



# La Fisica in Ortodonzia



Dr. Jean-Marc Retrouvey UMKC

Dr. Katherine Kousaie McGill

Translation : Drs. Stefano Pera and Mauro  
Cozzani



**IFDE**  
INTERNATIONAL  
FOUNDATION FOR DENTAL EDUCATION

# Meccanica di base applicata all'ortodonzia

Dr. Jean-Marc Retrouvey  
Dr. Katherine Kousaie  
Translation: Dr. Stefano Pera

## 1 CONTENUTI

---

2	Introduzione .....	3
3	Meccanica di base.....	3
3.1	Le Tre Leggi di Newton .....	3
3.1.1	La Prima legge .....	4
3.2	La Seconda legge .....	4
3.3	La Terza legge.....	4
4	Concetto di forza.....	5
4.1	Forza semplice:.....	5
4.1.1	Definizione: .....	5
4.1.2	Punto di applicazione.....	6
4.1.3	Linea d'azione con direzione e grandezza.....	6
4.1.4	Legge di trasmissibilità della forza:.....	7
4.1.5	Punto di applicazione della forza:.....	7
4.1.6	Centro di massa .....	8
5	Centro di resistenza (CR):.....	9
5.1	Variabilità del centro di resistenza in relazione al supporto parodontale.....	10
5.1.1	Centro di resistenza per un singolo dente: .....	11
5.1.2	Centro di resistenza di un gruppo di denti.....	12
5.1.3	Combinazione di forze. Forza risultante o forza netta.....	13
6	Centro di rotazione: .....	15
6.1.1	Diagrammi di un corpo libero.....	16
7	Movimenti dentali.....	18
7.1	Traslazione .....	18
7.2	Rotazione (pura).....	18
7.3	Inclinazione (tipping) .....	19
7.3.1	Tipping incontrollato: Quando una forza è posta sulla corona, la corona 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 a Cres (Fig 30).....	19
7.3.2	Tipping controllato:.....	19

Il centro di rotazione è all'apice del dente. Questo comporta un momento e una forza, e il dente ruota intorno al Crot (Fig 31). .....	19
7.3.3 Movimento radicolare .....	20
7.3.4 Intrusione/estrusione .....	20
8 Sistemi di forze .....	21
8.1 Momento .....	21
<b>M = F x d</b> .....	21
8.2 Coppia di forze .....	22
8.3 Rapporto momento/forza.....	23
8.4 Movimenti quando le forze e i sistemi sono variati .....	25
8.5 Sistemi di forze equivalenti.....	30
9 Ancoraggio.....	32
9.1 Applicazioni.....	33
9.1.1 Retrazione canina .....	33
9.1.2 Estrusione per CCL e posizionamento dell'impianto .....	34
10 Letture consigliate.....	34

## 2 INTRODUZIONE

---

L'ortodonzia è costruita sui principi di base della fisica, riguardanti i corpi in movimento nello spazio. Naturalmente, i movimenti in ortodonzia sono resi più complicati, poiché questi corpi in movimento si trovano nella bocca e sono soggetti a sistemi di forze più complessi di quanto la semplice meccanica possa prevedere. La biomeccanica è una parte importante dell'ortodonzia ed è lo studio dell'equilibrio statico e degli effetti delle forze sui sistemi biologici. Questo testo cercherà di semplificare la biomeccanica dell'ortodonzia e di fornire un quadro per le applicazioni cliniche.

## 3 MECCANICA DI BASE

---

Ci sono alcuni concetti fisici di base che devono essere rivisti prima di approfondire la biomeccanica in ortodonzia e le sue applicazioni nei casi clinici. In ortodonzia, usiamo le tre leggi di Newton per spiegare gli effetti delle forze su un oggetto.

### 3.1 LE TRE LEGGI DI NEWTON

Le leggi di Newton descrivono il moto di un oggetto quando è soggetto a forze. La Seconda e la Terza legge di Newton sono le più importanti in ortodonzia.

### 3.1.1 La Prima Legge

***In assenza di attrito, un corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, salvo che sia costretto a mutare quello stato da forze applicate ad esso.*** La prima legge di Newton descrive essenzialmente il concetto di inerzia, o la reazione (o resistenza) di un corpo al movimento quando una forza agisce su di esso. (Fig 1).

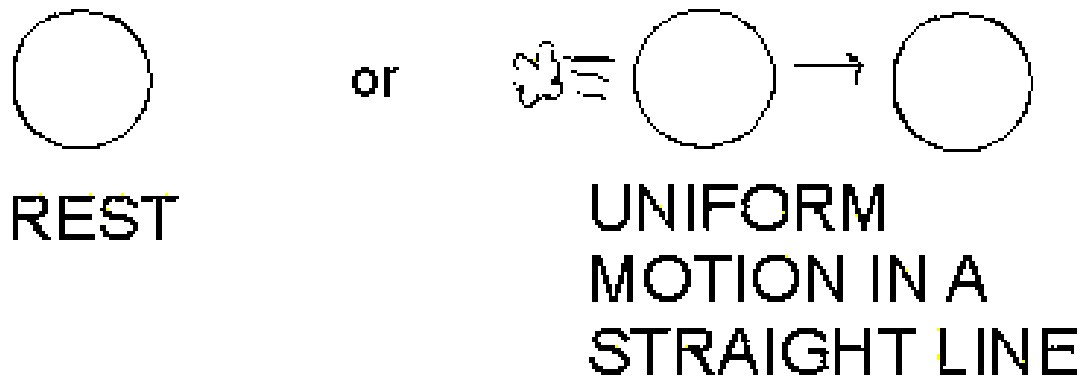


Figura 1: la prima legge di Newton

### 3.2 LA SECONDA LEGGE

L'accelerazione di un corpo è nella stessa direzione della forza che la produce e dipende dalla grandezza della forza e dalla massa dell'oggetto.

$$F_{\text{net}} = m a$$

(Forza = massa x accelerazione)

### 3.3 LA TERZA LEGGE

La terza legge di Newton afferma che per ogni azione o forza, c'è una forza di reazione uguale (nella direzione opposta). Secondo questa legge, ogni volta che due oggetti interagiscono, esercitano forze di azione e reazione l'uno sull'altro. Con ogni interazione, c'è una coppia di forze. Queste due forze (azione e reazione) sono [vettori](#) in quanto hanno una dimensione e una direzione. La dimensione della forza sul primo oggetto è uguale alla dimensione della forza sul secondo oggetto, e la direzione della forza sul primo oggetto è in una direzione opposta alla direzione della forza sul secondo oggetto.

Consideriamo l'interazione tra le ruote di un'automobile e la strada. Quando le ruote girano, esercitano una forza sulla strada. A sua volta, la strada esercita una forza sulle ruote che è uguale in grandezza e opposta in direzione alla forza che la strada riceve dalle ruote. In un certo senso, le ruote spingono la strada all'indietro, e la strada spinge le ruote in avanti (uguale e contrario), permettendo all'automobile di muoversi in avanti.

Nella bocca, possiamo vedere esempi di sistemi di azione - reazione in una situazione di retrazione canina. La molla tira indietro il canino con una certa forza. Poiché l'apparecchio usa i molari come ancoraggio, c'è una forza di uguale grandezza e di direzione opposta che tira i molari in avanti (Fig 2). Questo potrebbe essere un effetto collaterale indesiderato. Quando si pianifica il trattamento, gli effetti collaterali indesiderati devono essere presi in considerazione ed eliminati o almeno minimizzati.

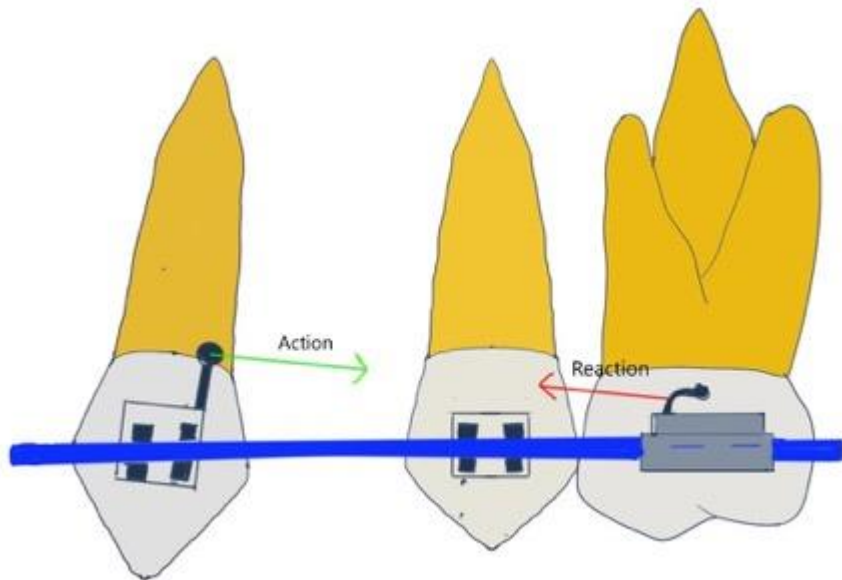


Figura 2: Le forze di azione e reazione mettono il sistema in equilibrio. Questo è un disegno semplificato.

## 4 CONCETTO DI FORZA

---

### 4.1 FORZA SEMPLICE:

#### 4.1.1 Definizione:

Una forza è qualsiasi azione che risulta nel cambiamento del moto di un oggetto. Le forze si misurano in once, grammi o Newton (circa 100gr per 1 Newton sul pianeta Terra, poiché l'accelerazione dovuta alla gravità è considerata costante e uguale a  $9,807/s^2$ ). In ortodonzia, l'unità delle forze è di solito il grammo(2).

#### Direzione e grandezza di una forza

Poiché una forza è un vettore, la direzione della forza è rappresentata da una freccia che punta nella stessa direzione del movimento del dente.

La grandezza è rappresentata, per convenzione, dalla lunghezza della freccia (fig 3).



Figura 3: forza semplice con direzione e grandezza

#### 4.1.2 Punto di applicazione

Il punto di applicazione della forza è il luogo in cui la forza viene applicata all'oggetto ed è per convenzione l'origine della freccia. La posizione del punto di applicazione della forza è legata al centro di massa, poiché questa posizione precisa determinerà la tendenza dell'oggetto a traslare o ruotare quando è sottoposto a questa forza.

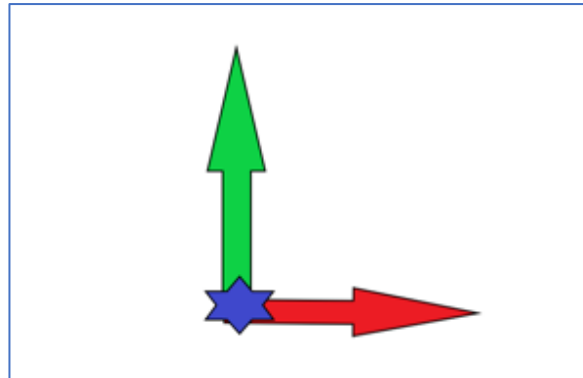


Figura 4: Punto di applicazione delle forze

Nella figura 4, le forze verdi e rosse sono in direzioni diverse ma hanno lo stesso punto di applicazione.

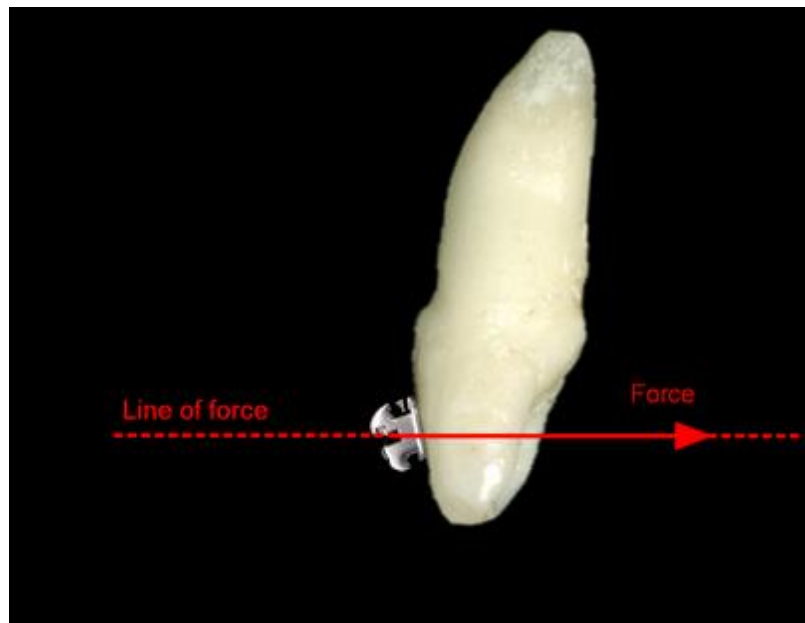


Figura 5: Una semplice forza applicata al bracket di un incisivo centrale. La linea d'azione illustra la direzione del vettore di forza.

#### 4.1.3 Linea d'azione con direzione e grandezza.

La linea d'azione è la rappresentazione geometrica del modo in cui la forza viene applicata (Wikipedia). La linea d'azione è l'asse di spostamento quando la forza viene applicata. La direzione della forza è determinata dalla freccia. La grandezza è, per convenzione, la lunghezza della freccia.

Due forze di uguale ampiezza che agiscono nella stessa direzione e poste sulla stessa linea d'azione avranno lo stesso effetto su un corpo rigido. Nella figura 6, F1 e F2 avranno lo stesso effetto sul corpo blu sottostante. Non importa se una forza spinge e l'altra tira. L'effetto netto sarà identico.

