

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Industriale e dell'Informazione

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica – Biomeccanica e Biomateriali (BBB)



*Apparato Stomatognatico e Movimento:
Valutazione Strumentale dell'Articolazione
Temporomandibolare e della Deambulazione*

Relatore:

Prof.ssa Manuela Galli

Correlatore:

Dott.re Luca Mercogliano

Tesi di Laurea di:

Francesco Lucarelli

Matr. 878756

Anno accademico 2018/2019

Indice

INDICE DELLE FIGURE	5
SOMMARIO	8
ABSTRACT	11
INTRODUZIONE	14
1. ANATOMIA, BIOMECCANICA E STATO DELL'ARTE	15
1.1 ANATOMO-FISIOLOGIA DELL'ATM	15
1.2 OCCLUSIONE DENTALE	21
1.3 BIOMECCANICA DELL'ATM	23
1.3.1 MOVIMENTI LIBERI DELLA MANDIBOLA	23
1.3.2 AZIONE DEI MUSCOLI NEI MOVIMENTI MANDIBOLARI LIBERI	27
1.3.3 MOVIMENTI MASTICATORI DELLA MANDIBOLA	29
1.3.4 BIOMECCANICA MANDIBOLARE: AZIONE LEVA-NON-LEVA	31
1.4 IL MOVIMENTO CICLICO DEL CAMMINO	34
1.4.1 L'ANALISI DEL CAMMINO	34
1.4.2 LE FASI DEL PASSO	36
1.5 STATO DELL'ARTE	38
1.5.1 CORRELAZIONE ASCENDENTE E DISCENDENTE DELL'ATM	38
1.5.2 REVIEW DELLA LETTERATURA	43
2. MATERIALI E METODI	46
2.1 SOGGETTI	46
2.2 EMG IN ODONTOIATRIA: STRUMENTAZIONE, PROTOCOLLI ED INDICI DIAGNOSTICI	47

2.2.1	STRUMENTAZIONE E PROTOCOLLI (BTS TMJOINT).....	49
2.2.2	INDICI DIAGNOSTICI	54
2.3	GAIT ANALYSIS: STRUMENTAZIONE, PROTOCOLLI E INDICI FUNZIONALI	67
2.3.1	STRUMENTAZIONE E PROTOCOLLI (G-WALK).....	72
2.3.2	INDICI FUNZIONALI	76
2.4	DATA ANALYSIS.....	80
3.	RISULTATI E DISCUSSIONI	85
3.1	RISULTATI DEL CONFRONTO STATISTICO TRA PAZIENTI CON NORMOCCLUSIONE E CON MALOCCLUSIONE.....	85
3.2	RISULTATI DEL CONFRONTO STATISTICO TRA PAZIENTI CON MALOCCLUSIONE PRE-POST MODIFICA DELLA CONDIZIONE OCCLUSALE.....	91
3.3	DISCUSSIONE DEI RISULTATI OTTENUTI.....	97
4.	CONCLUSIONI	100
5.	RINGRAZIAMENTI.....	102
6.	BIBLIOGRAFIA	103

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Anatomia dell'ATM	15
Figura 2: Disco articolare (Davide Andreini	16
Figura 3: Legamenti dell'ATM	17
Figura 4: Complesso muscolare ATM semplificato	18
Figura 6: Muscoli dell'ATM e le loro linee d'azione	20
Figura 5: Muscoli del collo	20
Figura 7: Controllo nervoso muscolare della mandibola	21
Figura 8: Esempio di occlusione dentale	22
Figura 9: Classi di occlusione dentale.....	22
Figura 10: Movimenti di confine della mandibola. (W.L. Hylander, 2006)	24
Figura 11: Rotazione e traslazione del condilo mandibolare in apertura.....	24
Figura 12: Rotazione e Traslazione del condilo durante il movimento di apertura	25
Figura 13: Mandibola durante il movimento laterale sinistro	26
Figura 14: Movimenti durante la masticazione unilaterale	30
Figura 15: Attività elettromiografica (EMG) dei muscoli della mascella.....	30
Figura 16: Masticazione unilaterale sul lato destro.	31
Figura 17: Mandibola umana che funziona come una leva.....	31
Figura 18: Azione non-leva della mandibola	32
Figura 19: Divisione del ciclo del passo in fase di stance e swing.....	35
Figura 20: Particolare delle fasi del ciclo del passo.....	36
Figura 21: Parametri spazio-temporali fisiologici del ciclo del passo	37
Figura 22: Catene muscolari dell'ATM.....	38
Figura 23: Conseguenze di una protrusione/retrusione mandibolare	40
Figura 24: Modellizzazione per dimostrazione di correlazione discendente	41
Figura 25: Assetto complessivo a seguito di uno squilibrio biomeccanico	42
Figura 26: Relazione tra malocclusione ed assetto posturale	43
Figura 27: Tabella delle medie dei soggetti analizzati durante lo studio	46
Figura 28: Strumento BTS TMJoint	49
Figura 29: Elettrodi e sonda utilizzati.....	50
Figura 30: Posizione standardizzata degli elettrodi	52
Figura 31: Posizionamento rulli per la valutazione della MVC	52
Figura 32: Esempio di massimo serramento volontario su dentatura.....	53
Figura 33: Esempio di effetto di normalizzazione rispetto alla MVC su cotone	53
Figura 34: Rappresentazione grafica del POC	55
Figura 35: Esempio di calcolo di percentage overlapping coefficient (POC).....	56
Figura 36: Rappresentazione grafica del BAR	57
Figura 37: Esempio di baricentro posteriorizzato o anteriorizzato.....	58
Figura 38: Rappresentazione grafica del TORS	59
Figura 39: Rappresentazione grafica IMPACT	59
Figura 40: Esempio di impact.....	60
Figura 41: Esempio di distribuzione dei dati durante la masticazione unilaterale	63

Figura 42: Esempio di Report Diagnostico TMJOINT, pag. 1	65
Figura 43: Esempio di Report Diagnostico TMJOINT, pag. 2 e pag. 3	66
Figura 44: Connessioni dirette ed indirette dell'osso ioide	68
Figura 45: Alterazioni posturali.....	68
Figura 46: Ripercussioni sulla muscolatura del collo	69
Figura 47: Configurazione mista Quadro "A" - Quadro "B (Mauro Lastrico, 2018)"	71
Figura 48: BTS G-SENSOR.....	72
Figura 49: Posizionamento del sensore per prova di TUG e WALK+	73
Figura 50: Schematizzazione del protocollo WALK+.....	74
Figura 51: Tester BRUX	75
Figura 52: Ciclo del Passo.....	76
Figura 53: Parametri e rispettivi valori fisiologici estraibili dal G-WALK	77
Figura 54: Esempio di report G-WALK, pag. 1	78
Figura 55: Esempio di report G-WALK, pag.2 e pag.3.....	79
Figura 56: Schema a blocchi gerarchico dell'analisi dei dati raccolti.....	80
Figura 57: Foglio Excel con dati prelevati dai reports del TMJoint	81
Figura 58: Dati reports TMJoint organizzati rispetto l'indice IQG	82
Figura 60: Esempio di test di normalità	83
Figura 61: Popolazioni con e senza outliers in pazienti con e senza malocclusione	87
Figura 62: Istogramma cadenza.....	88
Figura 63: Istogramma velocità	88
Figura 64: Istogramma indici di qualità	89
Figura 65: Istogramma lunghezza del passo	89
Figura 66: Istogramma propulsione	90
Figura 67: Istogramma indici di simmetria del bacino	90
Figura 68: Evidenza del miglioramento del IQG	91
Figura 69: Dati funzionali pre e post inserimento	94
Figura 70: Istogramma indici di propulsione	95
Figura 71: Istogramma indice di Tilt	95
Figura 72: Esempio di dispersione dei dati raccolti.....	96
Figura 73: Grafico a torta.....	97
Figura 74: Modifiche nel piano sagittale	98

SOMMARIO

È evidenza degli ultimi anni di come un problema a carico del complesso denti-lingua-mandibola (apparato stomatognatico) possa avere delle ripercussioni a livello di porzioni del corpo umano (apparato muscolo-scheletrico) lontane dalla bocca.

In questo lavoro di tesi si è cercato di chiarire in che modo viene esplicitata la relazione tra articolazione temporomandibolare (ATM) e l'apparato posturo-locomotore. Si sono ricercate, dunque, evidenze scientifiche che dimostrassero in che modo la malocclusione possa creare in alcuni soggetti (disfunzionali) un disordine della cinematica della locomozione. Questo rappresenta il fulcro di tutto lo studio, impostato su basi teoriche e pratiche, attraverso sperimentazioni effettuate su diversi campioni di soggetti, di cui il Dott.re Luca Mercogliano ne è l'ideatore e N.I.T. Naples Institute Of Technologies di Luca Mercogliano, ha fornito la tecnologia e l'esperienza per lo svolgimento del progetto.

Obbiettivi:

Attraverso un'analisi strumentale, si è studiata e analizzata la correlazione, in termini statistici significativi, tra i parametri funzionali che descrivono il ciclo del passo e la tipologia di occlusione dentale adottata dai pazienti in condizioni di riposo. Si è quindi svolto un confronto statistico tra pazienti con malocclusione e pazienti con normocclusione, evidenziandone le differenze. Si è passati al confronto tra pazienti con malocclusione in condizioni normali e gli stessi pazienti a cui è stata modificata l'occlusione dentale. Attraverso un t.test o un Wilcoxon-Mann-Whitney test si è calcolato il *p value*, valore correlabile alla differenza statistica di due distribuzioni di dati.

Questo studio si inserisce in un'ampia letteratura, in cui molti autori hanno cercato valori quantitativi e parametri qualitativi che potessero mettere in luce questa correlazione biomeccanica. L'osservazione multi-strumentale, l'indagine mirata e canalizzata alla ricerca di un tipo di connessione quantificabile e l'esecuzione di una task motoria dinamica, quale il cammino, sono le peculiarità di questo lavoro sperimentale.

Materiali e Metodi:

La popolazione esaminata è composta da 53 adulti, di età compresa tra i 20 e i 55 anni.

Ad ogni paziente è stata svolta una valutazione sia diagnostica che funzionale con gli strumenti *BTS TMJOINT* e *G-WALK*, entrambi di proprietà della BTS Bioengineering ITA.

Il primo consiste in un elettromiografo di superficie, interfacciato con un personal computer, per la valutazione dell'occlusione dentale. Al fine di ottenere una visione chiara e completa della condizione del paziente, nel team è stato presente sempre anche un odontoiatra. La valutazione diagnostica strumentale dura per ogni paziente circa 45 min.

Con *TMJOINT* vengono rilevate ed elaborate le attività elettriche dei muscoli superficiali di maggior rilievo (e facilmente prelevabili) nell'articolazione temporomandibolare, quali: temporale anteriore, massetere, sternocleidomastoideo. Attraverso questo, è stato estratto un indice di qualità generale dell'occlusione dentale (IQG), il quale ha permesso la suddivisione della popolazione in due gruppi: 27 pazienti hanno mostrato una malocclusione, 26 hanno mostrato una normocclusione.

Il secondo strumento, *G-WALK*, è un sistema inerziale adatto alla valutazione funzionale del cammino e del movimento. Attraverso 4 piattaforme inerziali e un GPS, il *G-WALK* restituisce parametri spazio-temporali (velocità, cadenza, lunghezza del passo etc....) e parametri cinematici sia del ciclo del passo che del bacino.

Le acquisizioni diagnostiche e quelle funzionali, per ogni paziente, sono state eseguite nello stesso giorno, rispettando il protocollo prestabilito.

I dati sono stati riportati su un foglio Excel, il quale ha semplificato l'utilizzo degli stessi. Per ogni distribuzione di dati è stato eseguito un test di normalità (Shapiro-Wilk test). Rispetto al risultato ottenuto, si è passato ad eseguire un test di correlazione statistica tra le varie distribuzioni di dati in differenti condizioni al contorno: malocclusione vs normocclusione, malocclusione vs malocclusione corretta. Si è calcolato il p value attraverso un t.test o un wilcox.test e si sono discussi i risultati ottenuti.

Risultati:

Ciò che è emerso da questo studio è che tra pazienti normocclusi e pazienti malocclusi non è presente nessun parametro del cammino che mostra una differenza statistica significativa ($p > 0.05$).

Nel confronto invece tra pazienti con malocclusione e pazienti con malocclusione a cui è stato inserito un tester/rulli di cotone/rialzo, gli indici di propulsione destra e sinistra hanno mostrato una differenza statistica significativa ($p < 0.05$).

Si è visto inoltre che il miglioramento del tavolo occlusale, sposta la nuvola di punti verso valori più alti sia di IQG che di propulsione.

Conclusioni:

Il seguente lavoro di tesi ha mostrato, basandosi su evidenze scientifiche e sotto determinate condizioni, che esiste una correlazione tra apparato stomatognatico e apparato locomotore.

La compensazione neuromuscolare e l'adattamento posturale continuo a cui il corpo umano è sottoposto potrebbe essere il motivo per il quale non è stata riscontrata nessuna differenza statistica significativa tra pazienti con malocclusione e con normocclusione. Si sottolinei che solo un ca. 10% della popolazione con malocclusione presentava una condizione severa.

Diverso è il discorso nel confronto intra popolazione, cioè nel confronto tra pazienti con malocclusione pre e post inserimento di un rialzo mono/bilaterale. Una modifica repentina della condizione di equilibrio occlusale, adottato dal sistema nervoso centrale tramite l'articolazione temporomandibolare e l'apparato muscolo scheletrico dello stomatognatico, porta ad una modifica discendente delle efferenze propriocettive e somatosensoriali, che inducono il paziente ad assumere un atteggiamento posturale differente, soprattutto in termini di spinta, cioè quella fase di passaggio tra lo stance e lo swing di un arto durante la locomozione.

Analisi multi-strumentali ad ampio spettro, volti alla valutazione a 360° del cammino, integrando magari una sEMG dei muscoli masticatori, vertebrali, spinali e paraspinali durante l'atto motorio, potrebbe essere il punto di partenza per studi futuri.

ABSTRACT

It is evidence in recent years of how a problem with the complex teeth-tongue- jaw (stomatognathic apparatus) can have repercussions at the level of portions of the human body (musculoskeletal apparatus) far from the mouth.

In this thesis work, an attempt was made to clarify what is the relationship between temporomandibular joint (ATM) and the posture-locomotor apparatus. Scientific evidence was therefore sought to demonstrate how malocclusion can create in some (dysfunctional) subjects a disorder of the kinematics of locomotion. This is at the heart of the study, based on theoretical and practical basis, through trials of different samples of subjects, of which Dr. Luca Mercogliano is the creator and N.I.T. Naples Institute of Technologies by Luca Mercogliano, provided the technology and experience for the project.

Objectives:

Through an instrumental analysis, the correlation, in significant statistical terms, between the functional parameters, that describe the step cycle and the type of dental occlusion adopted by patients in rest condition, was studied and analyzed. A statistical comparison was then carried out between patients with malocclusion and patients with normocclusion, highlighting their differences. Comparisons were made between patients with normal conditions and the same patients who had their dental occlusion modified. Through a t.test or a Wilcoxon-Mann-Whitney *p value is calculated, value* which is related to the statistical difference of two data distributions. This study is part of a large literature, in which many authors looked for quantitative values and qualitative parameters that could highlight this biomechanical correlation. Multi-instrumental observation targeted and channeled investigation in search of a quantifiable type of connection and the execution of a dynamic motor task, such as the path, as a functional parameter observed are the peculiarities of this experimental work.

Materials and Methods:

The population examined is 53 adults, aged between 20 and 55.

Each patient was evaluated both diagnostic and functional with the BTS TMJOINT and G-WALK instruments, both owned by BTS Bioengineering ITA.

The first consists of a surface electromyograph, interfaced with a personal computer, for the evaluation of dental occlusion. In order to get a clear and complete view of the patient's condition, a dentist was always present in the team. The instrumental diagnostic assessment lasts for each patient about 45 min.

TMJOINT detects and process the electrical activities of the most prominent surface muscles (and the easiest to be investigated) in the temporomandibular joint, such as: anterior temporal, masseter, sternocleidomastoid. Through this, a general dental occlusion quality index (IQG) was extracted, which allowed the population to be divided into two groups:

27 patients showed a malocclusion, 26 showed a normocclusion.

The second instrument, G-WALK, is an inertial system suitable for functional evaluation of the path and movement. Through 4 inertial platforms and a GPS system, the G-WALK returns space-time parameters (speed, cadence, pitch length etc....) and cinematic parameters of both the step and basin.

Diagnostic and functional acquisitions, for each patient, were carried out on the same day, respecting the predetermined protocol.

The data was reported on an Excel sheet, which made it easier to use them. A normal test (Shapiro-Wilk test) is performed for each data distribution. Compared to the result obtained, a statistical correlation test was performed between the various data distributions under different boundary conditions: malocclusion vs normocclusion, malocclusion vs malocclusion corrected. The *p value* is calculated through a t.test or a wilcox.test and results are discussed.

Results:

What this study found was that there is no walk parameter between normal and malocclusion patients that shows a significant statistical difference ($p>0.05$). In comparison between patients with malocclusion and patients with malocclusion who were fitted with a tester/cotton rollers/bite, the left and right propulsion indices showed a significant statistical difference ($p<0.05$).

It has also been seen that the improvement of the occlusal table, moves the point cloud towards higher values of both IQG and propulsion

Conclusions:

The following thesis work showed, based on scientific evidence and under certain conditions, that exists a correlation between the stomatognathic apparatus and the locomotor apparatus.

Neuromuscular compensation and continuous postural adaptation to which the human body is subjected may be the reason why no significant statistical difference was found between patients with malocclusion and normocclusion. It is pointed out that only 10% of the population with malocclusion had a severe condition.

The result is different in the intra-population comparison, that is the comparison between patients with malocclusion pre- and post- fitting of a bi/mono lateral mark-up. A sudden change in the occlusal balance condition, adopted by the central nervous system through the temporomandibular joint and skeletal muscle apparatus of the stomatognathic, leads to a descending change in efferences of somatosensory and proprioceptive system, which induce the patient to take a different postural attitude, especially in terms of thrust, phase of transition between the stance and swing of a limb during locomotion.

Wide-spectrum multi-instrumental analyses, aimed at the 360-degree evaluation of the path, perhaps integrating, for example, a sEMG of the chewing muscles during the motor act, could be the starting point for future studies.

INTRODUZIONE

Nella comunità scientifica e, più in particolare, all'interno di quei settori volti alla riabilitazione neuromuscolare di un soggetto affetto da disfunzioni posturali e locomotori è ormai accertato che esiste un certo tipo di relazione tra l'apparato stomatognatico, quindi il complesso comprendente l'articolazione temporomandibolare, la muscolatura della masticazione e la lingua ed il resto del corpo, in particolare il rachide e la catena cinematica della locomozione. Una scorretta occlusione dentale può provocare sintomi mandibolari ed extramandibolari. La diversità dei sintomi (così come la loro gravità) dipende dall'entità della malocclusione dentale: > difficoltà masticatorie; > mal allineamento del viso, > aumento del rischio di carie, parodontopatie e alterazioni temporo-mandibolari; > acufeni o ronzii alle orecchie; > ripercussioni sulla colonna vertebrale: mal di schiena, cefalee e tensioni cervicali. L'incidenza dei miglioramenti di patologie riguardanti la biomeccanica deambulatoria e/o posturale a seguito di interventi di natura odontoiatria ha portato la gnatologia, settore scientifico deputato allo studio della fisiologia e fisiopatologia del complesso cranio-cervico-mandibolare, ad allargare il proprio punto di vista, inserendo l'apparato stomatognatico all'interno di un complesso strutturale influenzante e influenzato dalla condizione dello stesso. A partire da queste premesse, l'obbiettivo di questo studio, nato da un progetto del Dott.re Luca Mercogliano e N.I.T., è stato verificare la presenza o meno di interconnessioni esistenti tra l'occlusione dentale e la locomozione. La trattazione è così strutturata:

- Capitolo 1: viene descritta l'anatomo-fisiologia dell'ATM e la sua biomeccanica. Vengono ripassate le teorie alla base della cinematica del passo e si fornisce una panoramica generale sullo stato dell'arte e su come si inserisce questo studio in esso;
- Capitolo 2: vengono descritti materiali e metodi dello studio. Descritta la classe di soggetti analizzata, si passa al dettaglio lo strumentario utilizzato, i parametri raccolti e la tipologia di analisi effettuata con essi;
- Capitolo 3: supportato da grafici e tabelle, si espongono i risultati ottenuti in questo studio e si commenteranno nel dettaglio;
- Conclusioni: sezione finale nel quale vengono espone le conclusioni a cui si è arrivati a seguito di questo lavoro di tesi.

