=1.28-1.45).

	Males	Females	Total
Europe (White)	4.6 (4.5-4.8)	6.3 (6.1-6.5)	5.5 (5.3-5.6)
North America (White)	3.2 (2.9-3.5)	4.6 (4.2-4.9)	3.9 (3.7-4.1)
North America (African American)	3.2 (2.2-4.1)	4.6 (3.5-5.8)	3.9 (3.1-4.6)
Australia (White)	5.5 (4.4-6.6)	7.6 (6.0-9.2)	6.3 (5.4-7.2)
Saudi Arabia (White)	2.7 (2.0-3.4)	2.2 (1.2-3.1)	2.5 (1.9-3.1)
Chinese (Mongoloid)	6.1 (4.0-8.1)	7.7 (5.4-10.0)	6.9 (5.3-8.4)

Fig.1. Percentuale di prevalenza dell'agenesia dentale in base al continente, etnia e sesso.

Dalla Fig.2 possiamo vedere la prevalenza assoluta dell'agenesia degli individui specifica per ogni dente basata su 10 studi, con 48.274 persone e un CI del 95%².

	Maxilla		Mandible	
	<i>n</i>	Prevalence (95% CI)	<i>n</i>	Prevalence (95% CI)
I1	3	0.00–0.01	143	0.25–0.35
I2	804	1.55–1.78	102	0.17–0.25
C	47	0.07–0.13	8	0.01–0.03
P1	100	0.17–0.25	66	0.10–0.17
P2	722	1.39–1.61	1479	2.91–3.22
M1	17	0.02–0.05	6	0.00–0.02
M2	21	0.03–0.06	47	0.07–0.13

Fig.2. Percentuale di prevalenza dell'agenesia dentaria per ogni singolo dente

La prevalenza dell'agenesia, in accordo anche con la Fig.3, nella mascella è comparabile con quella della mandibola³.

	Maxilla		Mandible	
	Number	Percentage	Number	Percentage
I1	18	0.2	403	3.5
I2	2620	22.9	282	2.5
C	149	1.3	39	0.3
P1	320	2.8	161	1.4
P2	2423	21.2	4687	41.0
M1	81	0.7	31	0.3
M2	67	0.6	141	1.2
Total	5703	49.7	5761	50.3

Fig.3. La distribuzione di 11.422 agenesie per ogni singolo dente in 112.334 mila persone.

	Prevalence (%)	Sequence
Common	1.5–3.1	$P2_i > I2_s > P2_s$
Less common	0.1–0.3	$I1_i > I2_i \& P1_s > C_s \& M2_i$
Rare	0.01–0.04	$M2_s \& M1_s > C_i > M1_i \& I1_s$

Fig.4. Frequenza dei denti più affetti da agenesia divisa in tre grandi gruppi. (s, mascella; la mandibola)

La Fig.4 mostra la comparsa delle agenesie dentali suddivisa in tre grandi categorie: comuni, meno comuni e rari. Comparando le agenesie bilaterali e unilaterali grazie alla Fig.5 è stata stimata la presenza di bilateralità dell'agenesia dei quattro denti più colpiti. L'agenesia bilaterale degli incisivi laterali mascellari dal 50.9-57.0% (CI=95%) si sono verificati più spesso rispetto all'agenesia unilaterale. Per gli altri denti è più comune l'agenesia unilaterale. L'agenesia bilaterale dei secondi premolari mandibolari è stata calcolata dal 43.5-47.7% (95% CI), dei secondi premolari mascellari dal 46.3-52.2% (95% CI) e degli incisivi centrali inferiori dal 30.5-51.9% (CI=95%)³.

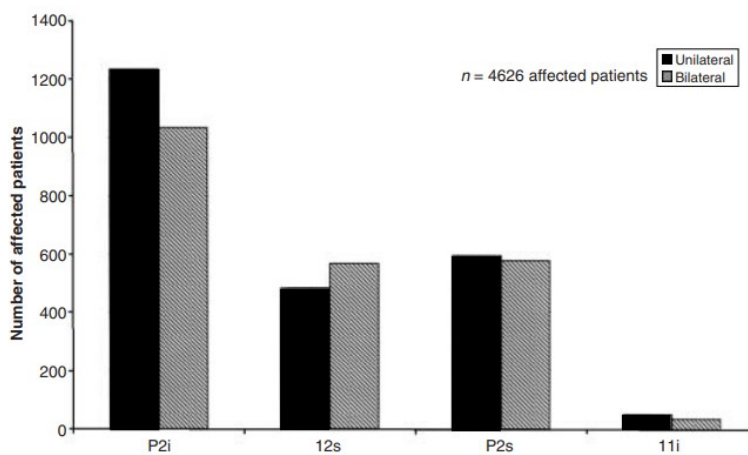


Fig.5. Presenza di agenesie unilaterali o bilaterali nei quattro denti più colpiti (P2i= secondo premolare mandibolare, I2s= incisivo laterale mascellare, P2s= secondo premolare mascellare, I1i= incisivo centrale mandibolare).

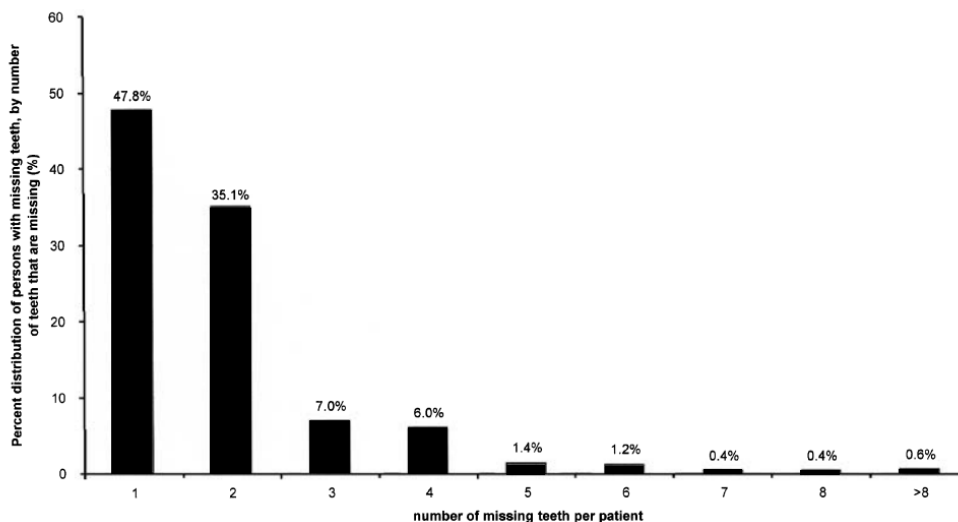


Fig.6. Distribuzione percentuale di persone con una mancanza dentaria, in base al numero di denti mancanti

Dalla Fig.6 possiamo vedere come nella maggior parte dei pazienti l'agenesia dentale coinvolgeva solo un dente (48%) o due denti (35%). Nel 2,6% dei pazienti colpiti mancavano sei o più denti (complessivamente una prevalenza del 0,14%). Sulla base degli studi coinvolti da questa meta-analisi il numero dei denti mancanti di cui è stato necessario effettuare una sostituzione è stato stimato 10,5 e per il Nord America del 6.5 ogni 100 abitanti³.

Terzi molari

I terzi molari sono i denti più frequentemente coinvolti nelle singole agenesie, ma la prevalenza è variabile. Nel 10%-35% degli adolescenti e ragazzi, uno su quattro degli ottavi è assente⁵. In questi studi i soggetti potrebbero non ricordarsi se i loro terzi molari siano stati estratti oppure non siano mai erotti, specie i soggetti anziani. L'agenesia del terzo molare sembra correlata all'etnia^{5,6,7}. Ad esempio, negli USA nel 27% della popolazione bianca si riscontra la mancanza del terzo molare, contro il 2% della popolazione dell'Africa Orientale, e il numero della popolazione cinese che manca dei quattro terzi molari è superiore della popolazione Caucasica⁶. Le donne mancano dei denti del giudizio meno spesso degli uomini⁸, ma alcuni ricercatori non hanno trovato differenze tra i sessi^{9,10}. Più degli altri denti i terzi molari tendono a mancare bilateralmente^{10,11}. Quasi il 10% dei soggetti quando è presente l'agenesia di uno o più terzi molari hanno anche l'agenesia di altri denti.

Secondo gli studi di Carter K. e Worthington S. comprendere la prevalenza dell'agenesia dei terzi molari è il primo passo per comprendere la relazione tra la mancanza dell'elemento dentale e l'impatto dei denti nelle popolazioni, dei lignaggi familiari e degli individui¹². La loro revisione sistematica e la loro metanalisi dimostrano come il tasso medio dell'agenesia del terzo molare sia del 22,63% (CI=95% dal 20,64 al 24,76), ma questo tasso differisce tra gli studi ed è guidato da variabili biologiche. L'analisi dei sottogruppi dimostra come le donne abbiano un tasso di agenesia leggermente più ampio rispetto agli uomini in tutte le popolazioni, e che i tassi di agenesia nella popolazione moderna sia simile ai tassi di agenesia mostrati dagli

archeologi nei loro studi. L'agenesia è più frequente nella mascella che nella mandibola, ed è più comune avere 1 o 2 molari mancanti piuttosto che 3 o 4.¹²

1.2.3 EZIOLOGIA

L'eziologia dell'ipodonzia non è completamente compresa. Sono state proposte diverse teorie, ma è comunemente accettato che sia coinvolta un'eziologia multifattoriale che comprende fattori genetici, epigenetici e ambientali. Le teorie più valide sono quelle evolutive o anatomiche³.

LE TEORIE EVOLUTIVE

Le teorie evolutive si basano sulla logica secondo cui il risultato dei cambiamenti evolutivi del complesso craniofacciale e/o della dentatura è una riduzione del numero dei denti¹. Negli anni '40, Dahlberg suggerì che il dente più mesiale di ciascuno dei quattro tipi (incisivo, canino, premolare e molare) fosse comparativamente più stabile rispetto alle sue controparti più distali. Clayton successivamente suggerì che i denti più distali fossero superflui per le necessità e diventassero ridondanti durante l'evoluzione. Bolk propose la "teoria della riduzione terminale"; cioè che durante l'evoluzione, l'elemento distale in ciascuna classe dei denti tende a scomparire¹. Tuttavia, dei 4 premolari arcaici presenti in ogni quadrante, sono in terzo e il quarto ad essere presenti nella dentizione moderna. Anche i terzi molari sarebbe dovuto scomparire, ma l'arcaico quarto molare divenne il primo molare permanente moderno, spiegando così la presenza in arcata di tre molari. La teoria di Bolk originaria fu respinta. Alcuni suggeriscono che le dimensioni della mascella e il numero dei denti si stiano riducendo man mano che gli esseri umani si evolvono. Tuttavia, mancano prove a sostegno di questa proposta¹.

LE TEORIE ANATOMICHE

Le teorie anatomiche nascono dal concetto che particolari regioni della lamina dentale del dente sono vulnerabili agli insulti ambientali durante lo sviluppo dentale. È stato proposto che l'assenza di sviluppo degli incisivi laterali mascellari, dei secondi premolari e degli incisivi centrali nella mandibola si verifichi perché questi denti si sviluppino nei siti di fusione precoce della mascella. Un pensiero alternativo ha suggerito che l'agenesia fosse più probabile in quelle aree in cui l'innervazione aveva luogo per ultima. È ormai accettato, tuttavia, che l'assenza dello sviluppo di uno o più denti sia dovuta a una complessa interazione di fattori genetici e ambientali.

FATTORI GENETICI

Vediamo come i geni homeobox siano ampiamente espressi durante lo sviluppo embrionale (Dlx, Pax, Msx)¹³. Quattro principali percorsi di segnalazione e i loro inibitori controllano la formazione dei denti, la formazione della dentatura umana è data dal loro sottile equilibrio. Questi sono **Bmp**, **Fgf**, **Wnt** e **Shh**.

La formazione dei denti dipende anche dall'interazione tra epitelio ed ectomesenchima. È stato riportato che i geni implicati in questa interazione durante l'odontogenesi del topo servono anche come potenziali candidati per l'agenesia dentale negli esseri umani. L'iperespressione di **Bmp1** in topi transgenici o l'inattivazione funzionale di **FGFR2b** o **Shh** porta all'arresto dello sviluppo del dente già allo stadio del germoglio. Quando gli inibitori o i mediatori di questi percorsi di segnalazione sono disturbati, si formano più denti con una forma anormale. Si possono anche manifestare una differenziazione difettosa di ameloblasti o odontoblasti e una ridotta deposizione della matrice¹².

I membri della famiglia dei ligandi Fgf, ossia **Fgf3** e **Fgf10**, derivati dal mesenchima, promuovono la proliferazione della nicchia di cellule staminali epiteliali degli incisivi. Coerentemente, la downregulation di **Fgf10** porta a una crescita compromessa degli incisivi¹³.

Le proteine Wnt sono una famiglia di fattori di crescita secreti che, in associazione con specifici recettori, agiscono come repressori o attivatori di geni bersaglio che codificano molecole di segnalazione cellulare. La ricerca ha portato alla comprensione del ruolo del percorso **Wnt/β-catenina** nello sviluppo dentale. È noto che questo percorso è spesso mutato o iperattivato in vari tipi di tumori (ad esempio, i tumori del colon-retto). È stato dimostrato che promuove l'auto-rinnovamento e la proliferazione di varie cellule staminali. Regola anche le decisioni di destino cellulare in cellule staminali della cresta neurale, che svolgono un ruolo cruciale nell'odontogenesi. Il percorso Wnt regola processi di sviluppo multipli, inclusi lo sviluppo craniofacciale, e può svolgere un ruolo nella schisi labiopalatina e in altri difetti dello sviluppo craniofacciale come l'agenesia dentale¹³.

Shh (Sonic Hedgehog) è una molecola di segnalazione cruciale durante l'organogenesi, la modellazione degli arti, lo sviluppo del tratto gastrointestinale, l'inizio e la morfogenesi dei denti. Il difetto dentale deriva da un difetto di fusione della parte mediana del viso. Una perturbazione del percorso di segnalazione Shh porta a una crescita e uno sviluppo difettosi dell'arcata mascellare, che risultano in una fusione prematura delle parti sinistra e destra della lamina dentale, causando la fusione dei germogli degli incisivi¹³.

Uno studio condotto da X. P. Wang et al. (2005) ha dimostrato che i geni del percorso di segnalazione **Shh** (*Ptc1*, *Ptc2* e *Gli1*) erano down regolati nei molari inferiori di topi con mutazione **Runx2**, ma l'espressione non era alterata nei molari superiori¹⁴. Mutazioni non-senso in **Msx** sono state dimostrate nell'agenesia dentale non sindromica. Le mutazioni di **Msx** portano anche a una lieve ipoplasia anteroposteriore del mascellare. Uno studio condotto da S. Pirinen et al. (1996) ha concluso che lo spostamento palatale del canino è genetico ed è correlato all'ipodonzia genetica di incisivi-premolari e incisivi conoidi¹⁵.

Studi precedenti hanno dimostrato l'importanza di geni come **MSX1**, **PAX9** e **Ectodysplasin**, che possono influenzare la formazione dei denti e il pattern della

dentizione umana¹⁶. La ricerca ha identificato numerose mutazioni in questi geni che sono collegate a forme sia sindromiche che non sindromiche di agenesia dentale. Le mutazioni genetiche possono agire in modo indipendente o in combinazione, portando a una vasta gamma di manifestazioni cliniche. Queste scoperte sono state di grande aiuto nel comprendere le basi molecolari di tali difetti dello sviluppo. Per esempio, il gene **PAX9** è stato identificato come un gene chiave per la transizione del germoglio dentale allo stadio di cap. Le mutazioni in questo gene sono associate a casi di oligodontia non sindromica, principalmente nella dentizione permanente. Allo stesso modo, le mutazioni di **MSX1** possono influenzare sia la formazione dei denti che la loro morfogenesi, e sono state collegate a una serie di disordini dello sviluppo dentale¹⁶.

FATTORI AMBIENTALI

Le cascate di sviluppo sono comuni nella formazione delle strutture craniofacciali e dei denti. Ciò può essere osservato quando le sindromi che coinvolgono l'agenesia dei denti mostrano displasie e schisi. Una causa ambientale è implicata in molte anomalie craniofacciali, ma le prove riguardanti il coinvolgimento ambientale nell'ipodontia non sono robuste. Le indagini hanno indicato che farmaci come l'uso di talidomide durante la gravidanza possono provocare ipodontia nel bambino. L'infezione da rosolia durante la gravidanza è stata proposta anche come fattore causale dell'ipodontia nel neonato. Il fumo materno e/o il consumo di alcol durante la gravidanza sono stati associati ad anomalie craniofacciali come labiopalatoschisi. In particolare, il fumo può avere un impatto deleterio sullo sviluppo delle cellule della cresta neurale con conseguenti anomalie craniofacciali. Poiché l'ipodontia e alcune anomalie craniofacciali condividono specifici percorsi di segnalazione, è stato ipotizzato che esista una correlazione tra fattori ambientali e ipodontia.

È stato dimostrato che i trattamenti radioterapici e chemioterapici per i tumori infantili hanno un impatto dannoso sullo sviluppo dentale, inclusa l'agenesia dei denti¹⁸.

Krasuska-Slawinska et al. hanno dimostrato che l'aumento delle dosi di agenti chemioterapici come vincristina, ciclofosfamide e doxorubicina per un lungo periodo di trattamento era associato ad un aumento dell'agenesia dei denti¹⁹. Inoltre, è noto che l'esposizione a dosi terapeutiche di radiazioni pari a 2000-4000 centigray durante il trattamento di tumori infantili provoca anomalie dentali che spesso coinvolgono agenesia.

Tuttavia, l'evidenza è debole riguardo al legame tra trauma indotto da blocchi del nervo dentale inferiore e/o trauma al processo alveolare contenente il germe del dente in via di sviluppo e ipodontia²⁰.

Quindi possiamo vedere come l'agenesia dentale negli esseri umani sia probabilmente causata da diversi deficit di geni indipendenti, che agiscono da soli o in combinazione con altri geni, portando a specifici modelli fenotipici.

La presenza o assenza di uno o più denti è determinata da una complessa serie di eventi in un individuo. L'interazione tra vari geni e i loro percorsi di segnalazione è responsabile del carattere morfologico e del posizionamento dei diversi denti nella dentatura umana. Le mutazioni in un sistema poligenico strettamente collegato, spesso trasmesse con diversi schemi di penetranza incompleta ed espressività variabile, portano a varie malformazioni. L'agenesia dentale può compromettere la crescita e lo sviluppo normali del bambino. Essa influisce sullo sviluppo cranio-facciale e psicosomatico complessivo del bambino. L'agenesia dentale può alterare l'estetica, causare malocclusioni, difetti di pronuncia e, di conseguenza, influire negativamente sulla personalità del bambino.

1.2.4 TRATTAMENTO E PREVENZIONE

Un'eziologia così complessa dell'ipodonzia richiede che qualsiasi trattamento scelto debba essere altamente specifico. A seconda dell'età del paziente, della posizione dei denti mancanti e di altri fattori, come una possibile malocclusione coesistente, il paziente dovrà ottenere un piano di trattamento individualizzato. Il piano di trattamento deve essere volto a ricreare la corretta funzione e l'estetica dei denti, nonché per prevenire le complicanze dell'ipodonzia, come il danno parodontale, la mancanza della crescita alveolare o lo sviluppo di una malocclusione¹⁷.

Le due principali opzioni terapeutiche sono; la chiusura ortodontica dello spazio e la ricreazione o il mantenimento dello spazio per futuri inserimenti. Nel segmento frontale, il metodo più efficace, in termini estetici, consiste nel mesializzare un canino nel punto di un incisivo laterale mancante. Questo metodo utilizza i denti del paziente per colmare il divario. Questa tecnica è minimamente invasiva e produce risultati relativamente rapidi, sebbene comporti la necessaria modificazione della forma e il colore per rendere i canini simili agli incisivi. Inoltre, questo metodo può distorcere la guida canina e la linea del sorriso¹⁷.

L'altra opzione di trattamento, mettere un impianto dentale frontale, comporta ancora più problematiche. Bisogna ricordare che questa procedura può essere eseguita solo dopo che sia giunto al termine il periodo di crescita delle ossa mascellari; fino ad allora possono essere utilizzate protesi o ponti. Inoltre, queste soluzioni temporanee possono portare ad un riassorbimento osseo con il tempo, e questo limita ulteriormente le possibilità di impianto. L'uso degli impianti può essere vantaggioso, ma nel segmento laterale. Vanno però tenuti in considerazione altri fattori, come restringimenti per via di uno spazio insufficiente e la vicinanza ad importanti strutture anatomiche in base all'area del possibile impianto¹⁷.

A causa della sua eziologia multifattoriale e delle difficoltà di trattamento, l'ipodonzia non dovrebbe essere ignorata. Data la prevalenza dell'agenesia è importante ottenere una diagnosi e un piano di trattamento precoce. È infatti grazie ad una diagnosi precoce

che oggi è possibile pianificare un trattamento completo e interdisciplinare per garantire il corretto funzionamento e l'estetica¹⁷.

1.3 TRASPOSIZIONE

1.3.1 INTRODUZIONE

La trasposizione dentale è una rara anomalia dentale che consiste nell'inversione posizionale parziale o totale di due denti adiacenti della stessa arcata, oppure lo sviluppo o l'eruzione di un dente in una posizione normalmente occupata da un dente non adiacente.

È completa quando riguarda sia le corone che le radici degli elementi, è incompleta quando riguarda solamente le loro due corone.

La trasposizione dentale colpisce la dentizione permanente sia in maniera unilaterale, che sembra essere la più frequente, che bilaterale²¹.

È considerata una condizione rara ed è solitamente associata a disturbi eruttivi dei denti e alla conseguente occlusione anomala²². Pertanto, è un tipo particolare di ectopia di eruzione, in cui ciascun dente ectopico cambia l'ordine normale della sequenza dei denti in arcata²².

1.3.2 CLASSIFICAZIONE

Di recente è stata pubblicata una definizione unificante necessaria: la trasposizione dentale è l'intercambio posizionale di due denti adiacenti, specialmente delle loro radici, o lo sviluppo o l'eruzione di un dente in una posizione normalmente occupata da un dente non adiacente. Pertanto, la trasposizione dentale è una designazione applicata a tipi estremi di eruzione ectopica, ciascuna delle quali provoca un cambiamento nell'ordine naturale o nella sequenza dei denti permanenti.

Nel 1995 è stata svolta da Peck un'analisi e una classificazione (Fig.7) sistematica della raccolta di rapporti sulle trasposizioni dentali, che prima non era mai stata fatta. Un tale metodo di ricerca è particolarmente appropriato per lo studio di una condizione rara con espressioni varie. Sulla base di fattori anatomici, sono stati fermamente identificati cinque tipi di trasposizioni dentali mascellari tra le 201 persone nel campione dello studio, come possiamo notare dell'immagine.

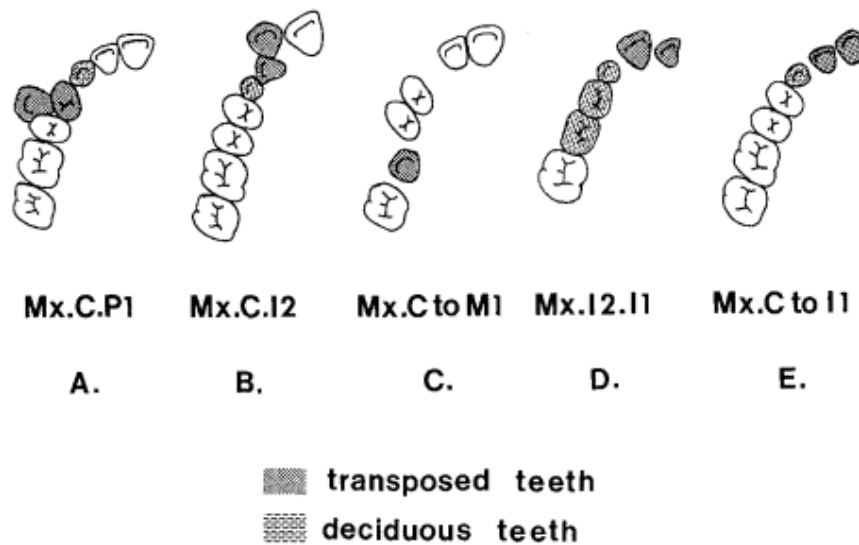


Fig.7 classificazione delle 5 categorie di trasposizione secondo Peck

Alcuni dei casi di trasposizione nel campione sono stati riclassificati rispetto alla loro designazione originariamente pubblicata, dopo l'esame dei documenti diagnostici pubblicati. I cinque tipi di trasposizione mascellare sono stati denominati e abbreviati in base ai denti coinvolti:

1) **Canino-primario premolare (Mx.C.P1) (fig 7A)**

Il presente campione dello studio conteneva 143 casi di trasposizione Mx.C.P1. La trasposizione Mx.C.P1 sembra essere il tipo di trasposizione dentale più comune nell'uomo. Tipicamente, in questa anomalia posizionale, il canino mascellare trasposto si trova bloccato vestibolarmente tra i primi e i secondi premolari²³.