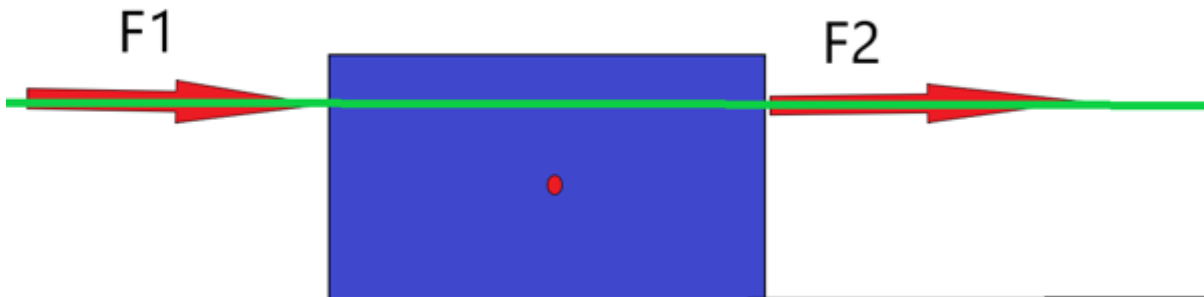


Figura 6: Linea d'azione delle forze

#### 4.1.4 **Legge della trasmissibilità della forza:**

L'effetto di una forza su un corpo è lo stesso quando la forza stessa viene applicata ovunque lungo la sua linea d'azione (Fig 7). Per esempio, se la linea d'azione è lungo l'asse del dente, non importa che la forza sia applicata al bordo incisale, al bracket o al cingolo, in quanto se la forza è nella stessa direzione e grandezza, l'effetto rimarrà lo stesso.

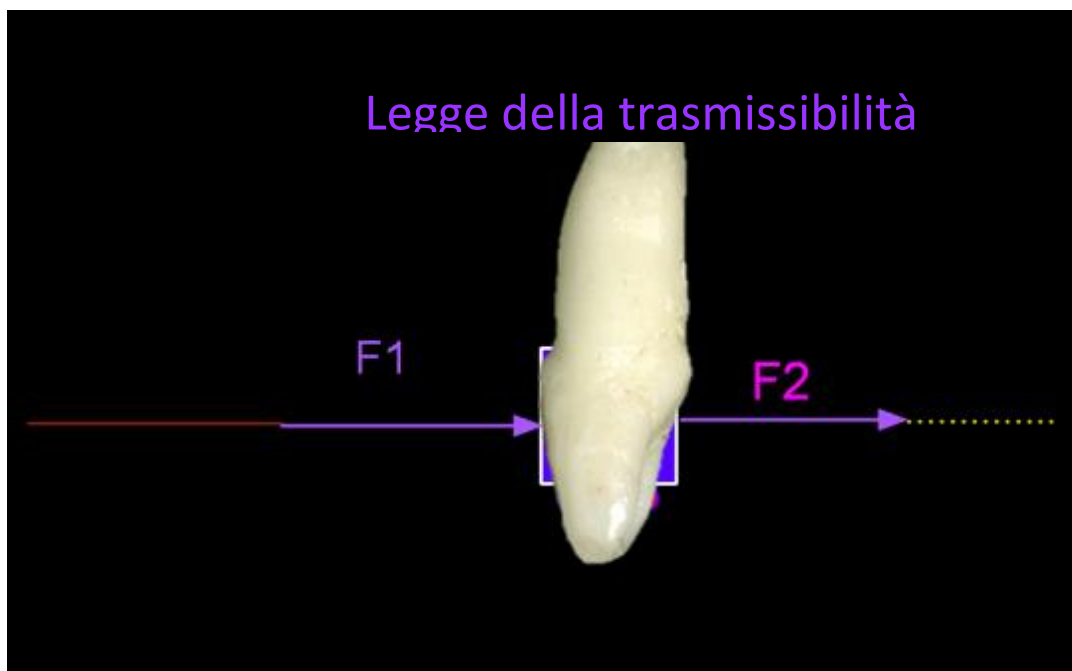


Figura 7: Legge di trasmissibilità della forza: F1 e F2 avranno lo stesso effetto

#### 4.1.5 **Punto di applicazione della forza:**

La legge della trasmissibilità ci dice che forze della stessa grandezza e direzione hanno lo stesso effetto indipendentemente da dove si trovi il punto di applicazione lungo la stessa linea di forza.

I **numeri scalari** sono usati per descrivere le forze; i numeri scalari hanno una grandezza, ma nessuna direzione. I vettori hanno grandezza e direzione (i vettori sono usati nel diagramma del corpo libero).

**Corpi rigidi:** Questi non cambiano forma sotto l'influenza di forze (come la compressione e le forze di trazione). I denti sono corpi rigidi; lo stesso non si può dire dei tessuti molli!

#### 4.1.6 Centro della massa

Il centro della massa rappresenta il punto di equilibrio di un sistema. In oggetti semplici come un dente, il centro della massa è un punto in cui la posizione della massa distribuita è uguale a zero. Se nessuna forza (o forze) agisce su un corpo, esso si comporterebbe come se tutta la sua massa fosse concentrata in quel singolo punto (il centro della massa).

## 1. Centro della Massa: punto di equilibrio di un sistema

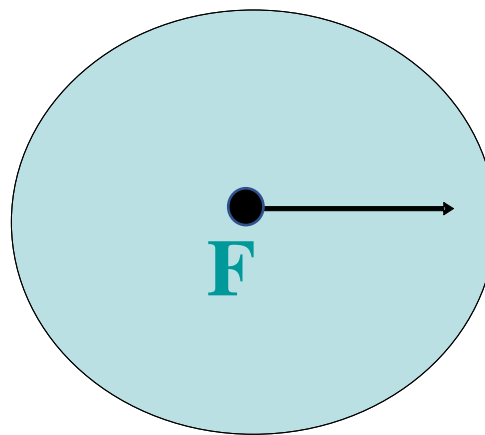


Figura 8: Centro della massa

Se una forza passa attraverso il centro della massa, l'oggetto si muoverà nella direzione della forza senza alcuna rotazione (traslazione pura).

Questo sarebbe lo stesso di una scatola, o di qualsiasi altro oggetto, sulla luna (o in un ambiente dove non ci sono forze che agiscono sul dente) (Fig 9). Questa non è ovviamente una situazione realistica, ma più un concetto teorico!

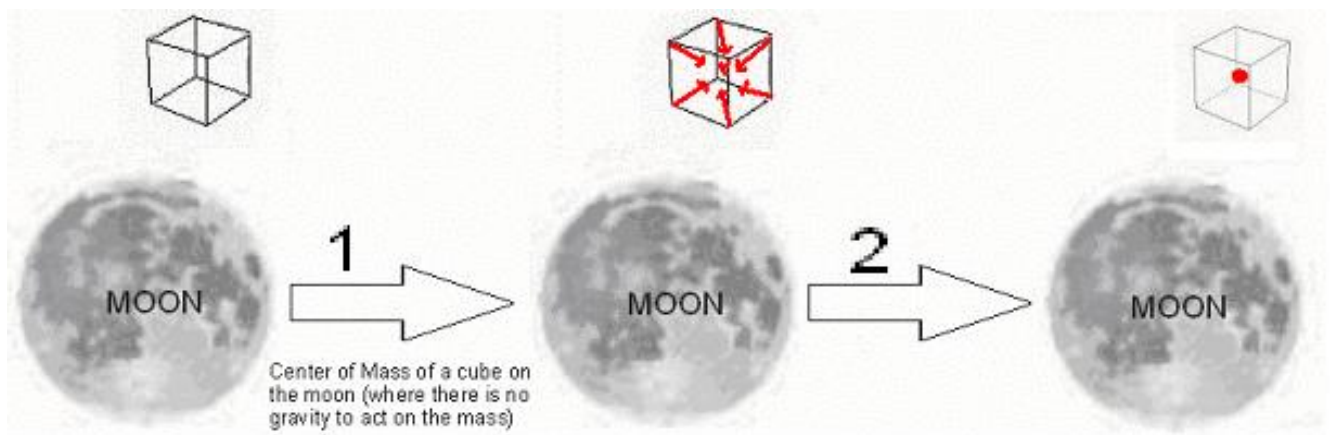


Figura 9: Centro di massa sulla luna



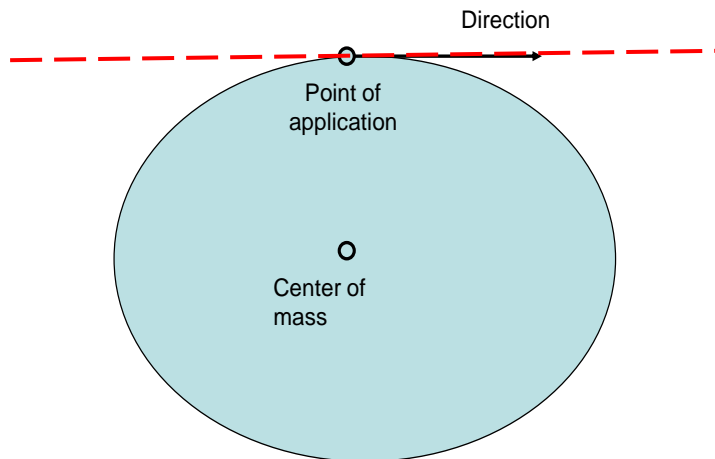


Figura 10: Linea d'azione di una forza posta ad una distanza dal centro di massa

Se la linea d'azione di un corpo libero è posta lontano dal centro di resistenza, ci si aspetta una combinazione di rotazione e traslazione (figura 10).

## 5 CENTRO DI RESISTENZA (CR):

Il centro di resistenza è un concetto importante in ortodonzia perché i denti non sono [corpi liberi](#), essendo le radici connesse all'osso alveolare dal legamento parodontale. Il centro della massa e il centro di resistenza non si trovano nella stessa posizione. Il CR si trova più apicalmente del centro della massa. È un punto matematico in cui tutta la resistenza allo spostamento si può pensare sia concentrata. I calcoli dei sistemi di forze in relazione alla loro capacità di traslare o ruotare sono fatti in relazione al centro di resistenza.

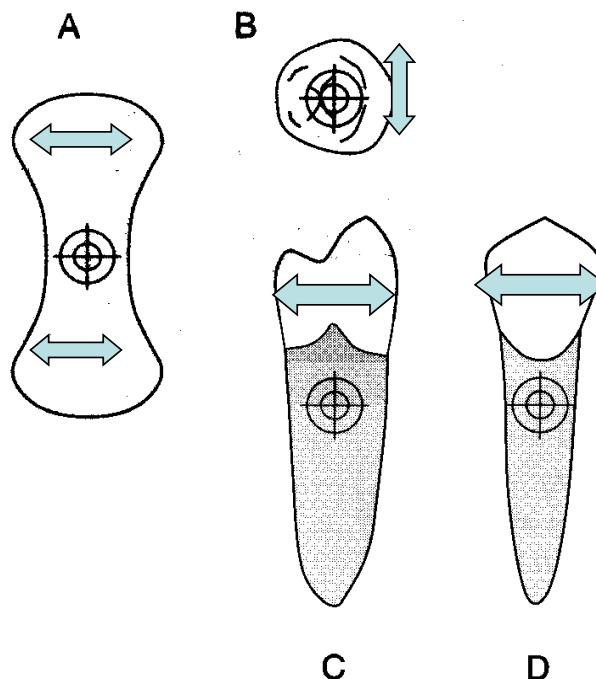


Figura 11: Localizzazione del centro di resistenza secondo diverse prospettive:  
A. Radicolare, B: Oclusale. C: Labio-linguale, D.: Mesio-distale

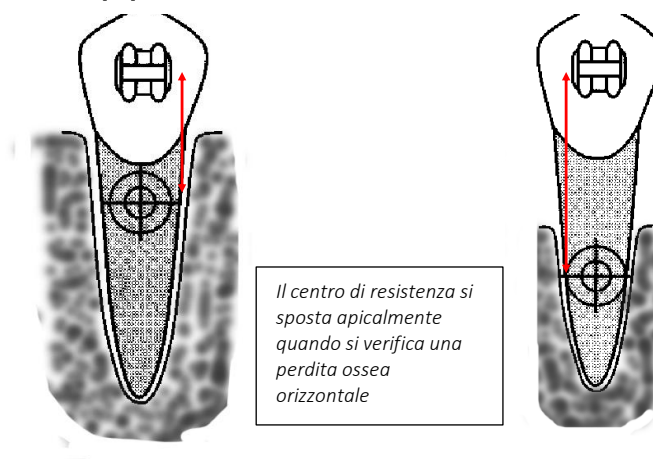
Il centro di resistenza varia per ogni dente a seconda del supporto parodontale presente. Si trova approssimativamente a metà della radice. (Fig 11)

Il centro di resistenza considera tutte le forze che agiscono su un corpo. Per un dente, include le forze del legamento parodontale (PDL), dei vasi sanguigni, dell'osso e del tessuto connettivo (Fig 12). Il centro di resistenza può essere considerato per un singolo dente, o per un gruppo di denti, se sono stati solidarizzati (quindi agiscono insieme come una sola massa più grande).

Importanza del centro di resistenza: Quando si applicano forze sui denti, è importante valutare i loro effetti tridimensionali e i movimenti risultanti che si verificheranno una volta che il dente è sottoposto a questo sistema di forze.

### 5.1 VARIABILITÀ DEL CENTRO DI RESISTENZA IN RELAZIONE AL SUPPORTO PARODONTALE

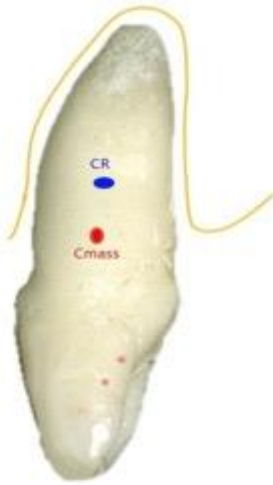
#### Supporto dell'osso alveolare



*Figura 12: Il centro di resistenza si sposta apicalmente quando si verifica una perdita ossea orizzontale.*

Quando un paziente si presenta con un supporto parodontale ridotto, la cresta dell'osso alveolare è più apicale. Il centro di resistenza del dente si è spostato drasticamente più apicale, e la distanza dal bracket al centro di resistenza aumenta quasi di due volte (figura 12). Se la stessa forza viene applicata al bracket su questi due denti, ne risulterà un movimento ortodontico diverso. Il dente a destra tenderà a ruotare di più in base alla maggiore distanza della linea di forza dal centro di resistenza del dente.

### 5.1.1 Centro di resistenza per un singolo dente:



Il centro della massa è sempre posto più occlusalmente del centro di resistenza a causa della "resistenza" del legamento parodontale e dell'osso dentoalveolare. Poiché questa resistenza è impossibile da quantificare per qualsiasi dente e per qualsiasi paziente, il centro di resistenza è un concetto teorico ma può essere utilizzato come una media per creare sistemi di forza ottimizzati.