1. ANATOMIA, BIOMECCANICA E STATO DELL'ARTE

Nel seguente capitolo vengono analizzate l'anatomo-fisiologia dell'articolazione temporo-mandibolare, la sua biomeccanica e la distribuzione di forze all'interno di essa. Viene fatto un breve ripasso su quella che è la teoria della cinematica del passo, nel quale verranno evidenziati quei parametri che sono stati presi in considerazione in questo studio.

In conclusione, si mostra una panoramica dello stato dell'arte della interconnessione esistente tra ATM e cinematica del passo/postura e come questo studio si inserisce in essa.

1.1 ANATOMO-FISIOLOGIA DELL'ATM

L'articolazione temporo-mandibolare (ATM) è una delle articolazioni più complesse del corpo umano e la sua funzione è quella di permettere tutti i movimenti della mandibola. L'ATM è formata dal condilo mandibolare, dal disco articolare e dalla fossa articolare dell'osso temporale. Questa articolazione, nonostante sia composta solamente da due ossa, è considerata un "articolazione complessa" in quanto il disco articolare funzionalmente si comporta come un terzo osso.

L'ATM è una diartrosi condiloidea, considerata doppia per la presenza di un disco articolare che suddivide la cavità articolare in due spazi non comunicanti in condizioni fisiologiche: il compartimento articolare superiore ed il compartimento articolare inferiore (considerato come uno spazio virtuale).

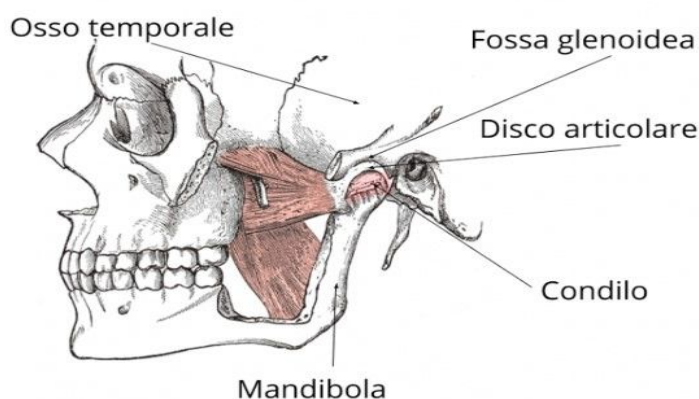


Figura 1: Anatomia dell'ATM (Lewis, 1918)

Entrambi i compartimenti sono avvolti e delimitati dalla capsula articolare (altrimenti considerata legamento capsulare), che si fissa inferiormente sul collo del condilo, mentre superiormente prende inserzione sul cerchione cartilagineo della fossa mandibolare.

Internamente, questi due spazi sono tappezzati da cellule endoteliali differenziate che formano il rivestimento sinoviale.

Questo rivestimento, assieme ai villi sinoviali del margine anteriore del tessuto retrodiscale, produce il liquido sinoviale che riempie entrambe le cavità sinoviali. In zona posteriore, il disco articolare è in continuità con una regione di tessuto connettivo lasso altamente vascolarizzata ed innervata, nota come zona retrodiscale. Questo tessuto è delimitato superiormente ed inferiormente da due lamine che lo uniscono, rispettivamente, alla membrana del timpano ed alla superficie postero-inferiore del condilo stesso. La restante parte del tessuto retrodiscale è unita ad un grande plesso venoso che si riempie di sangue quando il condilo trasla.

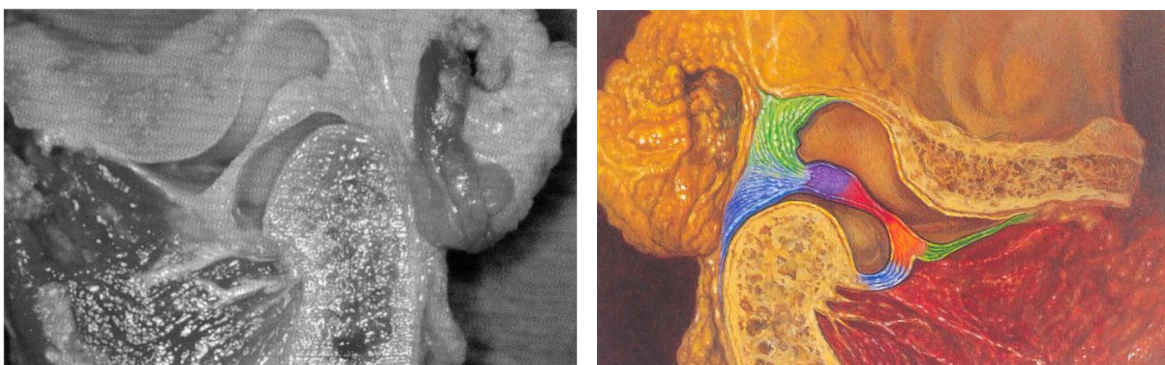


Figura 2: Disco articolare (Davide Andreini, 2011)

Come ogni sistema articolare, all'articolazione temporo-mandibolare sono associati dei legamenti che hanno la funzione di proteggere le strutture articolari. Istologicamente, i legamenti sono costituiti da fibre collagene e risultano, quindi, resistenti alla tensione. Questi, pur non partecipando alla funzione articolare, agiscono come mezzi di contenimento e limitazione della funzione articolare. I legamenti funzionali che supportano l'ATM sono: i due legamenti collaterali; il legamento capsulare; il legamento temporo-mandibolare; il legamento sfenomandibolare; il legamento stilomandibolare. I legamenti collaterali uniscono i margini mesiale e laterale del disco ai poli del condilo. Questi legamenti hanno la funzione di limitare l'allontanamento del disco dal condilo e sono responsabili del movimento a cerniera dell'ATM che avviene tra disco e condilo mandibolare.

I legamenti discali sono vascolarizzati ed innervati e l'innervazione trasmette loro informazioni su posizione e movimento articolare. Lo stiramento di questi legamenti provoca dolore.

Il legamento capsulare delimita completamente l'intera ATM racchiudendola e trattenendo in tal modo il liquido sinoviale. Il legamento capsulare è riccamente innervato e compartecipa del meccanismo di feed-back propriocettivo su posizione e movimento dell'ATM. Il legamento temporo-mandibolare rinforza il versante laterale del legamento capsulare; fisiologicamente, questo legamento ha funzione di contenimento, di fulcro e di protezione del tessuto retrodiscale dal trauma. Il legamento sfenomandibolare è uno dei due legamenti accessori dell'ATM. Le sue funzioni rispetto alla cinetica mandibolare non sono note.

Il legamento stilomandibolare è il secondo legamento accessorio dell'ATM e ha la funzione di limitare il movimento di protrusione.

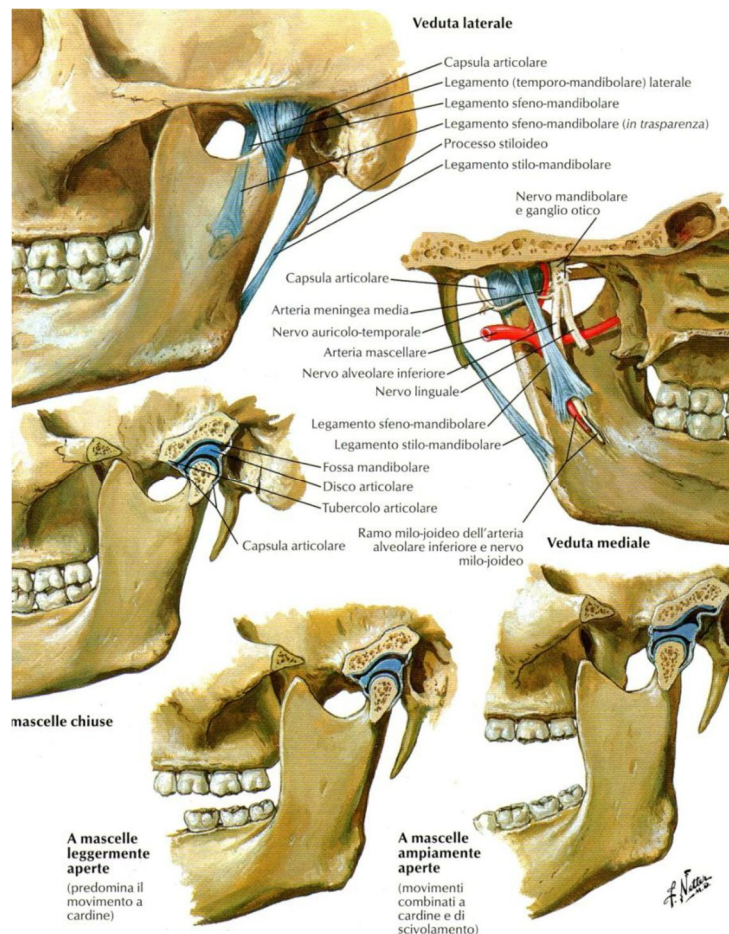


Figura 3: Legamenti dell'ATM (Netter, 2014)

La forza indispensabile al movimento mandibolare è assicurata da un consistente apparato muscolare (definito dei muscoli masticatori) costituito da quattro paia di muscoli: *temporale*; *massetere*; *pterygoideo esterno*; *pterygoideo interno*.

I muscoli digastrici, i muscoli sopra-ioidei ed i muscoli sotto-ioidei, pur non essendo considerati dei muscoli masticatori, hanno comunque un ruolo nella funzione masticatoria. Studiando le azioni dei singoli muscoli, è bene ricordare che nell'ambito dello stesso muscolo si possono individuare più fasci con azione differente se non addirittura antagonista (Ferrario et al., 1988). I muscoli che vengono indagati in questo lavoro sono il temporale (in particolare il fascio anteriore) e il massetere (capo superficiale), per cui si rende necessario un approfondimento riguardo alla loro anatomia e istologia.

Il temporale ha una forma a ventaglio, prende origine da un'estesa zona della superficie laterale del cranio, delimitata dalla linea temporale inferiore; i fasci del muscolo convergono in direzione di una fessura che si trova tra l'arcata zigomatica e la superficie laterale del cranio, nel mezzo della quale si trova l'apice del processo coronoideo. Il muscolo visto in sezione frontale si presenta bipennato, prendendo i fasci muscolari attacco su una lamina tendinea appiattita che rappresenta un'estensione del processo coronoideo verso l'alto, entro la profondità del muscolo stesso (DuBrul, 1988). Il muscolo viene classicamente scomposto in tre fasci, ognuno con funzione diversa: tra questi, il fascio anteriore possiede un'evidente azione di elevazione della mandibola, mentre i fasci intermedio e posteriore presentano una assai importante azione di retrusione della stessa qualora si trovi in una posizione di protrusione (Ferrario et al., 1988).

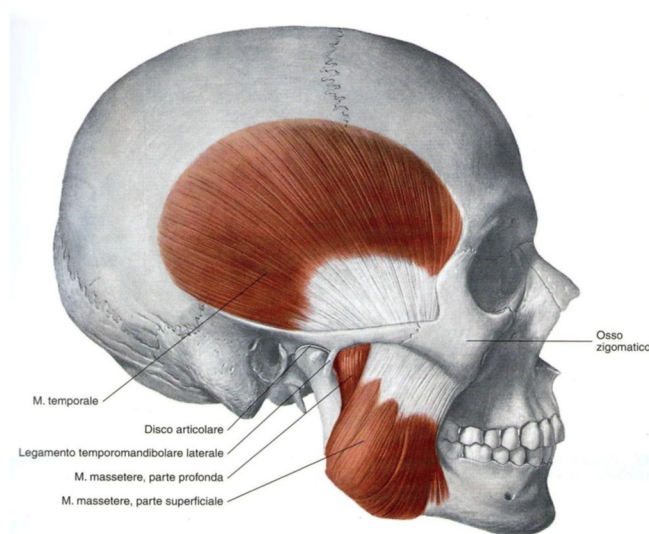


Figura 4: Complesso muscolare ATM semplificato (Wikipedia)

Il massetere ha una forma rettangolare ed è scomponibile anatomicamente e funzionalmente in un capo superficiale e un capo profondo. Il capo superficiale ha origine dal margine inferiore dell'osso zigomatico; i fasci si dirigono in basso e indietro, per prendere inserzione nella regione angolare della mandibola, agendo in elevazione secondo un asse disposto ad angolo retto rispetto al piano oclusale dei denti molari. Il fascio profondo è fuso al superficiale nella porzione anteriore, dal quale poi si separa e, dirigendosi in alto e indietro, prende attacco a livello della superficie interna dell'arcata zigomatica (DuBrul, 1988). Il fascio, pur mantenendo una componente di elevazione, sviluppa un'azione retrusiva sulla mandibola, che aumenta man mano che la stessa si trova spostata in avanti (Ferrario et al., 1988). Nella sua profondità, il capo superficiale del massetere è formato da un intervallarsi di lamine tendinee (in genere tre tendini di origine si alternano con due tendini di inserzione) e fasci carnosì, paragonabile alla costituzione del piano organizzativo dei muscoli multipennati. Ciò determina la diminuzione della lunghezza media degli elementi contrattili e, al tempo stesso, l'aumento del numero dei fasci muscolari a disposizione angolare. Il massetere è pertanto un muscolo a contrazione lenta e potente (DuBrul, 1988).

Il modello di reclutamento di Henneman delle fibre muscolari è stato sperimentalmente confermato nei muscoli masticatori da Yemm nel 1976 (Mao et al., 1992).

In contrasto a ciò che si riscontra negli altri muscoli del corpo umano, le fibre di tipo II hanno diametro minore rispetto al tipo I in tutte le porzioni dei muscoli, eccetto che in quella superficiale posteriore del temporale. Le fibre di tipo I, a contrazione lenta e resistenti alla fatica, sembra infatti che abbiano anche la funzione di mantenimento della postura (Mao et al., 1992). Si è dimostrato che in entrambi i muscoli predominano le fibre di tipo I nella porzione anteriore e tipo II in quella posteriore. Essendo la parte anteriore del massetere vicina al primo molare, fibre di tipo I sono necessarie per avere un movimento preciso in fase di chiusura della bocca in prossimità del raggiungimento dell'occlusione. La struttura muscolare è influenzata anche dalla funzione; ciò sembra confermato dalla carenza o totale assenza di fibre di tipo IIA e IIC nei muscoli elevatori della mandibola. Nell'uomo moderno, la masticazione di cibi morbidi, che non necessitano di grande forza muscolare, porta al minimo utilizzo delle fibre di tipo II; di conseguenza ci si deve aspettare che tali fibre vadano incontro ad atrofia (Mao et al., 1992).

Il muscolo pterigoideo mediale origina dalla fossa pterigoidea e si estende in direzione postero- inferiore per prendere inserzione sulla superficie mediale dell'angolo mandibolare. Con la sua contrazione la mandibola si eleva e protrude. Il muscolo pterigoideo laterale origina dalla lamina pterigoidea laterale e si dirige in direzione postero- anteriore verso il polo mediale del condilo inserendosi sulla capsula articolare, sul disco e sul collo del condilo. La contrazione di questo muscolo induce un movimento laterale della mandibola verso il lato opposto.

Sebbene sia topologicamente “distante” dall’apparato stomatognatico, lo sternocleidomastoideo è un muscolo stabilizzatore del collo durante i movimenti articolari. Esso funge da legame tra la catena cinematica dell’apparato stomatognatico e quello del rachide.

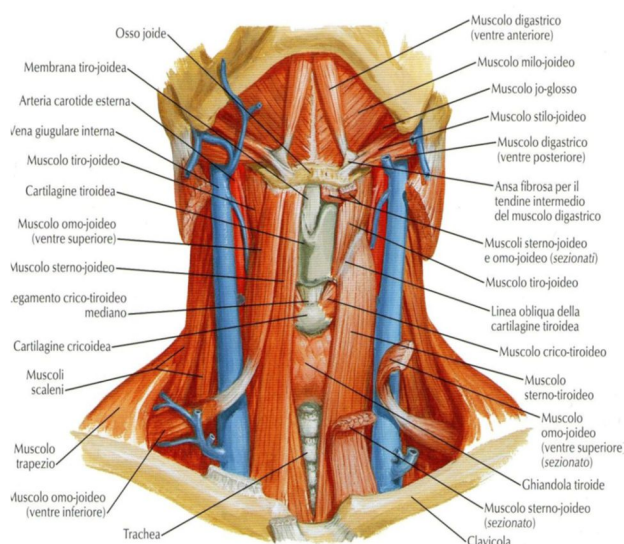


Figura 6: Muscoli del collo (Lezioni Rimondi,Erika)

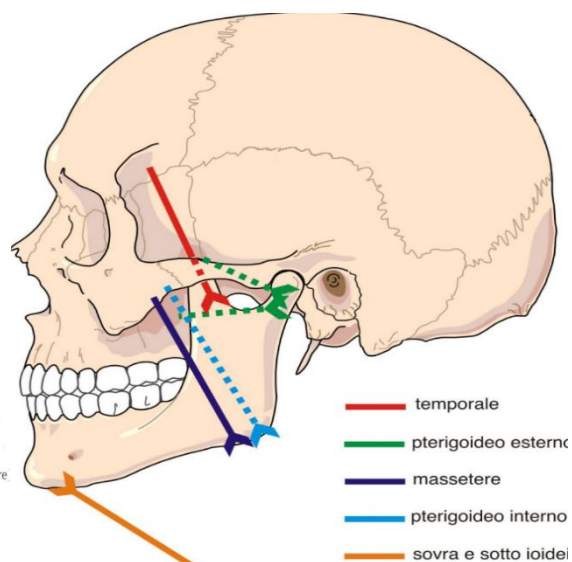


Figura 5: Muscoli dell'ATM e le loro linee d'azione (Lezioni Rimondi,Erika)

Per quanto concerne il meccanismo recettoriale sensoriale, anche nell’ATM sono presenti apparati che forniscono informazioni al sistema nervoso centrale. Alcuni recettori sono specifici per sensazioni di disagio e di dolore (nocicettori); altri recettori forniscono informazioni sulla posizione e movimento mandibolare (proprioceettori). Come altri sistemi recettoriali, anche il sistema masticatorio ne usa essenzialmente quattro tipi: i fusi muscolari (controllo della tensione muscolare); i corpuscoli neuro tendinei del Golgi (regolazione dei riflessi); i corpuscoli del Pacini (percezione della pressione); i nocicettori.

Tali recettori non sono solamente localizzati a livello articolare e peri- articolare ma sono diffusi in maniera ubiquitaria in tutto l'apparato stomatognatico.

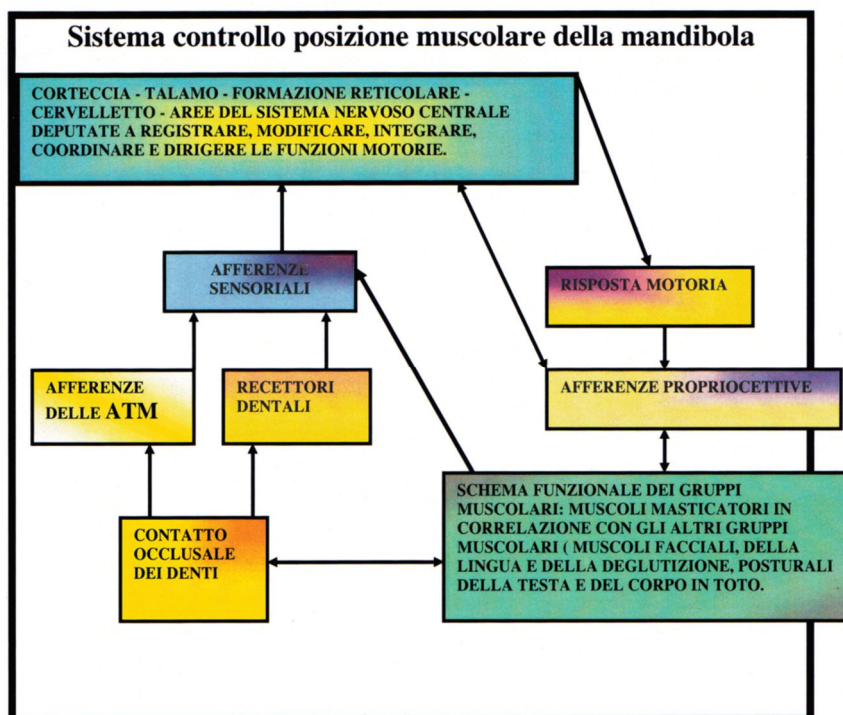


Figura 7: Controllo nervoso muscolare della mandibola

1.2 OCCLUSIONE DENTALE

L'occlusione dentale è la relazione di contatto tra i denti, dipendente dal controllo neuromuscolare dei muscoli masticatori. L'occlusione viene definita come il momento di massima intercuspideazione possibile guidata dal sistema di controllo della posizione, la cui dominante informativa origina dai recettori del legamento paradontale. Il contatto deve essere sempre uniforme e simultaneo nei due lati, allo scopo di dare alla mandibola la massima stabilità usando il maggior numero possibile di contatti.