Il canino è frequentemente ruotato mesiovestibolarmente e il primo premolare è solitamente inclinato distalmente e ruotato mesiopalatalmente. Spesso è presente anche il canino deciduo mascellare, creando una carenza transitoria dello spazio dell'arco²³.

E. M. Miel, un dentista francese, nel 1817 fu apparentemente il primo a descrivere in dettaglio l'anomalia di trasposizione Mx.C.P1. Successivamente, nel XIX secolo, esempi dell'anomalia furono illustrati e discussi in due rispettabili testi scolastici di odontoiatria europei. Da allora, il tipo di trasposizione Mx.C.P1 è stato quello più frequentemente riportato nella letteratura periodica mondiale²³.

2) **Canino-incisivo laterale** (Mx.C.I2) (fig 7B)

Nella trasposizione Mx.C.I2, la seconda trasposizione maxillare più frequentemente riscontrata, il canino erompe mesiovestibolarmente o totalmente mesialmente rispetto al suo incisivo laterale adiacente. Spesso, il canino deciduo risulta trattenuto distalmente all'incisivo laterale. Molti casi definiti mostranti un'intercambiabilità spaziale tra canino maxillare e incisivo laterale presentano in realtà una mal posizione intermedia non sufficientemente grave da essere chiamata trasposizione²³.

Questo tipo di pseudotrasposizione è solitamente caratterizzato da una corona del canino mascellare visibilmente eruttata mesio-vestibolarmente rispetto all'incisivo laterale, ma all'analisi radiografica, la corona del canino appare chiaramente inclinata in avanti con il suo apice radicolare ancora distale rispetto all'incisivo laterale; questo non è affatto una trasposizione e dovrebbe essere classificato semplicemente come un caso di eruzione ectopica del dente canino mascellare²³.

Il primo rapporto sull'anomalia di trasposizione Mx.C.I2 sembra essere stato registrato nel 1817 da E. M. Miel, che descrisse e illustrò la manifestazione sul lato sinistro in una donna di età compresa tra 18 e 20

anni. Nel 1873, Tomes e Tomes pubblicarono un'illustrazione di un calco in gesso che mostrava una trasposizione Mx.C.I2 a sinistra in allineamento, con un canino deciduo mantenuto distalmente rispetto all'incisivo laterale. Nel rinomato trattato di Emile Magitot sulle anomalie dentali pubblicato nel 1877, questo calco maxillare apparve nuovamente come l'unico esempio di trasposizione Mx.C.I2, con il credito alla fonte attribuito al Museo della Società Odontologica di Londra. L'anomalia di trasposizione Mx.C.I2 deve essere stata osservata molto raramente, se Magitot dovette ricorrere allo stesso esemplare museale utilizzato da Tomes e Tomes quattro anni prima. Quaranta dei casi di trasposizione Mx.C.I2 riportati in letteratura fornivano informazioni adeguate per l'inclusione nel presente campione (Fig.7). Diciassette di questi 40 casi sono stati trovati in due articoli, ognuno dei quali presentava informazioni in forma riassunta e tabellare. Il cinque percento (due casi) dei casi di trasposizione Mx.C.I2 mostrava un'occorrenza bilaterale, rispetto al 27% di casi bilaterali nel campione di trasposizione Mx.C.P1²³.

3) **Canino nel sito del primo molare (Mx.C in M1) (Fig.7 C)**

La trasposizione Mx.C a M1 è caratterizzata dalla presenza del canino mascellare nello spazio del primo molare permanente dello stesso lato, che era stato precedentemente perso. Il canino di solito appare ruotato mesiopalatalmente con lieve spostamento palatale. La trasposizione Mx.C a M1, forse la più drammatica delle cinque tipologie, è stata raramente discussa al di fuori degli otto casi singoli riportati in letteratura, poiché evidentemente non è stata inclusa nell'esperienza clinica degli studiosi successivi. I dati pubblicati originariamente con questi casi sono scarsi e poco significativi (vedi Fig.7). Degli otto esempi riportati, sei presentavano la mancanza di uno o più ulteriori primi o secondi molari; la mancanza multipla di molari (eccetto i terzi molari) è più ragionevolmente il risultato di malattia e successiva estrazione, piuttosto che di agenesia.

Non è stato segnalato alcun caso di trasposizione Mx.C a M1 dal 1966, probabilmente a causa dell'efficacia globale del fluoro negli ultimi decenni nel ridurre in modo significativo la perdita precoce di denti permanenti a causa della carie²³.

4) **Incisivo laterale – incisivo centrale (Mx.I2.I1) (Fig.7D)**

Sei case report descrivono l'anomalia insolita della trasposizione Mx.I2.I1, che mostra un completo scambio di posizione tra gli incisivi laterali e centrali mascellari adiacenti. Quattro di questi sono casi unilaterali e due sono bilaterali, incluso un esemplare illustrato nel manuale di Edward Angle. Questo è l'unico tipo di trasposizione dentale, confermato da più rapporti, che non coinvolge un canino, sia maxillare che mandibolare²³.

5) **Canino nel sito dell'incisivo centrale (Mx.C in I1) (Fig.7E)**

I quattro case report descrivono casi in cui uno o entrambi i canini mascellari sono erotti o in fase di sviluppo negli spazi di incisivi centrali permanenti precedentemente persi, fornendo la base anatomica per il tipo di trasposizione Mx.C a I1 (Fig. 7E). Spesso è presente un canino deciduo ritenuto. In due di questi rapporti, questa variazione è stata descritta come una trasposizione canino-incisivo laterale, il che è errato poiché gli incisivi laterali non si sono spostati distalmente in questi casi, ma piuttosto i canini si sono spostati anormalmente mesialmente. Il principale fattore diagnostico differenziale tra i due tipi è l'assenza dell'incisivo centrale dello stesso lato, che caratterizza la trasposizione Mx.C a I1. Non sorprende quindi che in ciascuno dei due casi interessanti di presenza bilaterale di questo tipo di trasposizione, entrambi gli incisivi centrali fossero assenti. Nella manifestazione bilaterale riportata da Curran e Baker, il canino mascellare sinistro era non erotto nel sito dell'incisivo centrale sinistro a causa dell'insufficienza di spazio²³.

Il posizionamento aberrante del canino mascellare era una caratteristica di quattro dei cinque tipi, l'eccezione essendo la situazione speciale della trasposizione dell'incisivo laterale e dell'incisivo centrale

La fig.8 elenca ciascun tipo di trasposizione mascellare insieme al numero di casi riscontrati, la frequenza relativa (percentuale dei 201 casi registrati), le localizzazioni (destra, sinistra o bilaterale) e i riassunti dei dati disponibili sull'occorrenza maschile/femminile e sul numero di casi che riportano l'agenesia di uno o più denti (eccetto i terzi molari). Inoltre, sono forniti commenti riassuntivi sui fattori eziologici, basati sulle analisi presentate in questo studio²³.

Maxillary transposition type	Number of cases	Location			Sex ^a		Cases with tooth agenesis ^{a,b}	Etiologic factor
		R	L	Bilateral	M	F		
Canine-first premolar (Mx.C.P1)	143 (71%)	46	59	38	42	65	≥37	Genetic: polygenic, multifactorial inheritance
Canine-lateral incisor (Mx.C.I2)	40 (20%)	16	22	2	6	9	≥1	Adventitious: early trauma; possible genetic role in rare cases
Canine to first molar site (Mx.C to M1)	8 (4%)	4	4	—	5	3	?	Adventitious: early loss of first molar, stimulated canine drift
Lateral incisor-central incisor (Mx.I2.I1)	6 (3%)	3	1	2	3	0	?	Adventitious: early trauma
Canine to central incisor site (Mx.C to I1)	4 (2%)	2	0	2	2	2	?	Adventitious: early loss of central incisor, stimulated canine drift

Fig.8 trasposizione dei denti mascellari: riassunto e analisi dei casi pubblicati

La trasposizione Mx.C.P1 è stata chiaramente il tipo di trasposizione mascellare riportato più frequentemente, rappresentando il 71% dei casi. In seconda posizione per frequenza c'era l'anomalia di trasposizione Mx.C.I2, con il 20% del totale dei casi riportati. Gli altri tre tipi di trasposizione mascellare erano relativamente più rari, complessivamente rappresentando solo il 9% dei 201 casi riportati. È stata notata solo una occorrenza mista di trasposizioni nel campione: un ragazzo con una trasposizione Mx.C.P1 sul lato destro e anche un incisivo laterale e un canino mandibolare trasposti a sinistra²³.

1.3.3 EPIDEMIOLOGIA

La prevalenza della trasposizione dentale varia in letteratura dallo 0,09% al 1,4%, ma non è stata analizzata con un approccio integrato. Lo studio condotto da Moschos et al. si prefigge di ottenere una valutazione sistematica basata sull'evidenza scientifica²². Secondo i risultati di questa indagine, è stata riscontrata una prevalenza media della trasposizione dentale del 0,33%. Questa percentuale risulta essere inferiore rispetto a quella trovata in altri studi pubblicati riguardante vari gruppi etnici; ad esempio 0,38% in Turchia, 0,40% in India e 1,4% in Nigeria e superiore rispetto a quella riscontrati in altre popolazioni; 0,1% Grecia, 0,13% in Germania. Comunque tutti questi dati suggeriscono come la trasposizione dentale sia un fenomeno raro.

	No. of Source Studies	Effect Size and 95% Confidence Interval			Heterogeneity		
		Point Estimate	Lower Limit	Upper Limit	Q-Value	df (Q)	P-Value
Type of tooth transposition							
Pupils	5	0.002	0.001	0.005	0.996	2	.608
Dental patients	3	0.003	0.002	0.007			
Orthodontic patients	1	0.006	0.001	0.034			
Gender							
Males	3	0.002	0.001	0.010	0.021	1	.884
Females	3	0.003	0.001	0.007			
Dental arch occurrence							
Maxilla	7	0.003	0.002	0.004	10.948	1	.001
Mandible	7	0.001	0.000	0.001			
Unilateral/bilateral occurrence							
Unilateral	7	0.003	0.002	0.004	14.718	1	.000
Bilateral	7	0.001	0.000	0.001			
Maxillary unilateral	7	0.003	0.002	0.004	12.677	1	.000
Mandibular unilateral	7	0.001	0.000	0.001			
Maxillary bilateral	7	0.001	0.000	0.001	3.005	1	.083
Mandibular bilateral	7	0.000	0.000	0.001			
Quadrant occurrence							
Maxillary right	6	0.001	0.000	0.001	3.594	1	.058
Maxillary left	6	0.002	0.001	0.003			
Mandibular right	6	0.0004	0.0002	0.0009	0.058	1	.810
Mandibular left	6	0.0005	0.0002	0.0009			

Fig.9 distribuzione trasposizione per tipologia di dente, sesso, arcata, unilateralità/bilateralità, quadrante

Come vediamo dalla Fig.9, non sembrano esserci differenze significative tra gli studenti e i pazienti odontoiatrici, o tra maschi e femmine. Questo ultimo dato è in contrasto con alcuni autori secondo cui la trasposizione era un fenomeno più ricorrente nelle femmine piuttosto che nei maschi.

Infatti, questi ritenevano che l'eziologia fosse legata ai geni sessuali, ma questo studio più recente non può confermarla²².

Inoltre, la prevalenza della trasposizione nel mascellare risulta essere più frequente che nel mandibolare. La maggiore densità ossea della mandibola potrebbe rendere più difficile la trasposizione dentale, ecco come viene spiegata la maggior frequenza nel mascellare²².

È da evidenziare come la trasposizione più comune nella mandibola sia tra i canini e l'incisivo laterale, dove l'osso è maggiormente poroso rispetto alle zone posteriori. Al contrario vediamo come la densità ossea minore della mascella permetta un maggior numero di trasposizioni dentali e anche una maggiore varietà; ad esempio, dai canini e i primi premolari, tra canini e incisivi laterali, tra incisivi laterali e centrali²².

Inoltre, è stato osservato come la trasposizione dentale si verifiche più frequentemente nella variante unilaterale che in quella bilaterale, così come sostenevano gli studi precedenti²².

Per quanto riguarda la localizzazione del quadrante colpito, non abbiamo una predilezione tra destro e sinistro della mascella o mandibola. Altri autori avevano scoperto che ci fosse una predilezione per il lato sinistro della mascella, senza però presentare alcuna giustificazione per spiegare questa osservazione²².

1.3.4 EZIOLOGIA

Sebbene siano state avanzate diverse teorie l'eziologia della trasposizione del canino è ancora incerta²⁴.

Una possibile spiegazione è che la trasposizione si verifichi come un risultato di uno scambio di posizione tra gli abbozzi dei denti in via di sviluppo. Osservando l'alta incidenza dell'inclusione del canino deciduo associata alla trasposizione, altri studiosi suggeriscono che il canino deciduo incluso potrebbe essere la causa principale della deviazione del

canino permanente dal suo normale percorso di eruzione. A supporto della teoria di migrazione ci sono i pochi casi riportati dove il canino è stato trovato in posizione del secondo premolare o dell'incisivo centrale. Sebbene queste non siano vere trasposizioni, la migrazione del canino è stata suggerita come una spiegazione per questa anomalia²⁴.

Questa teoria, tuttavia non può essere proposta per il singolo caso di trasposizione segnalata in cui non è coinvolto il canino. Sarebbe forse più logico supporre che lo scambio di posizione degli abbozzi dei denti coinvolti sia il fattore eziologico di quella specifica anomalia. Sebbene non sia ancora chiaro sembra esserci una correlazione causa-effetto tra l'eruzione ectopica dei denti permanenti e il mantenimento dei denti decidui. Poiché l'inclusione dei canini decidui e degli incisivi laterali è stata segnalata nella maggior parte dei casi di trasposizione e inclusione di canini, è stato suggerito che la lunga permanenza in arcata dei denti decidui possa essere la causa principale dello spostamento del dente permanente dal suo normale percorso di eruzione. Se il mantenimento in arcata prolungata di un dente deciduo causa lo spostamento del suo successore, o se un percorso di eruzione anomalo sia la causa del mantenimento del dente deciduo è una questione molto dibattuta²⁴.

È stato suggerito che anche il trauma dei denti decidui possa avere un ruolo nell'eziologia della trasposizione nei casi segnalati in cui sono state trovate dilacerazioni delle radici degli incisivi permanenti adiacenti ai denti trasposti. L'ereditarietà è stata proposta come una possibile spiegazione per questa anomalia, specialmente quando riscontrata bilateralmente nei fratelli. Anche la patologia ossea, come la formazione di cisti, può causare spostamenti e trasposizioni dei denti²⁴.

1.3.4 TRATTAMENTO E PREVENZIONE

La trasposizione dei denti mascellari è una perturbazione della posizione di eruzione, che si verifica in circa uno ogni 300 pazienti ortodontici e presenta al clinico una sfida particolare sia dal punto di vista diagnostico che terapeutico²⁴.

L'articolo di Peck del 1995 riassume il trattamento più indicato per ogni tipologia di trasposizione mascellare²³.

Per quanto riguarda la trasposizione *canino-primo premolare* la pianificazione del trattamento ortodontico si concentra sulla decisione di estrarre o non estrarre e sulla questione della correzione dell'ordine dei denti trasposti. L'esperienza clinica e il consensus dei trattamenti pubblicati indicano che questa trasposizione è gestita in maniera migliore ortodonticamente non estraendo, mantenendo l'ordine trasposto dei denti. La frequente presenza di un canino deciduo vicino al sito di trasposizione crea un temporaneo affollamento, che di solito sposta il canino permanente vestibolarmente. La rimozione del canino deciduo generalmente fornisce lo spazio necessario per le procedure di allineamento ortodontico non estrattivo. La trasposizione dentale è un'anomalia dentale poco comune che ha tuttavia importanti implicazioni riguardo al trattamento. Nei pochi casi in cui si effettuano estrazioni di denti permanenti come trattamento di una trasposizione di questo tipo, c'è solitamente una condizione atipica: per esempio la rimozione del primo premolare trasposto in un ragazzo a cui manca l'incisivo centrale sinistro superiore, o l'estrazione dei primi premolari mandibolari in una ragazza a cui mancano gli incisivi superiori, in entrambi i casi si chiudono tutti gli spazi ortodonticamente. Occasionalmente l'affollamento dentale richiede l'estrazione per motivi ortodontici nei pazienti con trasposizione, ma l'adeguatezza dello spazio in arcata è la condizione osservata abitualmente, a causa della frequente insorgenza di

denti di dimensioni ridotte o di denti mancanti. Questa anomalia è spesso camuffata da un canino deciduo funzionale, e un paziente adulto che mantiene la trasposizione da tanto tempo può effettivamente rifiutare il trattamento ortodontico. Il razionale che si trova dietro il mantenimento dell'ordine del dente trasposto, con una trasposizione di questo tipo è semplicemente di ordine pratico: i tentativi di ripristinare l'ordine naturale dei denti solitamente portano ad un trattamento ortodontico prolungato, con risultati poco adeguati, a causa della difficoltà del movimento delle radici. Estetica e funzione non sono mancanti con una trasposizione, poiché i due denti sono simili e la cuspidè linguale del primo premolare può essere ridotta se crea un'interferenza funzionale. Naturalmente nel discutere del trattamento della trasposizione sono escluse le eruzioni ectopiche di grado minore che richiederebbero solo uno sforzo minimo per raggiungere come risultato l'ordine consueto dei denti. Se rilevata precocemente, questo tipo di trasposizione in fase di sviluppo a volte si presta a procedure ortodontiche intercettive. Per una migliore risposta al trattamento, è importante che il canino mascellare non sia ancora in fase di discesa e che la punta della cuspidè sia posizionata superiormente rispetto alla radice mesiale del primo premolare. Il modello di eruzione più lento apparentemente associato all'anomalia Mx.C.P1 consente di prova a fare uso di terapia intercettiva in alcuni pazienti anche a 12 anni di età. Per raggiungere l'ordine naturale dei denti, il canino deciduo coinvolto viene prima estratto, seguito da apparecchi fissi per applicare torque radicolare distale sul primo premolare. Quindi, il canino trasposto, che potrebbe richiedere un'esposizione chirurgica, viene guidato nel suo spazio abituale²³.

Il trattamento della trasposizione tra *canino e incisivo laterale* è spesso impegnativo a causa della grande variazione di posizione e della condizione dei denti anteriori coinvolti. L'evento traumatico precoce può aver provocato

rotazione, spostamento o anomalia di altri denti anteriori, richiedendo un trattamento ortodontico completo con le ulteriori possibilità di interventi endodontici, protesici e persino estrazioni per denti gravemente compromessi. In generale, qualsiasi dente deciduo anteriore mascellare ritenuto dovrebbe essere estratto. Il canino trasposto e l'incisivo laterale sarebbe meglio lasciarli nell'ordine dentale trasposto per la risoluzione più semplice del trattamento ortodontico, sebbene il compromesso estetico risultante possa giustificare le difficoltà e le incertezze del movimento radicolare per correggere l'ordine dentale invertito. Al contrario, le pseudotrasposizioni, con le punte delle radici che appaiono in sequenza normale radiograficamente, sono più facili da ripristinare all'ordine dentale naturale, producendo il miglior risultato ortodontico²³.

Per quanto riguarda la trasposizione tra il *canino e il primo molare* non è stato segnalato alcun trattamento correttivo per questa anomalia, tranne un caso di estrazione del canino trasposto²³.

Per la trasposizione tra *incisivo centrale e laterale*, uno dei casi riportati di trasposizione Mx.I2.I1 ha apparentemente ricevuto un trattamento efficace: i denti anteriori mascellari sono stati allineati ortodonticamente, mantenendo l'ordine dei denti trasposti, e poi i due incisivi trasposti sono stati migliorati²³.

Solo uno dei quattro casi segnalati di trasposizione Mx.C a I1 tra un *canino e un incisivo centrale*, sembrava ricevere un trattamento correttivo, una combinazione non dettagliata di ortodonzia e odontoiatria restaurativa. Dal punto di vista di un ortodontista, alcune misure correttive, mantenendo l'ordine dei denti trasposti, sarebbero altamente raccomandate sia esteticamente che funzionalmente per problemi di questa natura.

È importante garantire che i risultati di qualsiasi trattamento per la trasposizione siano sia estetici che funzionali²⁵.

2 TERAPIA ORTODONTICA CON ALLINEATORI TRASPARENTI (SISTEMA INVISALIGN®)

2.1 INTRODUZIONE ALLA TERAPIA ORTODONTICA CON ALLINEATORI TRASPARENTI

L'estetica è uno dei motivi principali che spinge il paziente a sottoporsi ad un trattamento ortodontico. Pertanto, sono state studiate diverse soluzioni per venire incontro alle esigenze del paziente, come gli apparecchi in ceramica o in composito, l'ortodonzia linguale e gli allineatori trasparenti²⁶.

Fin dal 1940²⁷ sono state introdotte delle sequenze di realizzazione di allineatori, che consentivano il movimento simultaneo di più denti contemporaneamente, in modo da ottenere progressivamente la posizione dentale pianificata e correggere le eventuali anomalie e malocclusioni²⁸. Inizialmente gli allineatori trasparenti venivano realizzati in cera da impronte dentali, però questo rendeva il trattamento laborioso e dispendioso in termini di tempo, quindi inefficiente. I progressi che sono stati fatti sia nella tecnologia informatica che nei materiali dentali negli ultimi decenni hanno reso l'uso molto più semplice, pratico ed efficiente degli allineatori trasparenti, che ha consentito loro di diffondersi ed essere sempre più richiesti dai pazienti.

Align Technology nel 1997 ha introdotto l'apparecchio Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA)²⁷, una serie di allineatori trasparenti rimovibili in poliuretano realizzati mediante la tecnologia CAD-CAM per la prima volta²⁸. Oggi gli allineatori trasparenti si possono distinguere in convenzionali e allineatori progettati e stampati in 3D. Sono proprio questi ultimi ad essere realizzati tramite la tecnologia CAD-CAM, e hanno attachments in resina che possono essere ellissoidali, smussati e rettangolari, oppure punti di pressione, Bite Ramp, Power Ridge, che permettono di avere a disposizione un vasto ventaglio

di movimenti da effettuare. Ora gli allineatori Invisalign® (Align Technology, Santa Clara, CA, USA) sono realizzati in una particolare plastica flessibile, si tratta di SmartTrack™, un materiale termoplastico²⁹. Vengono indossati almeno per 20 ore al giorno e sostituiti circa ogni 2 settimane. Ogni allineatore effettuerà un movimento dentario di 0,25-0,3 mm²⁶.

Le mascherine sono trasparenti, estetiche, confortevoli, non possedendo bracket metallici o fili che possono generare in bocca irritazioni o lacerazioni al paziente. Inoltre, le mascherine trasparenti consentono al paziente una migliore igiene orale ed essendo invisibili lo spingono a sorridere più spesso, migliorando il confort sociale²⁶. Le mascherine infatti essendo rimovibili, consentono al paziente di spazzolare i denti e passare il filo interdentale agevolmente, come farebbe senza aver intrapreso il trattamento, riducendo il rischio di carie e gengivite, che spesso si verifica con i trattamenti ortodontici tradizionali²⁷. Il trattamento con Invisalign® (Align Technology Santa Clara, CA, USA) è ideale anche come nei casi di ritrattamento, offre inoltre una durata inferiore del trattamento ortodontico rispetto agli apparecchi tradizionali²⁶.

Infatti, secondo lo studio effettuato da Bushanh et al.³⁰ che ha valutato la differenza tra le durate totali dei trattamenti con apparecchi fissi tradizionali e sistema Invisalign® e del tempo effettivo alla poltrona del paziente in casi non estrattivi, è emerso come nei soggetti trattati con Invisalign® il tempo della durata totale del trattamento è stato inferiore del 67%, dato l'assenza della fase di rifinitura e di dettaglio del protocollo che può richiedere fino a 6 mesi con le metodiche tradizionali. In più la metodica con allineatori trasparenti prevede una buona compliance dei pazienti che sono sottoposti a visite periodiche di controllo a distanza di 10-12 settimane con tempi alla poltrona più brevi, che permette quindi all'ortodontista di effettuare più pazienti. Invece la metodica tradizionale le visite di controllo sono ogni 4-6 settimane e tempi alla poltrona più lunghi³⁰.

Per avere migliori risultati gli allineatori trasparenti vanno indossati per 22 ore al giorno e rimossi soltanto durante i pasti o durante le pratiche di igiene orale.

Richiedono dunque una maggiore motivazione e autodisciplina, se non vengono rispettate tutte le indicazioni dell'ortodontista il tempo di trattamento può allungarsi e i risultati finali possono essere inficiati²⁷.