Figura 13: Centro di resistenza (CR) vs centro della massa (Cmass) di un dente monoradicolato

Nei casi in cui il supporto parodontale è costante, il centro di resistenza dei diversi denti sarà a livelli differenti. I canini superiori avranno un centro di resistenza più alto, mentre i premolari e gli incisivi laterali lo avranno più basso.

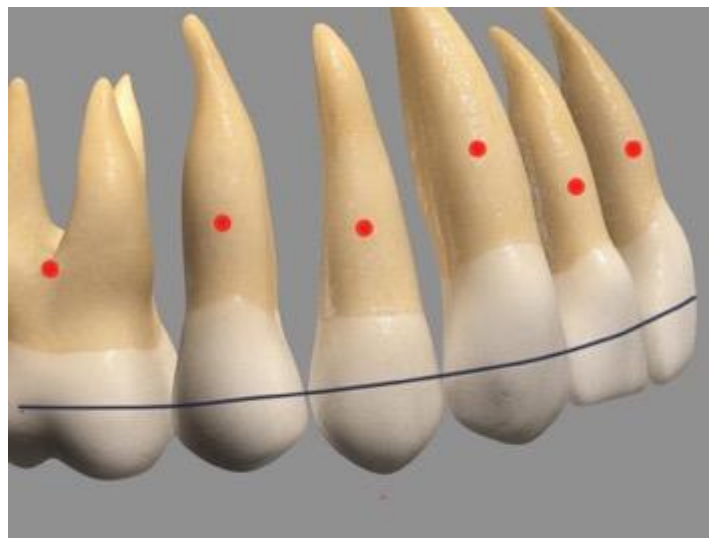
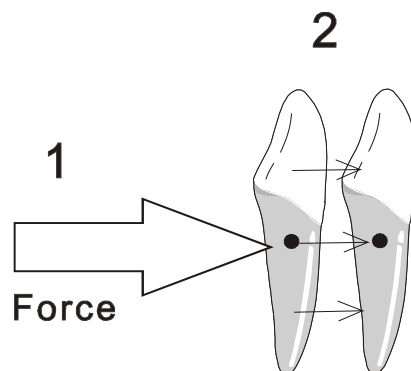


Figura 14: Diverse posizioni del centro di resistenza (se consideriamo il supporto parodontale uniforme e normale)

È evidente, quindi, che il centro di resistenza differisce tra diversi denti con anatomie e lunghezze radicolari differenti, per esempio, tra incisivi e molari, o premolari e canini. La sua posizione si modifica al variare dell'altezza dell'osso alveolare, così che sarebbe differente in un bambino rispetto a un adulto con malattia parodontale (il centro di resistenza si sposta più apicalmente negli adulti con perdita ossea) (Fig 14).

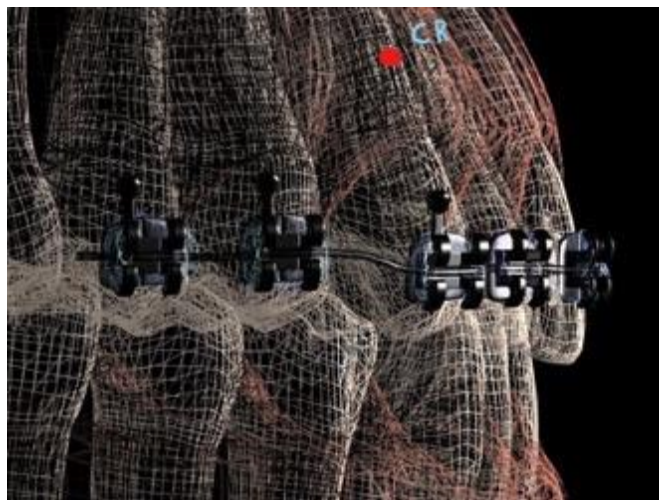
Un altro modo di pensare al centro di resistenza è che è il punto di un corpo dove una forza singola (in questo punto) provoca una [traslazione](#) pura (Fig 15).



*Figura 15: Le forze che agiscono sul centro di resistenza si traducono in traslazione pura*

#### 5.1.2 **Centro di resistenza di un gruppo di denti.**

Quando i denti sono connessi tra brackets e fili, si crea un nuovo centro di resistenza, e il gruppo di denti è ora considerato come un unico oggetto.



*Figura 16: Centro di resistenza per un gruppo di denti*

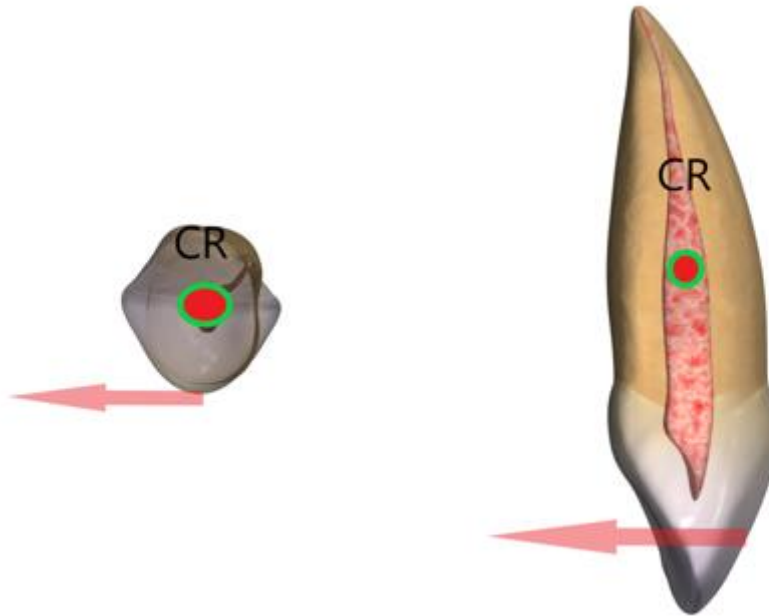


Figura 17: Quando una forza è applicata al bracket, la linea di forza è sempre a distanza dal centro di resistenza

### 5.1.3 Combinazione di forze. Risultante della forza o forza netta

In ortodonzia, la combinazione di forze nei tre piani dello spazio è frequentemente utilizzata ed è utile per calcolare la forza netta (o forza risultante). La regola del parallelogramma è usata per calcolare la somma dei vettori.

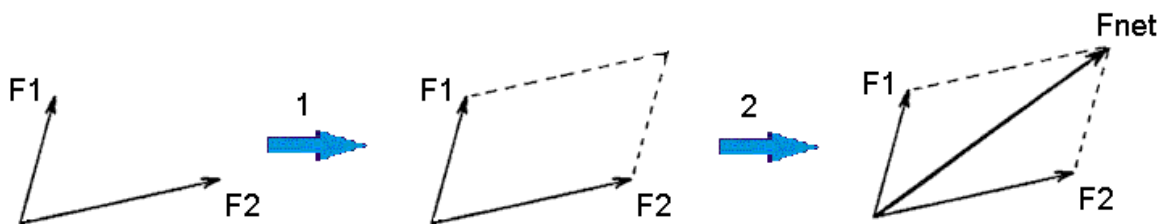


Figura 18. Regola del parallelogramma

È importante ricordare che la forza ( $F_{net}$ ) è la forza netta, che è la somma vettoriale di tutte le forze ( $F_1$  e  $F_2$ ). La regola del parallelogramma ci permette di trovare la forza netta: le forze  $F_1$  e  $F_2$  sono vettori e hanno grandezza e direzione. Quando  $F_1$  e  $F_2$  sono incidenti tra loro, si crea un parallelogramma disegnando i lati adiacenti di  $F_1$  e  $F_2$ . La diagonale che attraversa il parallelogramma è la forza risultante  $F_{net}$  (Fig 18).

Calcolo della somma di due vettori (si prega di fare riferimento a questo URL (link) per spiegazioni dettagliate: <https://www.mathstopia.net/vectors/parallelogram-law-vector-addition>)

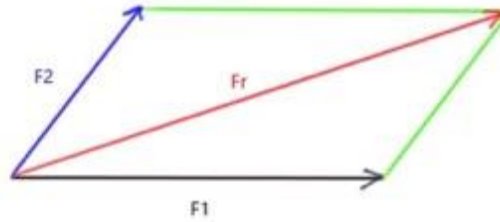


Figura 19: Calcolo della somma di due vettori.

Per calcolare la grandezza della forza risultante  $F_r$ , usiamo la formula  $F_r = F_1 + F_2$ . Dobbiamo estendere la linea d'azione di  $F_1$  per creare un triangolo rettangolo  $OXR$ .

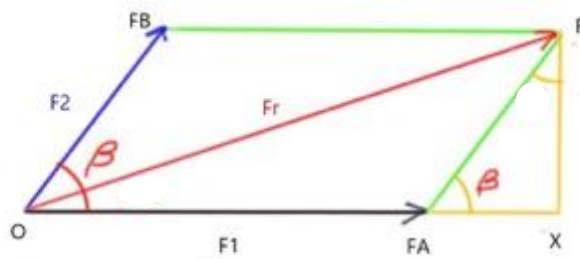


Figura 20: Estensione del parallelogramma.

Calcolo dell'ampiezza di  $F_r$ :

$$Fr^2 = OX^2 + RX^2$$

$$OX = F_1 + FAX$$

$$\rightarrow Fr^2 = (F_1 + FAX)^2 + RX^2$$

Sapendo che in un triangolo rettangolo la misura di un cateto è uguale al prodotto della misura dell'ipotenusa per il seno dell'angolo opposto o per il coseno dell'angolo adiacente:

$$FAX = FAR \cos \beta$$

$$RX = FAR \sin \beta$$

essendo poi  $FAR = F_2$ :

$$FAX = F_2 \cos \beta$$

$$RX = F_2 \sin \beta$$

quindi infine:

$$Fr^2 = (F_2 \sin \beta)^2 + (F_1 + F_2 \cos \beta)^2$$

$$Fr = \sqrt{F_1^2 + 2F_1F_2 \cos \beta + F_2^2}$$

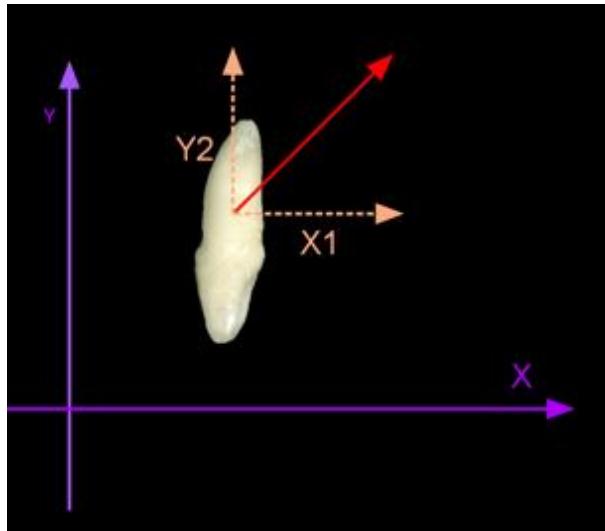


Figura 21: forza risultante (netta) quando le forze sono a 90 gradi

Nel caso in cui mettiamo le forze a 90 gradi, l'equazione si semplifica e diventa

$$Fr = \sqrt{X1^2 + Y2^2}$$

## 6 CENTRO DI ROTAZIONE:

Il centro di rotazione è il punto intorno al quale l'oggetto ruota. Questo varia con la posizione del centro di resistenza e la forza applicata all'oggetto. La rotazione pura si verifica quando il centro di rotazione è al centro di resistenza. La [traslazione](#) pura si verifica quando il centro di rotazione è ad una distanza infinita dal centro di resistenza.

Per localizzare il centro di rotazione attorno al quale si verifica un movimento rotatorio del dente (Fig 22), è necessario scegliere due punti qualsiasi sul dente (o sull'oggetto), e tracciare una linea tra le posizioni prima e dopo ogni punto. Il punto di intersezione tra le linee perpendicolari è il centro di rotazione.

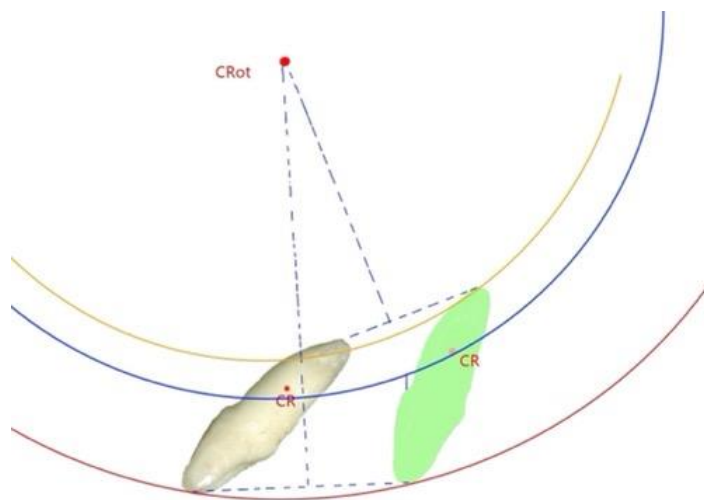


Figura 22: Metodo per localizzare il centro di rotazione

### 6.1.1 Diagrammi del corpo libero

I diagrammi del corpo libero aiutano a prevedere l'effetto di diverse forze che agiscono contemporaneamente su un corpo (forza netta) o a risolvere una forza nelle sue componenti. Un esempio di diagramma del corpo libero, con  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_{net}$  (ricordate la [regola del parallelogramma](#)) (Fig 23).

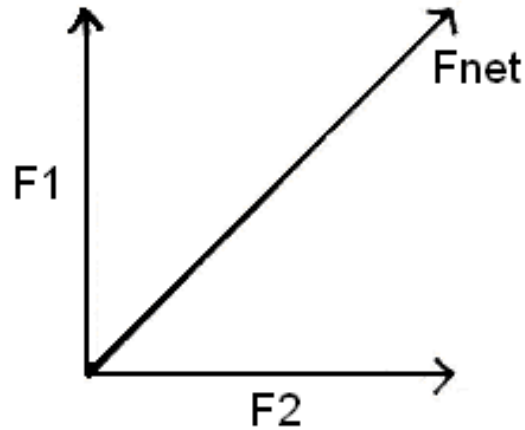


Figura 23: diagramma del corpo libero

Un esempio clinico dell'uso di un diagramma a corpo libero con un arco di intrusione ed elastici.