Nei rapporti occlusali tra gli elementi delle arcate dentarie verranno distinti quelli riferiti agli elementi anteriori rispetto a quelli degli elementi posteriori. Il rapporto occlusale tra gli elementi anteriori è definito dai parametri di Overbite e Overjet.

Per overbite si intende l'entità di sovrapposizione verticale del margine incisivo degli elementi frontali superiori sugli incisivi inferiori. Con il termine di overjet si intende la distanza in senso orizzontale tra il margine incisivo degli elementi frontali superiori sugli incisivi inferiori. I valori normali sono circa uguali a 2 mm per entrambe le misure ed il loro rapporto è determinante per l'entità della guida anteriore.



Figura 8: Esempio di occlusione dentale

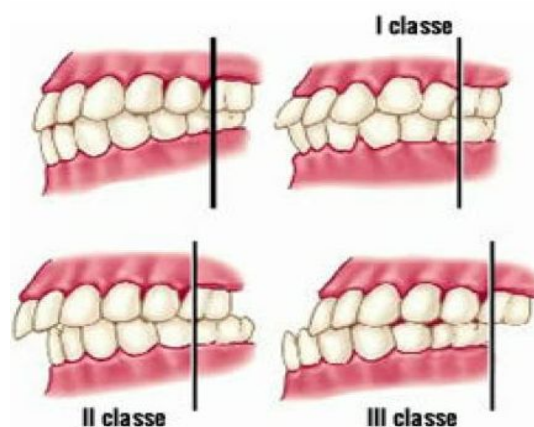


Figura 9: Classi di occlusione dentale

Per malocclusione si intende un appoggio scorretto fra le arcate dentarie cioè una relazione non bilanciata esistente tra mandibola e mascella, sia dal punto di vista muscolare che anatomico. Anche una banale otturazione o l'estrazione di un dente del giudizio, così come un'estrazione senza la sostituzione del dente mancante può essere la causa di una cattiva occlusione.

1.3 BIOMECCANICA DELL'ATM

In una discussione sulla meccanica dell'ATM, i movimenti masticatori possono spesso essere più facilmente comprensibili se i movimenti liberi (o vuoti) della mandibola sono considerati per primi. I movimenti vuoti o liberi sono definiti come quelli che si verificano senza cibo nella cavità orale. Questi movimenti sono in contrasto con i movimenti mordenti e masticatori della mascella, che sono quelli associati all'incisione e alla masticazione del cibo.

1.3.1 MOVIMENTI LIBERI DELLA MANDIBOLA

Due movimenti di base della mandibola possono essere distinti: (1) il movimento rotatorio o cerniera, che è una rotazione della mandibola intorno ad un asse trasversale che passa attraverso i centri dei condili mandibolari, e (2) il movimento traslatorio o scorrevole, che è un movimento corporeo della mandibola nella direzione anteroposteriore e/o mediolaterale. Il movimento rotante avviene principalmente tra il disco e il condilo nel compartimento inferiore dell'articolazione, mentre i movimenti di traslazione anteroposteriori e mediolaterali si verificano principalmente tra l'eminenza articolare e il disco (e mandibola) nel compartimento superiore dell'articolazione temporo-mandibolare. I movimenti di traslazione non devono essere simmetrici tra le articolazioni sinistra e destra. Infine, poiché la traslazione avviene simultaneamente con la rotazione (nella maggior parte o in tutti i casi), durante i normali movimenti rotatori, il centro di rotazione non si trova all'interno della mandibola o del condilo. I movimenti liberi della mandibola, combinando rotazione e traslazione, includono l'apertura e la chiusura; la sporgenza e la retrusione (movimenti simmetrici in avanti e all'indietro); e spostamenti laterali della mandibola.

I limiti estremi o esterni delle varie combinazioni di questi movimenti definiscono quelli che sono stati chiamati i *movimenti di confine della mandibola*.

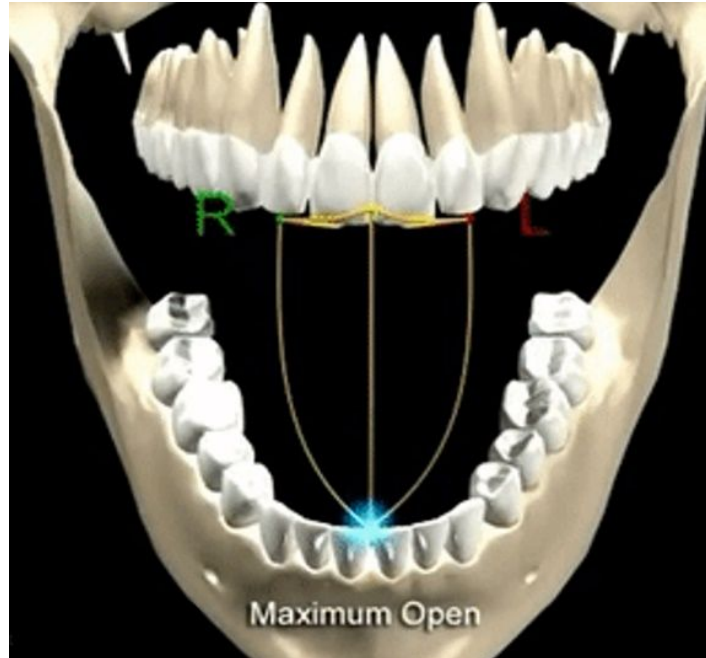


Figura 10: Movimenti di confine della mandibola nel piano frontale e sagittale. Zoom nel piano frontale. (fig. 11 a) Le sottili linee scure) indicano il movimento mandibolare della punta degli incisivi centrali rispetto ai denti mascellari. (CR) Relazione Centrica; (CO) occlusione centrata; (P) protrusione massima; le linee di movimento tracciate tra i punti del confine di cui sopra sono determinate dai denti. (WO) Posizione spalancata; (TP) punto transitorio in cui l'apertura continua comporta la traslazione anteriore del condilo. L'arco CR-TP comporta la rotazione pura del condilo con il condilo in posizione retrusa. L'arco TP-WO combina la rotazione e la traslazione dei condili. L'arco P-WO riflette l'apertura nella posizione massima sporgente. L'arco O riflette i movimenti vuoti abituali di apertura e chiusura. Le linee pesanti con le frecce indicano movimenti di incisivi mandibolari durante la masticazione sul lato sinistro. (b) Movimenti di confine della mandibola nel piano frontale. Vengono visualizzate le posizioni laterali massime lungo i lati sinistro (L) e destro (R). I punti R, CO e L e gli archi R-CO e CO-L sono posizioni determinate dai denti (W.L. Hylander, 2006)

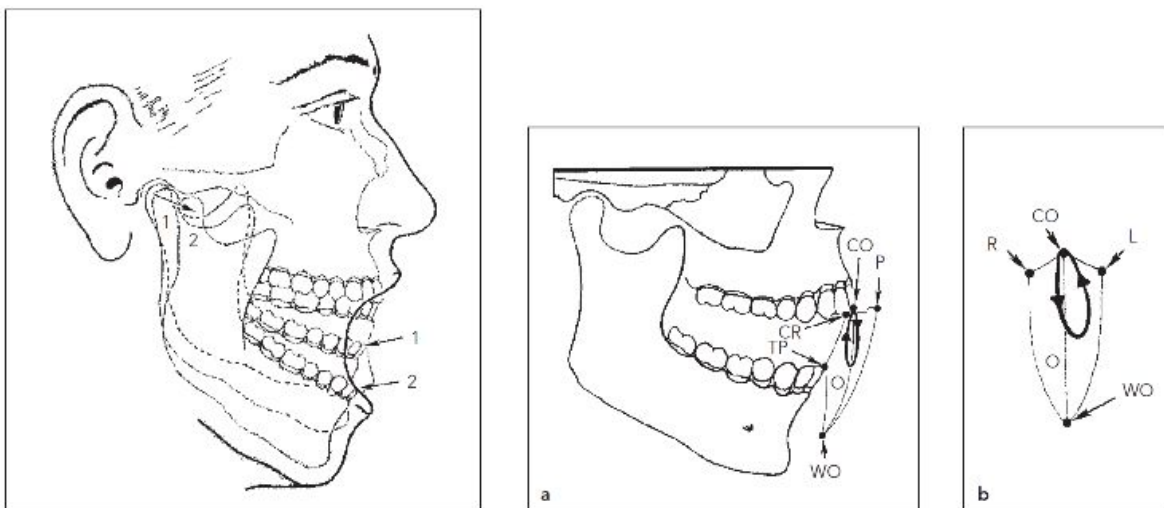


Figura 11: Nell'immagine a destra sono rappresentate rotazione e traslazione del condilo mandibolare in apertura. (freccia attraverso il condilo; (1) apertura della mandibola moderata; (2) vicino all'apertura ampia. Nell'immagine a sinistra abbiamo i punti limite dei movimenti liberi della mandibola (W.L. Hylander, 2006)

- Protrusione e Retrusione

I movimenti avanti e indietro della mandibola sono principalmente, ma non esclusivamente, traslatori. La mandibola può essere tirata in avanti ampiamente, con i denti mandibolari leggermente separati o in leggero contatto con i denti mascellari (protrusione). I condili mandibolari sono tirati in avanti insieme ai dischi articolari durante questo movimento. Pertanto, il movimento si verifica principalmente nel compartimento superiore dell'ATM, ed è simmetrico. L'inversione del movimento in avanti, la retrusione, è anche principalmente traslatorio. Questi movimenti condilari in avanti, che possono essere confermati facilmente dalla palpazione, sono limitati dalla porzione posteriore della capsula articolare. La maggior parte delle persone con un apparato masticatorio relativamente normale può retrudere la mandibola da 1 a 2 mm dalla posizione oclusiva completa o occlusione centrica. Il capsulare e i legamenti polari dell'articolazione limitano la retrusione da questa posizione (definita relazione centrica). Non viene raggiunta durante i normali movimenti della mascella negli esseri umani, anche se per definizione cade lungo i movimenti di confine della mandibola.

- Apertura e Chiusura

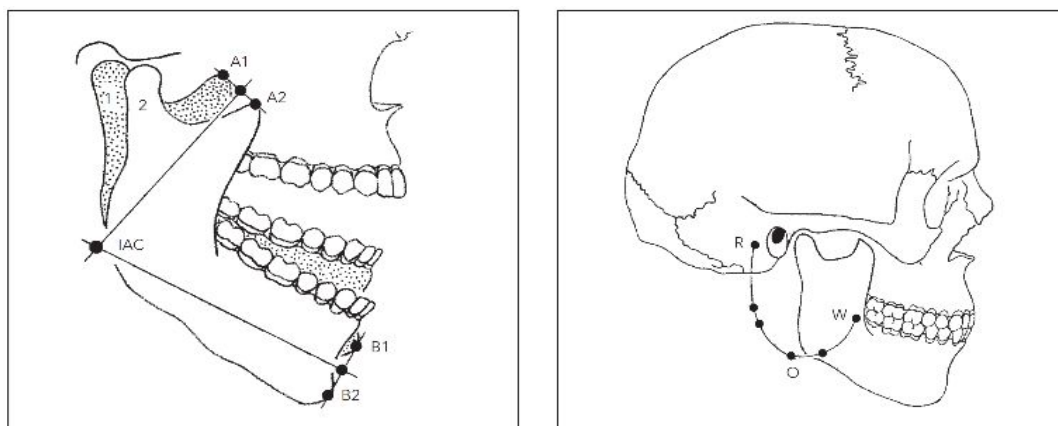


Figura 12: Rotazione e Traslazione del condilo durante il movimento di apertura (W.L. Hylander, 2006)

Anche se altamente variabile, in media una combinazione quasi uguale o lineare di traslazione e rotazione è osservabile nei movimenti di apertura e chiusura della mandibola. La traslazione porta il disco e il condilo in avanti e verso il basso lungo il pendio posteriore dell'eminanza articolare. Il condilo e il disco possono anche muoversi anteriormente rispetto alla massima altezza dell'eminanza articolare sul piano preglenoide.

Il movimento di apertura è così esteso che normalmente l'apertura tra gli incisivi mascellari e mandibolari può facilmente ospitare tre dita (40-60 mm). Se un dito è posizionato proprio di fronte al trago dell'orecchio, lo scorrimento in avanti e verso il basso del condilo mandibolare può essere sentito.

È chiaro che, ad eccezione dei contatti occlusivi tra i denti mascellari e mandibolari, la maggior parte dei movimenti di routine del punto di incisione della mandibola non si verificano lungo i movimenti di confine.

- Shift Laterale

Uno spostamento laterale della mandibola (ad esempio, uno spostamento a destra) avviene se il condilo e il disco sul lato opposto (o sinistro) vengono tirati in avanti, verso il basso e medialmente lungo l'eminenza articolare. In questo caso, il lato sinistro è spesso chiamato il *lato di bilanciamento* (b-s), mentre il lato destro è chiamato il *lato di lavoro* (w-s). Il condilo del w-s, a volte chiamato condilo di riposo, esegue un movimento molto limitato in questo momento. Questo movimento consiste principalmente in una rotazione della mandibola intorno ad un asse quasi verticale situato anche in una leggera traslazione trasversale dei due condili verso il lato di lavoro.

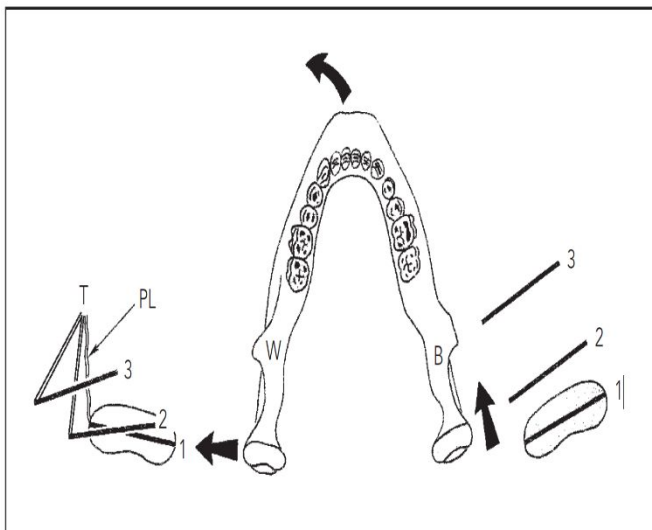


Figura 13: Mandibola durante il movimento laterale sinistro. (W) Lato di lavoro; (B) lato di bilanciamento; (PL) legamento polare che si attacca al polo laterale del condilo mandibolare e al tubercolo articolare (T). Posizione 1: i condili del lato di lavoro (w-s) e del lato di bilanciamento (b-s) prima del movimento laterale sinistro. Posizione 2: viene avviato il movimento laterale sinistro. Il condilo w-s prima ruota intorno a un asse verticale che passa attraverso il suo centro. Quindi, il legamento polare laterale diventa teso e impedisce al polo laterale del condilo w-s di muoversi ulteriormente posteriormente. Questo condilo ora si sposta leggermente lateralmente. Il condilo b-s si traduce medialmente, anteriormente e verso il basso lungo l'eminenza articolare. Posizione 3: Con il movimento continuo, il condilo w-s si è spostato ulteriormente lateralmente e leggermente anteriormente. Il legamento polare laterale guida questo movimento. Il condilo b-s continua a tradursi medialmente, anteriormente e verso il basso lungo l'eminenza. La quantità relativa di rotazione del condilo w-s è stata esagerata. (freccie) Direzione di movimento del mento e dei condili mandibolari w-s e b-s. (W.L. Hylander, 2006)

Durante lo spostamento laterale della mandibola, il condilo del w-s ruota intorno a un asse verticale e si muove leggermente lateralmente. Questo movimento rotazionale è influenzato dalle stesse limitazioni che vengono poste sul movimento retrusivo della mandibola dall'occlusione centrica.

Cioè, il polo laterale del condilo può muoversi all'indietro solo di circa 1 a 2 mm fino a quando non è limitato dai legamenti polari della capsula e del disco. La rotazione continua del condilo del w-s è impedita in quanto il legamento polare laterale diventa teso. Sotto la guida di questo legamento, il centro del condilo del w-s è costretto a muoversi leggermente in avanti e lateralmente.

La componente laterale di questo movimento è spesso chiamata il *movimento di Bennett*. Come notato, i diversi movimenti dei condili del w-s e del b-s possono essere facilmente palpati.

1.3.2 AZIONE DEI MUSCOLI NEI MOVIMENTI MANDIBOLARI LIBERI

Le descrizioni della funzione muscolare in questa sezione si basa principalmente su dati elettromiografici (EMG) e sulle presunte capacità meccaniche di un muscolo. I dati EMG forniscono informazioni su quando (e in situazioni ristrette una stima di quanto) un muscolo sta generando tensione; le presunte capacità meccaniche di un muscolo si basano sulla sua morfologia complessiva. I muscoli mandibolari si combinano in vari modelli per eseguire i movimenti della mandibola. È particolarmente importante rendersi conto che un muscolo può agire sinergicamente con muscoli diversi in momenti diversi. Inoltre, i muscoli antagonisti possono agire simultaneamente in modo da controllare i movimenti della mascella. In nessun caso un singolo muscolo agisce in modo indipendente; invece, i muscoli agiscono in gruppi e quasi sempre in gruppi sorprendentemente grandi. Inoltre, un singolo muscolo può avere porzioni che possono funzionare in modo differenziale. Come già accennato in precedenza, i muscoli più importanti che influenzano i movimenti della mandibola possono essere divisi in tre gruppi. Questi includono (1) ascensori: i muscoli temporali, masseteri e pterigoidei mediali; (2) depressori: i muscoli digastrici, miloioidei e genioioidei; e (3) i protrattori: i muscoli pterigoidei laterali. I retrattori della mandibola non costituiscono un gruppo indipendente; sono i muscoli digastrici e le fibre obliquamente allineate dei muscoli temporali. Le fibre della parte profonda del massetere aiutano anche a ritrarre la mandibola sporgente. Così, sia gli ascensori che i depressori possono funzionare come retrattori della mandibola. I muscoli infraioidei funzionano per controllare i movimenti degli ioidei, e quindi la loro azione è importante sia durante l'apertura della mascella che durante la chiusura della mascella.

- Protrusione

La protrusione della mandibola è principalmente il risultato della contrazione delle teste inferiori dei muscoli pterigoidi laterali, anche se c'è anche una leggera attività dei muscoli pterigoidei e pterigoidi mediali in questo momento. Il muscolo temporale non è di solito attivo durante questo movimento, e i depressori sono solo leggermente attivi. I muscoli pterigoidei laterali tirano i condili mandibolari (e i dischi) in avanti e verso il basso lungo le eminenze articolari, mentre gli ascensori e i depressori apparentemente stabilizzano la posizione della mandibola rispetto alla mascella.

- Retrusione

Quando i condili sono situati nella fossa mandibolare, le fibre centrali obliquamente allineate del muscolo temporale combinano le forze con i depressori in modo da retrudere la mandibola, mentre gli ascensori rimanenti presentano quantità variabili di attività.

La componente deprimente della forza dai muscoli sopraioidei è apparentemente neutralizzata dall'attività dei muscoli dell'ascensore. Dalla posizione massima di protrusione, la parte posteriore del temporale assiste quella centrale durante la retrusione mandibolare.