2.2 FASI TRATTAMENTO INVISALIGN®

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

STEP 1: RACCOLTA RECORDS DIAGNOSTICI

Come qualsiasi altro iter diagnostico ortodontico l'ortodontista dovrà raccogliere tutti i seguenti dati anamnestici ³¹:

- ✓ 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 nell'archivio, monitorare il trattamento, controllare la stabilità nel lungo periodo e i risultati, motivare il paziente, e necessari a fini medico-legali;
- ✓ Fotografie intraorali (frontale, laterale destra e sinistra, oclusale superiore e inferiore) che facilitano l'identificazione della forma delle arcate, la posizione dei singoli elementi dentali e l'occlusione del paziente;
- ✓ Rx ortopantomica, essenziale per valutare la fase di dentizione, e lo stato degli elementi dentali in eruzione, dei tessuti ossei e delle posizioni delle radici. Inoltre, serve anche a verificare l'eventuale presenza di anomalie di numero (agenesie), anomalie di forma esposizione dei singoli elementi, denti inclusi, impianti osteointegrati e ricostruzioni protesiche;
- ✓ Teleradiografia del cranio in posizione latero-laterale con annesso tracciato cefalometrico, di fondamentale rilevanza per stabilire la terapia più idonea per il paziente, valutare il rapporto tra le componenti ossee e dentali, il pattern di crescita e il profilo dei tessuti molli. Questo esame è utile anche per controllare eventuali meccanismi di compensazione dento-alveolare nelle discrepanze scheletriche,

- ✓ Indagini radiografiche supplementari, se necessarie;
- ✓ Impronte orali di precisione per 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;
- ✓ Registrazione della massima intercuspidação con carte oclusali per evidenziare i contatti oclusali tra gli elementi;

STEP 2: ELABORAZIONE DEL PIANO DI TRATTAMENTO

Tutti i dati che l'ortodontista ricava dal colloquio con il paziente, dall'esame clinico, dagli esami strumentali raccolti nella fase 1, che permetteranno al clinico di sviluppare il piano di trattamento più idoneo e specifico per ogni singolo paziente³¹.

STEP 3: COMPILAZIONE DEL MODULO DI PRESCRIZIONE

Il clinico è tenuto a compilare un modulo online "modulo di prescrizione", in cui descrive le caratteristiche del paziente e gli obiettivi che con il trattamento intende raggiungere. Le voci in questo documento seguono step precisi che iniziano con la scelta del tipo di trattamento che si desidera effettuare, che sarà deciso in base a diversi fattori, e continua poi con le descrizioni fatte dall'operatore dei movimenti dentali da eseguire, alle correzioni oclusali da effettuare e i mezzi scelti³¹.

STEP 4: CONTROLLO DEL PIANO DI TRATTAMENTO VIRTUALE

Con un software dedicato (es. ClinCheck®) è possibile visionare tutte le indicazioni cliniche ricevute per realizzare l'iter ortodontico per il paziente. Un grande vantaggio è previsualizzare il risultato previsto al termine del trattamento, prima di realizzare gli allineatori, consentendo sia al clinico, sia al paziente di vedere come evolverà la terapia con i vari step intermedi. Grazie a questo software l'ortodontista riesce a confrontare l'occlusione iniziale del paziente correlata con le fotografie in maniera digitale e riesce a valutare il risultato finale e a controllare

il modello 3D. È importante comparare il modello di prescrizione inviato con il risultato proposto dal software esaminando la quantità la quantità di Riduzione Interprossimale dello Smalto stabilita e la stadiazione dei movimenti;

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 che può oscillare tra l'una e le due settimane, secondo la valutazione dell'ortodontista. Alla consegna del primo allineatore della sequenza il paziente dovrà venir istruito circa sull'inserimento e il disinserimento degli allineatori, sul tempo in cui andranno indossate e sulla manutenzione delle stesse. Essenziale sarà tenere il paziente motivato, facendogli notare e apprezzare tutti i miglioramenti di cui inizia a beneficiare grazie al trattamento e incentivarlo positivamente per migliorare la compliance. Durante la seconda seduta si posizionano gli Attachments, mettendo una piccola quantità di composito secondo la sede, la forma e la posizione che sono state decise durante la progettazione del piano di trattamento, e dello stesso colore della dentatura per migliorarne il mimetismo³¹.

2.3 MECCANICA DEGLI ALLINEATORI TRASPARENTI

2.3.1 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.

Centro di massa

Il centro di massa (Fig.10) 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)³².

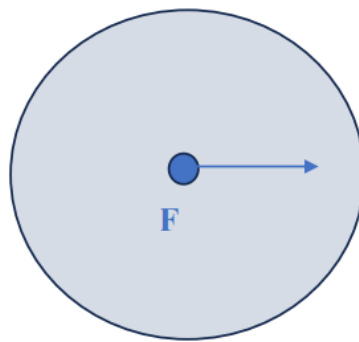


Fig.10 Rappresentazione grafica del centro di massa

Invece, se la linea d'azione è posta lontano dal centro di massa, si ottiene una combinazione di rotazione e traslazione³³.

Centro di resistenza (CR)

Si definisce centro di resistenza quel punto in cui si concentra tutta la resistenza allo spostamento³². Rispetto al centro di massa, il centro di resistenza è spostato più apicalmente e varia a seconda del dente e del supporto parodontale presente.

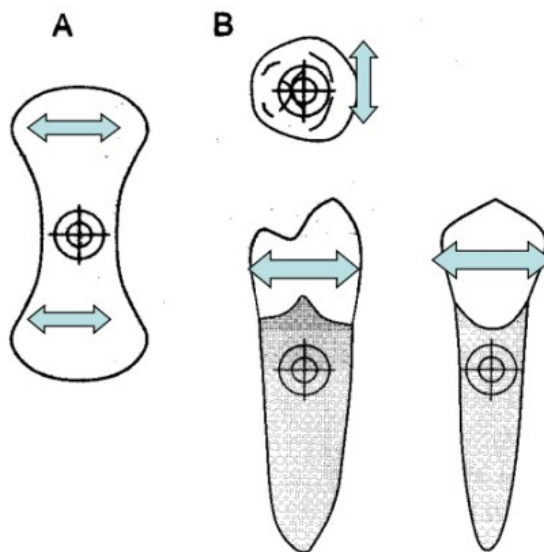


Fig11. Localizzazione del centro di resistenza secondo diverse prospettive:
 A: Radicolare, B: Occlusale, C: Labio-linguale, D: Mesio-distale

Si trova approssimativamente al centro della porzione radicolare nell'osso (a metà strada tra l'apice e la cresta dell'osso alveolare) (Fig.11).

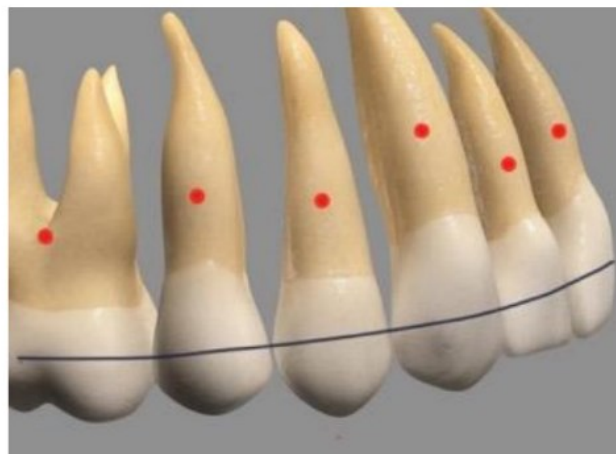


Fig.12 Varie posizioni del centro di resistenza in caso di supporto parodontale uniforme

In presenza di un dente con supporto parodontale ridotto (Fig.12), 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.

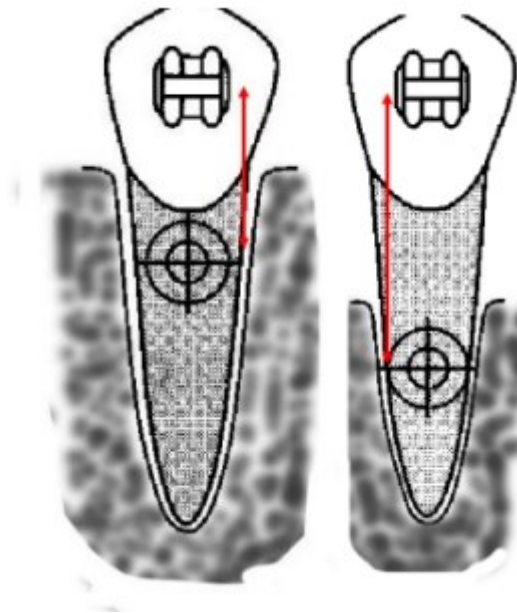


Fig. 13 Centro di resistenza apicale quando si verifica perdita ossea orizzontale

Nell'immagine (Fig.13), se la stessa forza viene applicata al bracket su questi due denti, ne risulterà un movimento ortodontico diverso: il dente a destra tenderà 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 alveolare³³.

Centro di rotazione

Il centro di rotazione (Fig.14) 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 rotazione³³.

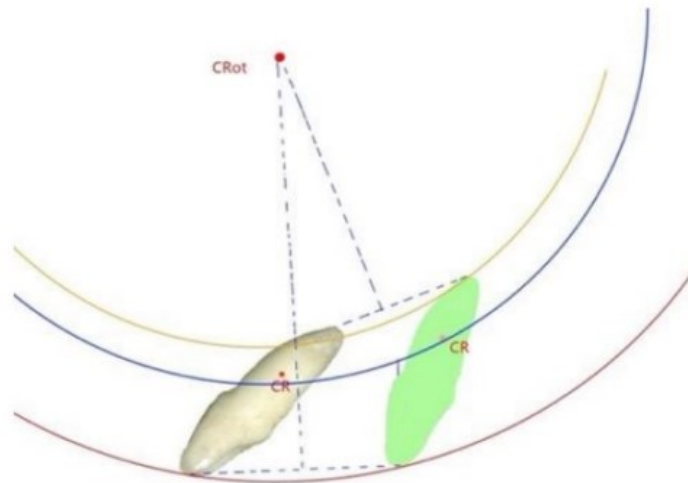


Figura 14 - Metodo per localizzare il centro di rotazione

Movimenti dentali

Traslazione

Nella traslazione (Fig.15), 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 rotazione³³.

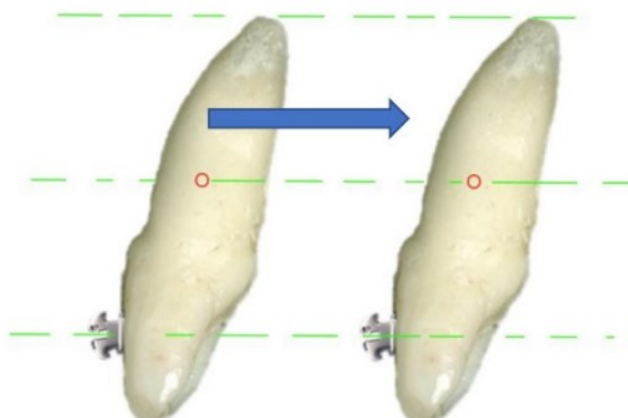


Figura 15 - Movimento di traslazione

Rotazione(pura)

Nella rotazione pura (Fig.16), un corpo ruota intorno al centro di resistenza (Cr) (il centro di rotazione corrisponde con il centro della resistenza)³³.

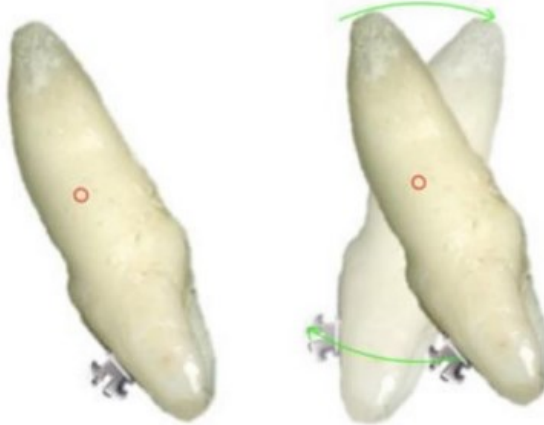


Fig.16 -Movimento di rotazione pura

Tipping

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

Tipping incontrollato (Fig.17) → 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 Cr³³.



Figura 17 - Movimento di tipping incontrollato

Tipping controllato (Fig.18) → il centro di rotazione è all'apice del dente. Questo comporta un momento e una forza, e il dente si inclina ruotando intorno al Rc³³.

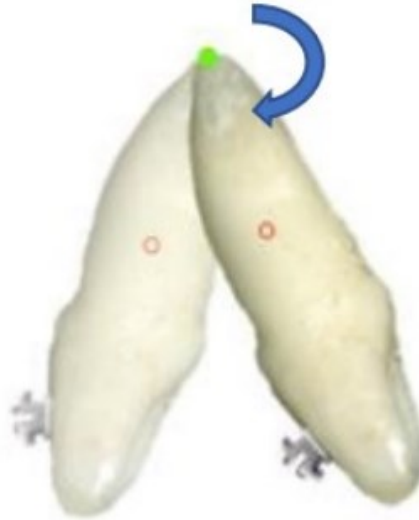


Figura 18 - Movimento di tipping controllato

Movimento radicolare

Il movimento radicolare (Fig.19) 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 movimento³³.

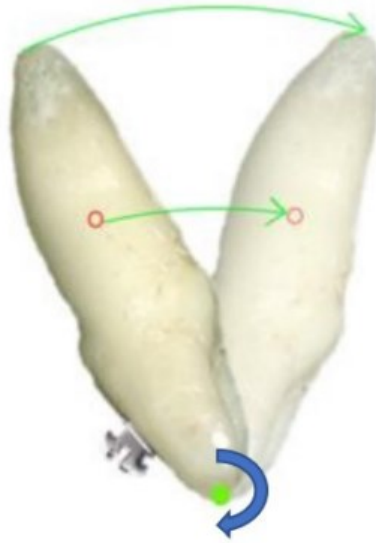


Figura 19 - Movimento radicolare

Intrusione/estrusione

L'intrusione (Fig.20) e l'estrusione (Fig.21) comportano un movimento lungo l'asse del dente. In questi tipi di movimento, il centro di rotazione tende all'infinito perché non vi è rotazione³³.

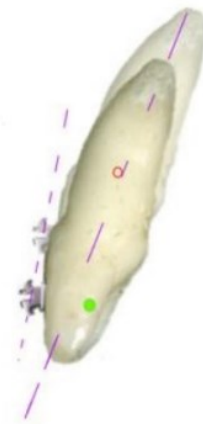


Figura 20 - Movimento di intrusione

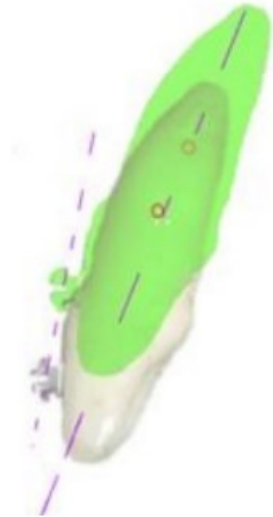


Figura 21 - Movimento di estrusione

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 punto³². È 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, come da Fig.22). L'unità di misura è il grammomillimetro³³.

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

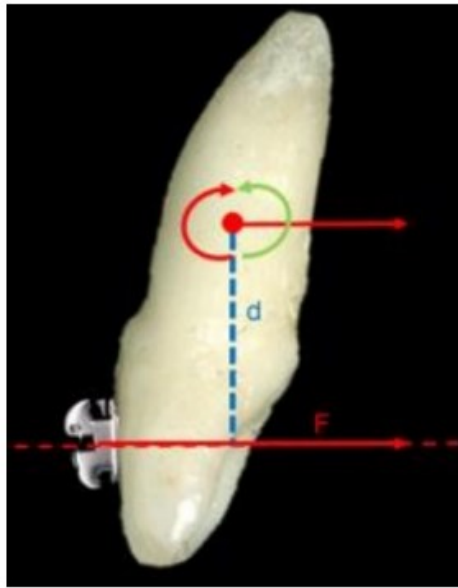


Figura 22 - Momento prodotto da una forza applicata ad una distanza dal centro di resistenza

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 Cr si crea un momento³².

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 (Fig.23) possiamo notare come un sistema di coppia di forze, F1 e F2, 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 direzione³³.

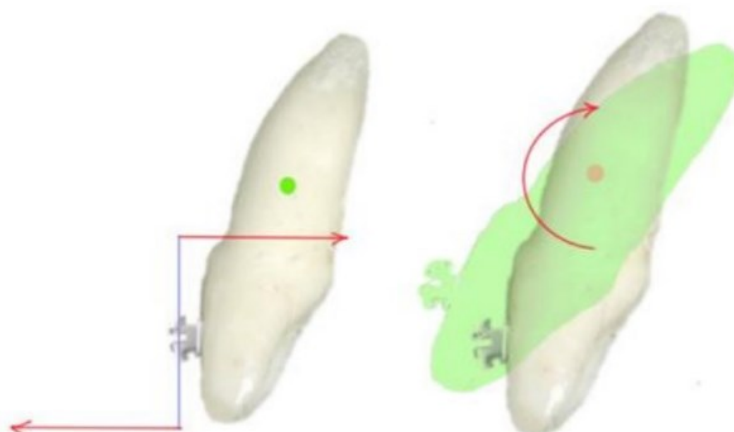


Figura 23 - Esempio di coppia di forze

La terapia ortodontica espleta le sue funzioni nel momento in cui, all'applicazione di forze leggere e continue, si verificano reazioni a livello dentale e delle strutture di sostegno adiacenti. Pertanto, in ortodonzia si parla di meccanica ortodontica per intendere lo studio delle forze applicate e delle caratteristiche tecniche delle componenti delle apparecchiature, mentre con il termine biomeccanica ortodontica si indica il complesso di reazioni che si verificano nelle strutture coinvolte in seguito all'applicazione di tali forze e apparecchiature³⁴.

Il comportamento fisico del singolo elemento dentale sottoposto alla forza ortodontica è spiegabile mediante il terzo principio della dinamica di Newton: *“se un corpo A esercita una forza su un corpo B, allora il corpo B esercita su A una forza uguale e contraria”*. Infatti, all'applicazione di un qualsiasi carico ortodontico segue sempre una complessa successione di eventi reattivi da parte di tutti i tessuti dentali e parodontali annessi.

In fisica la forza è definita come massa \times accelerazione, per cui l'unità di misura è il Newton; in ortodonzia il fattore accelerazione è considerato trascurabile per cui molto di frequente le forze vengono misurate in termini di grammi o once. Ai fini del movimento dentale è necessario valutare numerose caratteristiche della forza, quali l'intensità, la direzione, la zona di applicazione e la durata. In base a queste variabili sono state realizzate diverse classificazioni utili a distinguere le

varie tipologie di forze che possono essere scelte nella pianificazione del trattamento.

In base all'intensità le forze vengono pertanto distinte in³⁵:

- leggere = 2-3 oz;
- medie = fino a 5 oz;
- pesanti = fino a 8 oz;
- ortopediche = oltre 8 oz.

Non solo l'intensità è una grandezza fondamentale da considerare, ma ancora più importanti sono il concetto di pressione, definita come risultato di una forza applicata su una superficie, e il concetto di sforzo, ossia la deformazione per unità che si verifica nel tessuto sottoposto ad una determinata pressione³⁶. Da ciò si deduce che ogni tipo di movimento dentale richieda una precisa intensità di forza scelta in base alle superfici del legamento parodontale e dell'osso alveolare sottoposte a pressione o a tensione.

Per quanto riguarda la durata, il tempo minimo di applicazione della forza per ottenere il movimento è compreso tra 4 e 8 ore: al di sotto di questa soglia l'elasticità delle fibre del legamento parodontale contrasta lo stimolo, si verifica solo un iniziale dislocamento del dente all'interno del suo alveolo ma il tempo è troppo ridotto perché si realizzino le prime modificazioni a livello biochimico e cellulare e il movimento prenda avvio; al di sopra delle 8 ore l'efficacia del movimento aumenta in modo proporzionale(Fig.24).

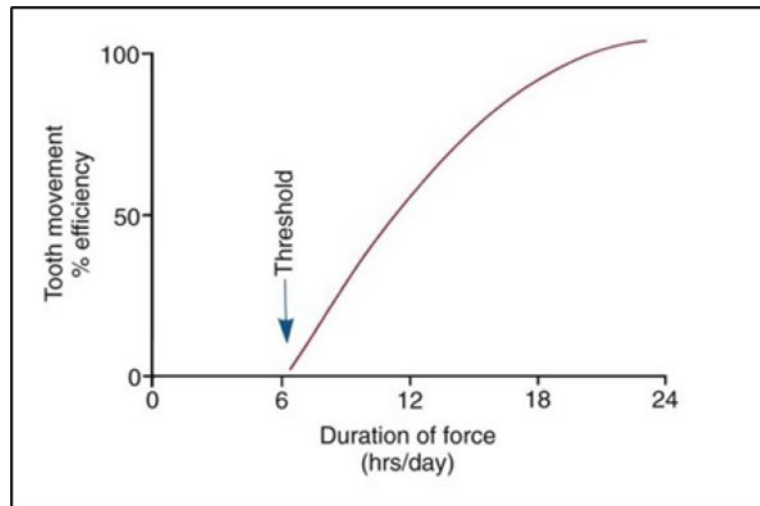


Fig.24 Grafico teorico dell'efficienza dello spostamento dentale in rapporto alla durata dell'applicazione della forza espressa in ore al giorno.

Per ottenere un movimento ortodontico ideale sarebbe necessario allora applicare una forza costante nel tempo, ma questo non è possibile perché i materiali hanno limiti dovuti al cosiddetto fenomeno di decadimento della forza: a mano a mano che il tempo passa e si verificano spostamenti, si riduce progressivamente la capacità del materiale di cedere forza all'elemento dentale secondo una curva caratteristica che tende a zero.

Proprio sulla base della curva di decadimento è realizzata una seconda classificazione delle forze in relazione al tempo di applicazione:

- **continue**: forze la cui efficienza rimane teoricamente costante (nella pratica clinica questo non si riesce a ottenere, ma si avrà un'intensità mantenuta almeno in parte tra una visita e l'altra) (Fig.25).

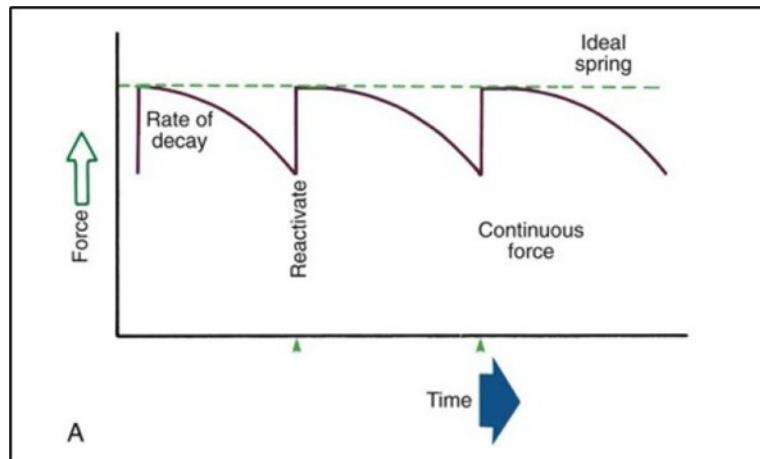


Fig.25 Rappresentazione schematica del decadimento della forza: forza continua.

- **interrotte**: forza la cui intensità si riduce a zero tra una attivazione e l'altra (situazione tipica delle apparecchiature fisse) (Fig.26).

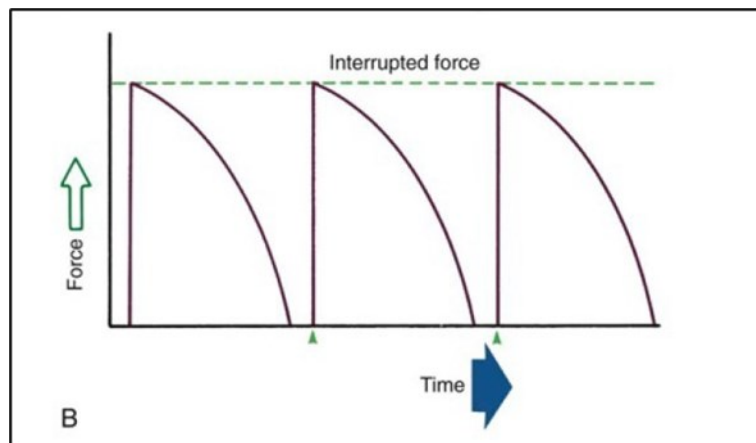


Fig.26 Rappresentazione schematica del decadimento della forza: forza interrotta.

- **intermittenti**: forza la cui intensità si riduce bruscamente a zero (nel momento in cui un dispositivo o un elastico ortodontico vengono rimossi dall'apparecchiatura) e recupera dopo poco tempo il valore iniziale (nel momento in cui il dispositivo o l'elastico vengono reinseriti)³⁴(Fig.27).