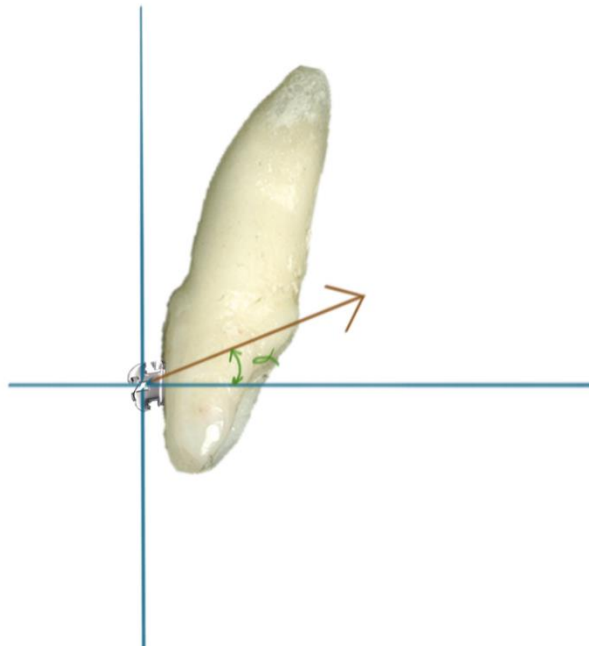


Figura 24: forza semplice per intrudere e retrarre l'incisivo superiore

Viene applicata una forza  $F$ . Essa ha componenti intrusive e retrusive. Se si conosce la grandezza della forza applicata e la sua angolazione, si può trovare la grandezza delle forze intrusive e retrusive usando una semplice trigonometria (Fig 24-25).



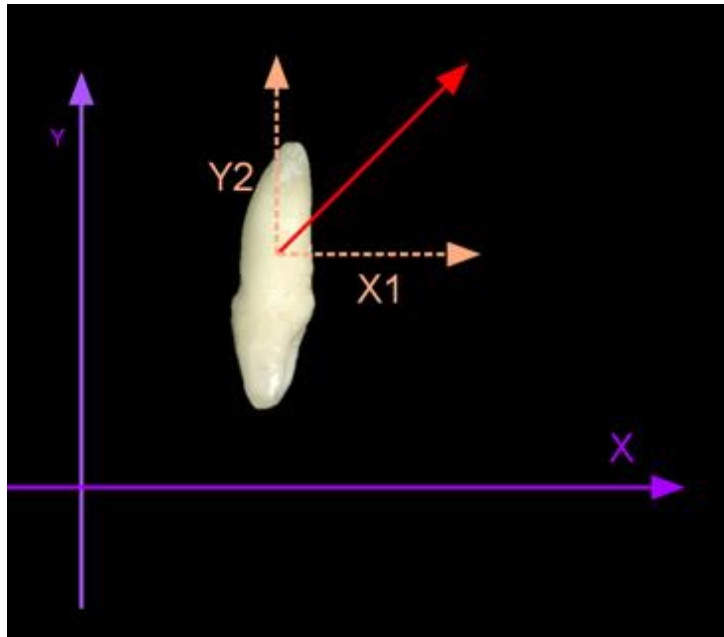
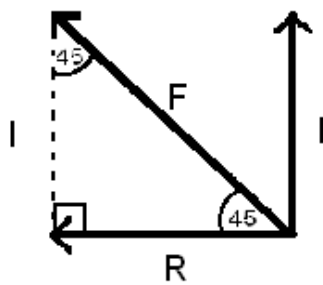


Figura 25: Diagramma del corpo libero e forze applicate da una trazione extraorale

Se  $F_{net} = 500g$ , usando il teorema di Pitagora (Fig 26) si può calcolare I (forza intrusiva) e R (forza retrusiva).



$$\sin 45 = \frac{I}{F}$$

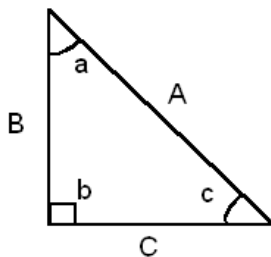
$$\begin{aligned} I &= F \sin 45 \\ &= 500 \sin 45 \\ &= 353 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\cos 45 = \frac{R}{F}$$

$$\begin{aligned} R &= F \cos 45 \\ &= 500 \cos 45 \\ &= 353 \text{ g} \end{aligned}$$

Figura 26: Trovare la risultante delle forze intrusiva e retrusiva usando il teorema di Pitagora

Così, una forza di 500g nella direzione di  $F_{net}$  è la stessa di una forza di 353g nella direzione di I, e 353g nella direzione di R posta su un oggetto nello stesso momento.



$$\sin a = \frac{\text{opposite}}{\text{hypoteneuse}} = \frac{B}{A}$$

$$\cos a = \frac{\text{adjacent}}{\text{hypoteneuse}} = \frac{C}{A}$$

$$\tan a = \frac{\text{opposite}}{\text{adjacent}} = \frac{B}{C}$$

Figura 1: Calcoli trigonometrici

## 7 MOVIMENTI DENTALI

I denti si muovono in tre dimensioni di spazio. È importante essere consapevoli dei diversi tipi di movimento possibili quando si pianifica un trattamento per tenere conto dei movimenti desiderati ed indesiderati dei denti.

### 7.1 TRASLAZIONE

Durante la traslazione, tutti i punti di un corpo si muovono nella stessa direzione e con la stessa intensità (Fig 28). Il centro di rotazione tende ad infinito in quanto non si verifica alcuna rotazione.

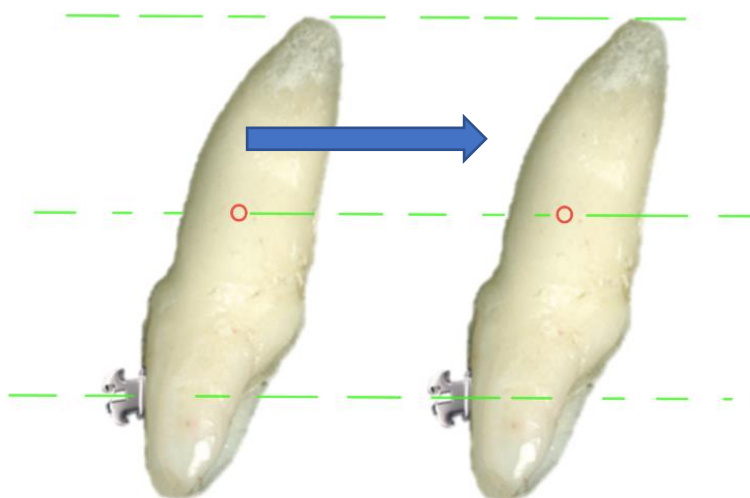


Figura 28: Traslazione dell'incisivo centrale

### 7.2 ROTAZIONE (PURA)

La rotazione pura si verifica quando un corpo ruota intorno al [centro di resistenza](#) (Cres) (cioè quando il centro di rotazione corrisponde con il centro della resistenza (Fig 29).

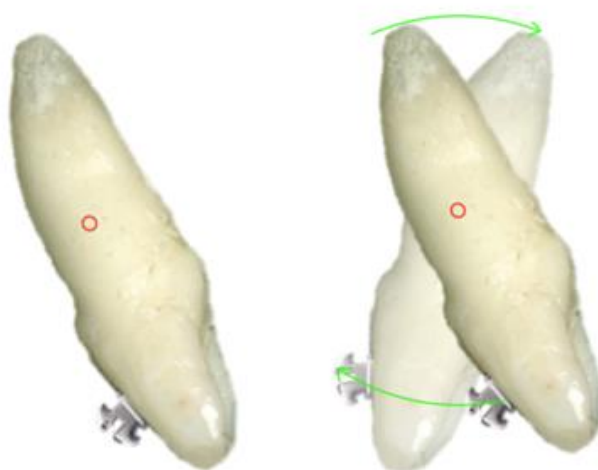


Figura 29: Rotazione pura

### 7.3 "TIPPING"

Con il "tipping", il risultato dipende da dove viene applicata la forza.

7.3.1 "Tipping" incontrollato: Quando una forza è posta sulla corona, la corona 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 Cres (Fig 30).



Figura 30: "Tipping" incontrollato

7.3.2 "Tipping" controllato:

Il centro di rotazione è all'apice del dente. Questo comporta un [momento](#) e una forza, e il dente si inclina ruotando intorno al Crot (Fig 31).

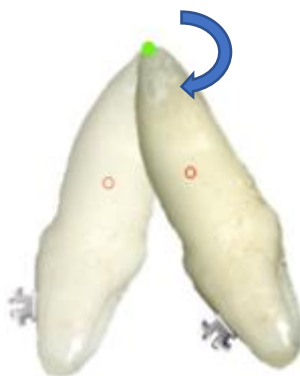


Figura31: "Tipping" controllato

- A) Per esempio, nella correzione di una malocclusione di II Classe I Divisione con proclinazione anteriore dell'incisivo mascellare, l'uso del "tipping" incontrollato potrebbe portare alla perforazione della corticale ossea vestibolare, mentre il "tipping" controllato porterà al movimento della sola corona, e in questo modo la radice non perforerà la corticale ossea vestibolare.

### 7.3.3 Movimento radicolare

Il movimento radicolare si verifica quando il centro di rotazione è al o vicino al bordo incisale, e la rotazione avviene intorno a questo punto (Fig 32). La corona quindi si sposta meno della radice. I movimenti radicolari richiedono più tempo a causa del riassorbimento osseo necessario per il movimento.

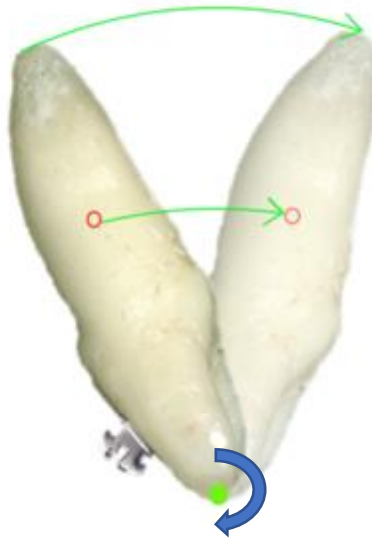


Figura 32: Movimento radicolare

### 7.3.4 Intrusione/estrusione

L'intrusione e l'estrusione comportano un movimento lungo l'asse del dente (fig. 33, fig. 34). Ricordate dalla [traslazione \(fig. 28\)](#), il centro di rotazione tende all'infinito anche in questo tipo di movimento (perché non c'è rotazione). In altre parole, il dente sta ruotando intorno ad un punto che è ad una distanza infinita tale da non vedere alcuna rotazione, ma solo una traslazione o movimento di intrusione/estrusione.

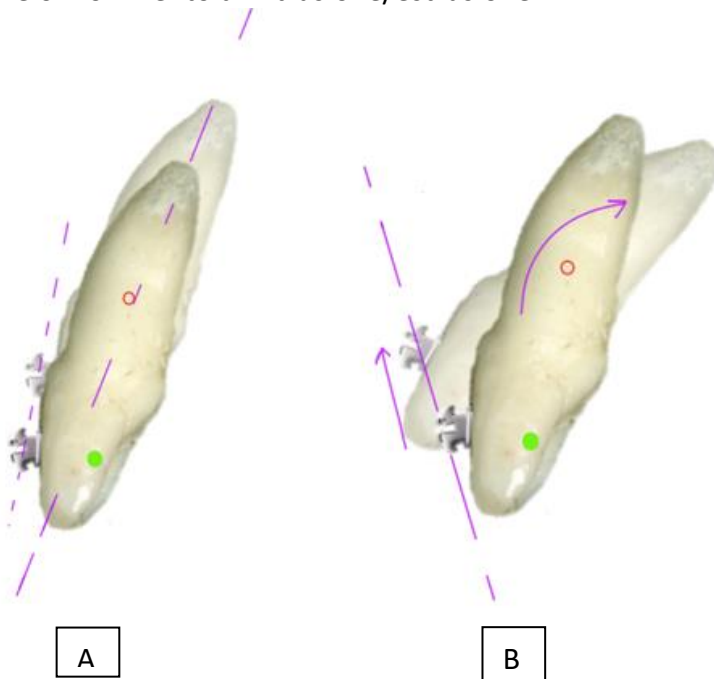


Figura 33: A. Intrusione di un incisivo estruso. B. Intrusione relativa

*Intrusione:* In fig. 33A, (nell'esempio seguente, gli effetti indesiderati dell'intrusione non sono considerati: mentre un dente è intruso, i denti adiacenti sono estrusi a meno che non siano in ancoraggio. Fare riferimento alla discussione sull'ancoraggio). L'intrusione relativa è il risultato di una proclinazione e di un'intrusione (fig. 33B)

*Estrusione:* (nel seguente esempio (Fig 34), gli effetti indesiderati dell'estrusione non sono considerati: mentre un dente è estruso, i denti adiacenti sono leggermente intrusi se non sono in ancoraggio. Fare riferimento alla discussione sull'ancoraggio)

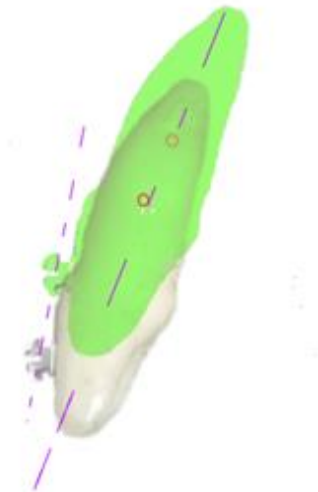


Figura 34: Estrusione di un incisivo intruso

## 8 SISTEMI DI FORZE

---

Per capire come creare i movimenti dentali desiderati, bisogna considerare i sistemi di forze. I sistemi di forze sono composti da un momento e una forza, il cui rapporto determina il tipo di movimento prodotto. Questa sezione tratterà il momento, la coppia di forze, il rapporto momento-forza e i movimenti quando le forze e i sistemi sono modificati.