- Apertura

Se il movimento di apertura avviene senza resistenza, i depressori agiscono senza alcuna grande forza. Se la quantità di apertura è solo lieve, il rilassamento degli ascensori e la forza di gravità possono realizzare questo movimento. Quando si verifica un'ampia apertura, si generano una serie di forze, le quali combinate producono ampi movimenti della mascella di apertura rotatoria e traslatoria.

- Chiusura

Gli ascensori della mandibola eseguono il movimento di chiusura. Durante la massima apertura, ogni disco e i condili scivolano anteriormente alla sommità dell'eminanza articolare sul piano preglenoide. All'inizio della chiusura della bocca, i dischi e i condili vengono spostati indietro da questa posizione anteriore. Gli ascensori eseguono questa fase del movimento di chiusura. Questa azione riporta la mandibola alla posizione del resto o oclusale.

- Shift Laterale

Lo spostamento laterale della mandibola deriva da una variazione asimmetrica della protrusione; cioè, il muscolo pterigoideo laterale del b-s combina le forze con gli ascensori leggermente attivi. La parte centrale del muscolo temporale del w-s deve aiutare in questo movimento tenendo il condilo del w-s e impedendogli di deviare anteriormente in qualsiasi misura.

1.3.3 MOVIMENTI MASTICATORI DELLA MANDIBOLA

I movimenti della mandibola durante la masticazione spesso comportano l'applicazione di una notevole forza. Esiste inoltre un'elevata variabilità tra persone che nella persona stessa. Ad eccezione dei movimenti occlusi, conoscere l'entità dei movimenti di confine fornisce poche informazioni per dedurre i movimenti effettivi della mascella durante la masticazione. I movimenti di masticazione sono combinazioni di *rotazione e traslazione*, i due movimenti mandibolari di base. Inoltre, i movimenti masticatori sono di due tipi generali: un movimento di taglio, come nel mordere un pezzo di cibo, e un movimento di frantumazione e macinazione.

- Incisione

A differenza dei movimenti durante la masticazione, i movimenti della mascella durante l'incisione hanno ricevuto poca attenzione nel corso degli anni. Il seguente racconto si basa principalmente sui primi lavori di Jankelson et al e Sheppard. A partire dalla posizione occlusiva di riposo, l'incisione può essere divisa in tre parti: *apertura, chiusura e alimentazione*. I movimenti mandibolare durante i tratti di apertura e chiusura dell'incisione sono presumibilmente molto simili ai movimenti di apertura e chiusura mandibolari liberi. I movimenti della mascella durante il colpo di potenza dell'incisione, tuttavia, differiscono dai semplici movimenti di chiusura della mascella, in particolare in presenza di un overbite di incisivi.

- Masticazione

Simile all'incisione, la masticazione può anche essere convenientemente descritte come costituite da tre parti di base: *apertura, chiusura e colpi di potenza*.

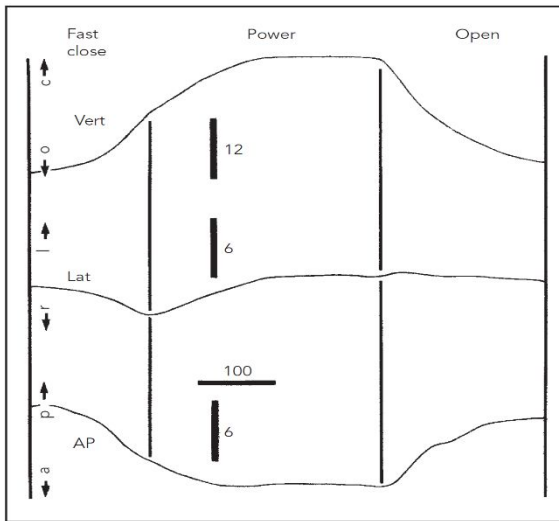


Figura 14: Movimenti della punta dell'incisivo centrale mandibolare durante la masticazione unilaterale di alimenti duri lungo il lato destro (W.L. Hylander, 2006)

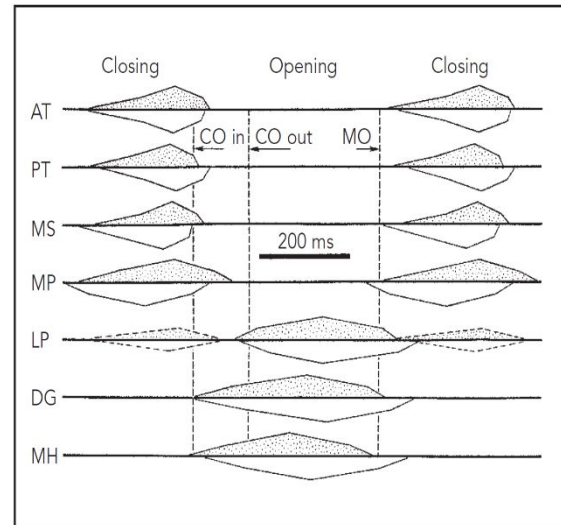


Figura 15: Attività elettromiografica (EMG) dei muscoli della mascella durante la masticazione unilaterale del chewing gum (W.L. Hylander, 2006)

Questi tre colpi si combinano per comporre un singolo ciclo di masticazione, e tutti i cicli di masticazione associati alla masticazione di un singolo pezzo di cibo sono indicati come una “sequenza di masticazione”. Un ciclo di masticazione inizia con l'apertura della bocca; poiché la mandibola è depressa, il punto incisile della linea mediana oscilla fra b-s e w-s. Questo movimento è il colpo di apertura.

Dalla posizione di apertura massima, gli incisivi mandibolari vengono quindi spostati verso l'alto, in avanti e lontano dalla linea mediana verso il w-s. Questo movimento della mascella verso l'alto è il colpo di chiusura.

Il completamento del colpo di chiusura porta al colpo di forza, che è il contatto forte sul cibo tra le superfici oclusive dei denti molari e premolari. I denti del w-s posteriori ai canini vengono spostati di nuovo verso la linea mediana durante il colpo di potenza. Un colpo di potenza spesso comporta un contatto diretto tra i denti mascellari e mandibolari; questo è chiamato contatto denti-denti. I movimenti di contatto dentale descritti in precedenza posteriori ai canini sono spesso chiamati movimenti di fase I (o fase buccale). Dopo la fase I, può accadere: o il colpo di potenza termina e il contatto con i denti viene perso quando le ganasce si aprono oppure il colpo di potenza continua nella fase II (o fase linguistica). Prima del movimento di fase II, tuttavia, i denti e le mascelle sono tenuti fermi nell'occlusione centrale durante quella che è stata definito periodo immobile di masticazione.

Questo periodo dura circa 200 millisecondi, anche se i dati in Figura 14 indicano che in questo particolare soggetto è durato solo circa 50-75 millisecondi.

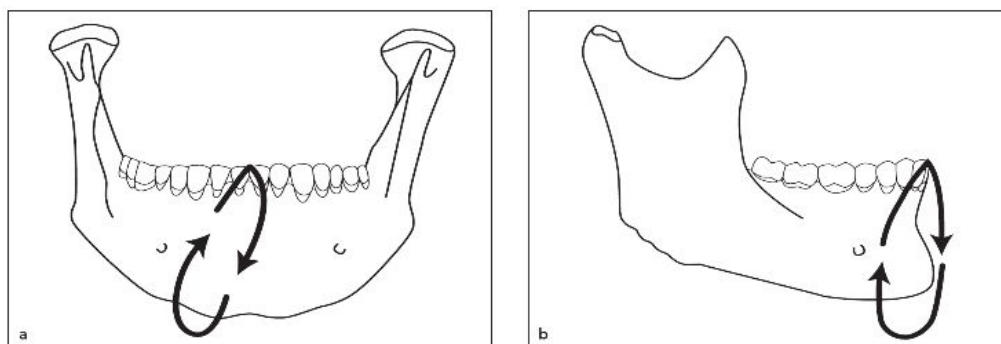


Figura 16: (a) Vista frontale e (b) laterale della mandibola. (frecce) Movimento della punta incisale degli incisivi centrali mandibolari durante la masticazione unilaterale sul lato destro. La quantità relativa di movimento è stata esagerata. (W.L. Hylander, 2006)

1.3.4 BIOMECCANICA MANDIBOLARE: AZIONE LEVA-NON-LEVA

Per più di 100 anni, la maggior parte dei ricercatori hanno assunto che la mandibola funzioni come una *leva* durante sia il mordere che il colpo di potenza di masticazione, mentre il condilo mandibolare agisce come un fulcro.

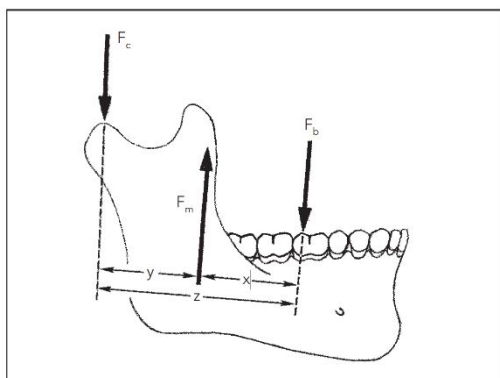


Figura 17: Mandibola umana che funziona come una leva durante il morso lungo il primo molare mandibolare. Solo le componenti verticali del muscolo e le forze di reazione sono incluse in questa figura. La forza muscolare risultante (F_m) degli elevatori a mascella si trova posteriormente al punto di presa (primo molare mandibolare). Per mantenere l'equilibrio statico in queste condizioni, la forza muscolare è divisa in (F_b) una forza di reazione lungo il punto di morso e (F_c) una forza di reazione lungo i due condili mandibolari. Per una data quantità di forza muscolare, F_b può essere determinato analizzando i momenti su F_c :

$F_b = (F_m) (y) / z$. F_c può essere determinato analizzando i momenti su F_m o F_b : $F_c = (F_b) (x) / y$ o $F_c = (F_m) (x) / z$.

Tuttavia, questa ipotesi è stata e continua ad essere sfidata da coloro che hanno suggerito, direttamente o indirettamente, che c'è poca o nessuna forza di reazione nei condili mandibolari e che, quindi, i condili non agiscono come fulcro durante il morso o la masticazione.

Diverse linee di argomentazione sono state presentate a sostegno della proposta che i condili non funzionano come fulcro, e di solito sono state basate su una di queste due affermazioni: in primo luogo, la forza risultante del muscolo passa sempre attraverso il punto di morso durante il morso o la masticazione;

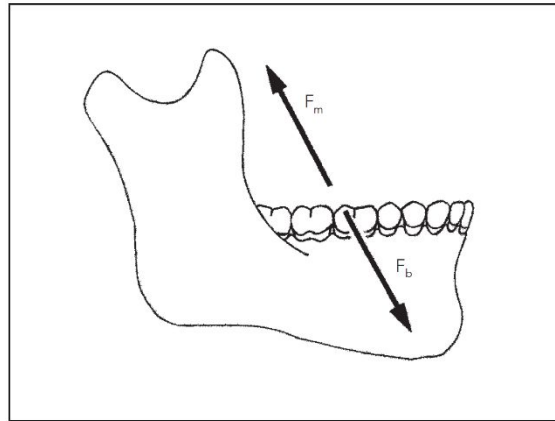


Figura 18: Azione non-leva della mandibola

Pertanto, non è necessario avere forze che agiscono lungo il condilo mandibolare per soddisfare le condizioni di equilibrio statico. In secondo luogo, i tessuti dell'ATM non sono adatti a resistere alla forza di reazione; perciò i condili mandibolari non possono agire come fulcro se i loro tessuti non sono in grado di sopportare lo stress.

Tuttavia, molti studi hanno indicato che la forza muscolare masticatoria non passa sempre attraverso il punto del morso. Inoltre, altri studi hanno dimostrato morfologicamente e sperimentalmente che i tessuti dell'ATM sono in grado di dissipare forza di reazione articolare. Pertanto, ci sono poche prove sia a sostegno della azione leva che dell'azione non-leva della mandibola.

1. Come si possono analizzare i momenti agenti sulla mandibola?
2. Che tipo di leva descrive meglio il modo in cui funziona?
3. In quale proiezione la mandibola è meglio analizzata?

Sulla scia di un importante studio di *Smith*, possono essere eseguite un'analisi semplificata delle forze e dei momenti sia in proiezione laterale che frontale sulla base del presupposto che tutte le forze muscolari e di reazione sono essenzialmente verticali e paralleli l'uno all'altro. Anche se è dubbio che tali condizioni esistano mai, in particolare durante la masticazione unilaterale, questa analisi fornisce interessanti intuizioni sui modelli di forza di reazione lungo i w-s e b-s.

Per analizzare la forza di reazione dell'ATM durante il morso unilaterale, i momenti sono dapprima considerati rispetto alla proiezione laterale al fine di risolvere la reazione condilare totale. Prima di farlo, è necessario assegnare un valore relativo alla forza muscolare totale applicata (la forza muscolare combinata w-s e b-s). Dopo il calcolo della forza di reazione condilare totale relativa, questa forza è sottratta dalla forza muscolare totale per calcolare la forza del morso

Il passo successivo prevede una stima del rapporto tra le forze muscolari nel w-s e b-s, in modo che la forza muscolare può essere posizionata.

Se questo rapporto è 1,0 (forze nel w-s e b-s sono uguali), la forza muscolare risultante è nella linea mediana. Se il rapporto è maggiore di 1,0 (se la forza muscolare w-s è maggiore), la forza muscolare risultante si trova a sinistra della linea mediana per mordere sul lato sinistro. Se notevolmente inferiore a 1,0, che è altamente improbabile, si trova a destra della linea mediana. Una volta che la sua posizione è determinata e il valore della forza del b-s è nota, la reazione condilare del w-s è risolta semplicemente sottraendo la reazione condilare del b-s dalla forza di reazione condilare totale. Se la forza muscolare del w-s è 2,0 volte più grande della forza muscolare del b-s, la forza condilare del w-s è circa 1,4 volte più grande della controlaterale. Se la forza muscolare w-s è 1,5 volte più grande della forza muscolare b-s, le forze condilari sono invertite, in modo che ora la forza sul condilo del b-s è circa 1,4 volte più grande di la forza sul condilo del w-s.

Quando gli esseri umani hanno dolore unilaterale, spesso preferiscono masticare sullo stesso lato dell'articolazione dolorosa. Questo ha portato alcuni a suggerire che ciò si verifica perché le forze condilari nel b-s superano quelle del w-s.

Cioè, questi soggetti stanno cercando di evitare che le forze di reazione più grandi si verificano nel b-s.

È più probabile, tuttavia, che i pazienti preferiscano masticare sul lato doloroso per ridurre al minimo movimenti condilari durante il colpo di potenza della masticazione, perché il condilo del b-s ha un movimento molto più ampio durante la masticazione.

Le descrizioni della morfologia degli elementi ossei, del disco e della capsula fibrosa dell'ATM, così come i pattern di attaccamento e la morfologia dei muscoli della mandibola, hanno fornito lo sfondo per un'analisi dei movimenti mandibolari, della funzione della muscolatura mandibolare e della mandibola biomeccanica.

Queste discussioni sono servite come base per un'analisi della natura delle forze di reazione dell'ATM durante la masticazione e il mordere. Si è visto che le forze di reazione dell'ATM, durante la masticazione unilaterale, variano spesso tra il lato di bilanciamento e quello di lavoro. In alcuni casi, il w-s viene caricato più del b-s. Tuttavia, il b-s è probabilmente caricato più del w-s durante la masticazione e il morso unilaterale.

1.4 IL MOVIMENTO CICLICO DEL CAMMINO

In questo paragrafo verranno analizzati i principali elementi che caratterizzano il ciclo del passo. L'obiettivo di questa trattazione esula dal dettagliare in maniera fine tutti i meccanismi che concorrono alla deambulazione fisiologica, ma quello di evidenziare quali sono i parametri spazio-temporali utilizzati nel corso dello studio in esame. Varrà fatta quindi solo una breve trattazione della fenomenologia del passo seguita da un richiamo ai valori fisiologici (+/- D.S.) delle grandezze cinematiche di interesse.

1.4.1 L'ANALISI DEL CAMMINO

Una migliore comprensione del controllo motorio non può prescindere anche dall'analisi biomeccanica, ovvero dallo studio degli spostamenti dei segmenti corporei e delle forze che li rendono possibili. La descrizione delle metodiche di misura, della loro evoluzione nel tempo e del loro raffronto con l'osservazione individuale precede l'analisi specifica dei gesti che compongono le due forme più comuni di locomozione, marcia e corsa, e l'esame delle relazioni tra meccanica ed energetica del movimento umano.

L'analisi del movimento nei suoi vari aspetti comprende un insieme vastissimo di grandezze rilevabili, complesse strumentazioni e svariate metodologie. I moderni sistemi di analisi del movimento sono spesso costituiti da più strumenti interfacciati, ognuno con lo scopo di indagare un diverso aspetto del movimento stesso. La dotazione di alcuni laboratori comprende ad esempio speciali sistemi di videocamere, riprese video tradizionali, pedane di forza per la registrazione delle forze di reazione scambiate al terreno, elettromiografi per la registrazione dell'attività elettrica associata alla contrazione muscolare.

La trattazione dei principi di funzionamento e delle grandezze rilevabili da ciascuna di queste strumentazioni esula però dagli scopi della tesi.

Durante la camminata, che ha come ovvio scopo quello di permettere lo spostamento del soggetto, le principali funzioni svolte dall'apparato locomotore sono:

- Generazione di una forza propulsiva
- Mantenimento della stabilità a livello superiore nonostante il continuo cambiamento della situazione posturale
- Assorbimento dello shock dovuto all'impatto con il terreno ad ogni passo
- Conservazione dell'energia durante le funzioni precedenti al fine di minimizzare lo sforzo da parte dei muscoli

Nello studio della cinematica e della biomeccanica della locomozione umana ci si riferisce sempre al ciclo del cammino. Si definisce ciclo del cammino (gait cycle), il periodo che intercorre tra due appoggi successivi dello stesso arto al terreno. Si suddivide quindi tale intervallo in due fasi distinte:

- fase di stance, o fase di appoggio, durante la quale il piede rimane a contatto con il terreno. Nella normale deambulazione occupa circa il 60 % del ciclo del passo, si accorcia sensibilmente con la corsa, riducendosi fino al 37% nella corsa veloce.
- fase di swing, o fase di trasferimento, durante la quale l'arto viene portato avanti per prepararsi all'appoggio successivo.

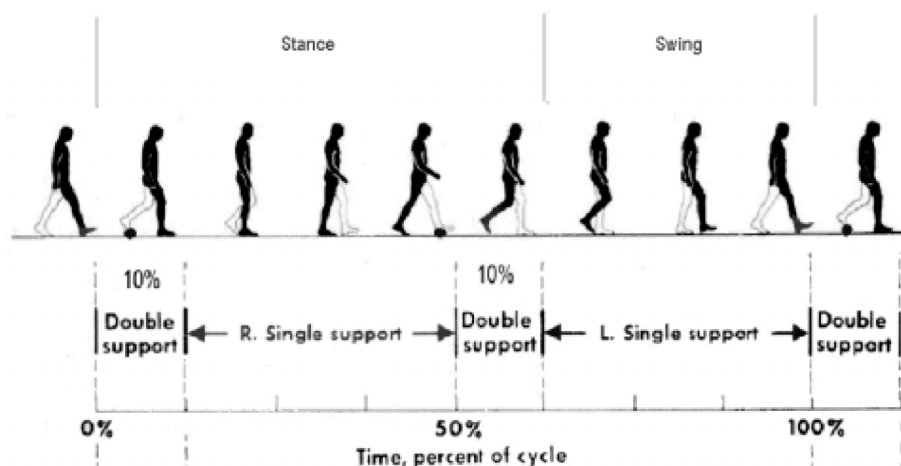


Figura 19: Divisione del ciclo del passo in fase di stance e swing (Università di Verona, Lezioni di Biomeccanica)

L'analisi del movimento, e la descrizione delle grandezze in gioco, anche per quanto riguarda la camminata, non può prescindere dall'identificazione di appropriati sistemi di riferimento. Tradizionalmente si proiettano idealmente le posizioni, gli spostamenti e gli angoli su un sistema di piani riferiti ad una persona in posizione eretta sono piano coronale, piano frontale e piano sagittale. Nell'analisi del cammino le grandezze più analizzate sono quelle relative alle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia. Rispetto ai piani di riferimento appena descritti, sul piano trasverso si vedono i movimenti di rotazione interna ed esterna, su quello frontale si hanno i movimenti di adduzione e abduzione e sul piano sagittale si vedono i movimenti di flessione estensione delle articolazioni.