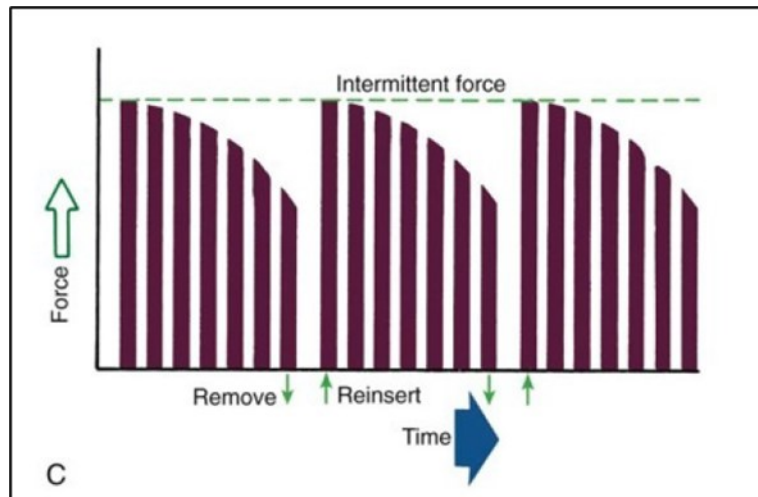


Fig.27 Rappresentazione schematica del decadimento della forza: forza intermittente.

Un'ulteriore classificazione fu proposta già nel 1932 da A. M. Schwarz sulla base dell'entità dell'effetto biologico causato dalla forza ortodontica. Con i suoi esperimenti Schwarz aveva dimostrato – in accordo con i dati della letteratura contemporanea – che il trattamento ortodontico più auspicabile era quello che coinvolgesse forze di intensità non superiore alla pressione dei capillari sanguigni, che nell'uomo si aggira intorno ai 15-20 mmHg, ossia 20-25 grammi per centimetro quadrato di superficie radicolare. Su questo assunto di base, distinse pertanto le forze ortodontiche in quattro gradi:

- **primo grado:** la forza è di intensità così lieve o di durata così breve da non indurre nessun tipo di reazione a livello parodontale;

- **secondo grado:** la forza è di intensità ancora moderata dal punto di vista biologico (< 20-25 grammi per centimetro quadrato), ma induce un continuo riassorbimento osseo nell'osso alveolare nella zona di pressione con conseguente restitutio ad integrum anatomica e funzionale del parodonto e dell'osso alveolare senza causare riassorbimento radicolare;

- **terzo grado:** la forza è piuttosto intensa, tanto da occludere i capillari sanguigni delle strutture adiacenti al punto di applicazione della forza e causare di conseguenza zone di emorragia e di compressione del legamento parodontale in cui il riassorbimento osseo sarà più veemente e potrà causare danni ai tessuti radicolari (cemento e dentina);

- **quarto grado:** la forza è tanto intensa da strozzare il legamento parodontale nell'area di compressione e spingere l'elemento dentale a contatto con la superficie ossea, si presentano aree necrotiche importanti in prossimità dell'elemento coinvolto e il riassorbimento prende origine da zone più distanti di osso midollare con un rischio elevato di riassorbimento radicolare, necrosi pulpare e anchilosi dell'elemento dentale con l'osso alveolare³⁷.

2.3.2 TEORIE DEL MOVIMENTO DENTALE

Affinché il movimento dentale si realizzi, è necessaria l'applicazione di una adeguata forza ortodontica all'elemento dentario: questo attiva una serie di risposte biologiche consequenziali a livello cellulare e molecolare tali da permettere al sistema di supporto dentale di modificarsi e adattarsi alle nuove condizioni meccaniche. Fin dagli albori della professione gli ortodontisti sono stati consapevoli che fossero le modificazioni tissutali di osso e legamento parodontale i fattori chiave in grado di permettere il movimento dentale e nel tempo sono state varie le teorie proposte per spiegare tale meccanismo.

La teoria del flusso sostiene che il fulcro del processo di movimento risiede nello spostamento del fluido interstiziale all'interno del sistema canalicolare dell'osso alveolare indotto dallo sforzo meccanico che si genera localmente. Quando viene applicata la forza, il fluido interstiziale viene compresso attraverso il sottile strato di matrice osteoide non ancora mineralizzata, circondando così il corpo cellulare e i relativi processi dendritici degli osteociti presenti, attivandoli grazie allo sforzo di stiramento che ne deriva³⁸.

Una seconda teoria è quella piezoelettrica, secondo la quale all'applicazione di una forza ortodontica si genera un picco di segnale piezoelettrico che si annulla rapidamente, mentre alla rimozione di tale forza il picco si ripresenta ma in direzione opposta³⁸.

La piezoelettricità è un fenomeno osservato in molti materiali cristallini in cui la deformazione della loro struttura è accompagnata da una corrente di elettroni lungo il reticolo cristallino³⁴.

A livello osseo sembra che cariche negative tendano ad accumularsi nelle aree di concavità con conseguente apposizione ossea, mentre le cariche positive nelle aree di convessità con conseguente riassorbimento³⁸(Fig.28).

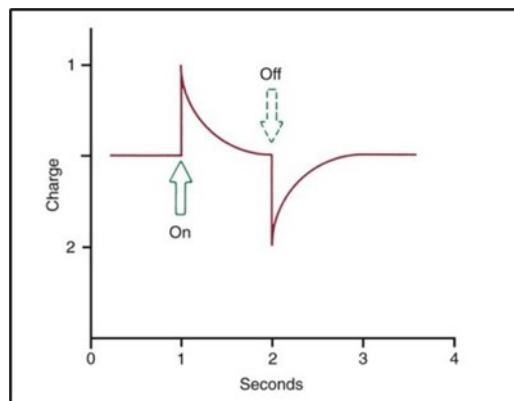


Fig.28 Rappresentazione della corrente piezoelettrica generata all'applicazione e alla rimozione di una forza ad una struttura cristallina.

Infine, la teoria della pressione-tensione, proposta da Schwartz nel 1932 e successivamente approfondita da più recenti studi scientifici, sostiene che il movimento dentale si realizzi grazie a modificazioni dell'attività delle cellule coinvolte indotte da messaggeri chimici, i quali a loro volta sarebbero generati da variazioni di flusso ematico all'interno del legamento parodontale.

La forza meccanica applicata all'elemento spingerebbe quest'ultimo a scivolare in una diversa posizione all'interno dello spazio parodontale, comprimendo il legamento in alcune zone e mettendolo in tensione in altre: la riduzione (nelle aree di pressione) o l'aumento (nelle aree di tensione) del diametro dei vasi modifica

le caratteristiche del flusso sanguigno e conseguentemente varia la concentrazione di citochine, prostaglandine e altri messaggeri chimici nelle aree coinvolte³⁴.

In particolare la sequenza di eventi che si verifica nell'area di pressione prevede la riduzione del flusso sanguigno per compressione dei capillari, la necrosi delle cellule dell'area ipossica, il riassorbimento del tessuto necrotico da parte di macrofagi e il riassorbimento osseo da parte degli osteoclasti richiamati nella zona; nell'area di tensione invece si avrà aumento del flusso sanguigno con conseguente promozione dell'attività osteoblastica, ossia deposizione di matrice osteoide che successivamente andrà incontro a mineralizzazione³⁸

Pertanto, secondo questa ipotesi il movimento dentale si può schematizzare in tre stadi³⁴:

1. compressione dei tessuti e alterazioni del flusso ematico;
2. sintesi e/o rilascio di messaggeri chimici;
3. attivazione di cellule specializzate (osteoblasti e osteoclasti) che determinano il rimodellamento dell'osso alveolare.

Le tre teorie proposte non si escludono tra loro e, anzi, le più moderne ricerche scientifiche sembrano convalidare l'importanza che tutti i fenomeni sopra descritti hanno nella fisiopatologia del movimento dentale; con le più recenti tecniche di analisi biomolecolare è stato però possibile confermare la centralità del ruolo dei messaggeri chimici nella precisa concertazione degli eventi.

2.3.3 TRASDUZIONE DELLA FORZA ALLE STRUTTURE DENTALI E PARODONTALI

Nel momento in cui viene applicata una forza ad un elemento dentale, quello che si ottiene è la reazione da parte di tutto il complesso parodontale di sostegno del dente: l'osso alveolare circostante l'elemento interessato va incontro ad un rimodellamento selettivo (con aree di apposizione ossea opposte ad aree di riassorbimento) che permette in ultimo l'effettivo spostamento del dente insieme al suo legamento parodontale.

Affinché il movimento possa realizzarsi, poiché l'elemento dentale si trova all'interno di un sistema di costrizione dovuto alla posizione della sua radice all'interno dell'osso alveolare, è necessario che si verifichi una conversione della forza applicata all'elemento in segnali biochimici in grado di attivare il processo di rimodellamento osseo. Questa conversione prende il nome di meccanotrasduzione e può essere così esemplificata:



I più recenti studi riguardanti la meccanotrasduzione hanno dimostrato come sia l'osteocita la principale cellula in grado di rilevare l'applicazione di carichi meccanici sulla superficie ossea, tanto da essere definito “meccanosensore primario”³⁹.

Gli osteociti rappresentano circa il 90-95% delle cellule presenti nell'osso adulto e sono il risultato di un processo di trasformazione della durata di circa tre giorni: in questo tempo gli osteoblasti, ossia le cellule progenitrici degli osteociti, producono enormi quantità di matrice ossea (osteoidi) riducendo il proprio volume di circa il 70% e sviluppano lunghi processi dendritici a partire dal corpo cellulare. Quando termina il fenomeno di deposizione ossea e l'osteoblasto risulta essere completamente circondato da matrice osteoide all'interno della sua propria “lacuna”, esso prende il nome di osteocita; i processi citoplasmatici si trovano allora all'interno di sottili canalicoli della matrice ossea e si congiungono ai processi delle cellule adiacenti tramite giunzioni comunicanti (gap junction), permettendone la comunicazione. Gli osteociti sono in grado di comunicare anche indirettamente con cellule più distanti, come osteoblasti, periciti dei vasi sanguigni e cellule endoteliali del midollo osseo, grazie alla produzione di molecole segnale.

Quando viene applicato un carico meccanico all'osso, il fluido interstiziale contenuto nelle lacune e nei canalicoli viene “spremuta” a gran forza attraverso gli spazi adiacenti in cui si trovano altri osteociti e la viscosità di tale fluido esercita una sollecitazione di taglio (shear stress) sulla loro membrana cellulare: il potenziale di flusso che si crea

comporta l'apertura dei canali del calcio voltaggio-dipendenti transmembrana con conseguente aumento della concentrazione di calcio intracellulare, di ATP, di nitrossido e produzione di prostaglandina E2. Il risultato di queste alterazioni intracellulari è la modifica dell'espressione dei geni c-fos e cox-2 coinvolti nella formazione di osso⁴⁰.

Poiché gli osteociti non hanno la capacità di rimodellare la struttura ossea non eseguendo attività di deposizione o di riassorbimento della matrice, devono necessariamente essere attivati specifici pathway di comunicazione verso osteoblasti e osteoclasti in caso rilevamento di un carico meccanico.

Grazie a numerosi esperimenti effettuati su colture cellulari estratte da topi transgenici, è stato possibile dimostrare che osteociti e osteoblasti (anch'essi in grado di rilevare carichi meccanici perché sensibili alle deformazioni tissutali) attivano il pathway Wnt/LRP5: numerosissimi step, alcuni dei quali risultano ancora di difficile comprensione, portano all'accumulo nel citoplasma delle subunità proteica β -catenina e alla loro traslocazione all'interno del nucleo; qui la β -catenina interagisce con la famiglia di fattori di trascrizione Tcf/Lef regolando l'espressione di geni fondamentali nella differenziazione, proliferazione, apoptosi e funzionalità delle cellule ossee. L'attivazione del pathway Wnt è pertanto fondamentale nel processo di deposizione ossea in risposta al carico meccanico⁴¹.

Al contrario delle cellule precedentemente citate, gli osteoclasti – “cellule multinucleate presenti in sedi di rimozione di osso”⁴⁰ – non sembrano essere sensibili alle variazioni di carico meccanico e la loro azione dipenderebbe da informazioni provenienti dalle cellule della linea stromale (osteociti, osteoblasti, cellule di rivestimento osseo e cellule staminali mesenchimali indifferenziate).

In particolar modo l'osteoclastogenesi, ossia il processo di riassorbimento della matrice ossea, viene controllata dall'attivazione dell'asse di segnalazione M-CSF/RANKL/OPG. Quando le cellule precursori degli osteoclasti, circolando in vasi periferici adiacenti ad una zona di riassorbimento osseo, si trovano in presenza del fattore di stimolazione delle colonie di monociti (“monocyte colony-stimulating

factor”, M-CSF), vanno incontro a fusione l’una con l’altra formando una cellula immatura multinucleata di osteoclasto che prende il nome di polykarion. L’espressione locale del fattore M-CSF è controllata dalle cellule della linea degli osteoclasti ed è un fattore necessario sia per la formazione dei polykarion, sia per la loro successiva maturazione in osteoclasti. Un altro elemento necessario nel processo di maturazione osteocitaria è il ligando RANKL, un mediatore specifico appartenente alla famiglia dei Tumor Necrosis Factor (TNF) che viene prodotto dagli osteoblasti in seguito a svariati stimoli e che è in grado di legarsi al recettore specifico RANK espresso sulla membrana sia delle cellule progenitrici degli osteoclasti sia degli osteoclasti maturi: l’interazione RANKL-RANK concorre alla formazione di osteociti maturi, permettendo lo svolgersi della loro attività di riassorbimento osseo. Terzo elemento fondamentale della catena è l’osteoprotegerina (OPG), un fattore solubile prodotto dagli osteoblasti e strutturalmente simile al RANKL che agisce pertanto come competitore del RANKL nel legame con il recettore RANK: quando vi è un eccesso di RANKL prevale il riassorbimento osseo, mentre quando è maggiore la concentrazione di OPG il riassorbimento osseo è rallentato ⁴².

Appare evidente dai processi biochimici sopra descritti l’importanza dell’applicazione o meno di carichi meccanici nel fenomeno di rimodellamento osseo: è noto infatti che stimoli ridotti causino una accelerazione del turn-over cellulare, con aumentato rapporto tra riassorbimento osseo e deposizione e conseguente riduzione del tessuto (esattamente ciò che si osserva nel corpo degli astronauti dopo un lungo periodo di permanenza nello spazio); al contrario un carico eccessivo a livello osseo può causare microfratture o danni focali al tessuto tali da indurre fenomeni di rimodellamento osseo come reazioni riparative. Gli effetti del carico meccanico applicato all’osso seguono una curva a U che mostra come il rimodellamento osseo sia aumentato sia in condizioni di ridotto carico, sia in condizioni di eccessivo carico tale da causare microfratture; tra questi due estremi esiste un range intermedio di carico chiamato “range fisiologico” in cui il rimodellamento osseo risulta minimizzato³⁹(Fig.29).

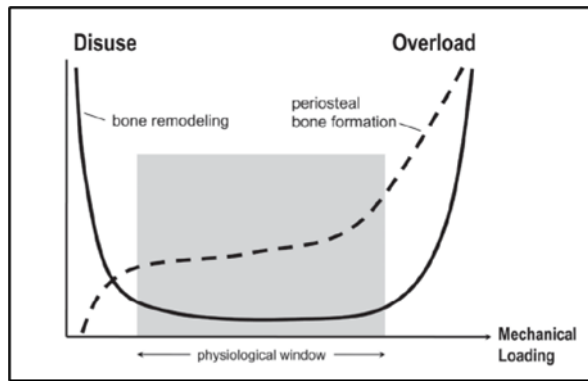


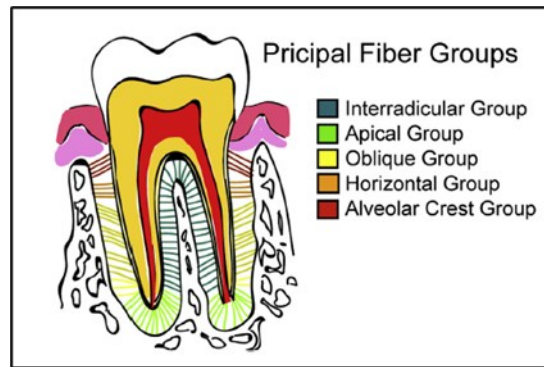
Fig.29 Rappresentazione grafica del tasso di rimodellamento osseo in rapporto all'entità del carico meccanico applicato.

2.3.4 RISPOSTE TISSUTALI ALL'APPLICAZIONE DELLE FORZE ORTODONTICHE

Gli elementi dentari mantengono la capacità di potersi spostare all'interno dell'osso alveolare durante tutta la loro permanenza nel cavo orale e questo è da ascrivere in ultima analisi alla presenza del legamento parodontale, un complesso sistema di fibre connettivali di supporto che circonda le radici dei denti e congiunge il cemento radicolare con la parete dell'alveolo.

Lo spazio occupato dal legamento, situato tra le radici dei denti e la lamina dura (ossia la parte dell'osso alveolare che ricopre l'alveolo), fisiologicamente ha un'ampiezza media di 0.23-0.25 mm e una forma a clessidra in senso coronario-apicale, più ampia a livello della cresta alveolare e della zona apicale rispetto alla porzione centrale.

Le fibre parodontali vengono classificate in base al loro orientamento in orizzontali, oblique, apicali e della cresta alveolare e questo specifico intreccio permette al legamento parodontale di distribuire le forze che si generano durante la masticazione o in occasione di altri contatti dentali su una maggiore superficie di osso alveolare⁴³(Fig.30).



-Fig.30 Rappresentazione della disposizione delle fibre principali parodontali

Oltre al groviglio di fibre collagene che costituisce il sistema di fissazione del dente, il legamento parodontale è formato da una componente cellulare (cellule mesenchimali indifferenziate, fibroblasti e osteoblasti), vasi sanguigni e cellule del sistema ematico, terminazioni nervose amieliniche, recettori pressori e propriocettivi e fluidi tissutali.

Nel processo di eruzione dentale, la comparsa di ogni elemento nel cavo orale è dovuta in parte alla genetica, ossia a proprietà intrinseche delle cellule che le inducono ad accrescersi e svilupparsi fino a raggiungere un determinato pattern, in parte al fisiologico metabolismo cellulare e infine anche grazie a forze generate all'interno dello spazio parodontale, dovute alla pressione idraulica del sangue, della linfa e del fluido intercellulare⁴⁵.

Questi processi metabolici all'interno del legamento parodontale continuano ad essere attivi per tutta la vita del dente, sebbene a velocità inferiori, e questo spiega il motivo per cui all'estrazione dell'antagonista spesso corrisponda una estrusione dell'elemento, anche dopo un periodo di apparente quiescenza.

Ancora, la presenza di tale meccanismo dimostra la capacità del legamento parodontale di indurre la stabilizzazione di forze prolungate di lieve entità a cui sono sottoposte le strutture dentali da parte dei tessuti circostanti: si tratta in particolare delle pressioni esercitate dalle labbra, dalle guance, dalla lingua e dai denti adiacenti. L'azione stabilizzante del legamento pertanto consiste nel

generare forze contrarie alle pressioni tissutali in modo da creare una condizione di equilibrio³⁴.

Durante l'eruzione, il dente si muove nella direzione della risultante delle forze ad esso applicate: nella condizione ideale tali forze inducono il dente a erompere nella corretta posizione e una volta che l'elemento ha raggiunto la posizione ultima le forze si trovano in completo bilanciamento; in certe situazioni però tali forze indotte dai tessuti orali sono in disequilibrio e così rimangono per un tempo sufficiente a generare una malocclusione⁴⁵.

Ragionevolmente è possibile individuare un valore soglia oltre il quale il sistema parodontale non è in grado di equilibrare le forze: questo valore corrisponde a 5-10 g/cm², l'equivalente delle forze esercitate dai tessuti molli a riposo sui denti³⁴(Fig.31).

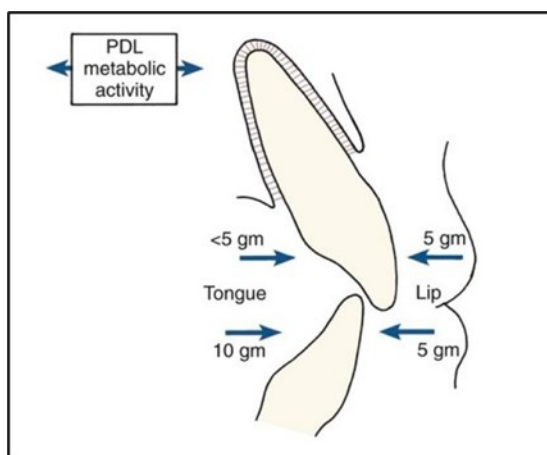


Fig.31 Rappresentazione grafica delle forze pressorie esercitate dai tessuti molli a riposo sugli elementi dei settori anteriori

Nel corso della normale funzione masticatoria, gli elementi dentari vengono a contatto tra loro per un tempo inferiore al secondo: in questo breve lasso di tempo un grande carico, che va da 1 a 50 kg a seconda delle caratteristiche dell'alimento, va a scaricarsi su denti e strutture parodontali. Il dente subirà allora un rapido dislocamento all'interno dello spazio parodontale e il fluido, per sua natura incompressibile, opporrà resistenza; in tal modo la forza generatasi nella masticazione verrà trasmessa alle pareti del processo alveolare, che si fletteranno.

Contestualmente alla flessione dell'osso, come già precedentemente esposto, si verranno a generare delle correnti piezoelettriche che moduleranno i fenomeni di rigenerazione e riparazione ossea; da ciò si comprende come il trofismo della porzione alveolare delle ossa mascellari dipenda direttamente dalla presenza e dalla funzione degli elementi dentari.

Quando la forza dislocante termina, il fluido rientra all'interno dei vasi, la pressione idraulica si stabilizza e il dente viene riportato alla sua posizione di riposo, posizione in cui le fibre parodontali non sono più in tensione.

Se invece il carico viene mantenuto sull'elemento dentario per un tempo maggiore, si avrà un aumento graduale di fuoriuscita del fluido tissutale dal legamento parodontale con conseguente spostamento del dente dapprima all'interno dello spazio parodontale e successivamente contro le pareti ossee adiacenti. Se il mantenimento del carico supera i 3-5 secondi, si inizierà ad avvertire una sensazione dolorosa dovuta all'importante fuoriuscita di fluido e alla pressione collassante che si sta esercitando sul legamento³⁴.

Analogamente, all'applicazione di pressioni ortodontiche su un elemento seguirà un suo iniziale dislocamento all'interno dello spazio parodontale, con l'induzione di aree di compressione opposte ad aree di tensione a carico del legamento parodontale.

La deformazione iniziale varia a seconda dell'ampiezza dello spazio parodontale, dall'intensità della forza, della lunghezza delle radici, della configurazione anatomica dell'elemento, della salute parodontale e dalle condizioni occlusali⁴⁶.

Nel caso in cui venga applicata una forza continua e leggera, dopo l'iniziale dislocamento dell'elemento all'interno del suo alveolo, i vasi sanguigni del legamento parodontale vengono parzialmente compressi nel lato della pressione e dilatati nel lato della tensione, con conseguente deformazione anche delle fibre e delle cellule parodontali. Si verifica quindi un'alterazione del flusso sanguigno e una contestuale alterazione della tensione dell'ossigeno (ossia il rapporto tra la concentrazione di ossigeno e quella di anidride carbonica) che inducono il rilascio

di prostaglandine e citochine che, con meccanismi già trattati in precedenza, richiamano osteoclasti dal circolo permettendo il rimodellamento del tessuto osseo adiacente all'area di compressione mediante un fenomeno di "riassorbimento frontale"; il movimento effettivo del dente inizia quindi circa 2 giorni dopo l'applicazione del carico⁴⁴.

Quello che si verifica invece in seguito all'applicazione di una forza pesante è la completa occlusione dei vasi sanguigni nell'area di compressione del legamento, con conseguente interruzione dell'irrorazione sanguigna e morte cellulare nelle zone interessate. Si formano così regioni di "necrosi sterile" o di "ialinizzazione" in cui non è più presente alcuna cellula vitale, per cui il rimodellamento osseo si realizzerà – con un ritardo di alcuni giorni – tramite il reclutamento di osteoclasti provenienti da zone midollari adiacenti. Poiché questi, data la loro provenienza, inizieranno ad attaccare l'osso in corrispondenza della necrosi a partire dal versante più profondo, il processo prende il nome di "riassorbimento sottominante".

Il movimento dentale, pertanto, subirà un ritardo dovuto alle tempistiche necessarie allo svolgersi di questi articolati meccanismi e di fatto si realizzerà non prima di 7-14 giorni, lasso di tempo durante il quale l'osso adiacente al dente si presenta come vetrificato se osservato al microscopio ottico.

Clinicamente, anche utilizzando forze estremamente leggere è spesso impossibile evitare l'instaurarsi di zone ipossiche/ischemiche nel legamento parodontale e la necrosi conseguente. Pertanto, la progressione continua e graduale dello spostamento dentale con applicazione di forze leggere è pura teoria, mentre nella realtà quello che si realizza è un movimento a scatti dovuto ai tempi di riassorbimento delle aree ialinizzate³⁴.