### 8.1 MOMENTO

Il momento è la tendenza della forza su un corpo a causare una rotazione. Per calcolare il momento di una forza, moltiplicare la grandezza della forza e la sua distanza perpendicolare dal [centro di resistenza](#) intorno al quale si verifica il momento (Fig 35).

$$M = F \times d$$

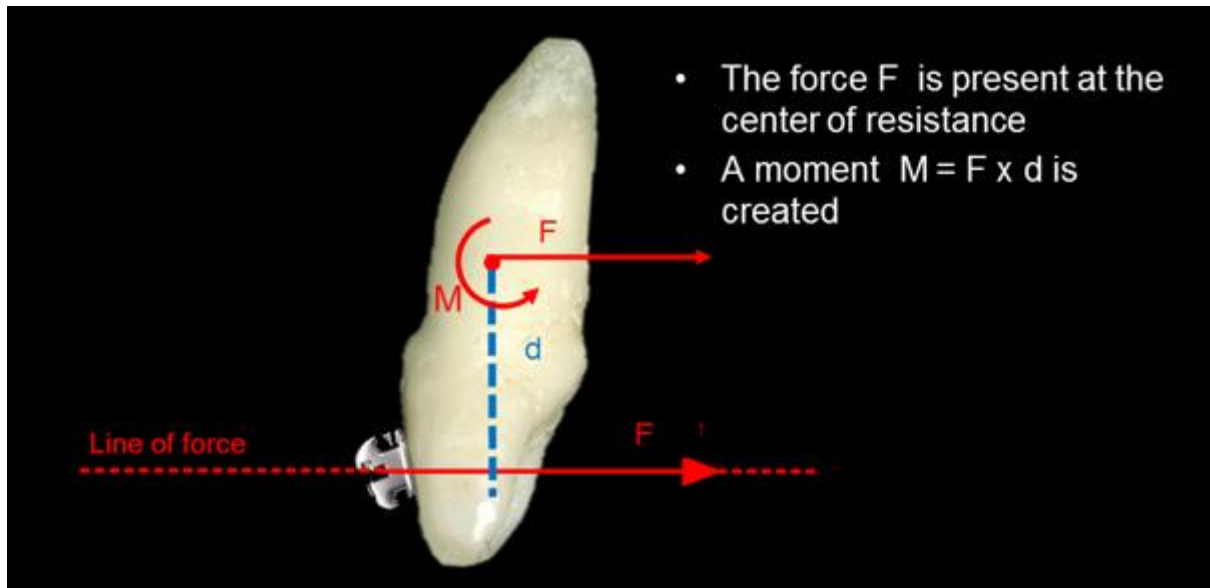


Figura 35: Momento prodotto da una forza applicata ad una distanza dal centro di resistenza

## 8.2 COPPIA DI FORZE

Una coppia è un momento puro e si verifica quando due forze ( $F_1$ ,  $F_2$  uguali e opposte) sono parallele e poste a distanza. Per calcolare il momento della coppia di forze, si considera le forze separatamente.

Esempio:  $F_1$  e  $F_2$  non producono effetti di [traslazione](#) perché hanno direzioni uguali e opposte, e quindi si annullano a vicenda. I momenti delle forze non si annullano a vicenda perché producono una rotazione nella stessa direzione (immagina la rotazione intorno al [centro di resistenza](#) quando le forze sono applicate da  $F_1$  e  $F_2$ ). Per trovare il momento totale del sistema, si sommano i momenti; questa è una coppia di forze. La coppia di forze è indipendente da dove le forze sono applicate sul corpo (o sul dente). Consideriamo il seguente esempio di coppia di forze (Fig 36)

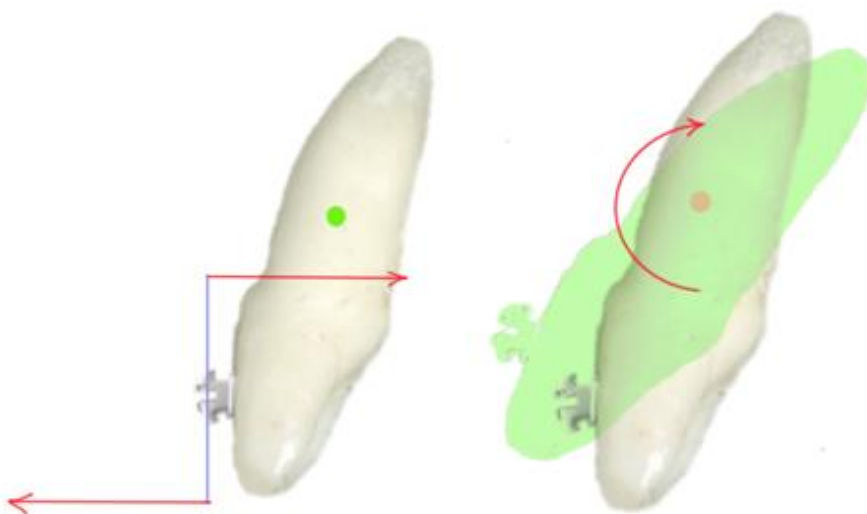


Figura 36: Coppia di forze: esempio 1

Poiché la coppia di forze è indipendente da dove le forze agiscono sul corpo, lo stesso risultato dell'esempio precedente può essere ottenuto mettendo le forze F1 e F2 in una nuova posizione (le nuove posizioni nell'esempio seguente sono più biologicamente e clinicamente valide).

**In conclusione, non importa dove una coppia agisce su un dente, il momento netto su questo sistema sarà uguale a una forza moltiplicata per la distanza tra le forze.**

### 8.3 RAPPORTO MOMENTO/FORZA

Il rapporto momento-forza combina i movimenti di [traslazione](#) e rotazione. Il rapporto è determinato dall'ampiezza della forza moltiplicata per la distanza perpendicolare al centro di resistenza di un dente o di un gruppo di denti (Fig 37).

I seguenti esempi dimostrano il "tipping" controllato di un dente, usando movimenti combinati di traslazione e rotazione (forza e momento semplici) (Fig 38, Fig 39).

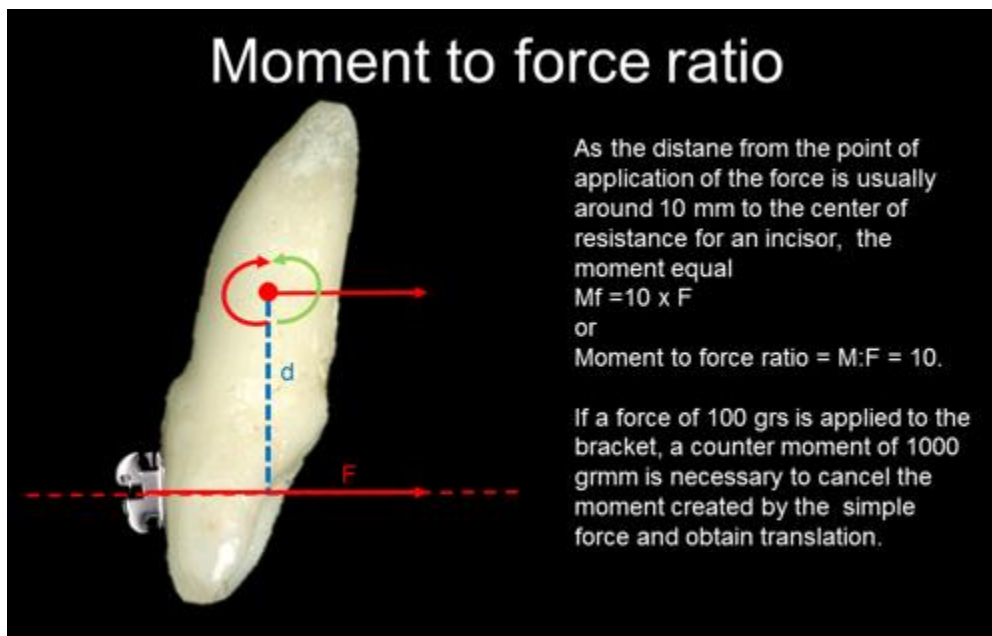


Figura 37: Rapporto momento-forza per la traslazione

#### Controlled Tipping:

If we want the following movement:

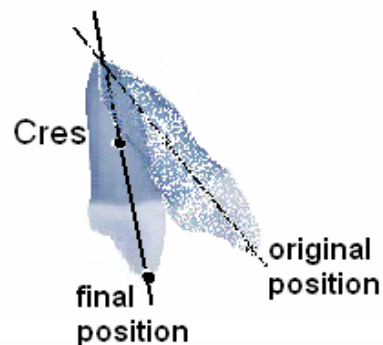
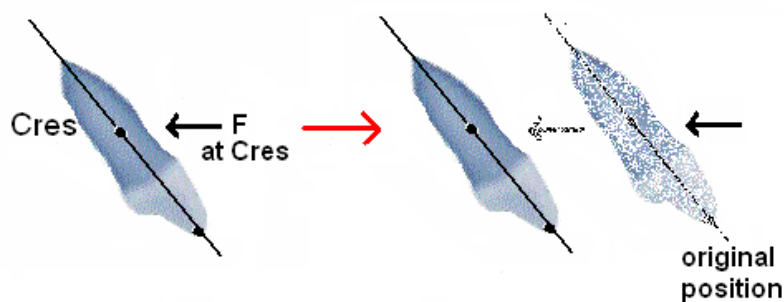


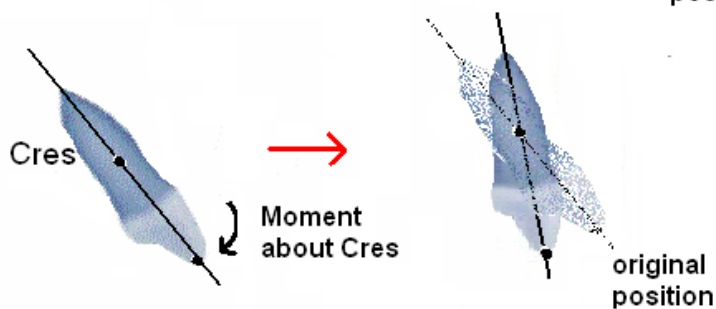
Figura 38: Movimento desiderato

Break up the movement into its translation and rotation component parts

Translation:



Rotation:



Result:

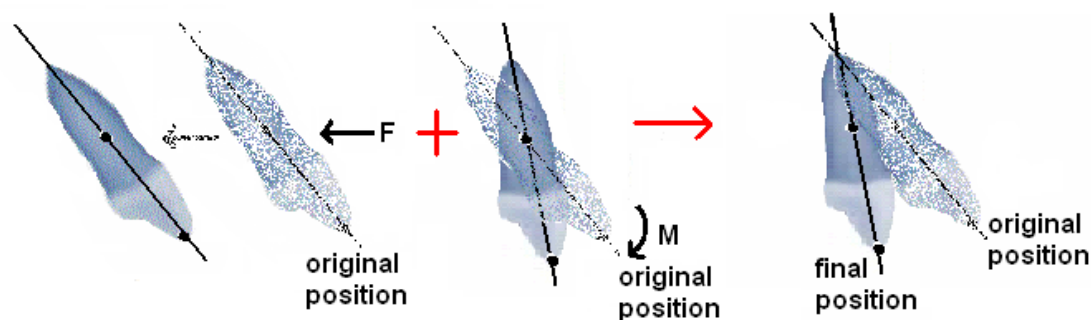


Figura 39: La combinazione di traslazione e rotazione per ottenere un "tipping" controllato

Cambiando il rapporto  $M/F$ , si possono produrre diversi centri di rotazione. La figura 40 dimostra gli effetti del cambiamento del rapporto  $M/F$  sul "tipping" controllato. Se il rapporto  $M/F$  è diminuito ( $M$  è costante o diminuito, e  $F$  aumenta), allora si ottiene più movimento di traslazione perché il centro di rotazione va verso l'apice del dente (in altre parole, lontano dal [centro di resistenza](#), verso l'infinito). Se il rapporto  $M/F$  viene aumentato aumentando  $M$  o diminuendo la forza, ci sarà più rotazione perché il centro di rotazione si sposta verso il centro di resistenza (in altre parole si sposta più incisalmente dalla sua posizione precedente).