1.4.2 LE FASI DEL PASSO

Per una miglior comprensione degli eventi che compongono il ciclo del passo, usualmente si effettua una suddivisione in 8 fasi

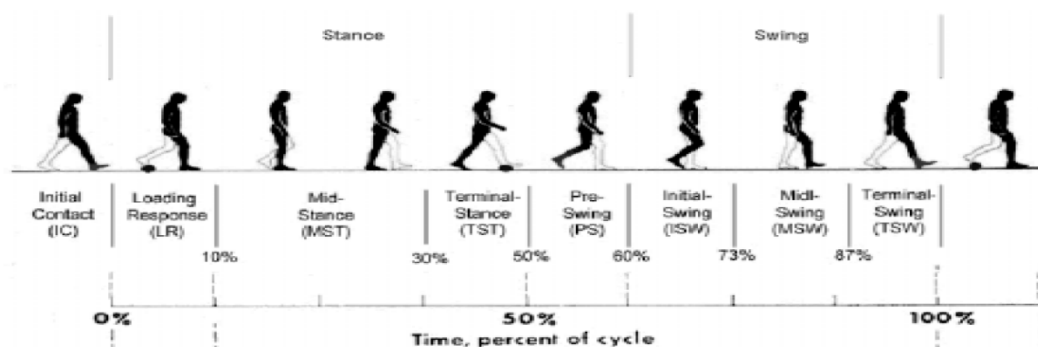


Figura 20: Particolare delle fasi del ciclo del passo (Università di Verona, Lezioni di Biomeccanica)

STANCE

1. Initial contact (o heel strike): è una fase brevissima che va dallo 0 al 2% del ciclo del passo. Il piede proiettato in avanti tocca il suolo con il tallone.
2. Loading response (o foot-flat): coinvolge circa il 10% del ciclo del passo, il piede si appoggia per intero al terreno e la caviglia ha una leggera flessione dorsale in risposta al carico sull'arto del peso del corpo.
3. Mid-Stance Time: si estende dal 10% al 30% del ciclo del passo, inizia con lo stacco del piede controlaterale (termina la fase di doppio supporto) e termina quando il piede è interamente supportato dal calcagno, dalle ossa del metatarso e dalle dita.

Il ginocchio è mantenuto in estensione dalla contrazione del quadricipite, mentre la caviglia si flette per azione del tibiale anteriore.

4. Terminal Stance Time (o heel off): si estende dal 30% al 50% del ciclo del passo, termina quando l'arto controlaterale tocca il suolo. L'arto ha superato la verticale e il corpo comincia a cadere in avanti, il ginocchio si flette lievemente sotto il suo peso e il centro di gravità si abbassa.

5. Pre-Swing (o toe off): si estende dal 50% al 60% del ciclo del passo. Termina con lo stacco dal terreno delle dita dell'arto di interesse. È la fase di trasferimento del peso. I muscoli posteriori della gamba entrano in contrazione e producono l'estensione della caviglia e delle articolazioni metatarsofalangee, fornendo una spinta verso l'alto e in avanti.

SWING

6. Initial Swing (o accelerazione): si estende dal 60% al 73% del ciclo del passo. Comporta lo spostamento in avanti dell'arto inferiore di interesse subito dopo lo stacco conseguente alla flessione di anca, ginocchio e contemporanea leggera dorsiflessione del piede

7. Mid Swing: si estende dal 73% al 87% del ciclo del passo; coinvolge lo spostamento dell'arto interessato da una posizione posteriore al tronco ad una anteriore. Simultaneamente la caviglia si flette per azione del tibiale anteriore e recupera l'estensione che aveva spinto il corpo in avanti alla fine dell'appoggio.

8. Terminal Swing (o decelerazione): copre l'ultimo intervallo del ciclo del passo. Si ha la continuazione del movimento progressivo dell'arto di interesse ed il completamento dell'estensione del ginocchio e della caviglia in preparazione al successivo contatto con il suolo.

PARAMETRO	VALORE MEDIO ± D.S.
Cadenza	124.8±9 [passi/min]
Velocità	1.24±0.17 [m/s]
Durata del ciclo	1.10±0.17 [s]
Lunghezza del ciclo	1.19±0.13 [m]
%Lunghezza del ciclo (% Altezza)	84.7±6.1 [%/%]
Lunghezza del passo (% Lunghezza del ciclo)	50±0.7 [%/%]

Figura 21: Parametri spazio-temporali fisiologici del ciclo del passo

1.5 STATO DELL'ARTE

Questo lavoro di tesi si inserisce in una ampia letteratura, nella quale molti autori hanno cercato di dimostrare, attraverso setup sperimentali e protocolli standardizzati, evidenze scientifiche che mettessero in luce la relazione tra l'occlusione dentale e l'assetto posturale.

1.5.1 CORRELAZIONE ASCENDETE E DISCENDENTE DELL'ATM

Lo squilibrio della colonna vertebrale che caratterizza un atteggiamento viziato di tutto il corpo è la conseguenza di molti fattori come l'età, l'obesità, l'influenza genetica, i dismetabolismi, etc.; vi sono alcune patologie proprie del rachide, idiopatiche (scoliosi) o acquisite (esiti di traumi, artrosi etc.), ma le cause più frequenti sono gli squilibri muscolari su base funzionale.

Escludiamo l'atteggiamento muscolo scheletrico scorretto di chi conduce una vita troppo sedentaria, con posizioni viziate di lavoro mantenute per troppo tempo e senza un minimo di esercizio muscolare e di attività atletica, per focalizzare l'attenzione sull'individuo che non presenta una patologia specifica sistemica o organica, che ha un normale sviluppo muscolo scheletrico e che ha effettuato i comuni esami di laboratorio, radiografici etc. con esito negativo. Dunque, un individuo apparentemente sano che però accusa una sintomatologia algico-disfunzionale. Prima di spiegare la metodologia diagnostica e terapeutica è necessario capire l'ottica con la quale esaminare il problema della postura. Se prendiamo un bottone legato con quattro elastici notiamo come la sua posizione spaziale sia influenzata dalla tensione equilibrata oppure squilibrata delle strutture che lo sostengono.

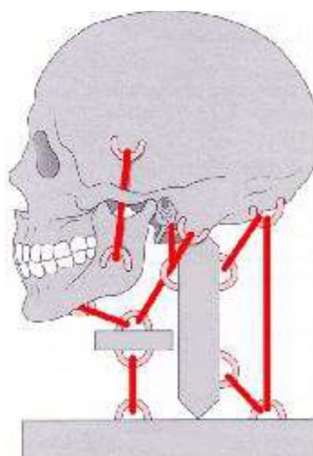


Figura 22: Catene muscolari dell'ATM

Lo stesso fenomeno si verifica nel nostro apparato scheletrico dove vi sono ossa che articolano fra loro: i rapporti spaziali reciproci degli elementi strutturali sono condizionati dal tono della muscolatura correlata con gli stessi. Il problema è molto evidente a carico della colonna vertebrale, il cui assetto fisiologico è determinato dall'equilibrio della muscolatura correlata alle varie vertebre.

All'estremità cefalica la prima vertebra articola con il cranio e possiamo quindi raggruppare le complesse funzioni dei numerosi muscoli del collo in sei movimenti del capo: flessione, estensione, inclinazione a destra e a sinistra, rotazione in senso orario e antiorario. Analizzando l'apparato flessore ed estensore, notiamo come il capo sia appoggiato sulla colonna vertebrale ed essendo quindi la posizione della testa sul collo e del collo sul tronco determinata dalla muscolatura che collega le varie parti scheletriche, è ovvio che qualsiasi squilibrio muscolare (ipotonia di un muscolo e/o spasmo del suo antagonista) di una parte del sistema muscolare del collo sia causa di un atteggiamento posturale anomalo del capo rispetto al tronco. Tra i fattori che condizionano in maniera determinante il normale o anormale funzionamento del sistema equilibratore meccanico sopra descritto vi è senza dubbio l'occlusione. È evidente che l'articolazione dentale condizionando 1500-2000 volte c/a ogni 24 ore durante la deglutizione il rapporto mandibolo-cranico, influenza anche il rapporto mandibola-joide-cinto scapolare. In altre parole, l'occlusione si interpone in maniera determinante nel complesso muscolare flessore del capo rispetto al tronco. All'estremità podalica della colonna si ripropone un problema analogo a quello cefalico: l'equilibrio strutturale delle diverse parti scheletriche (vertebre lombari, osso sacro, ossa iliache, arti inferiori) è condizionato dall'equilibrio della muscolatura e viceversa. Riassumendo quanto esposto finora possiamo paragonare la colonna vertebrale a una struttura con funzione mista sia portante sia di collegamento strutturale tra i settori cefalici e podalici del corpo. Pertanto, l'equilibrio posturale della colonna risulta condizionato da vari fattori: - normali rapporti osteo-articolari intervertebrali ed equilibrio della muscolatura ad esse direttamente correlata; - normale rapporto occlusale ed equilibrio della muscolatura mandibolo-cranica; - normale statica podalica ed equilibrio della muscolatura degli arti inferiori. Da un lato l'occlusione, dall'altro la postura podalica: questi fattori periferici svolgono due funzioni importantissime che sono la deglutizione da un lato e la deambulazione dall'altro.

Queste coinvolgono in vario modo tutte le strutture scheletriche e muscolari interposte tra i due estremi, quindi la colonna vertebrale e direttamente o indirettamente il sistema nervoso centrale e periferico. I propriocettori dento-parodontali regolano il lavoro della muscolatura nel guidare la mandibola e le forze muscolari al momento della massima intercuspidação, con una precisione di un millesimo di millimetro. Sono in grado di segnalare lo spessore di un globulo rosso. L'antropologia insegna che l'efficienza masticatoria è una funzione secondaria solo a quella respiratoria. La deglutizione in particolare è una funzione vitale, di cui non conosciamo l'importanza fisiologica. Basti pensare che cominciamo a deglutire prima di nascere, che deglutiamo anche durante il sonno. Partecipano alla deglutizione numerosi muscoli del cranio, del collo e quattro paia di nervi cranici. Se consideriamo anche la relativa estensione delle aree sensitive motorie e corticali coinvolte nella deglutizione rispetto alle altre funzioni corporee, risulta più plausibile l'ipotesi che una deglutizione anomala possa avere delle ripercussioni sistemiche, così come accade per un problema circolatorio o respiratorio. La dimostrazione strumentale della correlazione mandibolo-cranio-vertebro-sacrale-podalica si può avere per via ascendente se colleghiamo un soggetto al kinesiografo e gli chiediamo di flettere un ginocchio poi l'altro. La colonna vertebrale del soggetto assumerà delle curve compensatorie per adattare la postura del capo allo slivellamento del bacino.

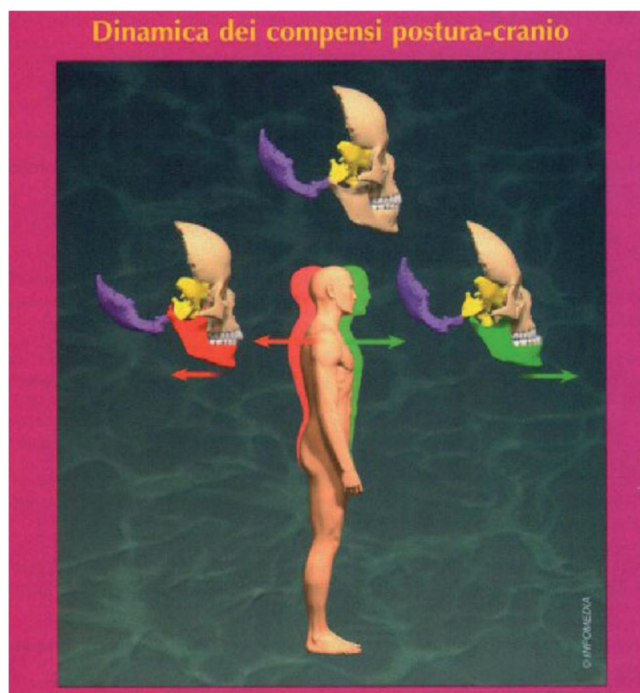


Figura 23: Conseguenze di una protrusione/retrusione mandibolare (L. TREBBI - D. GALLI, 2000)

Altra dimostrazione di tipo ascendente si può avere cambiando la curvatura dell'arco plantare: il cedimento dell'arco plantare si accompagna a protrusione (abnorme sporgenza in avanti e all'esterno) della mandibola mentre il ripristino dell'arco (con plantare ortopedico) riporta la mandibola in posizione normale.

Per quanto riguarda la correlazione discendente, se ipotizziamo una deviazione laterale della mandibola in posizione in massima intercuspidação, potremmo avere una serie di adattamenti della muscolatura posturale che portano allo squilibrio totale del corpo. Per capire il problema cominciamo ad analizzare un corpo perfettamente in equilibrio in cui l'asse verticale mediano coincide con un filo a piombo che passa per il baricentro.

Notiamo inoltre come i padiglioni auricolari si trovano su di un piano orizzontale, come pure le spalle, le anche e le mani. Questa posizione di equilibrio posturale è possibile solamente se esiste un equilibrio tra le masse muscolari: un corpo dunque sano dal punto di vista muscolo-scheletrico. In presenza invece di un dislocamento laterale della mandibola in chiusura, si ha uno stato di sofferenza a carico dei muscoli coinvolti con il dislocamento stesso (per esempio temporale posteriore, pterigoideo esterno omolaterali e temporale anteriore, pterigoideo interno controlaterali).

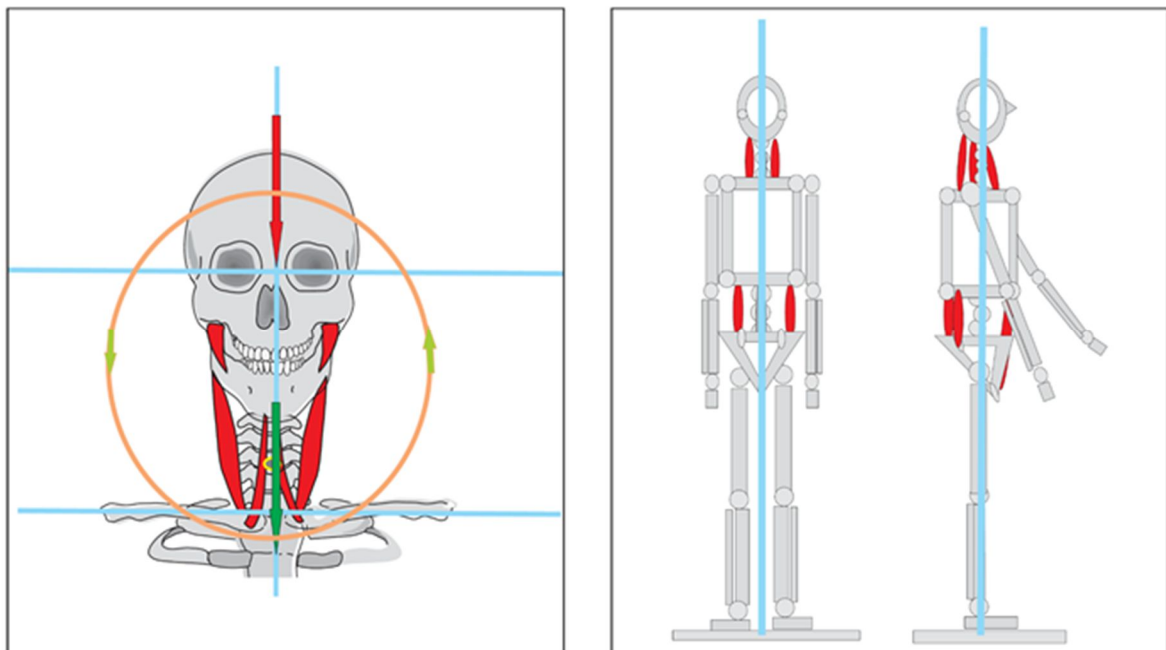


Figura 24: Modellizzazione per dimostrazione di correlazione discendente (L. TREBBI - D. GALLI, 2000)

Le ripercussioni sulla muscolatura del collo interesseranno il trapezio superiore omolaterale e sternocleidomastoideo controlaterale, così che la testa subirà una flessione dal lato della deviazione avvicinandosi alla spalla, che risulterà più alta della controlaterale. In queste condizioni la colonna vertebrale risulterà deviata sul tratto cervicale e inevitabilmente si formeranno altre curve compensatorie a livello toracico e lombare.

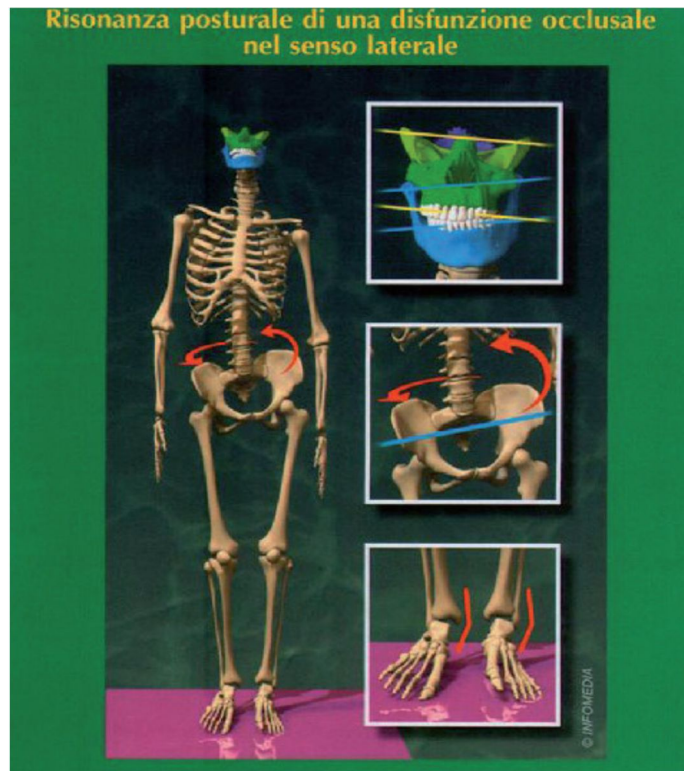


Figura 25: Assetto complessivo a seguito di uno squilibrio biomeccanico compartimentale (L. TREBBI - D. GALLI, 2000)

Il coinvolgimento del rachide provocherà per via riflessa altri squilibri muscolari (per esempio gran dorsale) soprattutto a carico dei muscoli ileo-psoas, che avendo inserzioni sulle vertebre lombari, sull'ala iliaca e sul trocantere femorale, causeranno un'inclinazione del bacino rispetto alla colonna vertebrale e una dismetria degli arti inferiori quando il soggetto sarà in posizione supina. La silhouette di questo corpo è ben diversa da quella ideale: il baricentro risulta spostato rispetto al filo a piombo; le orecchie, le spalle e le anche non sono su piani orizzontali e paralleli; le braccia sembrano di diversa lunghezza; le mani hanno posizioni posturali differenti e così pure i piedi: siamo di fronte a un 'individuo disfunzionale che rientra nel quadro algico-disfunzionale-posturale descritto in precedenza.

La scienza che si interessa di questa correlazione è la *kinesiologia odontoiatrica*, ramo della *kinesiologia applicata*.