In concomitanza con il riassorbimento osseo che avviene nel lato compresso del legamento, si verifica l'attivazione del processo di apposizione ossea a seguito della proliferazione e differenziazione di osteoblasti lungo le fibre parodontali tese dal carico. Questi osteoblasti neoformati iniziano a produrre matrice osteoide

seguendo in certa misura la forma e lo spessore delle fibre parodontali che si troveranno pertanto ben presto incarcerate nel nuovo tessuto. Successivamente la matrice osteoide andrà incontro a mineralizzazione grazie alla produzione, da parte degli osteoblasti stessi, di numerose vescicole e svariati enzimi e proteine necessari per aumentare le concentrazioni di fosfato inorganico a livello locale. Sulla superficie delle vescicole l'enzima Enpp1 (pirofosfatasi/fosfodiesterasi esonucleotidica) genera pirofosfato inorganico a partire da molecole di ATP e questo viene conseguentemente convertito in fosfato inorganico da un altro apposito enzima. Questi eventi portano infine alla precipitazione dei cristalli di idrossiapatite che determina l'effettiva mineralizzazione del tessuto⁴⁶.

L'apposizione ossea perdura fintanto che lo spazio parodontale non viene riportato alla sua dimensione fisiologica.

La risposta del dente all'imposizione di una forza può quindi essere schematicamente suddivisa in tre fasi consequenziali:

- dislocamento iniziale, in cui il dente risulta lievemente spostato all'interno dell'alveolo in reazione alla forza applicata con conseguente alterazione dell'omeostasi parodontale;
- fase di latenza, di durata diversa a seconda che si vengano a instaurare o meno aree necrotiche;
- movimento dentale progressivo, dovuto i processi di rimodellamento osseo messi in atto da cellule specializzate quali osteoblasti e osteoclasti⁴⁶(Fig.32)

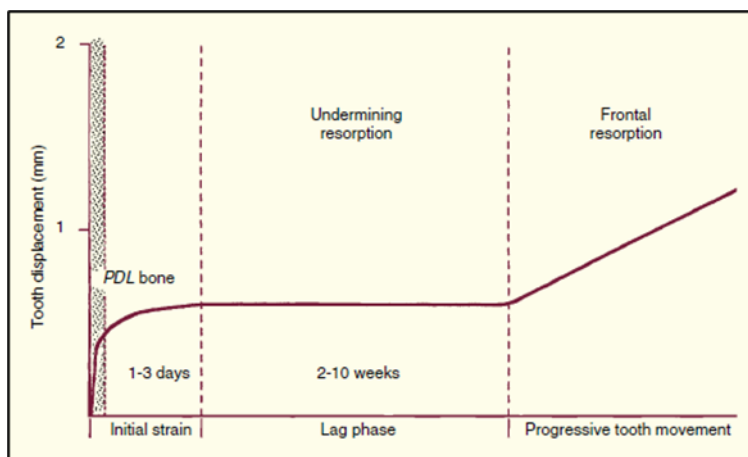


Fig.32 Rappresentazione tramite grafico della successione delle fasi che si verificano in seguito applicazione di una forza ortodontica leggera o pesante

2.3.5 MOVIMENTO DENTALE CON ALLINEATORI TRASPARENTI

È più complesso gestire ed ottenere lo spostamento dentale con apparecchi trasparenti piuttosto che con la metodica tradizionale. Sia per via della mancanza di punti specifici di applicazione della forza, alle proprietà del materiale dell'allineatore e alla mancata corrispondenza tra le geometrie dell'allineatore e della dentizione. Il movimento dentale è graduale, avviene grazie ai singoli moti che ogni mascherina lentamente realizza²⁸.

Questo spostamento incrementale è determinato da 2 meccanismi principali:

- 1) effetto di modellazione della forma (shape molding): il metodo consiste nel guidare lo spostamento 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 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;²⁸
- 2) sistema guidato dalla forza: il software ClinCheck®(Align Technology, Santa Clara, CA, USA) determina il movimento richiesto per ogni singolo dente, i principi meccanici che determinano questo movimento e la forma dell'allineatore, che non è sempre la stessa del dente modificata di conseguenza 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;⁴⁷

Il movimento dentale è dato dall'interazione tra l'allineatore e il complesso biologico costituito dal legamento parodontale e dall'osso circostante.

Affinché si crei lo spostamento 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 (Fig.33), 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 piccola²⁸.

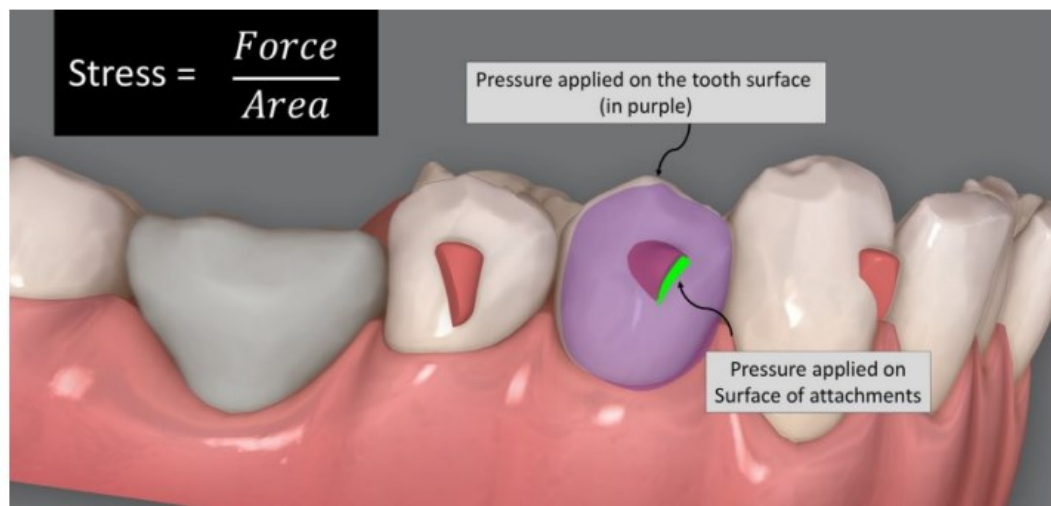


Fig.33 in lilla, la pressione applicata sulla superficie dentale; in verde, la pressione applicata sulla superficie dell'attachment

Ecco perché, tra i due meccanismi, la maggior parte del trattamento ortodontico beneficia dell'effetto shape molding, che permette di anche di conservare per più tempo le proprietà elastiche dell'allineatore. Dati questi meccanismi, gli allineatori sono in grado di trattare diverse anomalie e malocclusioni.

Vediamo come con queste metodiche possiamo risolvere un affollamento.

I metodi di risoluzione dell'sovraffollamento prevedono diverse opzioni, come l'espansione dell'arcata dentale, la proclinazione degli incisivi, e/o la riduzione

interprossimale (IPR). Per guadagnare più spazio, la tecnica principale è quella di effettuare 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 fondamentale con il centro di resistenza. Per raggiungere questo obiettivo, gli allineatori utilizzano l'effetto di shape molding²⁸.

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

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

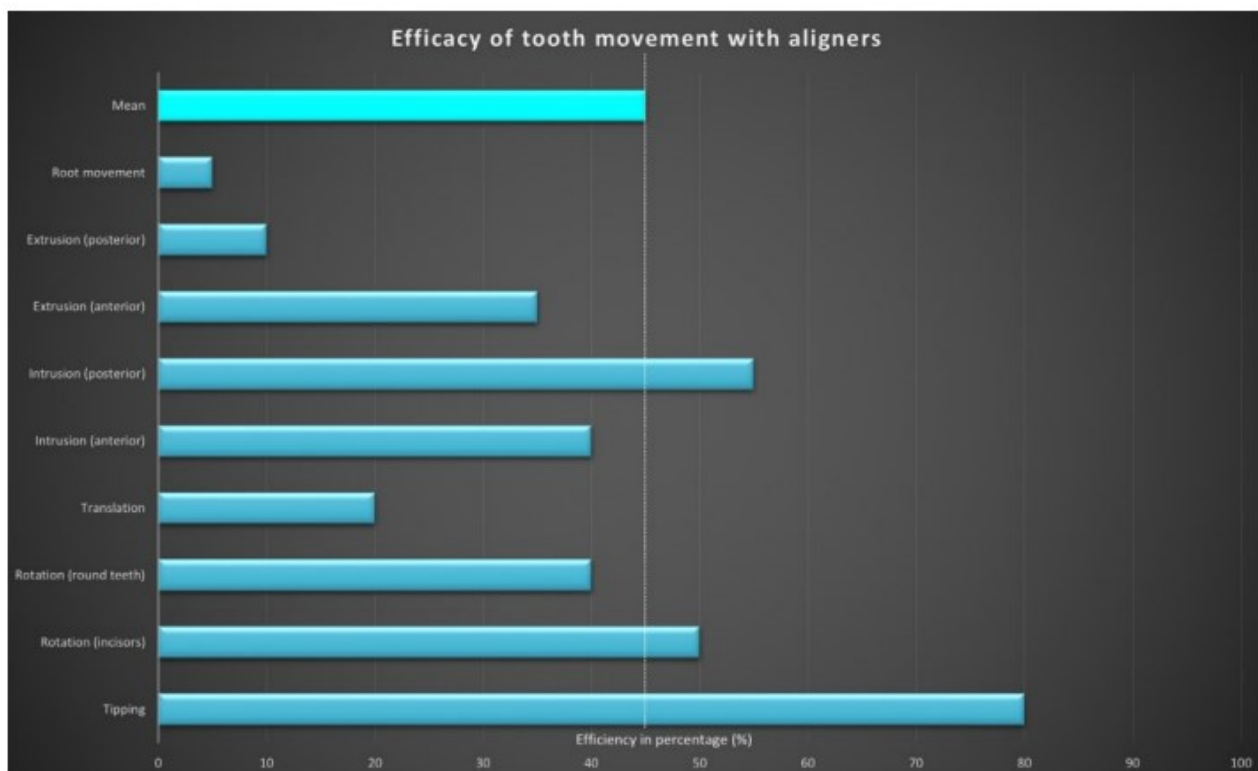


Fig.34: efficienza degli aligner (espressa in %) per i diversi tipi di movimento dentale

Nel grafico (Fig.34), possiamo vedere come il tipping sia effettivamente lo spostamento 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 prevedibili²⁸.

Gli allineatori trasparenti hanno spessori differenti che vanno da 0,50 a 1,50 mm: i materiali più sottili sono più idonei a produrre forze leggere, necessarie per eseguire movimenti di tipping, mentre per movimenti di traslazione o radicolare sarebbe preferibile un materiale più spesso²⁸.

2.4 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 è "esponenziale" e non lineare, e si verifica maggiormente nelle prime ore di utilizzo, per via della fatica del materiale²⁸(Fig. 35).

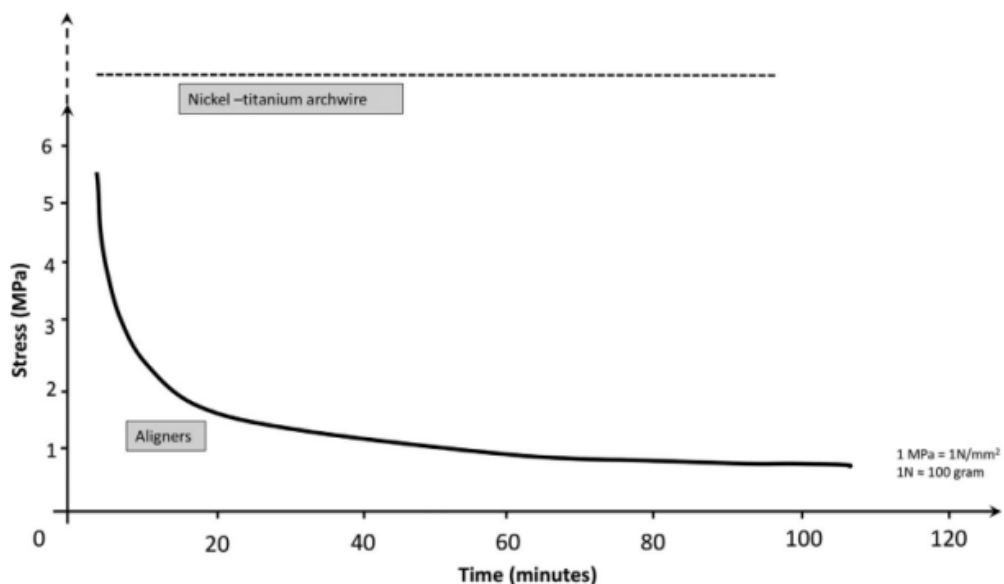


Fig.35: curva di rilassamento da stress degli allineatori rispetto ad un arco in NI-Ti austenitico. Da evidenziare la diminuzione esponenziale della sollecitazione (forza/area)

Con gli allineatori trasparenti l'efficacia clinica del movimento dentale sarà direttamente proporzionale all'ottimo ingaggio della mascherina trasparente.

Ovvero quanto più la superficie della mascherina avvolgerà il dente, quanto più efficace sarà l'effetto del movimento. In casi particolari, come in presenza di denti con una morfologia piccola, come gli incisivi laterali o i conoidi, per andare ad aumentare la superficie della mascherina che andrà ad avvolgere il dente si vanno ad aggiungere attachment su questi denti.

3 ATTACCHI

3.1 EVOLUZIONE DELLA PROGRAMMAZIONE CON GLI ATTACCHI

Gli attacchi sono trasduttori di forza che sembrano migliorare la biomeccanica degli allineatori invisibili. Essenzialmente gli attacchi sono una sporgenza di materiale composito polimerizzato sulla superficie del dente, applicata per migliorare la ritenzione dell'allineatore e per ottenere movimenti ortodontici critici da ottenere. Sono in grado di raggiungere questi obiettivi attraverso una valorizzazione del disallineamento in punti specifici, un miglioramento dell'area di contatto e una migliore applicazione del sistema di forza⁴⁸.

Agli inizi della tecnologia degli allineatori trasparenti, una ventina di anni fa, la maggior parte dei clinici riteneva che gli allineatori fossero in grado di ottenere semplici movimenti dentali che richiedevano una riduzione interprossimale dello smalto (IPR) per risolvere l'affollamento e allineare la dentatura. Gli unici attachment disponibili erano di forma ellissoidale e venivano posizionati principalmente a scopo di ancoraggio. In seguito, la tecnologia si è evoluta aggiungendo attachment rettangolari che potevano essere posizionati verticalmente o orizzontalmente. Questi attachment convenzionali avevano la funzione di "maniglie" per aumentare l'ingaggio dell'allineatore al fine di spostare i denti o controllare le inclinazioni delle radici. Nel momento attuale della tecnologia degli allineatori trasparenti, diversi sofisticati algoritmi del programma software

impostano la sequenza dei movimenti dentali, nota anche come “stadiazione”. Questi algoritmi impostano anche l’occlusione finale in base agli obiettivi del trattamento dettati dal clinico nel modulo di prescrizione. Gli attachment si sono evoluti in modo significativo, il design dell’attachment si basa ora sul tipo di movimento dentale richiesto, sul grado di forza biologica necessario per realizzare questo movimento su denti specifici in base alla loro forma radicolare e alla loro morfologia, e sulla forza esercitata dall’elasticità del materiale dell’allineatore trasparente per spostare il dente. Tali attachment sono noti come attachment ottimizzati. Le forme degli attachment ottimizzati sono definite da un algoritmo e vengono applicate automaticamente dal software quando vengono rilevate determinate soglie del movimento dentale. In precedenza, il clinico comunicava il piano di trattamento e le posizioni desiderate dei denti ad un tecnico del software attraverso istruzioni e commenti scritti. Con l’attuale versione del software ClinCheck Pro[®], i controlli tridimensionali (3D) consentono al clinico di modificare le posizioni dei denti singoli, aggiungere e rimuovere attachment convenzionali e tagli di precisione e regolare il grado di IPR. Il clinico ha anche la capacità di valutare i contatti occlusali e di apportare modifiche all’occlusione finale. Le innovazioni future nella programmazione del software consentiranno al clinico di trattare malocclusioni più complesse con gli allineatori trasparenti. La potenzialità della pianificazione digitale del trattamento, con la possibilità di determinare e progettare l’occlusione finale, è la strada verso il futuro per l’ortodonzia⁴⁷.

3.2 TIPI DI ATTACCHI

Il principio di ingaggio dell’allineatore è dato dal fatto che il materiale dell’allineatore è avvolto attorno ai denti. Se il dente è completamente registrato nella scansione digitale o nell’impronta, il materiale dell’allineatore che copre i versanti occlusale, vestibolare, linguale, mesiale e distale del dente ingaggerà il dente e lo farà muovere. Un errore comune è quello di supporre che gli attachment funzionino come i bracket e gli allineatori come il filo dell’arco, e che ogni singolo

dente richieda un attachment per impegnare l'allineatore. I denti non richiedono attachment per muoversi. Tuttavia, gli attachment sono necessari per vari motivi. Alcuni tipi di movimento dentale (ad es. l'intrusione) richiedono un ancoraggio in parti differenti dell'arcata. Altri movimenti, come la traslazione, possono richiedere il controllo delle radici per mantenere l'inclinazione. Le rotazioni di denti con morfologia della corona circolare, come i premolari, possono richiedere un ulteriore impegno dell'allineatore attraverso l'uso di attachment per aiutare questi movimenti ad esprimersi clinicamente in modo completo. studi hanno dimostrato che gli attachment sono necessari perché determinati tipo di movimento dentale possono esprimersi clinicamente. Gli attachment possono essere classificati in due categorie: attachment convenzionali e attachment ottimizzati⁴⁷.

3.2.1 ATTACCHI CONVENZIONALI

Gli attachment convenzionali sono passivi e aumentano l'ingaggio dell'allineatore sul dente. Agiscono come maniglie per gli allineatori spostare i denti. Questi attachment possono essere posizionati sui denti per impostazione predefinita del software, su richiesta scritta al tecnico del software o utilizzando la funzione "drag and drop" sui controlli 3D. Esistono tre tipi di attachment convenzionali⁴⁷:

1) attachment ellissoidali

gli attachment ellissoidali sono attachment passivi utilizzati principalmente per la ritenzione o l'ancoraggio. Sono gli attachment originali dei primi tempi degli allineatori trasparenti. Vengono ancora usati a volte, specialmente quando la superficie del dente è limitata, ad esempio la superficie labiale degli incisivi laterali mascellari o la superficie linguale di un secondo molare mandibolare che è molto inclinato lingualmente.

2) attachment rettangolari

gli attachment rettangolari sono passivi e possono essere verticali od orizzontali.

VERTICALI

Gli attachment rettangolari verticali sono utili per il controllo della radice e possono essere utilizzati al posto degli attacchi ottimizzati, nel caso il software non è in grado di posizionarli in caso di conflitti nel programma. Per impostazione predefinita, il programma software non posiziona attachment per il controllo della radice sugli incisivi mandibolari, tranne nei casi di estrazione degli incisivi inferiori. Se per correggere l'inclinazione della radice degli incisivi mandibolare c'è bisogno di un tipping significativo, è necessario posizionare un attachment rettangolare verticale⁴⁷.

ORIZZONTALI

Anche gli attachment rettangolari orizzontali possono essere usati per il controllo della radice, in particolare nella dimensione vestibolo linguale per effettuare il torque radicolo-vestibolare sui molari. Possono essere utilizzati anche dove una corona clinica corta o un'interferenza occlusale non consentono il posizionamento di un attachment rettangolare verticale⁴⁷.

3) attachment bisellati

Sia gli attachment verticali che quelli orizzontali possono essere bisellati. Un fatto importante da ricordare è che la superficie bisellata è la superficie attiva. Essa fornisce una superficie piana sulla quale l'allineatore può spingere per effettuare il movimento desiderato del dente. Per movimenti estrusivi dei molari posteriori, sarà efficace un

attacco orizzontale bisellato sul lato gengivale. Per intrusioni, sarà necessario utilizzare un attachment orizzontale bisellato sul lato occlusale⁴⁷.

3.2.2 ATTACCHI OTTIMIZZATI

Gli attachment ottimizzati vengono automaticamente posizionati dal software quando rileva determinate soglie di movimento dei denti. Sono progettati per controllare il punto di applicazione della forza, la direzione della forza e il grado di forza applicato, personalizzati per ogni singolo dente. Tutti gli attachment ottimizzati hanno una superficie attiva la cui geometria varia in base alla morfologia specifica di ciascun dente. L'allineatore è progettato con un angolo più acuto rispetto alla superficie attiva sull'attachment, al fine di esercitare una forza su di essa per spostare il dente sulla posizione desiderata. Pertanto, la dimensione dell'attachment sul dente sarà diversa dalla dimensione dello spazio per l'attachment nell'allineatore. È per questo motivo, se un attachment ottimizzato deve essere sostituito a metà del trattamento, il clinico dovrà utilizzare il template dell'attachment originale oppure ordinare un template di attachment sostitutivo per riposizionare l'attachment, anziché utilizzare l'ultimo allineatore. Man mano che la tecnologia degli allineatori trasparenti si evolve e vi sono innovazioni la forma degli attachment potrà cambiare. Il principio di base degli attachment, indipendentemente dalla forma e dalle dimensioni, e che forniscono ingaggio e un punto di forza per consentire all'allineatore di spostare i denti⁴⁷.

3.3 COME GLI ATTACCHI INFLUENZANO IL MOVIMENTO ORTODONTICO

Attualmente, il trattamento ortodontico con la tecnologia degli allineatori è preferito al tradizionale sistema di bracket e wire sia per una migliore estetica, sia per una maggiore comodità per i pazienti. È stato dimostrato che gli allineatori sono confortevoli e riducono il dolore facciale grazie ai carichi ortodontici relativamente più bassi erogati ai denti rispetto ai tradizionali apparecchi fissi.

Inoltre, è stato riportato che gli allineatori riducono al minimo il trauma dentale, il rischio microbico e il riassorbimento apicale.

Sebbene le tecnologie degli allineatori siano migliorate in modo significativo, ci sono ancora limitazioni nei casi in cui le correzioni coinvolgono sistemi di forza complessi. La coppia e la rotazione dei denti, così come i movimenti corporei, rappresentano ancora una sfida con la tecnologia degli allineatori. L'introduzione di attacchi in composito ha permesso il controllo attivo del movimento dei denti in cui l'affollamento frontale può essere corretto e i movimenti del corpo possono essere raggiunti.

Molti studi hanno tentato di indagare l'effetto della forma dell'attacco sul comportamento degli allineatori.

Yokoi et al. hanno studiato gli effetti degli attacchi nel diastema chiuso della dentatura mascellare utilizzando metodi agli elementi finiti (FE) e hanno concluso che il movimento corporeo è stato ottenuto utilizzando gli attacchi. Goto et al. hanno riportato che gli attacchi non influenzano le forze di trazione e il momento di ribaltamento. Studi precedenti hanno riportato che lo spessore e la forma dell'attacco hanno avuto un effetto sul movimento dei denti. Questi studi hanno riportato che l'attacco con una forma rettangolare e uno spessore di 1 mm sui lati linguale e vestibolare era efficace per l'estrusione del dente e il movimento di rotazione. Un altro studio precedente ha studiato la forma e la posizione ottimali degli attacchi sul canino confrontando varie forme e posizioni degli attacchi per i quattro movimenti del dente: estrusione, intrusione, coppia e rotazione e ha concluso che la forma ottimale di un attacco era un cilindro e doveva essere posizionato lingualmente piuttosto che vestibolmente per indurre un movimento efficace dei denti.

Sebbene i fenomeni involontari di inclinazione e rotazione dei denti siano stati ridotti a causa degli attacchi, il momento della distanza tra la posizione di attacco e il centro del dente ha causato il ribaltamento, la rotazione e l'inclinazione in termini di meccanismo di movimento dei denti. Per questo motivo, sono

necessarie ulteriori ricerche per affrontare la minimizzazione della distanza tra il centro del dente e gli attacchi.

Nonostante la crescente domanda globale di allineatori trasparenti per il trattamento ortodontico delle malocclusioni, ci sono ancora preoccupazioni riguardo all'efficienza degli allineatori trasparenti per ottenere movimenti complessi di controllo dei denti. Ciò potrebbe essere attribuito alla mancanza di chiarimenti sul meccanismo di trasmissione forza/momento degli allineatori. Contrariamente al tradizionale sistema staffa-arco, il punto esatto per la trasmissione della forza degli allineatori rimane ambiguo. Poiché i movimenti dei denti nell'allineatore erano causati da movimenti di inclinazione non intenzionali, studi precedenti hanno riportato la difficoltà di ottenere il movimento dentale previsto utilizzando gli allineatori.

È stato dimostrato che gli attacchi compositi sulle superfici dei denti determinano movimenti dentali desiderabili. Diversi studi hanno indagato l'effetto della forma e del posizionamento di questi attacchi sul movimento dei denti. Rossini et al⁴⁹. hanno riportato che gli attacchi compositi rettangolari o ellissoidi hanno migliorato la qualità dei movimenti dentali ortodontici nella loro revisione sistematica.