Consider:

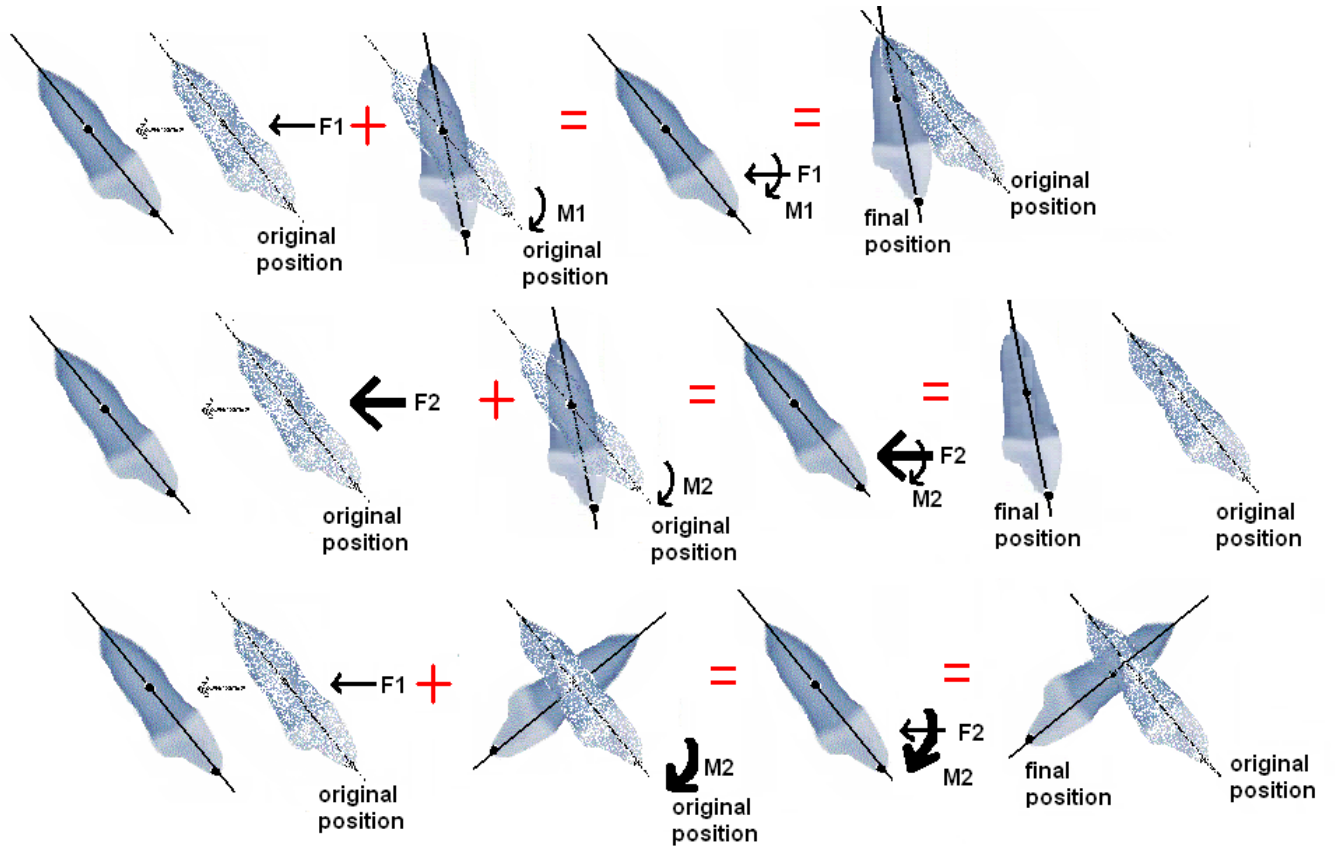


Figura 40: Effetti del cambiamento del rapporto momento-forza ( $M/F$ )

#### 8.4 MOVIMENTI QUANDO LE FORZE E I SISTEMI SONO MODIFICATI

Possiamo applicare le conoscenze apprese dalla sezione sui sistemi di forze equivalenti a un esempio di vita reale come la retrazione degli incisivi. Usando un molare come ancoraggio, non possiamo semplicemente mettere un filo dritto tra l'incisivo e il molare e usare un'ansa nel filo con un elastico per ritrarre, poiché questa situazione risulterà in un "tipping" incontrollato di entrambi i denti (il centro di rotazione sarà al centro di resistenza). (Fig 41)

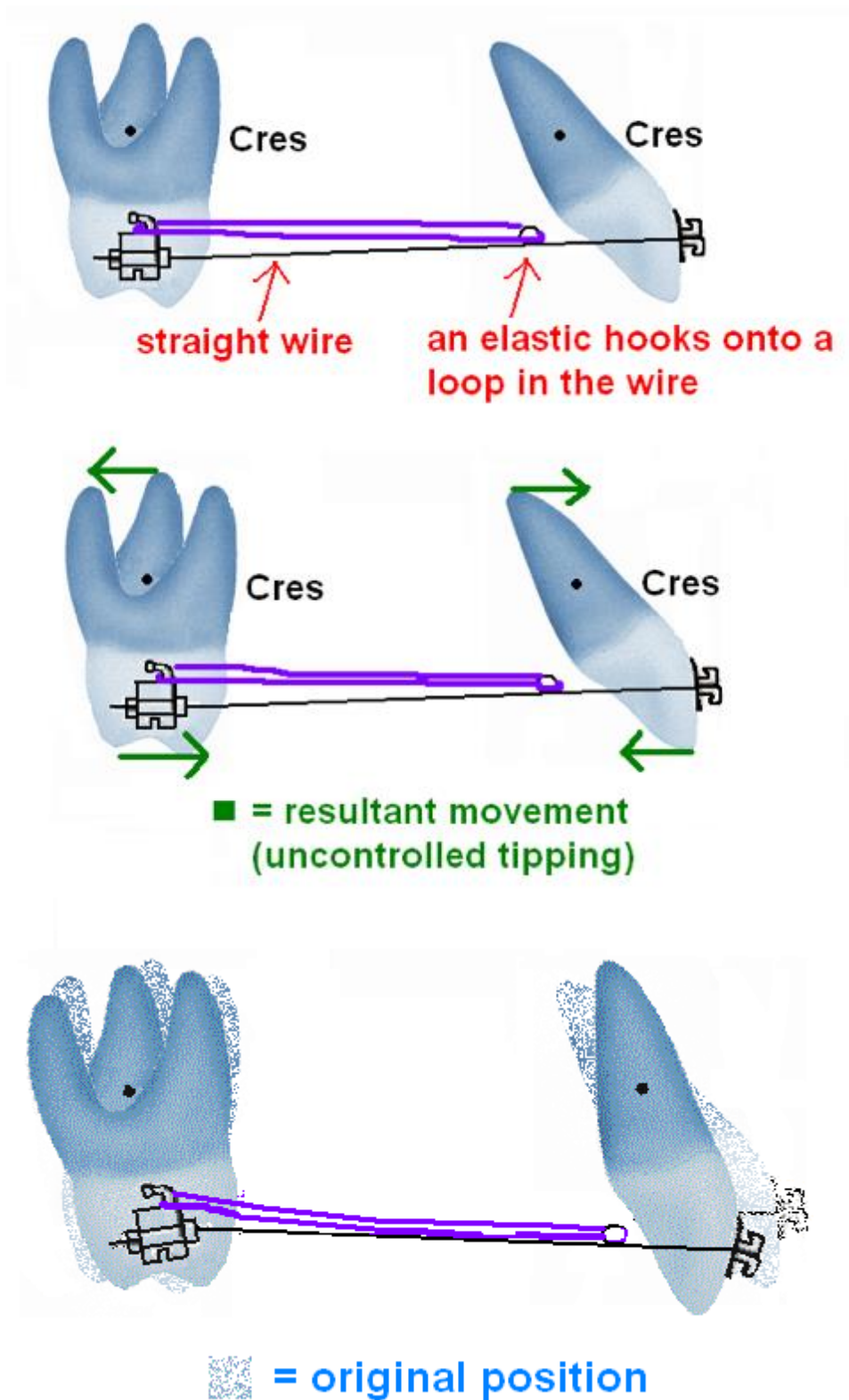


Figura 41: Retrazione degli incisivi usando un elastico su un'ansa nel filo: il risultato è un "tipping" incontrollato.

Per controllare il movimento, dobbiamo aggiungere un momento alla corona per contrastare il momento creato dalla forza, per produrre un movimento di [traslazione](#) il più puro possibile (ricordiamo ancora i sistemi di forze equivalenti). Possiamo creare un momento alla corona del dente piegando il filo in una posizione tale che ci sarà una tendenza del dente a inclinarsi (in modo controllato) quando il filo è in posizione. Il seguente esempio illustra questo concetto (Fig 42).

In order to produce a moment as well as a force, a bend in the wire is necessary

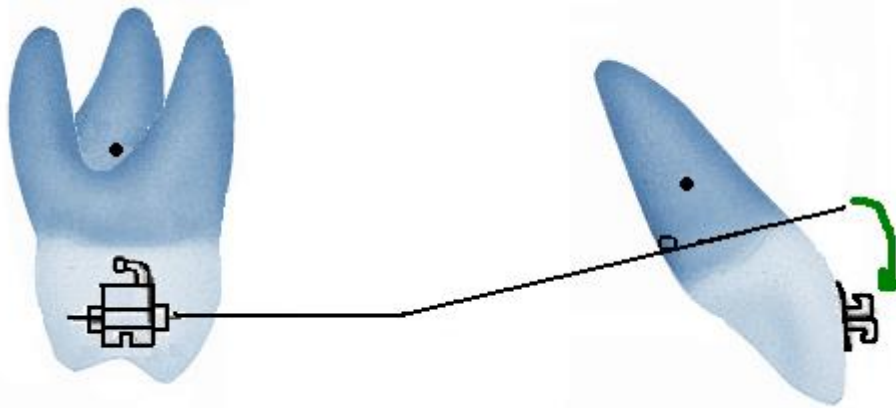
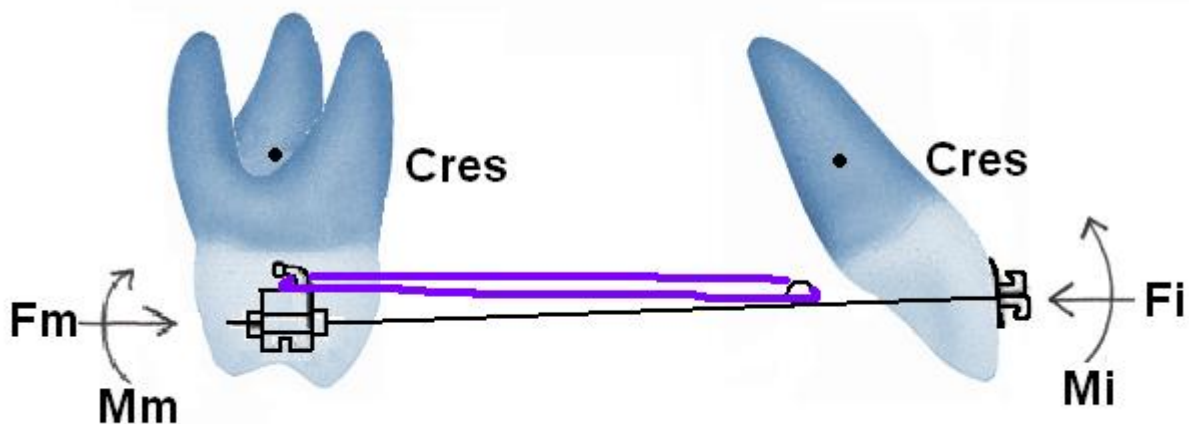


Figura 42: Produrre un momento con una piega nel filo, e una forza con un'ansa nel filo

Affinché il filo si inserisca nello slot del bracket dell'incisivo, il filo deve essere leggermente forzato in posizione. Una volta posizionato con l'elastico, esso esercita le seguenti forze sui due denti in questione ( $F_m$ ,  $M_m$  sono la forza e il momento sul molare;  $F_i$ ,  $M_i$  sono la forza e il momento sull'incisivo).



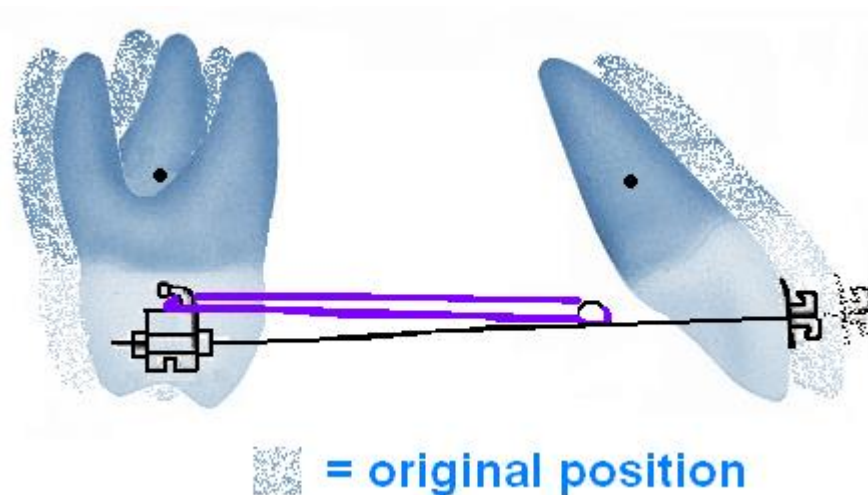


Figura 43: Il movimento risultante con la piega e l'ansa nel filo è la retrazione degli incisivi (il "tipping" è controllato e minimizzato)

Questo esempio dimostra che regolando il rapporto M/F, possiamo produrre un effetto di traslazione desiderato (Fig 43). Questo rapporto M/F può essere regolato a seconda dell'obiettivo in mente (un po' di "tipping" può essere desiderato). Il rapporto M/F può essere regolato di conseguenza, e se c'è controllo dei movimenti, l'obiettivo sarà raggiunto.

Il rapporto M/F è influenzato non solo dal posizionamento di un elastico e di una piega nel filo. Il tipo di elastico influenzerà l'entità della forza esercitata sul sistema. Inoltre, il tipo di filo (rotondo o quadrato), così come il suo diametro influenzerà il rapporto M/F.

Se si usa un filo rotondo invece di un filo rettangolare, ci sarà un "tipping" incontrollato, poiché il dente può ruotare intorno al filo (il bracket ha uno slot rettangolare mentre il filo è rotondo) (Fig 44). D'altra parte, se viene usato un filo rettangolare, il filo riempirà lo slot del bracket (rettangolare nel rettangolare) (Fig. 45). Come risultato, c'è un momento che si crea mentre il dente viene retratto che contrasta il momento che avrebbe causato il "tipping" incontrollato. Inoltre, anche la dimensione del filo influenzerà il risultato. Un filo più piccolo defletterà di più di un filo più grande, quindi i movimenti corporei dei denti sono meglio ottenuti con fili più grandi perché defletteranno meno e manterranno la loro forma, guidando così il movimento.