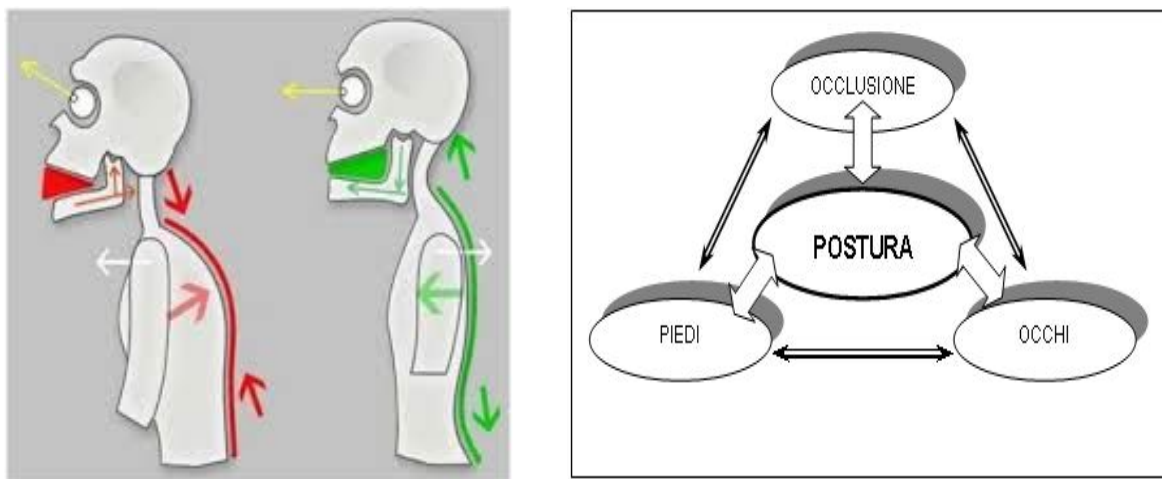


Figura 26: Relazione tra malocclusione ed assetto posturale

1.5.2 REVIEW DELLA LETTERATURA

Le relazioni biomeccaniche e neurologiche il sistema stomatognatico con altri distretti del corpo sono stati affrontati da un numero crescente di ricerche negli ultimi anni. La letteratura disponibile ha suggerito che vi è una duplice necessità di migliorare la qualità metodologica delle indagini nonché per affrontare domande frequenti. In particolare, la relazione occlusione-postura deve essere valutata in termini di un eventuale effetto bidirezionale, ovvero l'occlusione colpisce la postura e viceversa. La postura corporea può essere modificata dalla posizione della testa e del collo, dalla respirazione e anche dagli stati d'animo, in particolare dall'ansia.

Negli ultimi anni, a partire dalla *Consensus Conference del 1997*, sono state condotte numerose ricerche volte a dimostrare gli eventuali effetti delle alterazioni occlusali sulla postura e viceversa. Diversi studi hanno messo in evidenza il ruolo dell'occlusione dentaria e delle afferenze trigeminali nel controllo della postura.

Ulteriori studi hanno evidenziato che differenti posizioni mandibolari possono indurre variazioni nella postura corporea.

In particolare, *Gangloff et al.* e *Bracco et al.* hanno effettuato delle misurazioni su pedana stabilometrica in soggetti sani in differenti posizioni mandibolari, dimostrando come queste ultime possano influenzare il mantenimento della postura corporea. La posizione miocentrica mandibolare migliorava la distribuzione del peso corporeo riducendo le oscillazioni del baricentro.

A dimostrazione dell'importanza delle informazioni propriocettive provenienti dal sistema stomatognatico nel controllo della postura, *Milani et al.* hanno applicato a un gruppo di 30 soggetti un apparecchio di riposizionamento mandibolare e li hanno sottoposti a un test posturale (Fukuda-Unterberger test). I risultati hanno confermato che la presenza dell'apparecchio mandibolare induceva alterazioni nel mantenimento della postura corporea. *Sforza et al.* hanno rilevato una maggiore flessione del complesso testa/collo e una maggiore estensione della testa in soggetti ciechi (alterazione della postura cranio-cervicale). La somministrazione di stimoli acustici, ma pure propriocettivi, comprendendo l'occlusione in massima intercuspidação, sarebbe in grado di modificare la postura cranio-cervicale sia in soggetti affetti da cecità sia in soggetti normali.

Un lavoro di *Fujimoto et al.* è stato condotto su 12 soggetti, i quali erano invitati a camminare per una distanza di 18 metri con la mandibola guidata da splint oclusali in sei differenti posizioni. I risultati hanno mostrato che a differenti posizioni mandibolari corrispondevano modifiche posturali.

Festa et al. hanno condotto un esperimento su 30 ratti, inducendo una variazione dei rapporti oclusali con rialzi in composito. Il gruppo dei ratti trattati con il rialzo in composito aveva sviluppato dopo una settimana una curva scoliotica contrariamente al gruppo di controllo. I risultati hanno evidenziato che variazioni dei rapporti oclusali possono determinare anomale inclinazioni della colonna vertebrale. I risultati di questi studi avvalorano l'ipotesi che la posizione mandibolare e in particolare le afferenze propriocettive provenienti dalla mandibola abbiano un ruolo fondamentale nel mantenimento della corretta postura corporea. Per contro, altri studi, in alcuni casi condotti con metodi strumentali simili, non hanno dimostrato l'importanza della mandibola nel controllo posturale. *Ferrario et al.* hanno valutato, con esame stabilometrico, le oscillazioni del baricentro corporeo in 30 soggetti con malocclusione di II Classe, in tre differenti posizioni mandibolari: posizione di riposo, massima intercuspidação e massima forza in occlusione (occlusione su due rulli di cotone).

Le oscillazioni del baricentro corporeo non erano influenzate dalle differenti posizioni mandibolari.

Perinetti ha effettuato misurazioni stabilometriche valutando la posizione di massima intercuspidação e la posizione di riposo mandibolare in 26 soggetti sani, ma non ha trovato nessuna differenza nelle misurazioni stabilometriche effettuate nelle due diverse posizioni mandibolari. Nonostante l'ipotesi dell'importanza delle afferenze propriocettive di origine mandibolare nel controllo della postura sia avvalorata dalle connessioni sinaptiche tra i nervi propriocettivi mandibolari e i nervi deputati al mantenimento dell'equilibrio, i risultati degli studi riguardanti il ruolo della posizione mandibolare sono discordanti. Non si possono escludere del tutto eventuali influenze dell'apparato stomatognatico sul controllo della postura corporea, che si possono verificare attraverso meccanismi più complessi. A tal fine saranno certamente necessari ulteriori studi condotti con metodi riproducibili e con ampi campioni per ottenere nuove informazioni a riguardo.

Uno dei lavori più recenti è quello di *Norman Randall Thomas et al.* nel quale riconosce che l'occlusione dentale media le informazioni propriocettive sulla posizione e il movimento della testa e del collo nello spazio attraverso il nervo trigeminale. Questo input serve ad influenzare il modello discendente della postura dall'occlusione al nucleo vestibolare. Il modello ascendente della postura si presenta attraverso il sistema ascendente sotto il livello osseo ioide C3/C4. Dunque, viene dimostrata l'evidente correlazione ascendente-discendente dell'ATM.

Revisionando tutta la letteratura, si nota come il modo scientifico ancora non riesca a trovare dati palesemente evidenti che dimostrino appieno e definitivamente questa stretta correlazione tra i due apparati biomeccanici (occlusale e locomotore). Nella maggior parte dei casi gli studi si sono soffermati sull'interazione tra ATM e complesso posturale, pochi hanno indagato su ripercussioni a livello dinamico durante la deambulazione.

Il seguente lavoro di tesi segue il filone di studi di *Fujimoto et al.*, prendendo come riferimento cardine la teoria e l'analisi diagnostica di *Ferrario et al.*

Sono stati analizzati 53 pazienti, ad ognuno dei quali è stato fatto un test diagnostico per valutarne l'occlusione. Agli stessi è stato chiesto di eseguire la task motoria di walk lungo 7m e sono stati ricavati i parametri spazio-temporali del ciclo del passo. Un'analisi statistica è seguita a queste acquisizioni, al fine di rilevare una correlazione tra indici diagnostici (occlusione) e indici funzionali (deambulazione).

2. MATERIALI E METODI

A seguito di una breve trattazione esposta nel capitolo precedente, riguardante i distretti biomeccanici di interesse in questo studio, in questo capitolo vengono affrontate e descritte le metodologie e le analisi effettuate in questo studio.

Dapprima si descrive la classe di soggetti esaminata; in seguito vengono esposte le tecniche diagnostiche utilizzate in questo studio, volte ad effettuare un'analisi quantitativa dei principali indici diagnostici odontoiatrici, estrapolabili da un'EMG superficiale dell'ATM, impiegati a classificare ed attribuire ad un soggetto la presenza o meno di malocclusione; successivo all'esame diagnostico, ai pazienti è stato chiesto di effettuare una task motoria quale cammino lungo un percorso di 7m senza ostacoli. Quindi vengono descritte le metodiche e la strumentazione in uso nel seguente studio per l'analisi cinematica del passo e l'estrapolazione dei parametri di interesse. Infine, viene approfondita la tipologia di analisi dei dati che ha portato questo studio alle redazioni di conclusioni circa la stretta intercorrelazione tra apparato stomatognatico e apparato locomotore.

2.1 SOGGETTI

Questo studio ha preso in considerazione ed osservazione 53 pazienti, nessuno dei quali aveva subito interventi di natura biomeccanica nell'arco dei precedenti 12 mesi. La ricerca scientifica trattata si è svolta in tre sedi differenti: presso la Virtus Life Gym (NA), in collaborazione con il Dott.re Massimo Buda; presso lo studio odontoiatrico del Dott.re Franco Di Stasio (NA); presso lo studio odontoiatrico del Dott.re Guido De Vincentis (CE). Tutto ciò è stato possibile grazie alla collaborazione di *N.I.T., Naples Institute Of Technologies* di Luca Mercogliano, il quale ha fornito non solo lo strumentario, ma anche l'esperienza e la professionalità utile per il prelievo dei dati. L'analisi dei dati raccolti è stata eseguita presso laboratorio di Analisi del Movimento "Luigi Divieti" presso il Dipartimento di Bioingegneria del Politecnico di Milano, supervisionata dalla *Prof.ssa Manuela Galli*.

	Età	Peso [kg]	Altezza [cm]
Media ± D.S.	37.7 ± 15	68.45 ± 14.89	169.21 ± 7.67

Figura 27: Tabella delle medie dei soggetti analizzati durante lo studio

2.2 EMG IN ODONTOIATRIA: STRUMENTAZIONE, PROTOCOLLI ED INDICI DIAGNOSTICI

Dal momento in cui l'EMG è stata introdotta nel campo dell'odontoiatria, la strumentazione, gli elettrodi e le tecniche sono state migliorate e standardizzate consentendo una valutazione statistica dei dati registrati. Le informazioni tradizionali qualitative sono ora affiancate a misurazioni quantitative, costituendo entrambi validi strumenti di diagnosi (Ferrario et al., 1991; Ferrario, 2000). Le indagini condotte in campo sperimentale, sia con elettrodi di superficie che con elettrodi invasivi, sull'attività dei muscoli masticatori hanno dato risultati favorevoli consentendo l'inserimento dell'EMG in ambito clinico, nell'uso di routine per il primo screening delle patologie cranio-mandibolari (Naeije, 1988) e nella gestione della terapia e del follow-up del paziente (Ferrario et al., 1991; Ferrario, 2000; Ciusa et al., 2000). Per quanto riguarda l'elettromiografia di superficie, la strumentazione attualmente disponibile permette l'indagine di numerosi muscoli coinvolti nella masticazione, nella deglutizione e nella postura della testa (tipicamente il massetere, il fascio anteriore del temporale, lo sternocleidomastoideo perché sono quelli più facilmente accessibili e analizzabili tramite una sEMG); i dati dei potenziali EMG rilevati vengono poi integrati con valutazioni della simmetria e dei differenti pattern di attivazione dei muscoli (Ciusa et al., 2000; Ferrario e Sforza, 1996; Ferrario et al., 2000; Naeije et al., 1989).

Quindi, a prescindere dalle caratteristiche EMG quantitative dei singoli muscoli (potenziali EMG, livello di accensione, tempi di contrazione) registrate durante lo svolgimento di attività standardizzate (masticazione, deglutizione, serramento), le attività sinergiche dei principali muscoli masticatori possono essere impiegate per distinguere gli individui sani dai patologici (Ferrario et al., 1999b).

Anche se ogni muscolo sembra avere una funzione principale, ogni singola contrazione muscolare ha dimostrato di portare ad attività variabile (il cosiddetto effetto crosstalk o attività mimetica) anche in altri e soprattutto nei muscoli adiacenti. Inoltre, gli individui hanno dimostrato di differire nel loro coordinamento muscolare per diversi movimenti funzionali.

Gli studi che hanno esaminato le unità funzionali di base, cioè le unità motorie e la loro distribuzione all'interno dei muscoli, hanno dimostrato l'adeguamento fine di ogni movimento all'interno dei muscoli e il potenziale di reclutamento selettivo di diverse parti dei muscoli. Pertanto, sono coinvolti molti fattori intra-e intermuscolari che possono influenzare le registrazioni EMG di qualsiasi muscolo.

L'EMG è uno strumento utile per valutare le eventuali alterazioni indotte sulla simmetria muscolare da interferenze occlusali. Le interferenze occlusali sono abbastanza comuni nella dentizione naturale e possono essere associate a disturbi cranio-cervico-mandibolari, DCCM (Montecorboli et al.). Attraverso una review della letteratura, si evince che la sEMG è diventata uno strumento diagnostico a tutti gli effetti, ma è ancora in dubbio il suo utilizzo per la valutazione dei disordini temporo-mandibolari TMD (Gary D. Klasser et al.).

È presumibile che la malocclusione altera gli stimoli propriocettivi e periodontali inviati al sistema nervoso centrale, inducendolo a modificare le sequenze di accensione, la durata e il numero di unità motorie attive nell'apparente tentativo di evitare il contatto tra l'interferenza e l'elemento antagonista. Studi condotti inserendo un'interferenza occlusale di altezza pari a quelle riscontrabili in ambito protesico, hanno evidenziato un'attività contrattile asimmetrica nei muscoli elevatori e un dislocamento potenziale della mandibola in una posizione laterale (Ferrario et al., 1999a). Questi risultati evidenziano la necessità di accurati controlli sia funzionali (EMG) che morfologici. Il molaggio selettivo delle superfici occlusali sia naturali sia artificiali (otturazioni, protesi) può essere effettuato non solo utilizzando il metodo convenzionale con cartine di masticazione, ma anche sotto guida EMG (Ciusa et al., 2000). In tal caso il controllo EMG può meglio evidenziare l'esistenza di un'alterazione a livello del sistema neuromuscolare (Ferrario et al.; Tartaglia et al. 2001).

Nell'ambito della biomeccanica, il segnale elettromiografico può essere utilizzato in tre modi. Essendo in grado di segnalare l'inizio dell'attivazione muscolare, il segnale può fornire la sequenza dei tempi di attivazione di uno o più muscoli impegnati nello svolgimento di un lavoro come ad esempio la deglutizione (Dellavia et al., 2000).

Inoltre, può fornire informazioni riguardo al contributo relativo dei singoli muscoli o dei gruppi di muscoli al livello di forza contrattile prodotta.

Infine, il segnale EMG fornisce un indice di fatica muscolare; è stato dimostrato, infatti, che è possibile visualizzare le variazioni dello spettro delle frequenze relativamente al tempo prima di qualsiasi modificazione della forza, permettendo di prevedere l'insorgere della fatica (De Luca, 1997).

Per quanto riguarda la valutazione dei modelli biomeccanici dell'apparato stomatognatico, è noto che il carico relativo su ciascuna articolazione temporomandibolare non è solo funzione della forza di serramento (stringere), ma anche delle modalità con cui tale forza viene prodotta. Pertanto, diventa di primaria importanza quantificare il contributo relativo dei differenti muscoli elevatori della mandibola alla forza di stringere.

L'EMG si conferma essere uno strumento prezioso in quanto permette di misurare gli indici di attività e il valore di asimmetria muscolare, consentendo ad esempio di rilevare il contributo del massetere rispetto al temporale o più in generale, l'apporto dei muscoli lavoranti rispetto ai bilancianti (Ferrario e Sforza, 1994).

2.2.1 STRUMENTAZIONE E PROTOCOLLI (BTS TMJOINT)

Nel presente studio, i dati diagnostici elettromiografici dell'apparato stomatognatico sono stati ottenuti tramite lo strumento BTS TMJoint.



Figura 28: Strumento BTS TMJoint (btsbioengineering.com)

TMJoint utilizza 6 sonde wireless, quindi 12 canali (De Gotzen srl; Legnano, Milano) interfacciato con un Personal Computer in cui installato il software BTS Dental Contact Analyzer che consente la visualizzazione a video del segnale registrato e restituisce tutta una serie di indici diagnostici. Lo strumento produce un'amplificazione del segnale EMG (guadagno 150, larghezza di banda 0–10 Hz, intervallo di ingresso da picco-picco da 0 a 2000 μV) utilizzando un amplificatore differenziale con un elevato rapporto di reiezione di modo comune (CMRR=105 dB nell'intervallo da 0 a 60 Hz, impedenza d'ingresso G Ω). Il segnale viene poi digitalizzato (risoluzione 12 bit, frequenza di campionamento A/D a 2230 Hz) e filtrato digitalmente (filtro passa-alto a 30 Hz, filtro a passa basso su 400 Hz, band-stop per il rumore comune di 50-60 Hz). Tutto ciò porta ad una rappresentazione grafica dei dati acquisiti. Per tutti i soggetti ed i muscoli, sono stati utilizzati come sonde attive coppie di elettrodi bipolari di superficie monouso, di argento/cloruro di argento (Duo-Trode; Myo-Tronics, Seattle, Wa, USA) aventi diametro di 10 mm e distanza interelettrodo di 21 ± 1 mm.

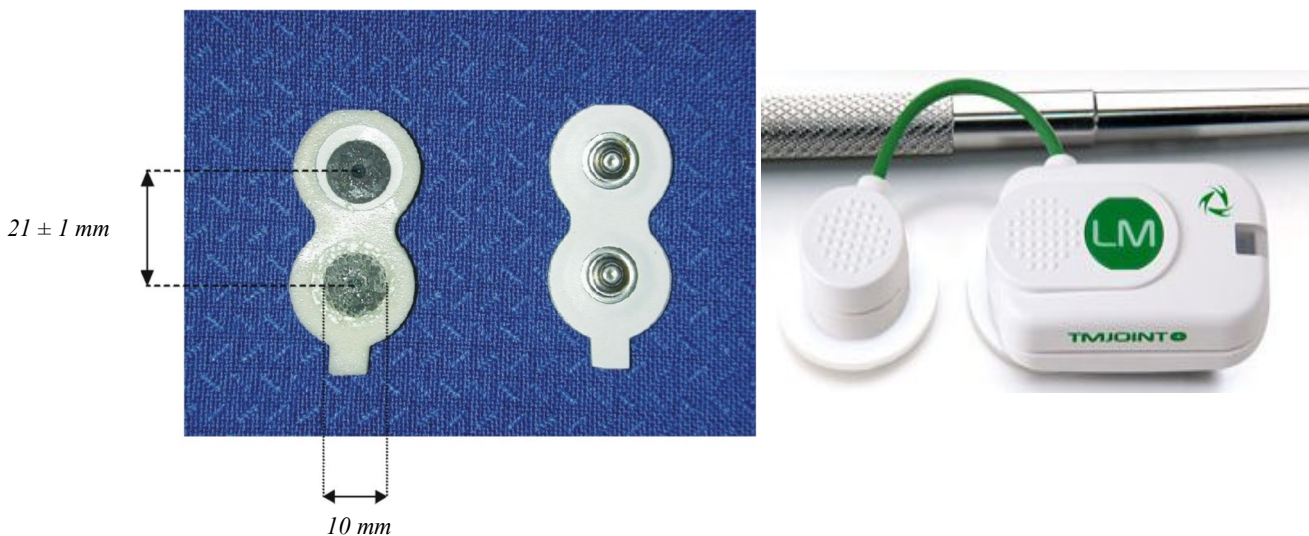


Figura 29: Elettrodi e sonda utilizzati (.btsbioengineering.com)

Per ridurre al minimo le impedenze cutanee al di sotto dei singoli elettrodi, prima di posizionare gli stessi si è proceduto alla detersione della cute con un batuffolo di cotone imbevuto di alcool. Inoltre, i soggetti maschi erano stati preventivamente avvertiti di presentarsi alle acquisizioni perfettamente rasati e ai soggetti femmine si era suggerito di evitare il make-up.

Per garantire una buona riproducibilità dei dati rilevati ci si è attenuti alle procedure descritte nei protocolli standardizzati messi a punto dal L.A.F.A.S. (Laboratorio di Anatomia Funzionale dell'Apparato Stomatognatico) (Ferrario et al., 1991, 1993, 1999b, 2000; Ferrario e Sforza, 1996).