Nello studio di Hong del 2021, hanno sviluppato un modello 3D (Fig.36 e Fig.37) degli elementi finiti della mandibola che può essere utilizzato per studiare un efficiente design di attacco "a sbalzo" in grado di indurre in modo efficiente i movimenti dei denti desiderati.

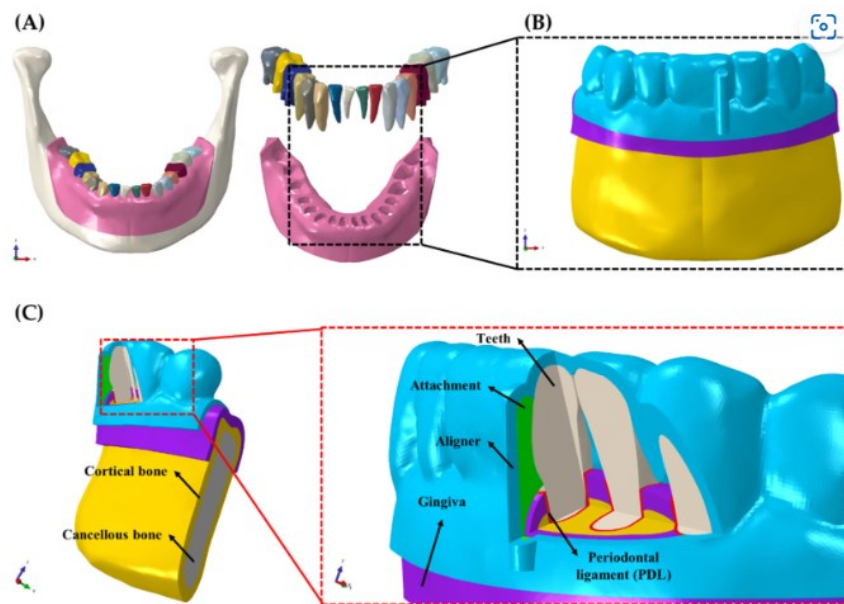


Fig.36 Un processo di creazione di FE 3D nella situazione del trattamento ortodontico. (A) Segmentazione di ossa, gengive e denti da dati CBCT 3D; (B) Modello FE ortodontico 3D. (C) Componente del modello FE ortodontico 3D.

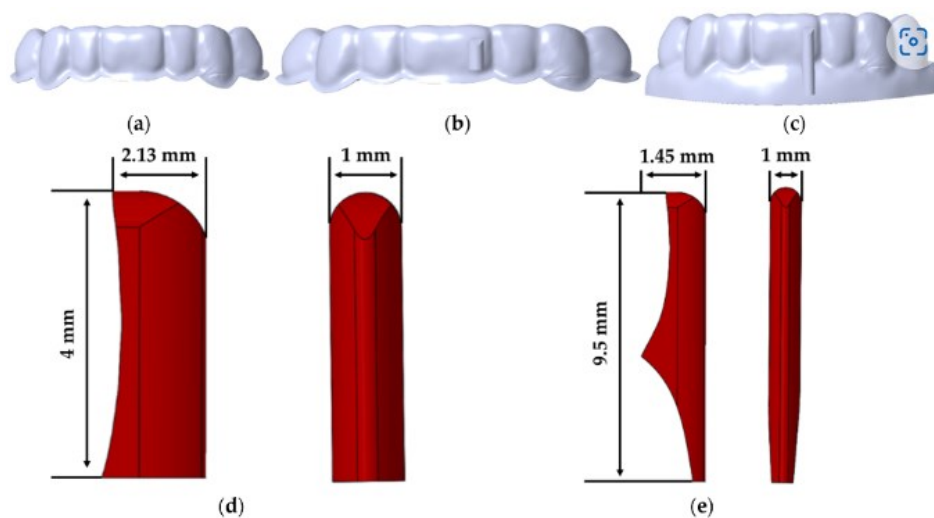


Figura 37. Progettazione di un modello di allineatore 3D. (a) Allineatore con il NA; b) allineatore con l'AG; c) allineatore con l'OA; d) le forme e le dimensioni dell'attacco composito generale; e) forme e dimensioni dell'attacco composito a sbalzo.

I risultati di questo studio suggeriscono che per una pianificazione della traslazione distale di 0,1 mm per l'incisivo centrale mandibolare utilizzando un allineatore, ci dovrebbero essere il ribaltamento della corona, la rotazione assiale e l'inclinazione. La forza dell'allineatore agisce sulla corona clinica e non

attraverso il centro di resistenza del dente, producendo così movimenti indesiderati. Ciò significa che durante il trattamento con gli allineatori, si verificheranno movimenti dentali non intenzionali da parte dell'ortodontista. Quando un allineatore standard di 0,5 mm di spessore senza alcun attacco viene sostituito da un allineatore di 0,75 mm di spessore con NA (senza attacco), la punta della corona, la rotazione assiale e l'inclinazione linguale non vengono alterate in modo significativo. Al contrario, la presenza del GA (attacco generale) sulla superficie del dente può ridurre la rotazione assiale rispettivamente del 62,86% per un allineatore di 0,5 mm di spessore e del 26,47% per un allineatore di 0,75 mm di spessore. Per entrambi gli spessori dell'allineatore, la punta della corona e l'inclinazione linguale non variavano in modo significativo. Questa osservazione è coerente con Ho et al., che hanno riferito che i loro attacchi non hanno impedito il ribaltamento. Rispetto a un allineatore con NA (senza attacchi), un allineatore con OA (attacco sporgente) ridurrà la rotazione assiale dell'80% e del 97,06% per un allineatore di 0,5 mm e 0,75 mm di spessore, rispettivamente. L'efficienza dell'allineatore a sbalzo nel ridurre la rotazione assiale può essere attribuita all'aumento dell'area di applicazione della forza ortodontica dell'allineatore al dente. Mentre il ribaltamento della corona è stato ridotto del 4,31% e del 2,56% da un allineatore di 0,5 mm e 0,75 mm di spessore con l'OA (attacco sporgente), rispettivamente, l'inclinazione linguale è rimasta simile all'allineatore con l'NA (senza attacco). Ciò suggerisce che un attacco efficace non è in grado di prevenire completamente l'inclinazione linguale, ma può ridurre la rotazione assiale e il ribaltamento della corona.

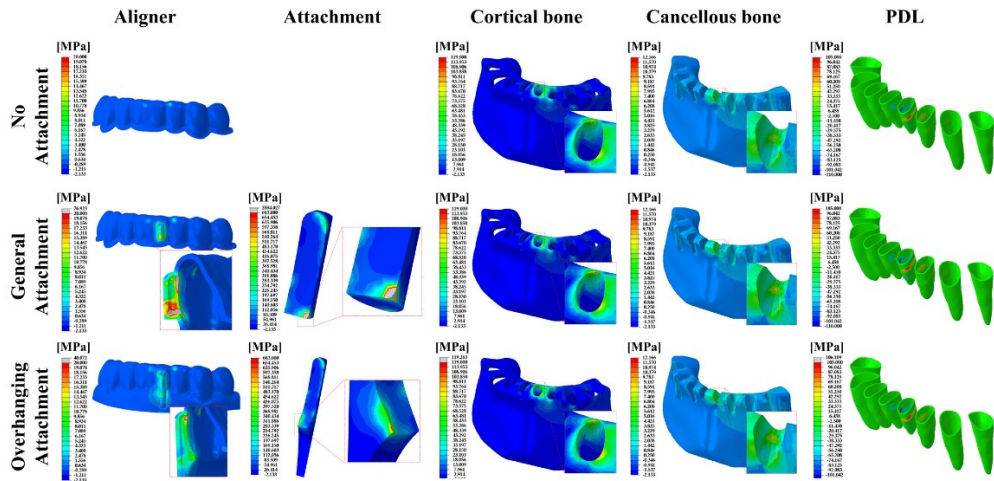


Figura 38. Risultati FE delle distribuzioni delle sollecitazioni per i componenti del modello di trattamento ortodontico nei modelli con allineatori da 0,5 mm. L'allineatore e l'attacco sono stati espressi come valori PVMS (distribuzione di stress di von Mises) e le ossa (corticali e spongiose) e PDL (legamento parodontale) sono stati espressi come valori MPS (stress principale massimo).

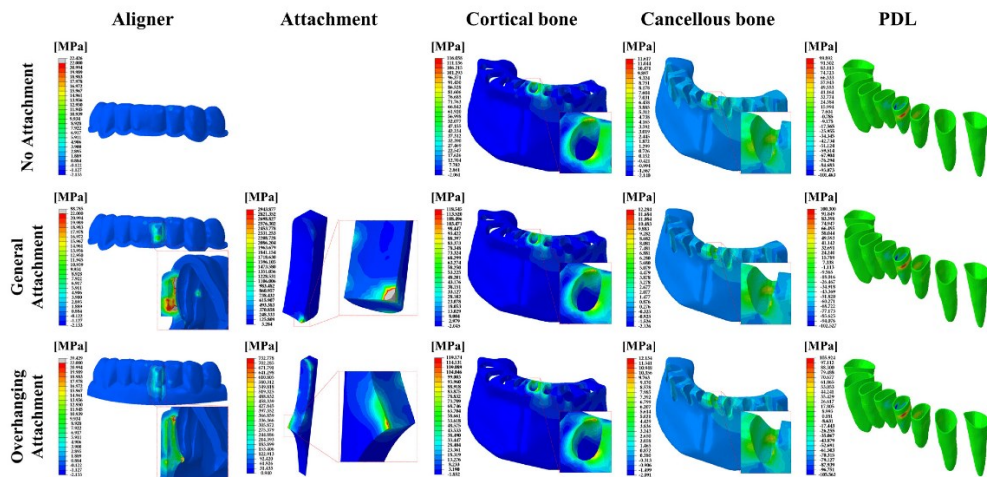


Figura 39. Risultati FE della distribuzione delle sollecitazioni per il componente del modello di trattamento ortodontico nei modelli con allineatori da 0,75 mm. L'allineatore e l'attacco sono stati espressi come valori PVMS (distribuzione di stress di von Mises) e le ossa (corticali e spongiose) e PDL (legamento parodontale) sono stati espressi come valori MPS (stress principale massimo).

Come possiamo vedere della Figure 38 e 39 i modelli di distribuzione dello stress nell'osso spongioso, nell'osso corticale, nella gengiva e nel PDL (legamento parodontale) erano simili. I valori di MPS (stress principale massimo) per l'osso corticale, l'osso spongioso e la gengiva non erano significativamente diversi nei modelli di allineatori di 0,5 mm e 0,75 mm di spessore, indicando una risposta ossea simile. Il PVMS (distribuzione di stress di von Mises) dell'allineatore

residuo nei modelli GA era il più alto per entrambi i modelli di spessore dell'allineatore. L'allineatore residuo OA PVMS era circa 1,7 volte superiore a NA, mentre l'allineatore residuo GA PVMS era circa quattro volte superiore a NA. Si può quindi concludere che la presenza di attacchi sulla superficie del dente indurrà più stress nell'allineatore, il che porta a un maggiore movimento del dente. Per il GA, sono stati misurati valori PVMS estremamente elevati. Pertanto, abbiamo previsto che per l'allineatore con GA, ci sarebbe stato un alto rischio di cedimento dell'attacco e un'alta possibilità di distacco dell'attacco. Lo stress più elevato nel PDL incisivo era concentrato nella parte centrale della regione distale. Le sollecitazioni di trazione sono state registrate principalmente sul lato distale, mentre le sollecitazioni di compressione sono state localizzate sulla regione mediana mesiale. I valori di sollecitazione misurati per il PDL in tutti i modelli erano compresi tra 97 e 106 MPa in trazione e 98-106 MPa in compressione. Questi valori rientrano nell'entità dello stress che può alterare il PDL per l'inizio del rimodellamento osseo⁵⁰.

Questo studio non ha tenuto conto dell'effetto del muscolo massetere mentre si indossa l'allineatore e altri movimenti masticatori. L'effetto del muscolo massetere e dei movimenti masticatori deve essere considerato poiché è stato riportato che il muscolo massetere influenza le caratteristiche craniofacciali, le malocclusioni e l'asimmetria. L'OA e il GA sono stati confrontati semplicemente muovendo il dente in direzione laterale. Tuttavia, in una situazione di trattamento ortodontico reale, poiché i denti incisivi erano in posizione obliqua, è necessario analizzare il momento rotatorio della radice per confrontare il GA e l'OA. Inoltre, è necessaria la ricerca per vari movimenti dei denti come l'estrusione, l'intrusione, la rotazione, ecc. Pertanto, gli studi futuri che considerano la distribuzione delle sollecitazioni e le caratteristiche del movimento tra GA e OA dovrebbero confrontare e analizzare vari movimenti dei denti come l'estrusione, l'intrusione, la rotazione e la coppia e il movimento delle radici dei denti⁵⁰.

Sulla base dei risultati di questo studio, hanno confermato che l'OA può controllare il movimento non intenzionale dei denti dell'ortodontista meglio del GA. Si ritiene che l'OA riduca il rischio di distacco dell'attacco durante il trattamento ortodontico, mostrando distribuzioni di stress desiderabili e riducendo la concentrazione di stress tra l'attacco e l'allineatore. Pertanto, l'OA è un efficace design di attacco sulla superficie del dente che può indurre in modo efficiente il movimento dei denti del corpo con una rotazione assiale minima non intenzionale e movimenti dei denti con la punta della corona⁵⁰.

3.4 CORRELAZIONE TRA ATTACCHI E MATERIALI

Analizziamo lo studio di Alam MK et al. del 2023⁵¹ che ha fornito un'analisi approfondita dell'impatto dei diversi materiali e dei diversi attacchi per gli allineatori sul movimento ortodontico dei denti, inclusa la velocità, la quantità, e la direzione del movimento. Secondo questo studio la scelta del materiale e dei tipi di attacco può avere un impatto significativo sul movimento dei denti ortodontici, vanno considerati diversi fattori come la gravità della malocclusione e il risultato desiderato.

Modificando la curvatura dell'allineatore, i denti possono essere spostati. Le incongruenze negli allineatori possono produrre la forza di ribaltamento necessaria per spostare i denti. Questa forza di ribaltamento spinge contro la corona clinica, ma non contro la resistenza del centro del dente. Di conseguenza, il movimento del dente dell'allineatore provoca sempre il movimento della punta della corona. Due variabili devono essere considerate per migliorare la ritenzione dell'allineatore. La prima è l'applicazione e la forma dell'attacco, e la seconda è la scelta del materiale per l'allineatore. Al fine di aumentare la capacità degli allineatori ortodontici di muovere il dente, vengono generate forze o movimenti utilizzando un preciso attacco geometrico⁵². Attacchi smussati richiedono più forza per rimuovere un allineatore da un calco rispetto agli attacchi ellissoidi o ai

modelli senza attacco, indipendentemente dal fatto che siano smussati o meno. La ritenzione è influenzata dalla natura del materiale e non è sempre correlata allo spessore del materiale.

Ho et al.⁵³ hanno valutato l'impatto della geometria dell'attacco sul movimento dei denti nella loro indagine utilizzando lo stesso spessore di materiale dell'allineatore. In questa indagine, c'era un maggiore ribaltamento della corona a causa dell'attacco a forma di barra dell'allineatore. Per accertare l'impatto dell'attacco sul movimento dei denti, sono stati confrontati gli allineatori del gruppo PTG (Polietilene Tereftalato Glicole) e TP (Poliuretani Termoplastici) con e senza attacco. Non ci sono state differenze nei risultati del movimento dei denti tra i gruppi PTG e TP in base all'attacco. Ciò potrebbe essere accaduto a causa del basso numero di moduli di Young degli allineatori impiegati nei gruppi PTG o TP che non erano in grado di tollerare lo stress causato dalla punta del dente, che a sua volta causava la punta del dente. In questo studio, le forme dell'ellissoide e della barra sono state utilizzate come attacchi di forma. L'attacco ellissoide era posizionato sul sito oclusale distale e sul sito gengivale mesiale della corona canina e aveva due spessori di contorno, uno sottile e uno spesso. Era destinato a strofinare contro la punta distale della corona. Per contrastare la forza del movimento distale che causa il ribaltamento mesiale della radice, l'attacco della barra è stato creato come una forma lunga e rettangolare che era la metà della lunghezza clinica. Due punti di contatto e un'ampia area di contatto per operare contro la forza di ribaltamento dell'allineatore distinguevano l'ellissoide dalla forma della barra. Con attacchi a forma di ellissoide e a barra, gli allineatori del gruppo PTG o TP hanno corretto il ribaltamento distale della corona del cane e la coppia mesiale della radice. Il gruppo PTG ha dimostrato che, rispetto al gruppo di attacco ellissoide, l'attacco a barra induceva un angolo canino dell'asse lungo più elevato. In altre parole, c'era una maggiore inclinazione distale canina nel gruppo di attacchi della barra PTG. Sul canino del gruppo PTG, l'uso dell'attacco ellissoide sottile o spesso ha provocato il ribaltamento distale del dente, ma

nessuna differenza statisticamente significativa nell'angolo dell'asse lungo del canino. Ciò ha dimostrato che il ribaltamento della corona non è stato impedito da un attacco ellissoidale o a forma di barra.

Due variabili devono essere considerate per migliorare la ritenzione dell'allineatore. La prima è l'applicazione e la forma dell'attacco, e la seconda è la scelta del materiale per l'allineatore. Al fine di aumentare la capacità degli allineatori ortodontici di muovere il dente, vengono generate forze o movimenti utilizzando un attacco geometrico preciso. Gli attacchi smussati richiedono più forza per rimuovere un allineatore da un calco rispetto agli attacchi ellissoidi o ai modelli senza attacco, indipendentemente dal fatto che siano smussati o meno. La ritenzione è influenzata dalla natura del materiale e non è sempre correlata allo spessore del materiale. L'attacco ellissoidale è stato preferito rispetto all'attacco della barra nel presente studio per ridurre l'inclinazione distale canina. Il ribaltamento canino non è stato impedito dall'attacco. Il potere ortodontico e il momento prodotti dall'attacco potrebbero non essere stati sufficienti per muovere i denti nel modo in cui si era previsto.

I risultati hanno suggerito che i materiali degli allineatori hanno avuto un impatto significativo sul movimento dei denti, ma non in termini di dimensioni e forma dell'attacco, ma piuttosto del tipo di materiale utilizzato. All'interno dei tipi di materiali che sono stati valutati, non è stata osservata una grande differenza; tuttavia, i valori di Invisalign® sono paragonabili alle altre materie plastiche in termini di intervallo di stime e incertezza associata alle stime. Sono necessarie ulteriori ricerche per comprendere meglio l'impatto dei diversi materiali e attacchi degli allineatori sul movimento ortodontico dei denti⁵¹.

4 TRATTAMENTO CON ALLINEATORI TRASPARENTI SENZA ATTACCHI

4.1 LETTERATURA SCIENTIFICA A SUPPORTO DELL'USO DEGLI ATTACCHI

Vediamo in letteratura diversi studi a supporto dell'uso degli attacchi, come quello di Jedliński M del 2023, secondo cui l'uso di attacchi migliora significativamente l'espressione del movimento ortodontico e la ritenzione degli allineatori⁵⁴.

Da questa revisione sistematica, che è stata realizzata includendo 26 studi, si evince che in tutti gli studi l'utilizzo di allineatori con attacchi offra un maggior controllo e una più vasta gamma di movimenti rispetto agli allineatori senza attacchi anche se un determinato dente non deve essere spostato ma fornisce ancoraggio per il movimento. Ciò indica che l'uso di attachments influenza il successo del trattamento. Gli attacchi labiali non sono completamente invisibili, inoltre nella maggior parte dei casi di questo studio gli attacchi erano posizionati nelle superfici palatali dei denti anteriori, fornendo una maggiore espressione del movimento ortodontico rispetto a quelli legati vestibolarmente. Per tanto l'utilizzo di attacchi palatali può ridurre la visibilità del trattamento e allo stesso tempo migliorarne l'efficacia. Va tenuto conto che gli attacchi palatali hanno effetti biomeccanici diversi, in quanto sono posizionati più vicino al centro di resistenza. Per questi movimenti è fondamentale la posizione degli attacchi per evitare movimenti indesiderati in misura simile alla forma degli attacchi. È interessante notare come nei movimenti dentali più difficili (estrusione incisivi, rotazione canini e distalizzazione del segmento laterale) sia consigliato di posizionare gli attacchi su tutto il segmento laterale, dal canino al secondo molare, al fine di eseguire un migliore ancoraggio reciproco e quindi una maggiore prevedibilità del movimento. L'uso degli attacchi aumenta significativamente la ritenzione dell'allineatore. Gli attacchi rettangolari convenzionali sui premolari hanno l'effetto migliore in termini di mantenimento degli allineatori sui denti e di mantenimento dell'allineatore significativamente più forte rispetto ad attacchi simili sugli incisivi⁵⁴.

Non bisogna dimenticare che l'efficacia del movimento ortodontico dei denti è influenzata da molti altri fattori, tra cui lo spessore dell'allineatore, la stadiazione del

trattamento con allineatori, la tempistica, la quantità di riduzione dello smalto interprossimale, la cooperazione del paziente e l'uso di altri ausiliari (elastici, dispositivi di ancoraggio temporaneo (TAD) e apparecchi ortodontici segmentali)⁵⁴.

Un'altra questione importante per il paziente è quella estetica. Troppi attacchi o una dimensione troppo grande sulla superficie buccale dei denti può compromettere l'invisibilità del trattamento gli allineatori, che ricordiamo essere emerso in numerose ricerche come una delle caratteristiche più importanti prese in considerazione dal paziente per la scelta del trattamento⁵⁴.

Le conclusioni di questo studio mostrano che la presenza di attacchi migliora significativamente la ritenzione degli allineatori e il movimento ortodontico dei denti. Inoltre, gli attacchi convenzionali, con almeno un bordo smussato, sono utili sia per il movimento dei denti che per l'ancoraggio. Sui denti anteriori, sarebbe preferibile posizionare gli attacchi sulle superfici linguali, sia per indicazioni terapeutiche che estetiche⁵⁴.

4.2 STUDIO SULLA PRECISIONE DEL MOVIMENTO DENTALE CON ALLINEATORI CON ATTACCHI OTTIMIZZATI, RETTANGOLARI E SENZA ATTACCHI

Secondo un altro studio di Fiorillo G. del 2022, che ha analizzato l'accuratezza del movimento di rotazione dei denti con le differenti configurazioni di attacchi negli allineatori, l'aggiunta degli attacchi negli allineatori migliora l'accuratezza della rotazione ma non significativamente⁵⁵.

Infatti, secondo questo studio, nonostante diversi autori abbiano dimostrato che l'uso di ausiliari (come gli attacchi) migliorano significativamente l'affidabilità e la prevedibilità dei movimenti pianificati utilizzando gli allineatori, sono stati riportati dei risultati contrastanti per quanto riguarda i movimenti di rotazione, come confermato da una recente revisione di Nucera et al⁵⁶.

Pertanto, lo scopo del presente studio è stato quello di valutare la precisione dei movimenti rotatori dentali con gli allineatori Invisalign® utilizzando diverse

configurazioni di attacco, confrontando quanto pianificato Simulazione ClinCheck® con i risultati clinici ottenuti⁵⁵. L'ipotesi nulla è che non esistano differenze tra la rotazione attesa e quella ottenuta con la terapia con gli allineatori trasparenti. L'età media dei partecipanti era 30.90 ± 12.59 anni. Nelle femmine (n=156, 73,58%), i denti ruotati erano maggiori rispetto ai maschi (n=56, 26,42%). Il dente in cui è stata rinvenuta più frequentemente la rotazione è stato il canino inferiore (n=90, 17,45%), seguito dall'incisivo inferiore (n=37, 17,45%). Le rotazioni erano più comuni nell'arcata inferiore (n=129, 60,85%). La più alta precisione mediana del movimento rotatorio è stata per gli attacchi ottimizzati (mediana [IQR] = 65 [41, 82]), e meno per gli allineatori senza attacchi (mediana [IQR] = 63 [39, 81]); tuttavia la differenza non era statisticamente significativa (p=.5) come è possibile osservare dalla Fig.40.

Characteristic	No attachment, N = 50	Optimized, N = 96	Rectangular, N = 66	p-value ^a
Median (IQR)	63 (39, 81)	70 (49, 81)	65 (41, 82)	.5

^aKruskal-Wallis test.

Fig. 40 Confronto generale della precisione tra i vari tipi di attacchi utilizzati.

La precisione del movimento rotatorio ortodontico utilizzando le varie configurazioni di attacco non era significativa in tutti i gruppi di età e in entrambi i sessi (Fig.41) Allo stesso modo non è stata riscontrata alcuna differenza significativa per quanto riguarda la precisione della rotazione ortodontica del movimento utilizzando le diverse configurazioni di attacco per tutti i denti come mostra la Fig.42.