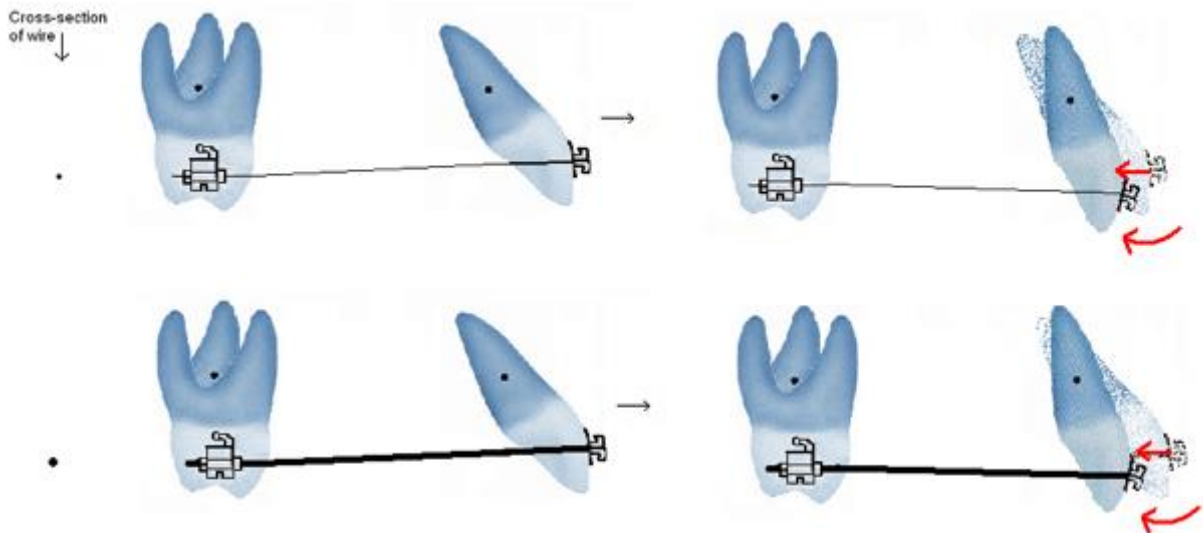


Figura 44: Meccanica di scorrimento (nella retrazione canina) con un filo rotondo di due diametri diversi

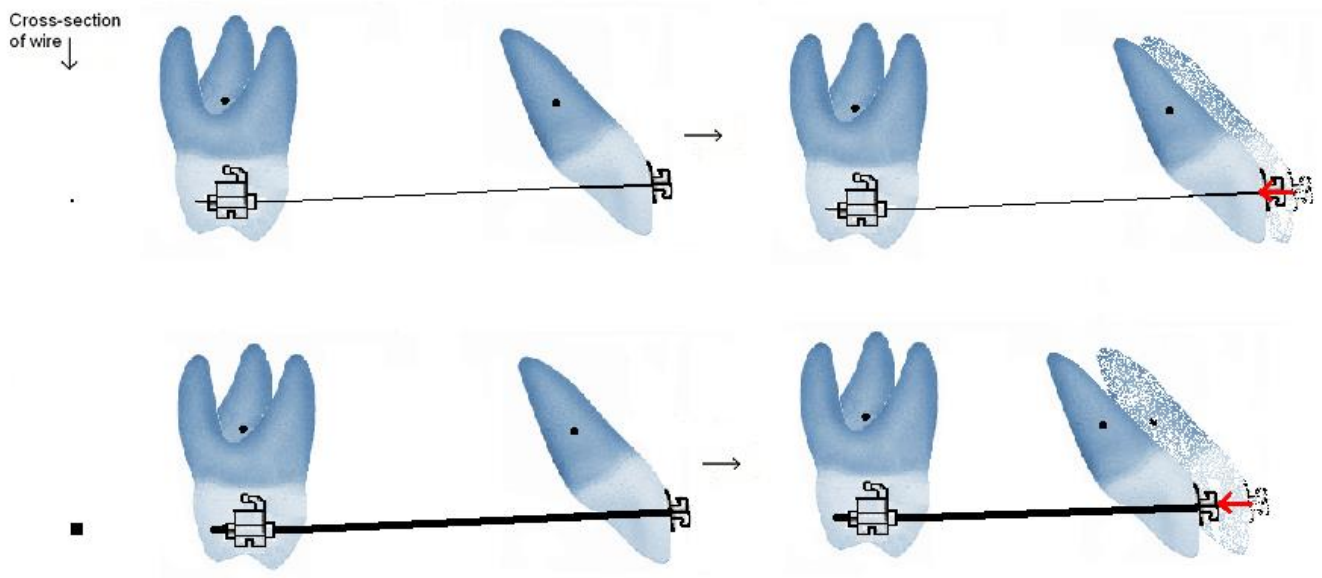
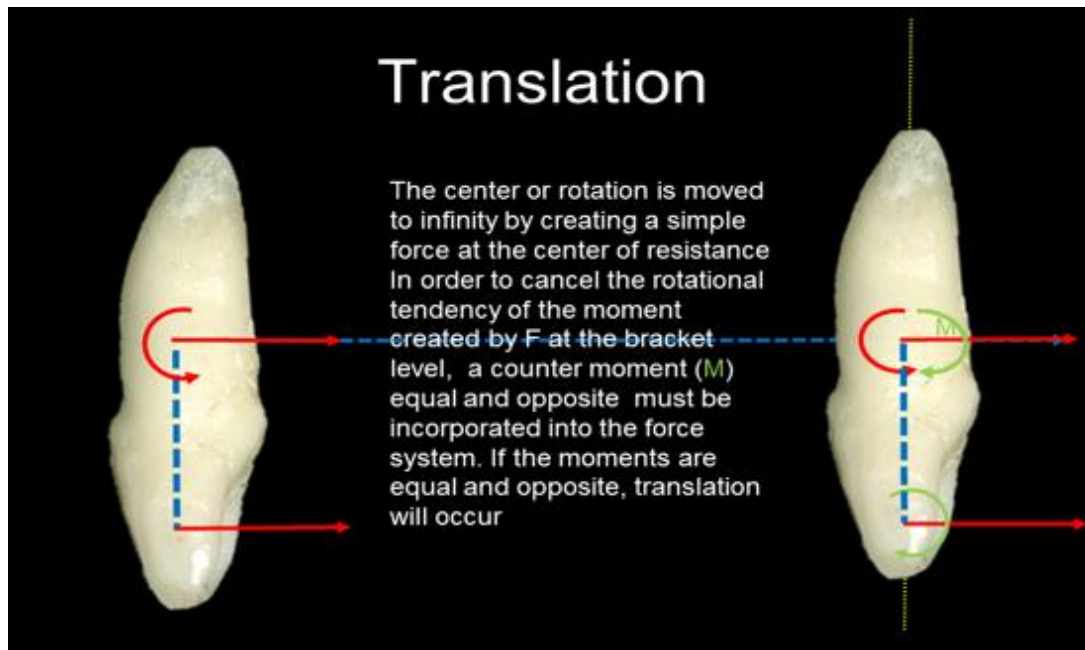


Figura 45: Meccanica di scorrimento (nella retrazione canina) con un filo quadrato di due diametri diversi

## 8.5 SISTEMI DI FORZE EQUIVALENTI

Il problema con i sistemi di forza descritti sopra è che le forze descritte sono spesso collocate al centro di resistenza. È impossibile posizionare un bracket al centro di resistenza, poiché si trova sulla superficie della radice. La soluzione a questo problema è considerare sistemi di forze equivalenti. I sistemi di forze sono equivalenti quando due sistemi di forze sono uguali in tutte e tre le dimensioni (x, y, z), hanno momenti uguali e producono lo stesso effetto sull'oggetto (o dente). In ortodonzia, i sistemi di forze equivalenti producono lo stesso effetto sia che il sistema di forze sia collocato al centro di resistenza sia livello della corona (bracket/tubo).



A

Figura 46: Esempio di sistemi di forze equivalenti

B

Che tipo di sistema di forze produrrà in B lo stesso effetto (traslazione) di A, dove il sistema di forze in B è applicato alla corona del dente piuttosto che al centro di resistenza come in A (Fig 46)? Usando i concetti discussi sopra, così come i rapporti momento-forza, possiamo risolvere questo problema.

Ⓐ

$$F1 = -300g$$

$$\Sigma M = 0$$

Ⓑ

$$F2 = -300g$$

$$d = 10mm$$

$$M = F2 \times d = -3000g \text{ mm}$$

(this is the moment produced by the force F2 on the crown of the tooth)

F2 da solo produrrebbe un "tipping" incontrollato del dente poiché c'è un momento sul dente, e il dente sta ruotando intorno al centro di resistenza (Crot = Cres). Quindi, per produrre un movimento di traslazione nel sistema B, che è equivalente al sistema A, è necessario un momento



sulla corona che è in direzione opposta al momento da F2, in modo che il momento netto sul sistema B sia zero (come nel sistema A). Quindi, il momento è  $M = +3000\text{g}/\text{mm}$ .

Esempio: Consideriamo il sistema di forze equivalenti richiesto per il movimento delle radici (Fig 47).

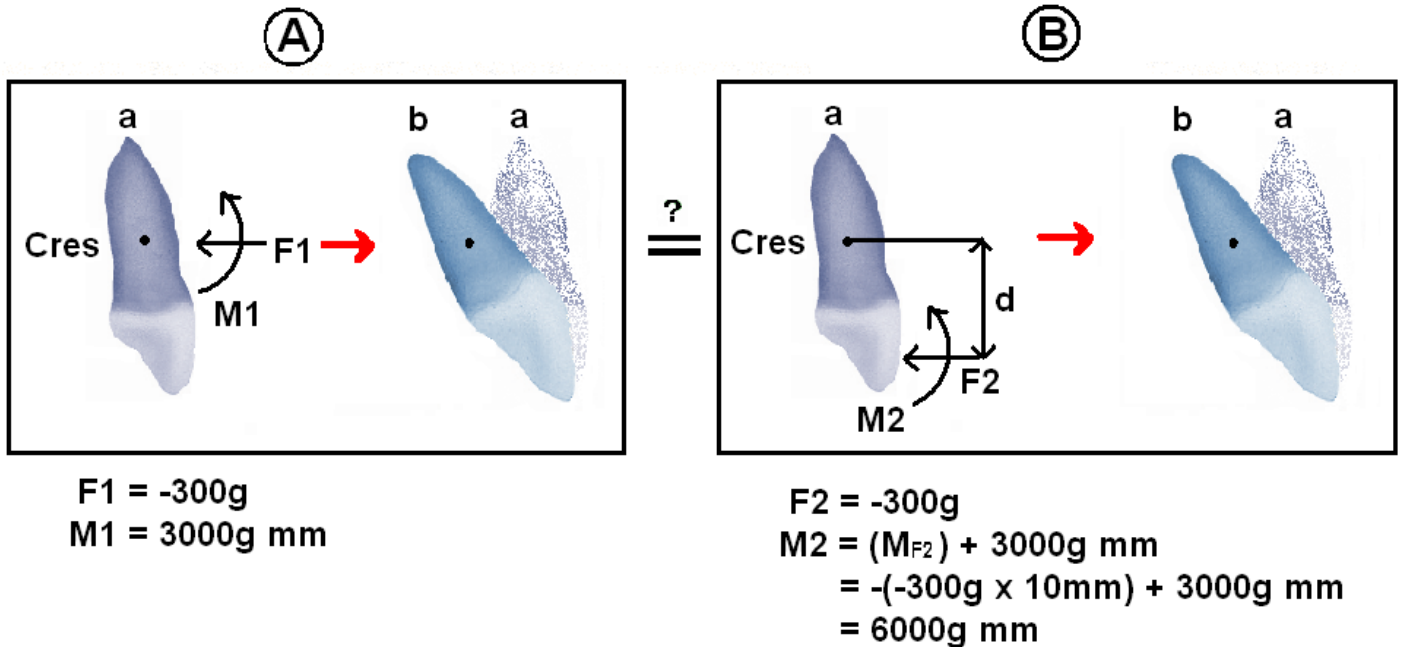


Figura 47: Calcoli per determinare dei sistemi di forze equivalenti per il movimento delle radici

In questo esempio, il Sistema A ha una forza e un momento che agiscono sul [centro di resistenza](#) per produrre il movimento desiderato della radice. Nel Sistema B, c'è un momento associato alla Forza F2 (poiché F2 è applicata alla corona e non al centro di resistenza), che deve essere contrastato per controllare il centro di rotazione. Per produrre un ulteriore "tipping" controllato del dente, un momento aggiuntivo è posto sul dente in modo da ottenere un risultato equivalente nel Sistema B, come nel Sistema A.

Alcuni suggerimenti per controllare il movimento,

**È meglio cambiare il momento, non la forza.**

- Per un "tipping" controllato, diminuire il momento (diminuire M/F)
- Per la [traslazione](#), regolate il momento in modo da avere un sistema di forze equivalenti
- Ancorare la corona per il movimento delle radici (cioè aumentare il momento)
- La traslazione non avverrà solo aumentando la forza sull'oggetto.

Il M/F al [centro di resistenza](#) determina l'effetto sul PDL. Nell'area in cui il PDL risulta trazione (dalla parte opposta alla direzione del movimento del dente), si deposita osso, e l'osso viene riassorbito nella zona in cui il PDL è compresso (verso la direzione del movimento dentale).

Non dimenticare che l'entità del M/F dipenderà dalla lunghezza della radice/livello osseo (perché la distanza dal bracket al centro di resistenza può cambiare). Per esempio, i denti più corti richiedono un M/F inferiore per la traslazione rispetto ai denti più lunghi.

## 9 ANCORAGGIO

L'ancoraggio in ortodonzia è una considerazione importante poiché fornisce resistenza a movimenti dentali indesiderati. La terza legge di Newton è vitale per la discussione sull'ancoraggio. Ricordiamo che ogni azione ha una reazione uguale e contraria. Pertanto, il sistema di forze utilizzato per spostare i denti avrà una reazione uguale e contraria sul sistema di ancoraggio. L'ancoraggio può essere intra-arcata, inter-arcata o extraorale, ognuno dei quali fornisce diverse grandezze di stabilità o resistenza a movimenti indesiderati. Per esempio, i denti, il palato, le forze neuromuscolari, gli impianti e le strutture extraorali possono servire come ancoraggio.

La quantità di ancoraggio necessaria dipende dal piano di trattamento. Per esempio, per chiudere uno spazio di estrazione, ci sono fondamentalmente tre opzioni: retrarre solo il segmento anteriore (i denti posteriori sono ancorati al loro posto), retrarre i denti anteriori e avanzare i posteriori, o avanzare solamente i denti posteriori.

L'ancoraggio massimo può essere raggiunto con l'uso di impianti (micro, mini, palatali), e apparecchiature extraorali (headgears). L'ancoraggio massimo si verifica quando l'unità di ancoraggio non si muove mentre un altro gruppo di denti viene spostato. Questo è difficile da ottenere solamente attraverso l'uso di apparecchiature intraorali (senza impianti) perché c'è sempre una risposta dentoalveolare che interessa le unità di ancoraggio. Un esempio di apparecchiatura intraorale che fornisce molto ancoraggio (anche se non così tanto come altri set-up di massimo ancoraggio) è l'apparecchio inter-arcata di Herbst.