Durante l'acquisizione il soggetto siede su di uno sgabello di legno onde evitare possibili interferenze elettriche che potrebbero creare artefatti di misura ed assume una postura con la schiena eretta, la pianta dei piedi a terra, le mani appoggiate sulle ginocchia e lo sguardo rivolto verso il piano dell'orizzonte.

Gli elettrodi sono stati posizionati sui ventri dei muscoli interessati (massetere e fascio anteriore del temporale e sternocleidomastoideo di entrambi i lati) nel seguente modo:

- massetere (MM): l'operatore si posiziona alle spalle del soggetto seduto e palpa il muscolo in massimo serramento individuandone il ventre; l'elettrodo viene posizionato lungo la linea congiungente il canto esterno dell'occhio con il gonion (punto di reperi corrispondente al vertice, o punto di massima curvatura, dell'angolo mandibolare, Du Brul, 1988) a cavaliere della congiungente la commessura buccale ed il trago (punto di reperi corrispondente al punto più avanzato dell'incisura sovratragica, Du Brul, 1988);
- fascio anteriore del temporale (TA): l'operatore palpa il muscolo in massimo serramento e individua l'asse maggiore del processo zigomatico dell'osso frontale; l'elettrodo viene applicato lungo una linea parallela passante un paio di centimetri posteriormente al processo al di sopra del processo temporale dell'osso zigomatico;
- sternocleidomastoideo (SCM): parallelo alle fibre muscolari, sul ventre muscolare, con il polo superiore dell'elettrodo alla stessa altezza verticale del gonion.

All'interno del team che ha sviluppato questo studio era sempre presente anche un'odontoiatra. Prima di ogni test eseguito tramite l'utilizzo della strumentazione, il medico esprime il suo giudizio riguardo la situazione oclusale del paziente, evidenziandone le caratteristiche morfo-fisiologiche.

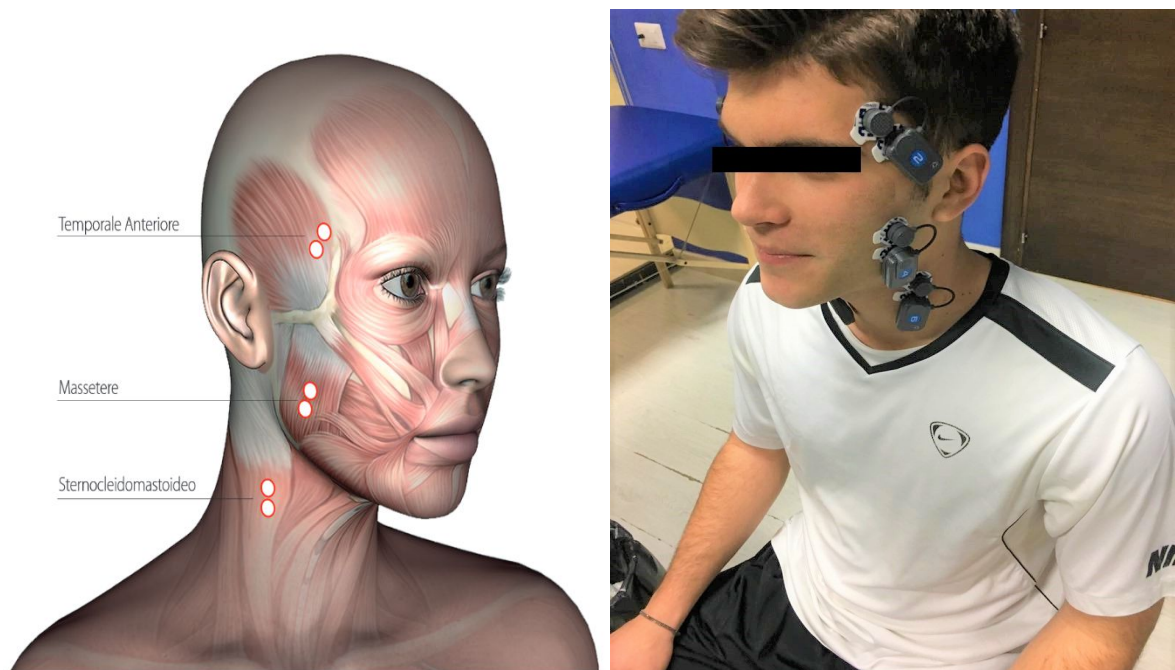


Figura 30: Posizione standardizzata degli elettrodi

Al paziente è stato dunque chiesto di eseguire 4 task motorie, tutte rispettando il protocollo del L.A.F.A.S:

- 1) massimo serramento volontario (MVC) su rulli di cotone (COT): questa registrazione fornisce valori EMG di riferimento per la successiva normalizzazione (Ferrario et al., 2006a, b). Due rotoli di cotone spessi 10 mm sono stati posizionati sul secondo premolare mandibolare/primi molari di ogni paziente, ed è stato registrato un MVC di 5 s. In altre parole, al paziente viene chiesto di stringere più possibile in occlusione abituale e mantenere lo stesso livello di contrazione durante i 5 s di registrazione



Figura 31: Posizionamento rulli per la valutazione della MVC

Il software seleziona automaticamente 3 s del MVC e il potenziale EMG registrato successivamente sarà normalizzato rispetto a questo valore, cioè l'ampiezza EMG sulla superficie occlusale si divide per l'ampiezza EMG media del record di normalizzazione MVC ($mV/mV * 100$). Questa chiave di standardizzazione annulla la variabilità propria delle analisi elettromiografiche non ripetibili a causa di fattori estrinseci (fattura dell'elettrodo e sua conducibilità; posizione dell'elettrodo rispetto alle unità motorie e alle fibre muscolari) ed intrinseci (possibilità che nello stesso paziente vi siano situazioni di trofismo muscolare differenti; caratteristiche fisiologiche, anatomiche e biochimiche della cute tra cui lo spessore, l'idratazione e la pulizia).

- 2) massimo serramento volontario su dentatura (CLE): al paziente è stato chiesto di stringere il più duramente possibile con i denti mascellari e mandibolari al massimo contatto (posizione intercuspidale) e per mantenere lo stesso livello di contrazione per 5 s. Per ogni paziente, i 3 s con il rms del segnale EMG più costante sono stati quindi selezionati automaticamente dal software EMG, e il potenziale EMG è stato normalizzato come descritto prima



Figura 32: Esempio di massimo serramento volontario su dentatura

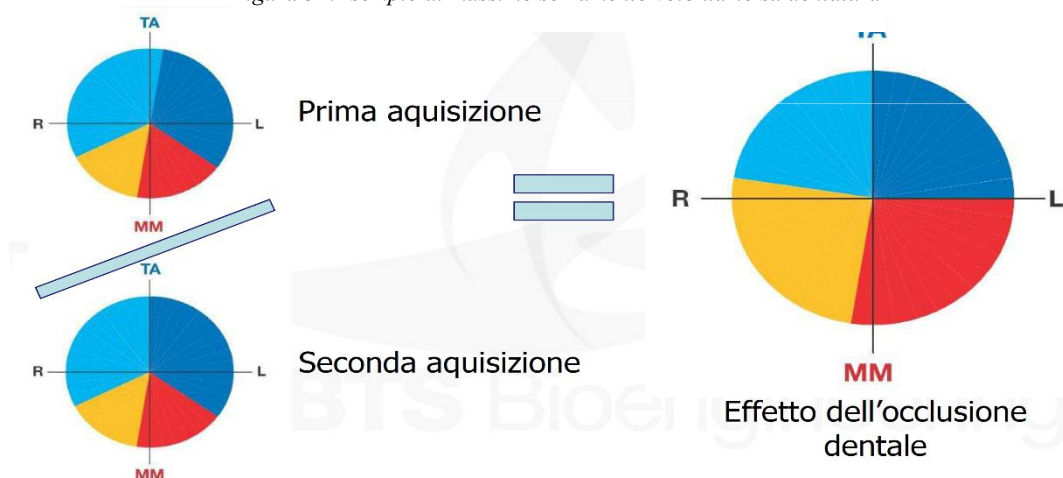


Figura 33: Esempio di effetto di normalizzazione rispetto alla MVC su cotone

- 3) battuta ripetuta dei denti (masticazione unilaterale) (MAST): il test di masticazione viene eseguito con gomma da masticare senza zucchero (Ferrario e Sforza 1996; Ferrario 1999b). Viene registrato l'EMG prodotto dalla masticazione unilaterale da entrambi i lati. In altre parole, al paziente viene chiesto di masticare una gomma solo su un lato per 15s con una frequenza di battuta naturale, evitando di modificare la posizione del corpo assunta durante la prova e l'utilizzo della lingua al fine di migliorare la posizione della gomma durante la masticazione (nel caso il paziente fosse provvisto di denti provvisori, viene creato una "gomma" fatta con materiale non adesivo, quale il cotone).
- 4) rotazione del capo (ROT): partendo dalla posizione di riposo descritta in precedenza, al paziente viene chiesto di ruotare il capo prima da un lato e poi verso il controlaterale, portando in iper-estensione il collo al fine di attivare lo sternocleidomastoideo. La task motoria consiste: lato-riposo-controlato-riposo (due volte, durata ca. 7s). Il paziente, durante l'esecuzione della task, dovrebbe mantenere una postura quanto più stabile possibile, per evitare che la registrazione del segnale sia sporcata da eventuali artefatti.

2.2.2 INDICI DIAGNOSTICI

Come noto, l'analisi del segnale elettromiografico è tradizionalmente *qualitativa*, ma l'evoluzione nelle conoscenze del fenomeno bioelettrico ha permesso lo sviluppo di metodiche *quantitative* che facilitano l'utilizzo dell'elettromiografia a livello clinico e permettono di confrontare i dati relativi a uno stesso soggetto, in momenti successivi (normalizzazione e standardizzazione). Alcuni autori, per facilitare l'interpretazione del segnale elettromiografico, hanno proposto l'utilizzo di indici normalizzati, pertanto adimensionali, che derivano dal rapporto delle misurazioni del voltaggio medio calcolato in un determinato intervallo di tempo ($\mu\text{V}/\mu\text{V}$ ed espressi in %), durante la simmetrica contrazione di muscoli omologhi (Naeije, 1988, Naeije 1989- Ferrario et al. 1993).

Tra gli indici proposti sono presenti l'indice di Attivazione (*Attiv*), di Asimmetria (*Asim*) e *Torque*: il loro utilizzo clinico è utile specialmente per avere un quadro immediato riferibile alla biomeccanica mandibolare.

Nel 2000, *Ferrario et al.* propongono l'utilizzo di indici di simmetria muscolare espressi dal grado di sovrapposizione delle curve di attivazione di muscoli omologhi. Questi indici, rispetto ai precedenti, tengono conto dell'intera morfologia dell'onda elettromiografica in funzione del tempo e permettono di valutare la simmetria muscolare durante periodi di tempo molto brevi (25 ms). Essi costituiscono il completamento naturale dell'analisi elettromiografica quantitativa. Gli indici proposti sono l'indice POC (Coefficiente di Sovrapposizione Percentuale), IMP (Impact), BAR (Baricentro) e TORS (torsione).

BTS TMJoint è in grado di elaborare l'intera gamma di indici e fornire al clinico un'ampia visione dell'equilibrio neuromuscolare indotto dall'occlusione dentale.

Approfondiamo ora il significato di tutti quegli indici utilizzati in questo studio:

- *POC = Percentage of Overlapping Coefficient:*

Si definisce un indice della simmetrica distribuzione dell'attività muscolare determinata dall'occlusione dentale. È correlato al grado di sovrapposizione delle curve di attivazione dei muscoli omologhi. I potenziali elettromiografici sono espressi come percentuale del massimo serramento volontario (MVC) su rulli di cotone e le curve di attivazione delle coppie di muscoli omologhi (Temporale DX e SX - Massetere DX e SX – Sternocleidomastoideo DX e SX), sono comparate calcolando un indice di simmetria muscolare in grado di tener conto dell'intera morfologia del segnale elettromiografico.

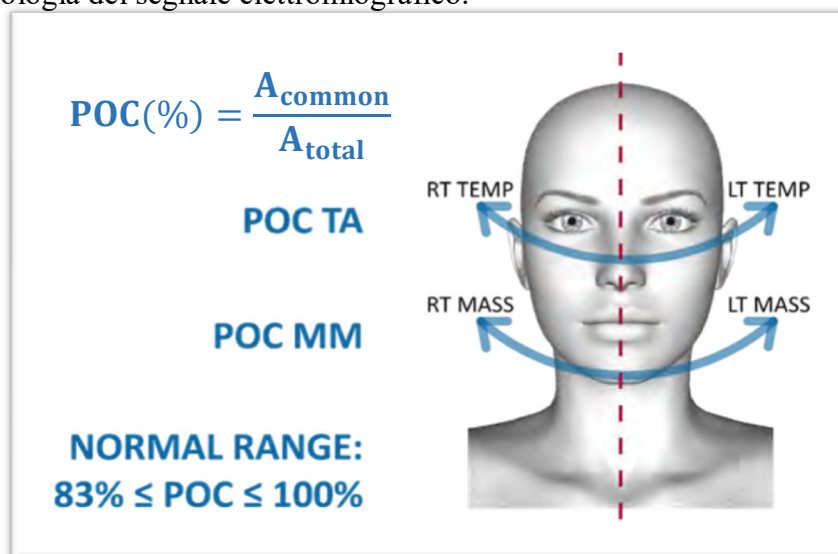


Figura 34: Rappresentazione grafica del POC (N.B. nell'immagine non è segnalato il POC per lo SCM, ma il discorso è estendibile anche a questo muscolo) (Dr. Federico Marin, Dr. Stefano Montagna, 2014)

La formula per il calcolo del POC è al seguente:

$$POC = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{60} (\text{muscolo destro}_i - \text{muscolo sinistro}_i)}{\sum_{i=1}^{60} (\text{muscolo destro}_i + \text{muscolo sinistro}_i)} \right] \times 100$$

dove i sono i potenziali standardizzati di ciascun periodo di 50 ms (Ferrario et al.). Se i due muscoli omologhi di ciascuna coppia si contraggono in perfetta simmetria il risultato di POC atteso è prossimo al 100%, se invece ad un muscolo molto prevalente è accoppiato un muscolo debole, il valore di POC risulta essere sensibilmente inferiore al 100%. I calcoli sono stati effettuati per ciascuna coppia di muscoli (masseteri, temporali anteriori e sternocleidomastoidei) in ogni soggetto, ottenendo così, per ciascuna acquisizione, un POC temporale, uno masseterino ed uno per SMC. Se ciascuna coppia di muscoli omologhi si contraesse in perfetta simmetria, il valore del POC sarebbe pari al 100%; in natura, per definizione, la perfetta simmetria non esiste, perciò si considerano nella norma valori di POC uguale o maggiore al valore dell'83%.

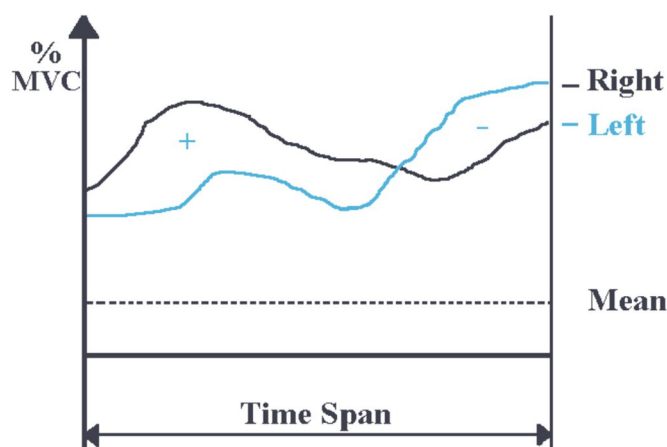


Figura 35: Esempio di calcolo di percentage overlapping coefficient (POC) per una coppia di muscoli masticatori (azzurro: muscolo di sinistra, grigio: muscolo di destra). Nel calcolo del POC, la somma delle aree non sovrapposte ('+' e '-') viene divisa per l'area totale sottesa dalle due curve. Asse delle X: intervallo di tempo, Asse delle Y: MVC in percentuale dei valori su cotone.

- BAR = Baricentro Occlusale:

Valuta la posizione del baricentro occlusale. È ottenuto comparando le attività dei temporali e dei masseteri (a differenza dell'indice POC che confronta singoli muscoli omologhi), stimando così la posizione del baricentro occlusale. Il contatto dentale più importante in condizioni standard è concentrato e posizionato attorno ai denti molari in quanto l'attività dei masseteri è generalmente dominante in condizioni normali.

Se in condizioni normali il temporale genera una contrazione maggiore (confrontata con i masseteri), il baricentro si sposterà in avanti sovraccaricando bilateralmente l'articolazione.

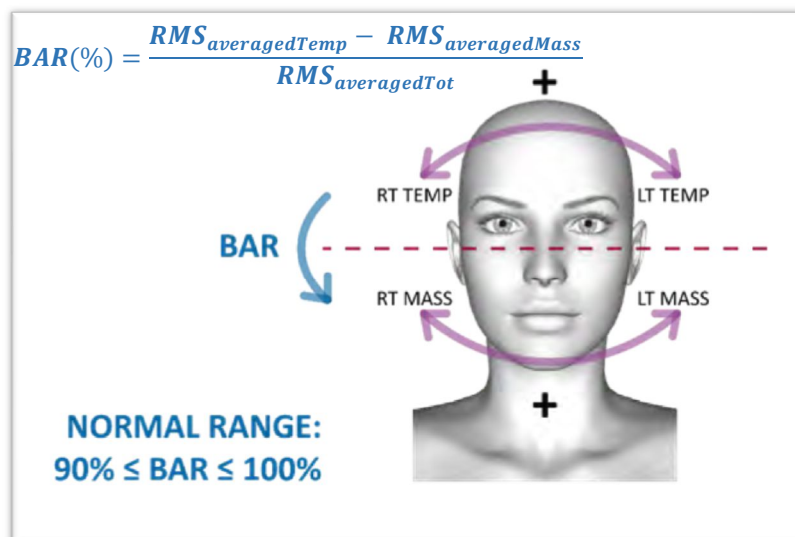


Figura 36: Rappresentazione grafica del BAR con rispettiva formula analitica (Dr. Federico Marin, Dr. Stefano Montagna, 2014)

Quando i punti di contatto tendono a concentrarsi sui molari, i masseteri registrano una contrazione maggiore rispetto ai temporali corrispondenti (baricentro posteriore, $BAR < 0$). Viceversa nella condizione occlusale in cui il baricentro si sposta nei settori antero-laterali, ovvero fino al primo-secondo premolare, i temporali esprimono forze di contrazione maggiori (baricentro anteriore, $BAR > 0$). In questo caso vi è un sovraccarico bilaterale delle articolazioni che, con il passare del tempo, può portare a condizioni patologiche. Il valore BAR nella popolazione normale esprime sempre una prevalenza di attività della coppia di muscoli masseteri rispetto a quella dei temporali. Questa condizione viene invertita nelle seconde classi scheletriche in cui i muscoli temporali esprimono sempre una attività elettrica maggiore rispetto ai masseteri. NB. Si differenzia dall'indice ATTIV poiché si utilizzano diversi metodi di calcolo. Tuttavia il significato fisiologico è lo stesso

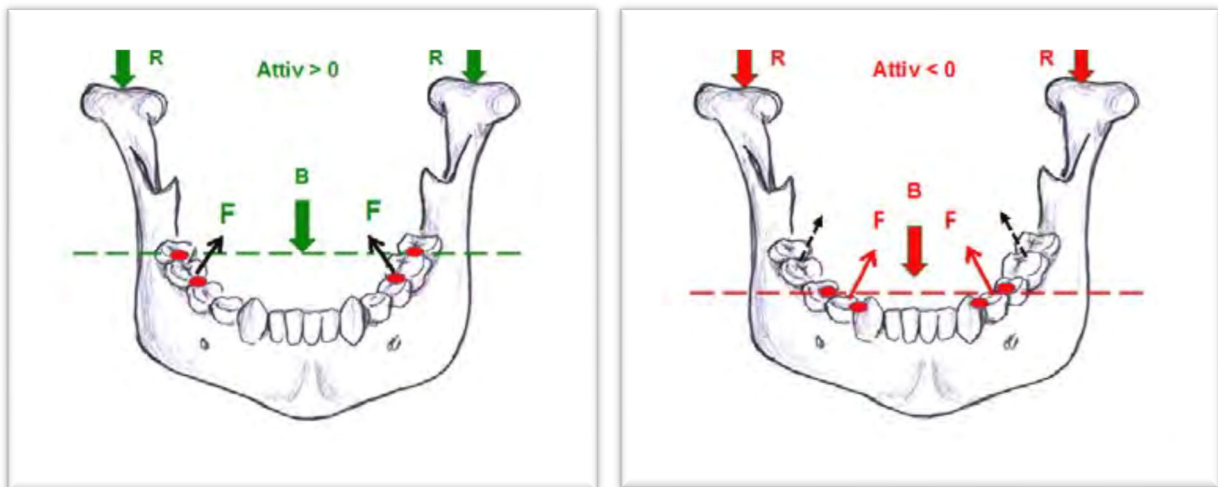


Figura 37: Esempio di baricentro posteriorizzato o anteriorizzato; relazione tra BAR e indice Attiv

- TORS = Indice di Torsione Mandibolare:

Valuta l'atteggiamento di torsione della mandibola nel piano orizzontale quando questa va in occlusione con il mascellare superiore. Si ottiene dal confronto delle attività dei muscoli incrociati: in caso di prevalenza della coppia temporale di destra e massetere di sinistra si registra un momento torcente verso destra; in caso di prevalenza della coppia temporale di sinistra e massetere di destra si registra un momento torcente verso sinistra. Dunque, le onde elettromiografiche dei muscoli che nel serramento tendono a torcere la mandibola nella stessa direzione sono confrontate calcolando un coefficiente di sovrapposizione percentuale (TORS, unità %).