Characteristic	n	Type of attachment			p-value ^a
		No attachment	Optimized	Rectangular	
Lower 1st premolar					
Median (IQR)	26	24 (24, 24)	77 (55, 82)	66 (40, 72)	.2
Lower 2nd premolar					
Median (IQR)	26	90 (73, 91)	68 (38, 85)	59 (38, 74)	.4
Lower canine					
Median (IQR)	40	63 (61, 65)	67 (48, 81)	80 (58, 91)	.4
Lower incisor					
Median (IQR)	37	55 (42, 85)	72 (54, 79)	37 (26, 54)	.5
Upper 1st premolar					
Median (IQR)	10	34 (34, 34)	83 (64, 91)	45 (45, 55)	.3
Upper canine					
Median (IQR)	28	48 (35, 62)	75 (57, 80)	49 (43, 73)	.2
Upper central incisor					
Median (IQR)	15	73 (53, 80)	59 (53, 60)	83 (83, 83)	.3
Upper lateral incisor					
Median (IQR)	30	52 (34, 72)	58 (40, 73)	69 (40, 85)	.6

^aKruskal-Wallis test.

Fig.42 Comparazione della precisione del movimento per ogni singolo dente e per ogni tipo di attacco utilizzato.

Predictors [Reference category]	Estimates	95% CI	p-value
(Intercept)	68.62	56.03 to 81.20	<.001
Teeth [lower 2nd premolar]	1.54	-12.05 to 15.14	.82
Teeth [lower canine]	7.2	-5.15 to 19.54	.25
Teeth [lower incisor]	-1.65	-14.18 to 10.89	.79
Teeth [upper 1st premolar]	-6.12	-24.33 to 12.09	.51
Teeth [upper canine]	1.57	-11.75 to 14.90	.82
Teeth [upper central incisor]	4.92	-10.96 to 20.80	.54
Teeth [upper lateral incisor]	1.04	-12.22 to 14.30	.88
Gender [male]	3.65	-4.12 to 11.42	.35
Age	-0.3	-0.58 to -0.03	.03
R ² /R ² -adjusted	0.046/0.003		

Fig.41 Analisi di regressione per accuratezza rispetto al tipo di dente, all'età e al sesso.

Questo studio osservazionale retrospettivo mediante tutte le misurazioni ottenute conclude mostrando che non ci siano differenze significativa tra gli attacchi ottimizzati e gli attacchi rettangolari per migliorare la precisione del movimento rotatorio. Inoltre, dimostrano che l'aggiunta degli attacchi aumenta la precisione ma non in maniera

significativa. Aggiungono anche che la mediana dell'accuratezza del movimento rotazionale è del 68.62%, e che il tipo di dente coinvolto, il sesso e l'età non influenzano la precisione del movimento di rotazione.

4.3 CASO DI ALLINEATORI INVISIBILI SENZA L'UTILIZZO DI ATTACCHI

L'evoluzione degli allineatori negli ultimi tempi ha portato molti brand a introdurre attacchi, elastici e mini-viti per andare ad ampliare le possibilità terapeutiche. È stato però visto d'altra parte, anche grazie alla visione che ha il paziente della metodica degli allineatori trasparente, come scelte che non hanno portato alcun beneficio sia in termini di confort che di estetica. Così alcuni marchi stanno adottando e sviluppando misure atte a semplificare la sistematica degli allineatori con aumento dell'estetica e del confort senza sacrificare l'efficacia.

Alla luce di queste considerazioni Putrino A. et al. nel suo studio del 2022 ha trattato un caso con l'utilizzo di allineatori senza attacchi che utilizza un design del margine gengivale dritto e alterna due thicknesses di allineatori spesse durante la sostituzione settimanale⁵⁷.

Lo spessore differenziato utilizzato in questo studio riprende inoltre un noto concetto di biomeccanica ortodontica sulla base della quale avviene la modulazione della luce e forze moderate producono un migliore effetto terapeutico di una forza costante. I risultati ottenuti con questo sistema sono incoraggianti. Le sedute sono state brevi, perché non c'è stato bisogno di posizionare gli attacchi (e del loro eventuale riposizionamento in caso di distacco). Inoltre, la possibilità di utilizzo degli allineatori a spessore differenziato da alternare settimanalmente garantisce maggiore stabilità e continuità nel trattamento riducendo l'usura complessiva di ciascun allineatore⁵⁷.

Il caso trattato in questo studio interessa una donna di 23 anni venuta in studio per un possibile trattamento ortodontico con allineatori trasparenti. La donna non era

disponibile ad effettuare il trattamento con l'uso degli attacchi. Aveva l'opinione che questi fossero non estetici e non confortevoli. Prima di soddisfare i suoi bisogni e le sue aspettative è stata valutata clinicamente con un'ortopantomografia e una teleradiografia in proiezione latero-laterale⁵⁷.

Come notiamo dalla Fig. 43 la paziente non si era mai sottoposta a terapia ortodontica, era in dentatura permanente, prima classe molare sia a destra che a sinistra, prima classe canina a destra e seconda a sinistra. C'è stata la contrazione dell'arcata superiore in entrambi i settori posteriori laterali e un moderato affollamento e contrazione dell'arcata inferiore con orientamento linguale e rotazione del secondo premolare in entrambi i lati. L'incisivo laterale inferiore destro era dislocato lingualmente. Il primo molare inferiore sinistro presentava un ampio restauro con sottostante terapia endodontica visibile sulla radiografia ortopantomamica. Inoltre, il secondo molare superiore sinistro mostrava la presenza di un restauro in resina composita. Il primo molare nella parte superiore destra mostrava una lieve alterazione del colore dello smalto senza significato patologico. Non sono state riscontrate carie o altre patologie, è stata effettuata l'ablazione professionale⁵⁷.

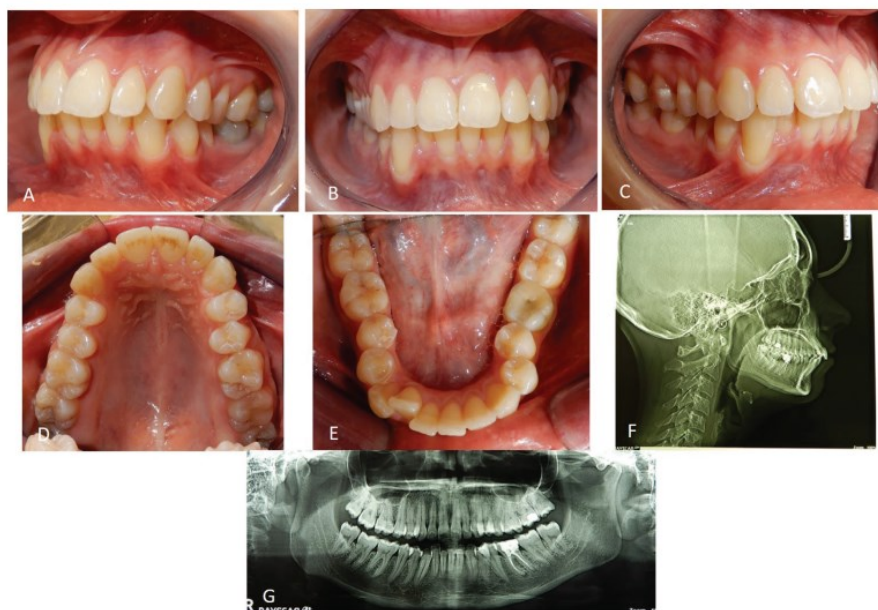


Fig.43 foto intraorali della paziente prima del trattamento (A-E) e iniziali radiografie (F, G).

Dopo avere analizzato la cefelometria sono stati individuati gli obiettivi del trattamento: risolvere l'affollamento inferiore, l'espansione dei settori posteriori laterali in entrambe le arcate, ridurre la rotazione degli elementi dentali ruotati e ridurre la pro-inclinazione⁵⁷.

Il setup indicava la necessità di 20 allineatori superiori e 20 inferiori per un totale di 10 movimenti per arcata (per un periodo totale di 5 mesi di trattamento)⁵⁷.

Il sistema Sorridi® utilizza due allineatori in PET-G con diversi spessori definiti come “soft” e “hard” per ogni movimento programmato. l'allineatore morbido ha uno spessore di 0,06 mm e viene utilizzato per primo per una settimana. Successivamente viene utilizzato lo spessore duro di 0,08 mm per un'altra settimana fino al successivo allineatore morbido. In questo modo sono stati alternati settimanalmente i due spessori. Il disegno del margine gengivale non è smerlato ma dritto subito oltre lo zenit gengivale di 2 mm. Prima di applicare il primo e il secondo allineatore morbido è stata fatta una riduzione interprossimale. A partire dal quinto allineatore “hard” sono stati preinseriti una coppia di divots per dare torque mesiale al canino superiore destro nella configurazione V1-L1, cioè sulla superficie distale linguale del dente. Alla fine del trattamento non sono state ritenute particolarmente urgenti ulteriori rifiniture. Sono stati applicati retainers. Sono state effettuate le foto intraorali a fine trattamento, le radiografie e le valutazioni cefalometriche come mostrato dalla Fig.44.

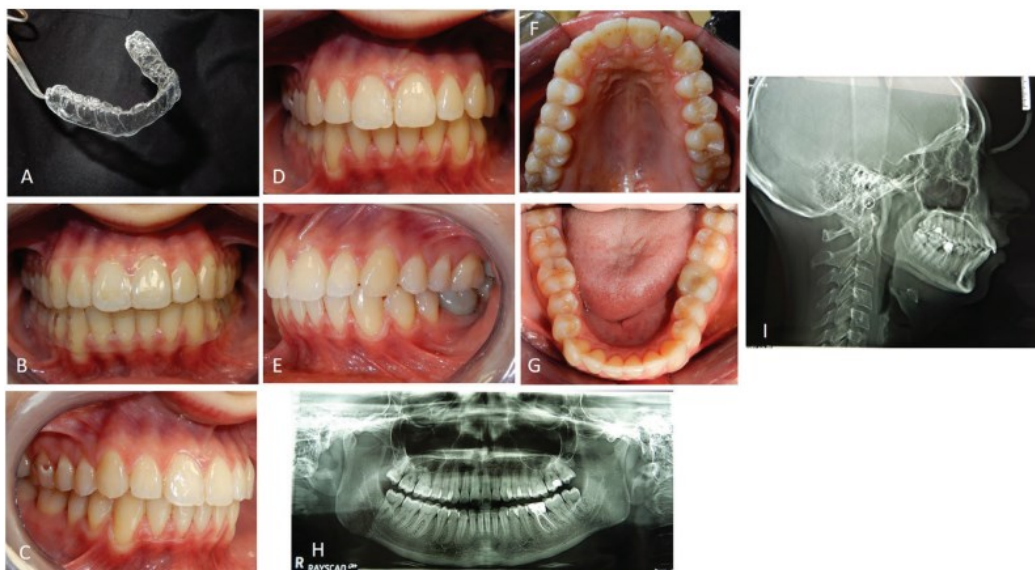


Fig.44 allineatore SORRIDI® (A), il paziente indossa entrambi gli allineatori a SORRIDI®, foto intraorali post trattamento (C-G) e radiografie post trattamento(H, I).

Nell'arcata superiore è stato effettuato uno stripping di 0.20mm per performare mesialmente e distalmente il primo e il secondo premolare. Nell'arcata dentale inferiore è stato eseguito lo stripping di 0,10 mm mesialmente e distalmente agli incisivi centrali, di 0,20mm mesialmente e distalmente ai canini, al primo e secondo premolare e al primo e secondo molare⁵⁷.

Le distanze intermolare e intercanina dell'arcata superiore sono rimaste invariate come previsto dal setup virtuale. Nell'arcata inferiore invece le distanze intermolare e intercanina sono cambiate, come previsto dal setup virtuale. L'aumento della distanza inferiore di 0,65 mm e l'aumento delle distanze inferiori intermolarari di 2,25 mm tra le cuspidi disto-buccali e l'aumento di 2,44 mm tra le cuspidi mesio-linguali. Anche le distanze tra le cuspidi buccali e quelle palatali del primo e del secondo premolare superiore sono aumentate, con una differenza di distanza di 0,58 e 2,76 rispettivamente tra le cuspidi buccali del primo e secondo premolare. Questa importante variazione di questi valori va attribuita ai movimenti di torque corono-radicolare e alla derotazione. Anche i premolari inferiori hanno subito notevoli spostamenti significativi con un'importante variazione delle distanze tra le cuspidi buccali e linguali relativa alla correzione delle rotazioni e al torque corono-radicolare di questi elementi. Le distanze tra le cuspidi vestibolari del primo e del secondo premolare inferiore sono aumentate rispettivamente di 7,49 e 1,31 mm, mentre le distanze tra le cuspidi linguali sono aumentate di 5,93 e 1,24 mm. L'unica coppia di divots preinseriti sugli allineatori "hard" (dal quinto) per guidare il torque mesiale, in corrispondenza del canino superiore destro non hanno avuto effetto sulla distanza intercanina. Sul gruppo anteriore inferiore è notevole non solo la vestibolarizzazione dell'incisivo laterale destro, ma anche il grado di intrusione tra i -0,26mm e -0,11mm⁵⁷.

Nella comunità scientifica si è molto dibattuto sulla capacità degli allineatori trasparenti di ottenere risultati soddisfacenti anche nel caso di terapie che richiedono movimenti dentali complessi. Gran parte della produzione scientifica in nostro possesso di allineatori trasparenti deriva dall'uso del sistema Invisalign®, che è forse il sistema più conosciuto e diffuso in Italia. Esperienze con diversi sistemi non solo come marchio commerciale ma anche e soprattutto per caratteristiche e protocolli diversi trovano più difficile emergere in letteratura. Pochi studi infatti, ad esempio, trattano del contributo che il margine gengivale dell'allineatore porta alla terapia. Quindi, sappiamo che per definizione un allineatore può avere un bordo smerlato, direttamente sopra lo zenit gengivale, oppure dritti ma estesi ben 2 mm oltre la gengiva zenit, ma non abbiamo molti studi al riguardo che giustificano la scelta dell'una o dell'altra tipologia. È nell'estensione del bordo dritto che risiede la capacità dell'allineatore di diventare più ritentivo. Ciò è particolarmente importante quando andiamo ad usare, come nel caso di questo studio, allineatori senza attacchi che hanno una funzione ritentiva. Estendere l'allineatore oltre il bordo gengivale con un design non smerlato riduce la resistenza e migliora l'adesione dell'allineatore al dente⁵⁷.

Abbiamo un altro fattore importante da considerare⁵⁷.

L'applicazione degli attacchi introduce possibili elementi di instabilità ed inefficienza del sistema dente-allineatore perché soggetto ad imperfezioni (dipendente dall'operatore) e a decementazioni⁵⁷.

Eppure, gli studi continuano ad emergere in letteratura, che affronta la questione degli attacchi da diversi punti di vista. Sono pochi gli studi che evidenziano le potenzialità dei sistemi allineatori senza questi bottoni in resina a favore di altre soluzioni come divots o dimples. Questi dimples impressi sulla superficie degli allineatori, a seconda delle configurazioni, possono essere ritentivi o guidare movimenti anche moderatamente complessi di tip, torque e traslazione⁵⁷.

I risultati dello studio clinico del report in esame dovrebbero incoraggiare i clinici alla conoscenza e all'utilizzo di sistematiche semplificate, che in modo efficiente e

prevedibile consentono di raggiungere i risultati prefissati senza ulteriori refinements. Tuttavia, questi risultati devono essere valutati su un campione più vasto e diversificato da un punto di vista clinico, così da avere una visione più completa delle indicazioni cliniche e delle eventuali limitazioni di applicabilità delle procedure. Devono essere uno stimolo a continuare la ricerca nel campo dell'ortodonzia con allineatori⁵⁷.

5 STUDIO CASE REPORT

5.1 MATERIALI E METODI

Un paziente di sesso femminile di 18 anni di origine caucasica si è recata presso lo studio privato della Dottoressa Emanuela Caciari per una visita ortodontica, volta a cercare una soluzione per risolvere il disallineamento dentale.

La paziente è gravemente odontofobica, a tal punto che siamo stati avvisati dalla madre di non pronunciare la parola “denti” durante la visita, perché la cosa la avrebbe portata a svenire come era successo effettivamente ad una visita precedente nello studio con un altro collega. È una cantante lirica per professione e il discomfort che provava per il suo sorriso, la bloccava, mettendola in condizione di non riuscire a cantare in pubblico e di non riuscire neanche a fare determinati vocalizzi, che mostravano la sua dentatura, davanti al suo coach. Si è affidata completamente, sono state fatte una scansione diagnostica e una cbct per valutare la situazione iniziale. In seguito, dall'analisi dei dati a disposizione è stato elaborato un piano di trattamento spiegando soltanto al genitore la complessità della situazione considerata la particolare sensibilità della ragazza, che aveva grandi disturbi rispetto al suo sorriso e alla sua facies.



scansione iniziale



ortopantomica iniziale

Dall' esame clinico, dalle scansioni e dagli esami radiografici rileviamo come la paziente sia in I classe scheletrica normo-verti-bite, con classe canina e molare non rilevabili a causa delle diverse anomalie della dentizione e con Bolton alterato a causa

delle varie agenesie. La forma dell'arcata è a clessidra, contratta dai settori intermedi in senso mesiale. Si notano la contemporanea presenza di elementi permanenti e decidui ben oltre l'età di normale permuta: in arcata superiore agenesia di 1.2, trasposizione di 1.3 con 1.4, con 1.4 quasi in posizione 1.2, ectopia palatale di 1.5 con una rotazione di oltre 78°, permanenza in arcata di 5.2, 5.5, 6.3, 6.5; agenesia di 2.2, trasposizione di 2.3 al posto di 2.2, perdita completa di spazio per 2.2, 2.3 e 2.5 palatali.

In arcata inferiore altresì troviamo permanenza in arcata di 8.5. Inoltre, 4.5 disposto lingualmente con una inclinazione di 29,9° e una rotazione di 15,6°, anche il 3.5 è disposto lingualmente con una inclinazione di 19° e una rotazione di 24°, entrambi in sotto-occlusione.

La complessità della realizzazione del piano di trattamento era dovuta alla scelta degli elementi decidui da mantenere rispetto a quelli da sacrificare. Al fine di rendere la terapia ortodontica più semplice e predicibile possibile si è deciso quindi di estrarre i quinti superiori, (5.5 e 6.5) e il 8.5; riguardo quest'ultimo la decisione è stata semplice in quanto era già presente in arcata il 4.5, che era eretto in posizione linguale.

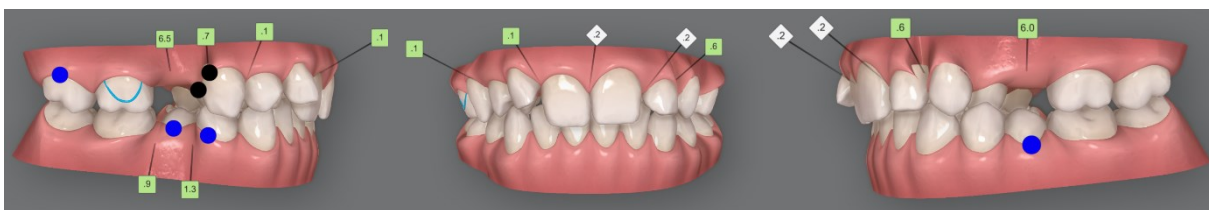
Per quanto riguarda l'arcata superiore 5.5 e 6.5 sono stati estratti per permettere di recuperare una simmetria d'arcata e per portare in posizione corretta 1.5 e 2.5. Nel primo quadrante si è deciso di mantenere 5.2 perché radiograficamente mostrava un apparato radicolare adeguato a tollerare la terapia ortodontica nel tempo. Nel secondo quadrante è stata eseguita l'estrazione del 6.3 in posizione 2.2 ed è stato deciso di vestibolarizzare il 2.3 in posizione 2.2. Inoltre, è stato deciso di riposizionare 2.4 e lasciare distale a 2.4 uno spazio per un futuro impianto. Tale piano di trattamento è stato elaborato per rendere le due arcate più simmetriche possibili. È stato calcolato l'indice di Bolton che mostrava dei valori sfavorevoli considerando gli elementi permanenti assenti e contestualmente la presenza in arcata di denti decidui. Inoltre, la letteratura scientifica, tra cui la già citata classificazione di Peck del 1995²³, suggerisce di lasciare l'ordine dei denti trasposti, senza tentare di invertirne la posizione. A complicare il quadro occlusale vi è la presenza del 1.5 in cross-bite in ectopia palatale.

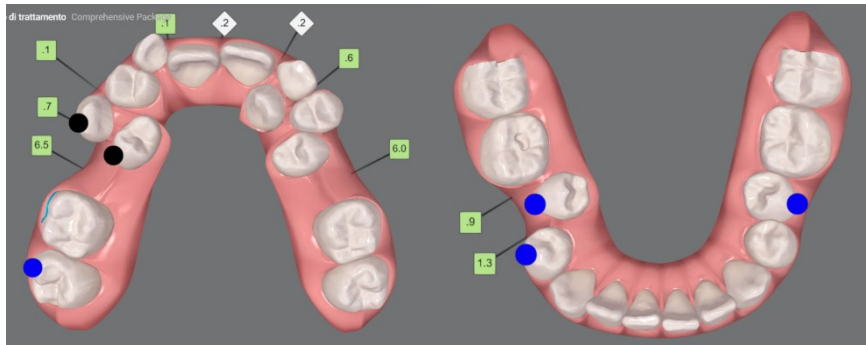
Specularmente, anche il 2.4 è in morso crociato. Per le suddette motivazioni è stato deciso di lasciare l'ordine trasposto dei denti, considerando l'elevata complessità del caso.

La paziente ha dovuto effettuare delle lezioni specifiche dal suo maestro di canto per recuperare la modulazione della voce, che era cambiata dopo l'estrazione dei decidui. È stata poi riesaminata e sono state scattate le fotografie extra e intra orali dopo essere stata sottoposta alle estrazioni.

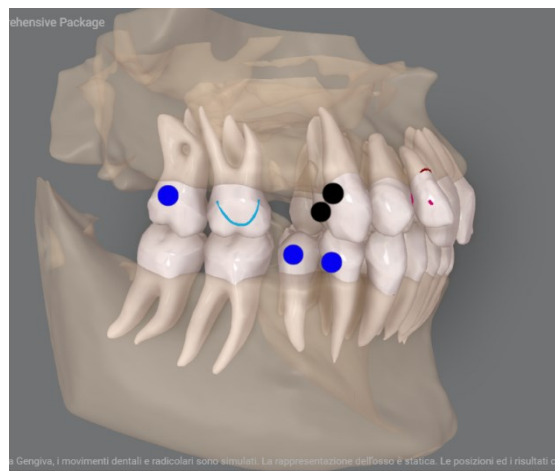


Foto extra ed intra orali iniziali





ClinCheck® iniziali



Combinazione file DICOM iniziale e file STL iniziale

Dopo aver provveduto alle necessarie estrazioni dei decidui (5.5, 6.2, 6.5, 8.5) il 10 Gennaio 2023 è iniziata la prima fase del trattamento Invisalign®. Sono stati utilizzati in questa prima fase 44 aligners Invisalign® senza l'utilizzo di attachment nell'arcata superiore e con l'utilizzo di solo due attachment rettangolari orizzontali su 3.5 e 4.5 per maggior ritenzione.

Fin dall'inizio si è cercata un'espansione dell'arcata superiore e la creazione di un'arcata parabolica, tondeggiante, ripristinando soprattutto i diametri anteriori e laterali. Quindi nella prima fase il movimento della parte posteriore dei 6 e 7 è stato quasi nullo, è avvenuta solo la derotazione di 1.6-1.7-2,6-2.7, senza aver eseguito alcun tipo di movimento in senso sagittale proprio per mantenere il diametro e mantenere un ancoraggio posteriore mentre venivano fatti gli spostamenti anteriori. È stato deciso di mantenere gli spazi aperti, non eseguendo IPR, ma aumentando lo spazio tra 1.4 -1.3 e

1.3-1.5 per avere la maggior quantità di SmartTrack™ possibile per abbracciare i denti e spostarli nella posizione corretta senza attachment.

Per quanto riguarda il 5.2 è stato programmato un movimento in posizione 1.2, rallentando i movimenti il più possibile per evitare uno stress eccessivo alla radice. Inoltre, è stato creato uno spazio distale a 2.5 per un successivo impianto post ortodontico.

Il movimento più complesso è stata la rotazione di oltre 78° e lo spostamento vestibolare di 2.5.

A Gennaio 2024 è stato effettuato il primo refinement, sono state effettuate nuove fotografie intra ed extra orali.