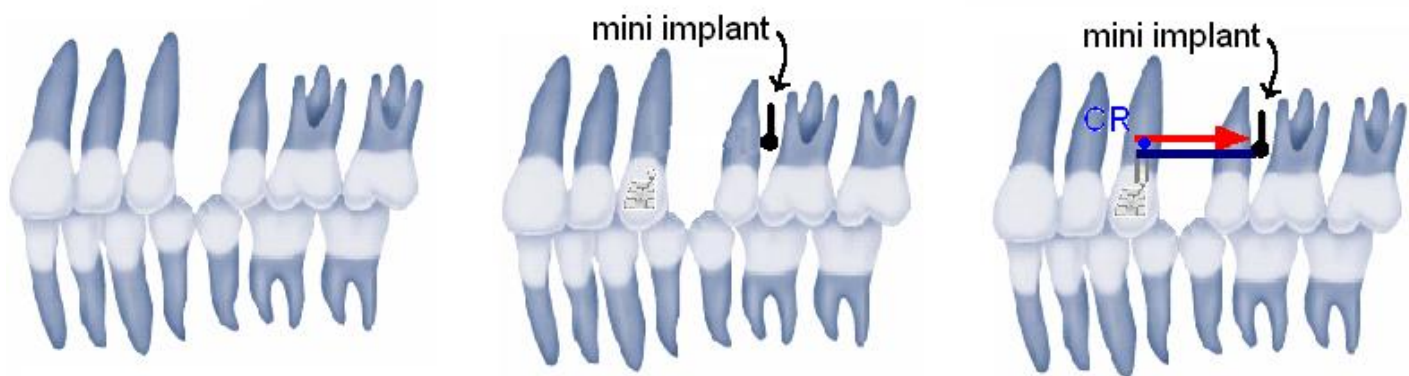


Figura 48: L'uso di mini-impianti nella retrazione canina

L'uso di microimpianti sta diventando sempre più popolare in ortodonzia. L'esempio seguente mostra come un canino può essere distalizzato corporeamente usando un micro-impianto (Fig 48). In questo caso, il movimento corporeo distale avviene perché la forza è più vicina al [centro di resistenza](#). Si noti che con gli impianti (specialmente quelli sulla superficie vestibolare dell'osso alveolare) c'è un movimento indesiderato verso un altro piano (verso vestibolare). Questo può essere minimizzato dal tipo di filo utilizzato nell'impianto (vedi discussione sui fili).



L'ancoraggio moderato si verifica quando l'unità di ancoraggio può essere spostata, ma meno dei denti che vengono spostati. L'ancoraggio moderato si ottiene di solito con un apparecchio intraorale o un gruppo di denti.

Si possono anche usare combinazioni di ancoraggio massimo e moderato. Per esempio, in un caso di estrazione del secondo premolare, dove stiamo cercando di distalizzare il primo premolare, ma vogliamo evitare la mesializzazione del primo molare, possiamo ancorare il primo molare al secondo molare. Se stessimo cercando di ritrarre l'intero segmento anteriore, sarebbe necessario un ancoraggio aggiuntivo e si potrebbe aggiungere una trazione extraorale. L'ancoraggio di un sistema può essere aumentato aumentando il numero di denti solidarizzati o aggiungendo un ancoraggio extraorale, a seconda dei risultati del trattamento desiderati.

Una situazione che non ha un ancoraggio è il movimento reciproco, come la chiusura di un diastema (Fig 49).

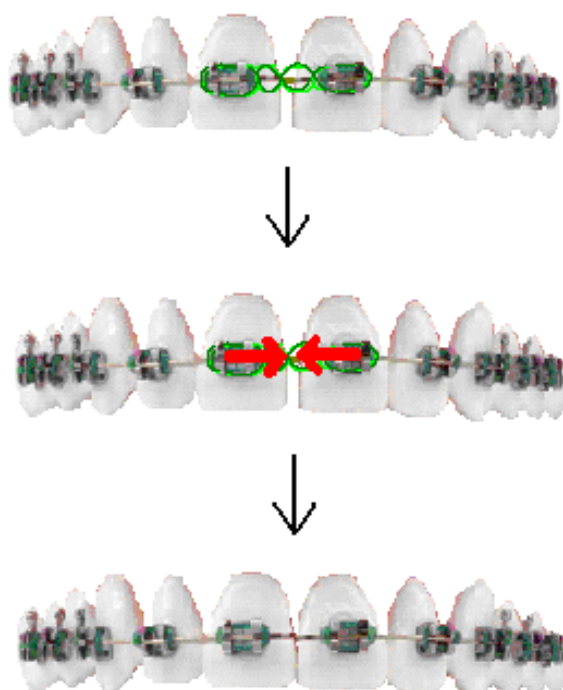


Figura 49: Movimento reciproco nella chiusura di un diastema

## 9.1 APPLICAZIONI

### 9.1.1 Retrazione canina

Per chiudere lo spazio lasciato dopo l'estrazione del premolare, il canino può essere retratto inizialmente, seguito poi dagli incisivi, o in alternativa, i sei denti anteriori possono essere retratti in massa. Per dimostrare la biomeccanica della retrazione, questo esempio utilizzerà la retrazione canina. Il dente è soggetto a una forza distale lungo un filo. Poiché la forza è occlusale al [centro di resistenza](#), c'è un movimento di "tipping" del dente. Questo movimento di "tipping" è contrastato da una coppia di forze creata dal bracket e dal filo, che risulta in un piccolo cambiamento nell'angolazione dell'asse lungo del dente. Questa controcoppia dipende naturalmente dalla dimensione e dalla forma della sezione trasversale del filo. Il filo deve riempire lo slot del bracket affinché si verifichi la controcoppia. Il risultato di questa azione è un canino retratto perpendicolarmente al piano occlusale la cui radice è parallela alle radici dei denti adiacenti.

### 9.1.2 Estrusione per aumentare la lunghezza clinica della corona e posizionamento dell'impianto

Le applicazioni cliniche dei movimenti dentali fanno parte dell'ortodonzia ma anche di altre specialità. Per esempio, se vogliamo aumentare la lunghezza clinica della corona di un dente in una situazione in cui non si possono utilizzare procedure parodontale per raggiungere il nostro obiettivo (per esempio nella zona anteriore esteticamente sensibile), l'estrusione ortodontica può essere un'opzione. L'estrusione ortodontica può essere rapida o lenta, a seconda degli obiettivi del trattamento, e a seconda della meccanica (forze) dell'apparecchio ortodontico utilizzato. Per esempio, l'estrusione ortodontica può essere utilizzata per preparare un sito per un impianto.

## 10 LETTURE CONSIGLIATE

---

- Andrews, L. F. (1979). "The straight-wire appliance." British Journal of Orthodontics **6**(3): 125-143.
- Antoszewska, J. and N. Küçükkeles (2011). Biomechanics of Tooth-Movement: Current Look at Orthodontic Fundamental, INTECH Open Access Publisher.
- Barlow, M. and K. Kula (2008). "Factors influencing efficiency of sliding mechanics to close extraction space: a systematic review." Orthodontics & craniofacial research **11**(2): 65-73.
- Beertsen, W., C. A. McCulloch and J. Sodek (1997). "The periodontal ligament: a unique, multifunctional connective tissue." Periodontology 2000 **13**(1): 20-40.
- Begg, P. R. (1954). "Stone Age man's dentition: with reference to anatomically correct occlusion, the etiology of malocclusion, and a technique for its treatment." American Journal of Orthodontics **40**(4): 298-312.
- Bridges, T., G. King and A. Mohammed (1988). "The effect of age on tooth movement and mineral density in the alveolar tissues of the rat." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **93**(3): 245-250.
- Brudvik, P. and P. Rygh (1993). "The initial phase of orthodontic root resorption incident to local compression of the periodontal ligament." The European Journal of Orthodontics **15**(4): 249-263.
- Burstone, C. J. (1962). "Rationale of the segmented arch." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **48**(11): 805-822.
- Burstone, C. J. (2011). "Application of bioengineering to clinical orthodontics." Orthodontics-E-Book: Current Principles and Techniques: 345.
- Burstone, C. J. and H. A. Koenig (1974). "Force systems from an ideal arch." American journal of orthodontics **65**(3): 270-289.
- Burstone, C. J. and H. A. Koenig (1988). "Creative wire bending—the force system from step and V bends." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **93**(1): 59-67.
- Burstone, C. J. and R. J. Pryputniewicz (1980). "Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces." American journal of orthodontics **77**(4): 396-409.
- Cahill, D. R. and S. C. Marks (1980). "Tooth eruption: evidence for the central role of the dental follicle." Journal of Oral Pathology & Medicine **9**(4): 189-200.
- Cai, Y., X. Yang, B. He and J. Yao (2015). "Finite element method analysis of the periodontal ligament in mandibular canine movement with transparent tooth correction treatment." BMC oral health **15**(1): 106.
- Caputo, M., C. Di Luzio, A. Bellisario, F. Squillace and M. L. Favale (2017). "Evaluation Of The Effectiveness Of Clear Aligners Therapy In Orthodontic Tooth Movement."
- Castroflorio, T., F. Garino, A. Lazzaro and C. Debernardi (2013). "Upper-incisor root control with Invisalign appliances." J Clin Orthod **47**(6): 346-351.
- Chen, G., F. Teng and T.-M. Xu (2016). "Distalization of the maxillary and mandibular dentitions with miniscrew anchorage in a patient with moderate Class I bimaxillary dentoalveolar protrusion." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **149**(3): 401-410.
- Choy, K., E.-K. Pae, K.-H. Kim, Y. C. Park and C. J. Burstone (2002). "Controlled space closure with a statically determinate retraction system." The Angle Orthodontist **72**(3): 191-198.

Cobo, J., A. Sicilia, J. Argüelles, D. Suárez and M. Vijande (1993). "Initial stress induced in periodontal tissue with diverse degrees of bone loss by an orthodontic force: tridimensional analysis by means of the finite element method." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **104**(5): 448-454.

Cope, J. (2011). "An interview with Jason Cope." Dental Press Journal of Orthodontics **16**(2): 36-46.

Epstein, M. B. (2002). Benefits and rationale of differential bracket slot sizes: the use of 0.018-inch and 0.022-inch slot sizes within a single bracket system.

Fiorelli, G., B. Melsen and C. Modica (2001). "Differentiated orthodontic mechanics for dental midline correction." Journal of clinical orthodontics: JCO **35**(4): 239.

Garino, F., T. Castroflorio, S. Daher, S. Ravera, G. Rossini, G. Cugliari and A. Deregibus (2016). "Effectiveness of composite attachments in controlling upper-molar movement with aligners." J Clin Orthod **50**(6): 341-347.

Gebeck, T. R. and L. L. Merrifield (1995). "Orthodontic diagnosis and treatment analysis—concepts and values. Part I." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **107**(4): 434-443.

Gebeck, T. R. and L. L. Merrifield (1995). "Orthodontic diagnosis and treatment analysis—concepts and values: part II." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **107**(5): 541-547.

Geramy, A., K. Tanne, M. Moradi, H. Golshahi and Y. Farajzadeh Jalali (2016). "Finite element analysis of the convergence of the centers of resistance and rotation in extreme moment-to-force ratios." Int Orthod **14**(2): 161-170.

Geron, S., R. Romano and T. Brosh (2004). "Vertical forces in labial and lingual orthodontics applied on maxillary incisors—a theoretical approach." The Angle Orthodontist **74**(2): 195-201.

Giancotti, A. and A. A. Gianelly (2001). "Three-Dimensional Control in Extraction Cases Using a Bidimensional Approach." World Journal of Orthodontics **2**(2).

Giancotti, A., P. Mozzicato and M. Greco (2012). "En masse retraction of the anterior teeth using a modified bidimensional technique." Journal of Clinical Orthodontics **46**(5): 267.

Jacobs, R. and D. v. Steenberghe (1994). "Role of periodontal ligament receptors in the tactile function of teeth: a review." Journal of periodontal research **29**(3): 153-167.

Kim, S.-J., J.-W. Kim, T.-H. Choi and K.-J. Lee (2014). "Combined use of miniscrews and continuous arch for intrusive root movement of incisors in Class II division 2 with gummy smile." The Angle Orthodontist **84**(5): 910-918.

Koenig, H. A. and C. J. Burstone (1989). "Force systems from an ideal arch—large deflection considerations." The Angle Orthodontist **59**(1): 11-16.

Kojima, Y. and H. Fukui (2014). "A finite element simulation of initial movement, orthodontic movement, and the centre of resistance of the maxillary teeth connected with an archwire." European Journal of Orthodontics **36**(3): 255-261.

Krishnan, V. and Z. e. Davidovitch (2006). "Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **129**(4): 469. e461-469. e432.

Kurol, J. and P. Owman-Moll (1998). "Hyalinization and root resorption during early orthodontic tooth movement in adolescents." The Angle orthodontist **68**(2): 161-166.

Kusy, R. P. and J. C. Tulloch (1986). "Analysis of moment/force ratios in the mechanics of tooth movement." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics **90**(2): 127-131.

Lavigne, G., J. Kim, C. Valiquette and J. Lund (1987). "Evidence that periodontal pressoreceptors provide positive feedback to jaw closing muscles during mastication." Journal of Neurophysiology **58**(2): 342-358.

Lekic, P. and C. McCulloch (1996). "Periodontal ligament cell populations: the central role of fibroblasts in creating a unique tissue." The Anatomical Record **245**(2): 327-341.

Lindauer, S. J. (2001). The basics of orthodontic mechanics. Seminars in Orthodontics, Elsevier.

McCulloch, C. A. and S. Bordin (1991). "Role of fibroblast subpopulations in periodontal physiology and pathology." Journal of periodontal research **26**(3): 144-154.

Mcculloch, C. A., P. Lekic and M. D. Mckee (2000). "Role of physical forces in regulating the form and function of the periodontal ligament." Periodontology 2000 **24**(1): 56-72.

Meling, T. R., J. Ødegaard and E. Ø. Meling (1997). "On mechanical properties of square and rectangular stainless steel wires tested in torsion." American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics

**111**(3): 310-320. Melsen, B. (1999). "Biological reaction of alveolar bone to orthodontic tooth movement." The Angle orthodontist **69**(2): 151-158.