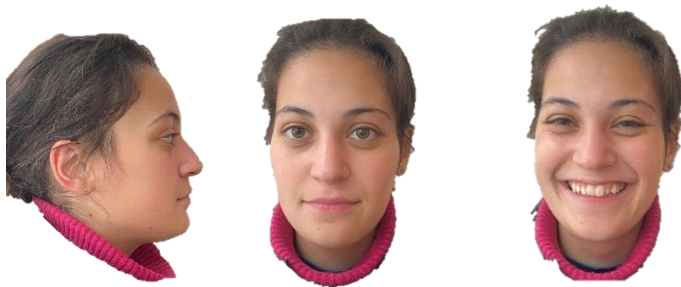


Foto extra ed intra orali intermedie



Scansioni intermedie

Nella seconda fase sono state utilizzate 24 allineatori, che ci hanno permesso di perfezionare la posizione degli elementi.

5.2 RISULTATI E DISCUSSIONE

Il 19 Settembre 2024 è stato eseguito il secondo refinement. Sono state fatte le foto intra ed extra orali, le scansioni e l'ortopantomografica e la cbct.



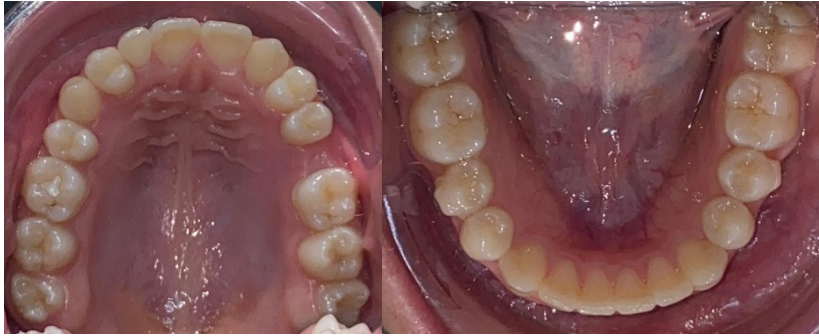
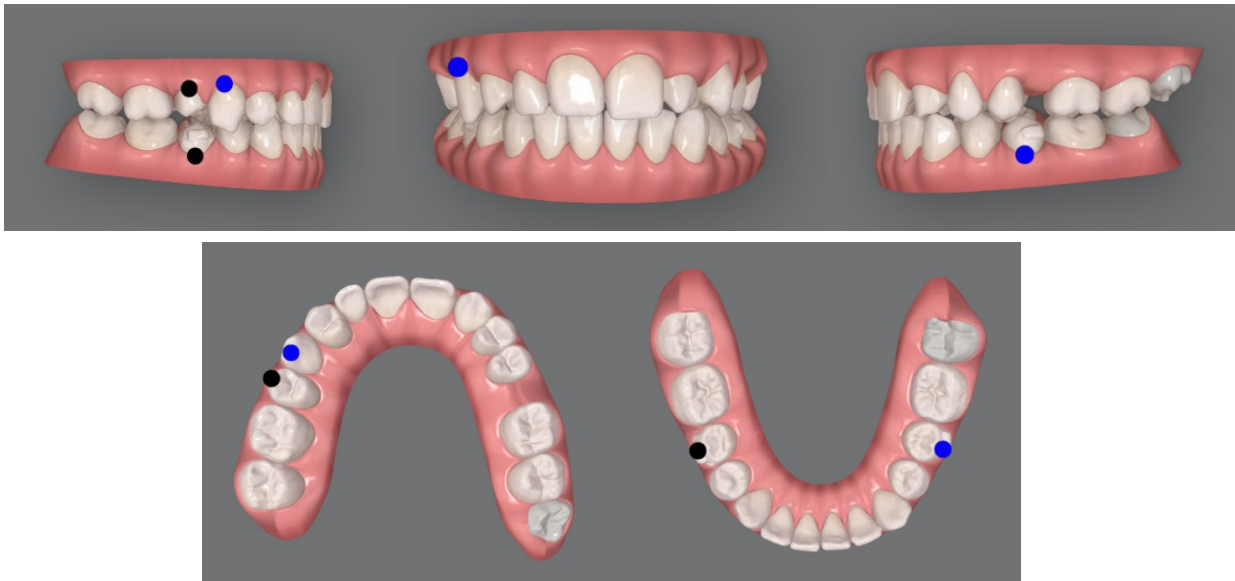


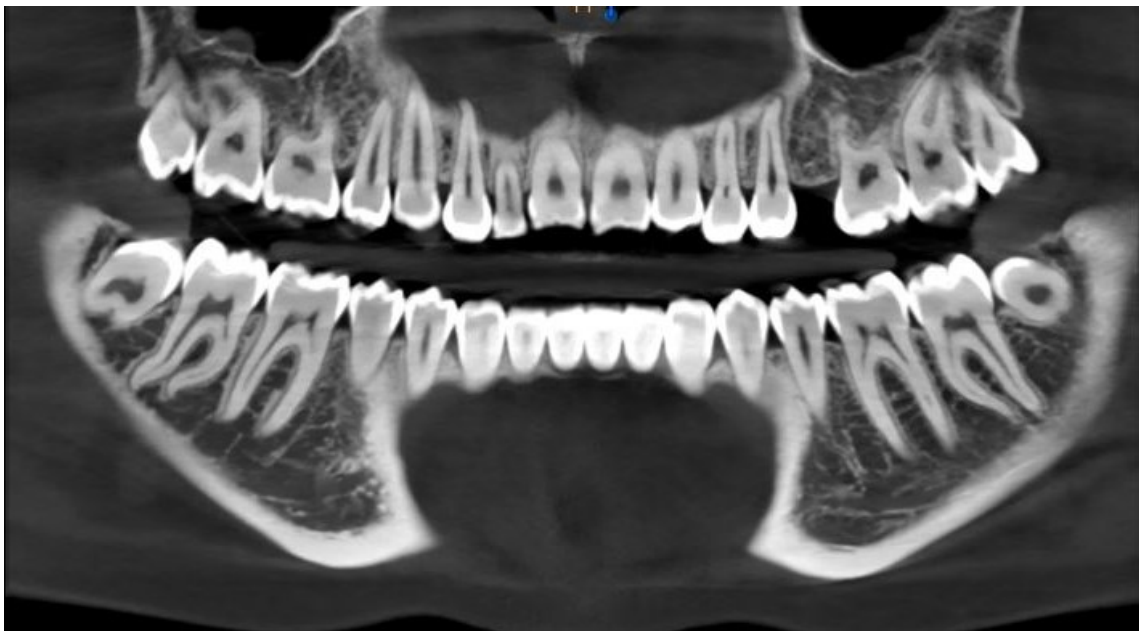
Foto extra ed intra orali finali



Scansione finale



ClinCheck® finale



cbct finale con taglio frontale

Nonostante l'elevata complessità del caso con l'utilizzo di 68 allineatori, è stato possibile ripristinare un'armonia nelle arcate, gestire lo spazio per gli elementi permanenti e i decidui in arcata superiore, espandere i settori anteriori e correggere la forma dell'arcata superiore ad omega, ripristinare i corretti diametri antero-posteriori mantenendo le linee mediane centrate, mantenere overjet e overbite nella norma, avere contatti puntiformi nei settori posteriori e assenza di contatti da canino a canino,

assenza di precontatti traumatici sul 5.2, una corretta inclinazione degli incisivi e il mantenimento dello spazio per un futuro impianto in zona 2.5. Si è deciso come già spiegato in precedenza di mantenere in arcata 5.2, di non correggere la trasposizione di 1.3 con 1.4 e di mantenere 2.3 al posto di 2.2.

Il cross iniziale di 2.3 è stato corretto. La correzione del cross con il sistema Invisalign® risulta più agevole rispetto al trattamento con terapia fissa con i brackets tradizionale perché lo spessore degli allineatori che è 0,75 mm per arcata, per un totale di 1,5 mm crea naturalmente un rialzo occlusale; quindi, durante le 22 ore al giorno che erano state consigliate per il trattamento con allineatori, tale rialzo ha permesso un più agevole spostamento in senso vestibolare e la correzione del cross. Anche questa è stata una delle scelte che ha privilegiato l'utilizzo degli allineatori anziché la terapia fissa tradizionale.

È stata eseguita una pianificazione del piano del trattamento andando a rallentare i movimenti per favorire la rotazione di 1.5 e andando a creare, sia lo spazio nella forma di arcata, sia dal punto di vista verticale togliendo le interferenze a 1.5 nel corso dello spostamento. Sono state tolte tutte le interferenze occlusali. Il movimento che ci interessava riguardante il 1.5 era di eseguire la derotazione e la traslazione vestibolare, costruendo un corridoio di spazio libero da interferenze e precontatti in direzione vestibolare per permettere lo spostamento corporeo di corona e radice di 1.5 fino alla posizione corretta. Lo stesso principio è stato utilizzato anche nel secondo quadrante, per distalizzare 2.4 e per correggere i morsi crociati compreso quello di 2.3.

Sono stati bloccati i sestini e i settimi per avere un ancoraggio posteriore e soprattutto nella prima fase, per mantenere una dimensione sagittale corretta e sufficiente, considerando che la paziente era già in prima classe molare, e poi andando a recuperare lo spazio, con il cambio della forma di arcata.

Durante i movimenti di espansione, non è stata fatta una sequenzializzazione 50% o 100%, cioè non è stato spostato un dente alla volta, ma tutta l'espansione è stata fatta insieme, è stato fatto un movimento che viene chiamato da alcuni studiosi a "blooming

flower”, cioè è stata fatta sbocciare l’arcata facendo aprire e spostare i denti tutti quanti insieme. È stato solo rallentato il movimento di 5.2 per preservarne la radice.

È stata ottenuta l’estrusione di 1.5 senza attachment, che ricordiamo essere ectopico e privo di contatti. Nella fase finale è stata data un’iperestrusione, sempre per tentare di compensare il fatto che non ci fossero gli attachments. Anche a 4.5 è stata data un’iperestrusione in senso vestibolare fino a creare dei contatti forti tra premolari nella seconda fase.

La scelta di non utilizzare attachment è stata dettata dalla iniziale forma di arcata e dalla disposizione degli elementi dentali che garantivano un ottimo fitting degli aligner; perciò, non è stato necessario fornire un ulteriore aumento di ritenzione da parte degli attachments, che non sono stati necessari grazie all’utilizzo di movimenti calibrati per ottenere la rotazione e contemporanea traslazione vestibolare di 2.5. Questa scelta è legata anche alla forma di arcata estremamente contratta e al fatto che i molari sono estremamente dislocati, inoltre così è stato reso agevole da parte del paziente l’inserzione e la disinserzione degli allineatori. Inoltre, il 5.2 aveva delle radici che non si volevano sollecitare ulteriormente con gli attacchi, per evitare un riassorbimento e un’applicazione delle forze troppo pesanti e poi perché comunque per lo spostamento del 2.5 che è lo spostamento più importante perché è una rotazione di oltre 78 gradi e vi era lo spazio sufficiente per effettuare la rotazione.

Nell’ arcata inferiore invece sono stati utilizzati solo due attachment orizzontali rettangolari da 0,4 mm su 3.5 e 4.5 perché all’inizio gli elementi erano molto lingualizzati e inclinati in senso linguale, perciò, la superficie di ritenzione era minima. Quindi, per creare una superficie ritentiva maggiore, è stato valutato che gli attachment fossero indispensabili. Nella prima fase abbiamo ottenuto un movimento radicolare di 4.5 di 4,00 mm e un movimento radicolare di 3.5 di 4,37 mm.

Overjet iniziale era 2 mm poi è stato ridotto a 1,3 mm e poi con il refinement è stato riportato a 2 mm. L’overbite ad inizio era 3.7 mm abbiamo terminato la prima fase con un overbite di 1.1 mm.

Le valutazioni di diametri ossei e di affidabilità di radici decidue sono state calcolate con CBCT.

L'utilizzo di allineatori Invisalign® senza attacchi ci ha permesso di ottenere con l'uso di 68 allineatori, per un periodo compreso tra Gennaio 2023 e Settembre 2024 i seguenti risultati:

- Allineamento in arcata di tutti gli elementi.
- Mantenimento della dimensione sagittale e verticale con overjet e overbite nella norma.
- La correzione di tutti i cross.
- Una soddisfazione dal punto di vista estetico, successivamente poi si deciderà se effettuare delle ricostruzioni, soprattutto a livello di 2.3, per renderlo più simile ad un incisivo laterale oppure lasciarlo con la sua morfologia.
- Creazione di uno spazio per l'impianto.
- L'arcata inferiore è stata corretta creando una simmetria normale tra la posizione di 3.5 e 4.5.
- Dall'ortopantomografia e dalla cbct possiamo apprezzare parallelismo delle radici.
- Un'alta soddisfazione della paziente, che ora sorride tranquillamente, si esibisce in pubblico e non si vergogna più del suo sorriso.

5.3 CONCLUSIONE

L'uso di aligners Invisalign® senza attachment ci ha permesso di risolvere un caso complesso di anomalie della dentizione, di rotazione grave e di ectopia.

Considerando l'estrema complessità iniziale del caso e tutte le variabili dovute alla rarità della concomitanza di fattori come agenesie multiple, trasposizioni abbiamo ottenuto il raggiungimento degli obiettivi che ci eravamo prefissati.

Quindi possiamo evincere che l'utilizzo della sistematica Invisalign® senza l'utilizzo di attachment è parimenti efficace sia ad Invisalign® con attachment sia ad una

tradizionale tecnica fissa. Con i vantaggi legati all' estetica del paziente, alla velocità del trattamento (sono stati impiegati 21 mesi) e l'assenza delle classiche lesioni sulla superficie buccale delle guance dovute allo sfregamento dei bracket. La scelta di non utilizzare attachment è stata dettata dalla iniziale forma di arcata e disposizione degli elementi dentali che garantivano un ottimo fitting degli aligners e dall'utilizzo di movimenti calibrati per ottenere la rotazione e contemporanea rototraslazione degli elementi ectopici.

La letteratura scientifica è gravemente carente in materia, pertanto questo studio con i suoi limiti non può rappresentare da solo una verità incontrovertibile. Sono necessari ulteriori randomized controlled trial (RCT) per confermare la possibilità di utilizzare gli allineatori senza attacchi in determinate condizioni cliniche.

6 BIBLIOGRAFIA

- 1) Patologia dei tessuti duri, Albert Schuurs,(2013), Wiley-Blackwel
- 2) De Santis D, Sinigaglia S, Faccioni P, Pancera P, Luciano U, Bertossi D, Lucchese A, Albanese M, Nocini PF. Syndromes associated with dental agenesis. *Minerva Stomatol.* 2019 Feb;68(1):42-56. doi: 10.23736/S0026-4970.18.04129-8. PMID: 30667203.
- 3) Bart J. Polder¹, Martin A. Van't Hof² , Frans P. G. M. Van der Linden¹ and Anne M. Kuijpers-Jagtman¹(2004) A meta-analysis of the prevalence of dental agenesis of permanent teeth, *Community Dent Oral Epidemiol*; 32: 217–26
- 4) Ringqvist M, Thilander B. The frequency of hypodontia in an orthodontic material. *Sven Tandlak Tidskr* (1969); 62: 535–41.
- 5) Bailit HL. Dental variation among populations: an anthropologic view. *Dent Clin North Am* (1975); 19: 125–39
- 6) Davis PJ. Findings from 1163 panelipse radiographs of 12-year-old children living in Hong Kong. *Community Dent Health* (1988); 5: 243–9.

- 7) Schulze C. Anomalien und Missbildungen der menschlichen Zähne. Berlin: Quintessenz Verlags-GmbH, (1987).
- 8) Pindborg JJ. Pathology of the dental hard tissues. Copenhagen: Munksgaard, (1970).
- 9) Lavelle CLB et al. Cusp pattern, tooth size and third molar agenesis in the human mandibular dentition. *Arch Oral Biol* (1970); 15: 227–37.
- 10) Levesque GY et al. Sexual dimorphism in the development, emergence, and agenesis of the mandibular third molar. *J Dent Res* (1981); 60: 1735–41.
- 11) Davies PL. Agenesis of teeth of the permanent dentition: a frequency study in Sydney schoolchildren. *Aust Dent J* (1968); 13: 146–50
- 12) K. Carter and S. Worthington, (2015) Morphologic and Demographic Predictors of Third Molar Agenesis: A Systematic Review and Meta-analysis, *Journal of Dental Research*
- 13) Meena Kulkarni, Tripti Agrawal, Supriya Kheur, (2011), Tooth Agenesis: Newer Concept, *Clin Pediatr Dent* 36(1): 65–70
- 14) Wang XP, Åberg T, James MJ, Levanon D, Groner Y, Thesleff I. Runx2 (Cbfa1) Inhibits Shh Signaling in the Lower but not Upper Molars of Mouse Embryos and Prevents the Budding of Putative Successional Teeth. *J Dent Res*, 84: 138–143, (2005)
- 15) Pirinen S, Arte S, Apajalahti S. Palatal Displacement of Canine is Genetic and Related to Congenital Absence of Teeth. *J Dent Res*, 75: 1742–1746, (1996).
- 16) Bowers S, Guo DC, Cavender A, Xue L, Evans B, King T, Milewicz D, Dsouza RN. A Novel Mutation in Human PAX9 Causes Molar Oligodontia. *J Dent Res*, 81: 129–133, (2002)
- 17) Zofia Kielan-Grabowska, Beata Kawala, Joanna Antoszewska-Smith, (2019), Hypodontia - not only an orthodontic problem, *Dent Med Probl.*;56(4):373–377. doi: 10.17219/dmp/109903. PMID: 31794164.

- 18) Parkin N., Elcock C., Smith R.N., Griffin R.C., Brook A.H. The aetiology of hypodontia: the prevalence, severity and location of hypodontia within families. *Arch Oral Biol.* (2009);54:S52–S56..
- 19) Krasuska-Sławińska E., Brożyna A., Dembowska-Bagińska B., Olczak-Kowalczyk D. Antineoplastic chemotherapy and congenital tooth abnormalities in children and adolescents. *Conte Oncol.* (2016);20:394–401
- 20) Al-Ani A.H., Antoun J.S., Thomson W.M., Merriman T.R., Farella M. Hypodontia: an update on its etiology, classification, and clinical management. *BioMed Res Int.* (2017);2017:9378325
- 21) Moschos A. Papadopoulos, Maria Chatzoudi, and Vassilis Karagiannisc.(2009) Assessment of characteristic features and dental anomalies accompanying tooth transposition: A meta-analysis; *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*
- 22) Moschos A. Papadopouloa ; Maria Chatzoudib ; Eleftherios G. Kaklamanos. (2010); Prevalence of Tooth Transposition. *A Meta-Analysis Angle Orthodontist*, Vol 80, No 2
- 23) Sheldon Peck, DDS, MScD, a and Leena Peck, DMD, MSD, (1995) Classification of maxillary tooth transpositions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* Peck and Peck 507 Volume 107, No. 5
- 24) Shapira Y, Kuflinec MM. Tooth transpositions--a review of the literature and treatment considerations. *Angle Orthod.* (1989) Winter;59(4):271-6.
- 25) Weeks EC, Power SM. The presentations and management of transposed teeth. *Br Dent J.* (1996) Dec 7-21;181(11-12):421-4. doi: 10.1038/sj.bdj.4809280. PMID: 8990564.
- 26) Thukral R., Gupta A. (2015). Invisalign: Invisible Orthodontic treatment -a review. *Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research.*

- 27) 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.
- 28) Upadhyay M., Arqub S.A. (2022). Biomechanics of Clear Aligners: Hidden Truths & First Principles. Journal of the World Federation of Orthodontists, 12–21
- 29) <https://www.invisalign.it/frequently-asked-questions>
- 30) 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
- 31) Cozza P., Pavoni C., Lione R., Approccio sistematico alla terapia ortodontica con allineatori. Introduzione al trattamento con allineatori, Milano, Edra, (2020)
- 32) Proffit, W. R., Fields Jr., H. W., Larson, B. E., & Sarver, Ortodonzia moderna. Principi meccanici nel controllo delle forze ortodontiche, Milano, Edra, (2021).
- 33) Retrouvey J.M., Kousaie K., Pera S. Meccanica di base applicata all'ortodonzia», s.d.
- 34) Proffit, W. R., Fields Jr., H. W., Larson, B. E., & Sarver, D. M. (2021). Ortodonzia moderna. Milano: Edra.
- 35) Jiang, J., Ma, X., Zhang, Y., Han, Y., & Wang, K. (2018). Orthodontic Force Measuring Devices: Current and Future. Recent Patents on Mechanical Engineering
- 36) Quinn, R. S., & Yoshikawa, D. K. (1985). A reassessment of force magnitude in orthodontics. Am. J. Orthod
- 37) Schwarz, A. M. (1932). Tissue changes incidental to orthodontic tooth movement. International Journal of Orthodontia, Oral Surgery and Radiography, 331-352

- 38) Meeran, N. A. (2012). Biological response at the cellular level within the periodontal ligament in application of orthodontic force - an update. *Journal of Orthodontic Science*, 1, 2-10
- 39) Robling, A. G., & Turner, C. H. (2009). Mechanical Signaling for Bone Modeling and Remodeling. *Crit. Rev. Eukaryot Gene Expr.*, 319-338
- 40) Ross, M. H., & Pawlina, W. (2016). *Istologia*. Rozzano: Casa Editrice Ambrosiana
- 41) Bonewald, L. F., & Johnson, M. L. (2008). Osteocytes, Mechanosensing and Wtn Signaling. *Bone*, 606-615.
- 42) Nuti, R., & Minisola, S. (2010). Nuove prospettive nella terapia dell'osteoporosi: il ruolo dell'inibizione del RANK ligando. *Rivista della Società Italiana di Medicina Generale*, 15-25
- 43) Lindhe, J., & Lang, N. P. (2016). *Parodontologia clinica e implantologia orale* (VI ed.). Milano: Edi.Ermes.
- 44) Li, Y., Jacox, L. A., Little, S. H., & Ko, C.-C. (2018). Orthodontic tooth movement: the biology and clinical implications. *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*(34), 207-214
- 45) Stuteville, O. (1938). A Summary Review of Tissue Changes Incident to Tooth Movement. *The Angle Orthodontist*, 8(1), 1-20.
- 46) Graber, Vanarsdall, Vig, & Huang. (2017). *Orthodontics - current principles and techniques* (VI ed.). St. Louis, Missouri: Elsevier.
- 47) Tai S., *Allineatori trasparenti. Biomeccanica e gestione clinica. Confronto tra apparecchi edgewise e allineatori trasparenti*, Quintessenza, (2020)
- 48) Nucera R, Dolci C, Bellocchio AM, Costa S, Barbera S, Rustico L, Farronato M, Militi A, Portelli M. Effects of Composite Attachments on Orthodontic Clear Aligners Therapy: A Systematic Review. *Materials* (Basel). (2022) Jan 11;15(2):533. doi: 10.3390/ma15020533. PMID: 35057250; PMCID: PMC8778413.

- 49) Rossini, G.; Parrini, S.; Castroflorio, T.; Deregibus, A.; Debernardi, C.L. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *Angle Orthod.* (2015), 85, 881–889
- 50) Efficient Design of a Clear Aligner Attachment to Induce Bodily Tooth Movement in Orthodontic Treatment Using Finite Element Analysis. *Materials* (2021), 14, 4926
- 51) Alam MK, Kanwal B, Shqaidef A, Alswairki HJ, Alfawzan AA, Alabdullatif AI, Aalmunif AN, Aljrewey SH, Alothman TA, Shrivastava D, Srivastava KC. A Systematic Review and Network Meta-Analysis on the Impact of Various Aligner Materials and Attachments on Orthodontic Tooth Movement. *J Funct Biomater.* (2023) Apr 10;14(4):209. doi: 10.3390/jfb14040209. PMID: 37103299; PMCID: PMC10141153
- 52) D’Antò, V.; Bucci, R.; De Simone, V.; Huanca Ghislanzoni, L.; Michelotti, A.; Rongo, R. Evaluation of Tooth Movement Accuracy with Aligners: A Prospective Study. *Materials* (2022), 15, 2646
- 53) Ho, C.T.; Huang, Y.T.; Chao, C.W.; Huang, T.H.; Kao, C.T. Effects of different aligner materials and attachments on orthodontic behavior. *J. Dent. Sci.* (2021), 16, 1001–1009
- 54) Jedliński M, Mazur M, Greco M, Belfus J, Grocholewicz K, Janiszewska-Olszowska J. Attachments for the Orthodontic Aligner Treatment-State of the Art-A Comprehensive Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* (2023) Mar 2;20(5):4481. doi: 10.3390/ijerph20054481. PMID: 36901488; PMCID: PMC10001497
- 55) Fiorillo G, Campobasso A, Croce S, et al. Accuracy of clear aligners in the orthodontic rotational movement using different attachment configurations. *Orthod Craniofac Res.* (2024);00:1-8. doi:10.1111/ocr.12846

56) Nucera R, Dolci C, Bellocchio AM, et al. Effects of composite attachments on orthodontic clear aligners therapy: a systematic review. *Materials (Basel)*. (2022);15(2):53

57) Putrino A, Abed MR, Lilli C. Clear aligners with differentiated thickness and without attachments – A case report. *J Clin Exp Dent*. (2022);14(6):e514-9