Quando questo indice è maggiore del 90% vuol dire che non si verificano momenti torcenti sulla mandibola. Al contrario se questo indice è al fuori dei valori di norma vuol dire che i muscoli tendono a far torcere la mandibola verso destra o verso sinistra a seconda che prevalga l'una o l'altra coppia muscolare a causa della presenza di fulcri occlusali. Non dobbiamo pensare che si verifichi un'effettiva torsione della mandibola perché i muscoli del collo tengono ferma la testa, tuttavia ciò comporterà una squilibrata attivazione nei muscoli del collo. NB. Si differenzia dall'indice TORQUE poiché si utilizzano diversi metodi di calcolo. Tuttavia il significato fisiologico è lo stesso.

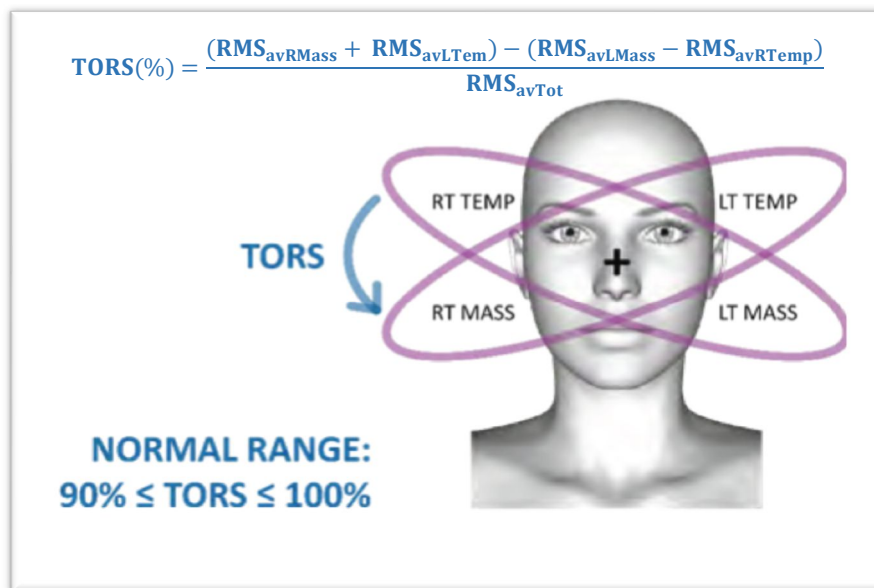


Figura 38: Rappresentazione grafica del TORS con rispettiva formula analitica (Dr. Federico Marin, Dr. Stefano Montagna, 2014)

La valutazione degli indici POC+BAR+TORS permette un'identificazione della posizione del baricento occlusale durante il morso.

- IMPACT = Lavoro Muscolare Prodotto:

Valuta il lavoro sviluppato dal muscolo durante la sua attività contrattile. Il lavoro è rappresentato geometricamente dall'area sottesa alla curva di attività elettrica dei muscoli esaminati nel tempo. I valori di normalità dell'indice sono nel range di 100%-115%. Si determina calcolando l'integrale dell'ampiezza del segnale EMG (espressa in percentuale rispetto al valore MVC su cotone= $\mu\text{V}/\mu\text{V} \%$) nel tempo (in secondi) secondo la formula:

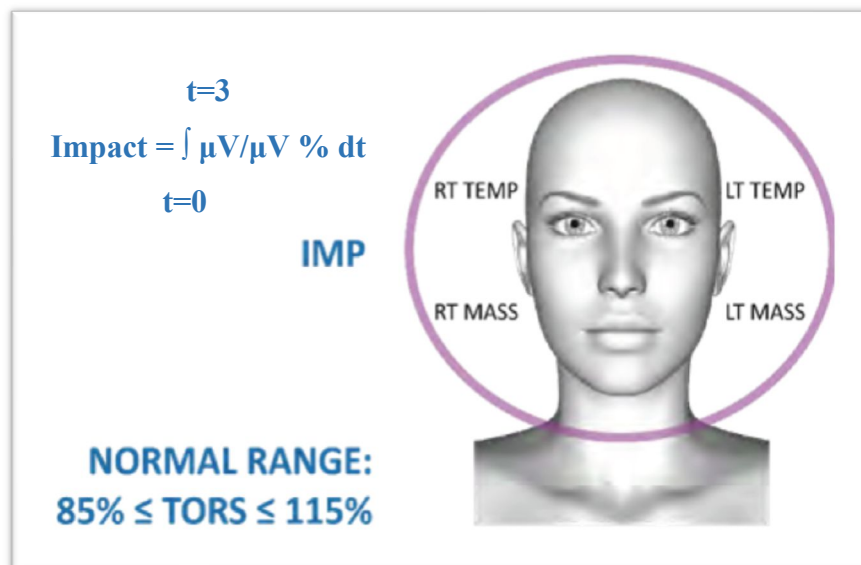


Figura 39: Rappresentazione grafica IMPACT con rispettiva formula analitica (Dr. Federico Marin, Dr. Stefano Montagna, 2014)

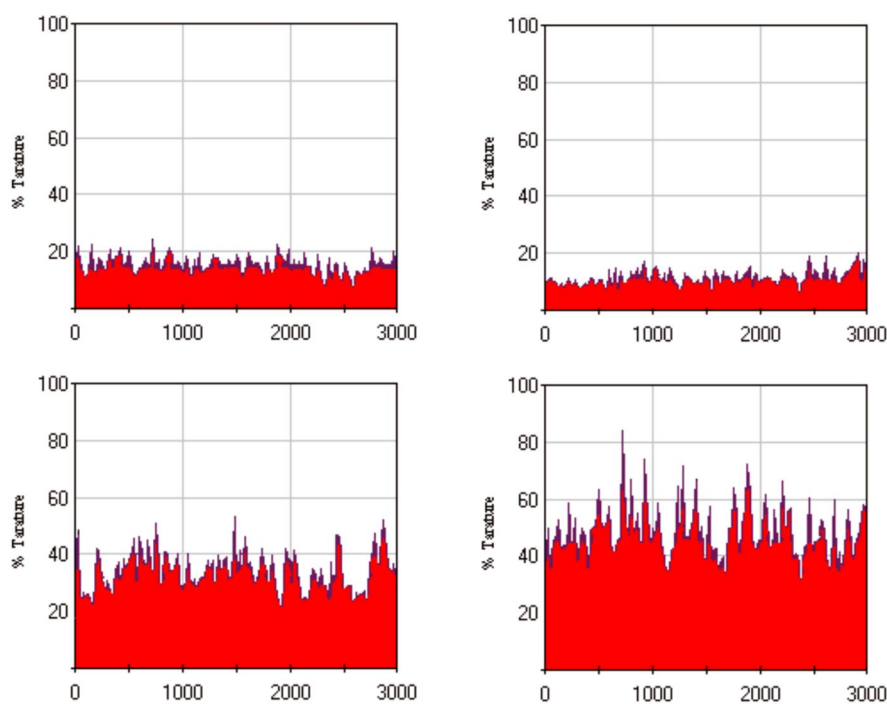


Figura 40: Esempio di impact: il lavoro sviluppato dai muscoli è rappresentato graficamente dall'area sottesa dalla curva dell'attività elettrica nel tempo (ampiezza del segnale espressa in percentuale rispetto al valore di calibrazione).
 Ascisse: tempo, ms; ordinate: $\mu V/\mu V$ %.

L'indice IMPACT è influenzato dalla stabilità oclusale poiché esiste uno stretto rapporto tra attività muscolare e numero di contatti oclusali (Bakke et al., 1992). Quanto maggiore è il numero di contatti oclusali e quanto maggiore è la loro area, migliore sarà l'attività muscolare (MacDonald e Hannan, 1984). Valori superiori alla norma, ad esempio, sono correlati ad un habitus di paziente serratore (sviluppo di parafunzioni, serramento, digrignamento). Valori inferiori alla norma possono esprimere una condizione di inibizione propriocettiva acuta e quindi presenza di dolore in MVC o cronicizzata per la presenza di un riflesso protettivo su base nocicettiva. Se gli indici POC, TORS e BAR sono nella norma, l'indice IMP può essere di aiuto anche per il controllo della dimensione verticale (DVO), non dimenticando, però, che la sua interpretazione deve essere associata ad una attenta e critica valutazione clinica. La modifica della DVO, infatti, attiva la risposta propriocettiva muscolare mediata dai fusi neuromuscolari, posti in parallelo rispetto alle fibre del muscolo. Possiamo avere indicazioni sulla possibilità di aumentare (indice superiore alla norma) o di ridurre (indice inferiore alla norma) la dimensione verticale compatibilmente con la valutazione estetica del paziente e con le valutazioni cliniche indicate in letteratura.

- CL= Cervical Load:

Nella valutazione clinico-strumentale dei soggetti in terapia stomatognatica, si aggiungono altri due indici a quelli precedentemente analizzati. Il POC SCM o indice di simmetrica attivazione dei muscoli sternocleidomastoidei destro e sinistro e il Cervical Load (CL). Essi indicano se e quanto i muscoli sternocleidomastoidei si co-contraggono unitamente ai muscoli elevatori della mandibola durante il massimo serramento volontario (MVC). Il valore del POC, in perfetta sintonia con quello detto in precedenza, presenta un range compreso tra 0% e 100%; ove zero (0%) denota assenza di attività concomitante con i muscoli della masticazione e cento (100%) indica il massimo coinvolgimento. Mentre, minore è il valore di CL, minore è l'influenza dell'occlusione dentale sulla muscolatura del collo: il valore di riferimento considerato normale è $\leq 15\%$. Il Cervical Load permette dunque di valutare quanto l'occlusione dentale può influire sull'equilibrio dei muscoli cervicali. È noto e accettato in letteratura, che il controllo neuromuscolare della stabilità occlusale e dell'equilibrio dei muscoli della masticazione sono influenzati dalle afferenze parodontali (Ferrario VF, Sforza C, et al. 1999) (Santander H, Miralles R, Zuniga C, Rocabado M, et al. 1994) (Yashiro K, Miyawaki, et al. 2004). La presenza di asimmetrie occlusali quali ad esempio, cross-bite monolaterali, sono in grado di modificare in modo significativo l'attività dei muscoli elevatori della mandibola e ridurne l'efficienza (Alarcòn JA, Martín C, Palma JC, et al.). Alterati schemi occlusali, possono essere messi in relazione a disturbi che coinvolgono l'articolazione temporo-mandibolare (Ciancaglini R, Gherlone EF, et al. 2002). Rapporti occlusali non fisiologici e relazioni mandibola-mascellare non equilibrate, possono agire sulla muscolatura del collo, perlomeno in alcuni soggetti (ricordare la correlazione ascendente/discendente). Esiste, nell'uomo, una relazione funzionale tra il territorio trigeminale e il sistema cervicale con reciproca co-attivazione e inibizione a livello dei muscoli della mandibola, collo e spalle, durante l'esecuzione di determinate azioni motorie, quali ad esempio, masticazione, deglutizione, attività parafunzionali (serramento e digrignamento), etc... (Shiau & Chai, 1990) (Browne et al. 1993) (Santander et al. 1994).

Allo stesso tempo, i movimenti del collo e della testa sono spesso concomitanti ai movimenti di apertura e chiusura della mandibola (Eriksson, Zafa & Nordh, 1998) e modifiche nella postura della testa sembrano poter influire sulla traiettoria dei movimenti mandibolari (Goldstein et al. 1984) e influenzare l'attività dei muscoli della masticazione (Forsberg et al. 1985 – Ormeno et al. 1997 – Santander et al. 1997). Un buon controllo della postura della testa favorisce una corretta deglutizione (Bazzotti 1998) e l'equilibrio della testa e della colonna cervicale è stato messo in relazione con la morfologia cranio-facciale e dentale. Relazioni significative sono state rilevate tra forme di algie cervicali e disfunzioni temporo-mandibolari (Zuniga et al. 1995 – Ciancaglini et al. 1999), con sovrapposizione di sintomi di derivazione stomatognatica e cervicale in molte forme di patologia cranio-mandibolare e cervicale (De Wijer et al. 1996). Il massimo serramento volontario (MVC) normalmente provoca la co-attivazione dei muscoli sternocleidomastoidei (Ehrlich et al. 1999). L'entità di questa attivazione dipende sia dalla posizione del corpo, sia dalla morfologia del tavolo occlusale e dalla disposizione dei contatti stessi (quantomeno in soggetti con disordini temporo-mandibolari). Alcuni autori hanno rilevato, in modo particolare, che contatti occlusali retrusivi aumentano i potenziali elettromiografici. In conclusione, i dati scientifici presi in esame evidenziano l'esistenza di una relazione funzionale tra gli apparati stomatognatico e cervicale. Modifiche strutturali e/o funzionali che interessino uno dei due distretti, possono avere ripercussioni immediate o tardive, reciproche. In ogni caso è bene ricordare che l'organismo umano è in grado di mettere in atto fini meccanismi di compenso e adattamento, perciò, a parità di stimolo, ogni soggetto mette in atto risposte individuali. Per questo motivo l'analisi clinica accurata è un momento diagnostico fondamentale, ma è molto utile parimenti poter indagare quali reali coinvolgimenti i sistemi cranio-mandibolare e cervicale possano reciprocamente presentare.

- *SMI = Indice di Simmetria di Masticazione:*

È un indice globale di coordinazione neuromuscolare. L'SMI è un indice unico, non differenziato per lato e il suo valore ideale è pari a 100%. Più ci allontaniamo dal valore ideale e maggiore è la scoordinazione masticatoria.

È idea comune ormai che una buona masticazione è un fattore importante per prevenire tutte una serie di patologie legate non solo alla cavità orale, ma anche a tutti i distretti collegati alla nutrizione. Lo scostamento dalla condizione ideale viene calcolato attraverso valutazioni statistiche e grafiche: per ogni paziente, i potenziali EMG prodotti nei primi 15 s di ogni masticazione unilaterale sono stati registrati e standardizzati come dettagliato prima. Dagli EMG registrati dei quattro muscoli durante ogni test di masticazione, viene valutata una frequenza masticatoria. Il software esegue un'analisi bivariata su l'azione differenziale simultanea SX-DX dei temporali e masseteri (grafico di Lissajous) (Ferrario ed altri. 2004). Un grafico di Lissajous (rappresentazione grafica delle battute durante la masticazione) è ottenuto ponendo sull'asse x l'azione differenziale sinistra-destra masseterina e sull'asse y l'azione differenziale simultanea sinistra-destra dei temporali. Per ogni paziente e per ogni test di masticazione, i dati sono distribuiti secondo una distribuzione normale, calcolando l'ellisse di confidenza al 95% di Hotelling e l'ellisse standard al 90%. L'ellisse di confidenza è una regione che copre il centro di una popolazione con una certa probabilità, mentre l'ellisse standard contiene una certa parte della popolazione. L'ellisse di confidenza è utilizzata per verificare la ripetibilità di un pattern di contrazione muscolare durante un'esecuzione di un movimento standardizzato. (e.g. azione masseteri e temporali durante masticazione unilaterale): ellissi piccole corrispondono ad elevata ripetibilità, ellissi più grandi a maggiore variabilità.

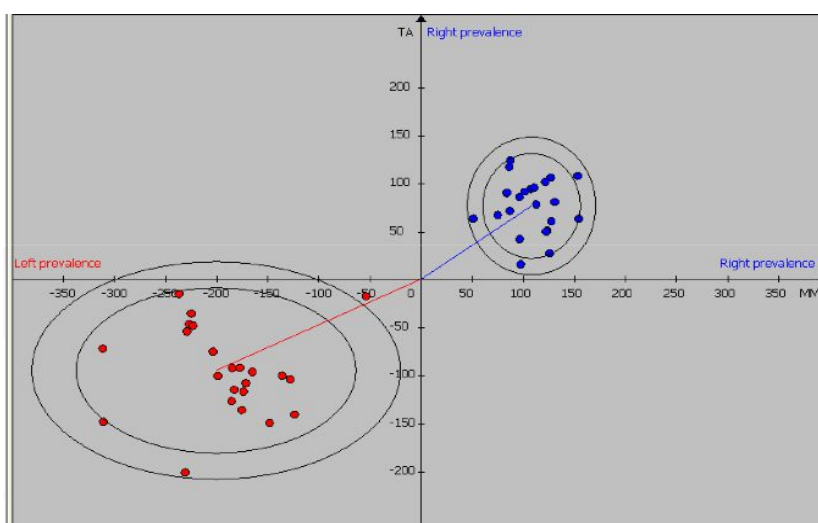


Figura 41: Esempio di distribuzione dei dati durante la masticazione unilaterale e relative figure di Lissajous

In soggetti con coordinazione neuromuscolare normale le due figure di Lissajous per la masticazione di destra e di sinistra dovrebbero produrre due ellissi che si trovano rispettivamente nel primo e nel terzo quadrante (Ferrario et al. 2004). Inoltre i centri delle ellissi dovrebbero avere eguale distanza dal centro del sistema di coordinate e la differenza di fase di 180°. Rispetto questi parametri viene calcolato l'indice SMI.

- ASIM = Indice di Asimmetria:

Valuta la distribuzione dei contatti occlusali sulle due arcate, destra e sinistra, e le attività svolte dai muscoli elevatori della mandibola (temporale e massetere) omolateralmente considerati, durante il serramento (clenching).

L'indice ASIM: 1) Identifica la disposizione dei contatti occlusali considerando le due emiarcate DX e SX, sul piano frontale. Le coppie dei muscoli prese in esame sono rappresentate dai muscoli temporale e massetere. 2) È compreso in un intervallo da -10% a +10% calcolato sul valore medio di massima contrazione, rapportato al valore zero (0). 3) Lo zero (0) indica la simmetrica distribuzione dei contatti su entrambe le arcate DX e SX. Il segno (-) indica la prevalenza dei contatti occlusali a SX e una maggiore attività dei muscoli temporale e massetere di SX. Il segno (+) indica la prevalenza dei contatti occlusali a DX e una maggiore attività dei muscoli temporale e massetere di DX. È inversamente proporzionale al braccio di leva del lato dominante (lavorante). Se l'indice ASIM è uguale o prossimo a zero, significa che i muscoli delle due emiarcate si attivano con la stessa intensità, la risultante delle forze muscolari ortogonali al piano articolare dell'osso temporale, valutata sul piano frontale, si localizza in posizione equidistante rispetto ai condili, sull'asse intercondilare.

- Indice di Qualità Generale:

Attraverso una valutazione di tutti questi parametri, il software restituisce un indice di qualità generale proprio del paziente e relativo a quella determinata acquisizione. L'indice è espresso attraverso una percentuale:

- ✓ 0% < IQG < 75% : condizione di malocclusione grave (semaforo rosso);
- ✓ 75% < IQG < 85%: condizione di malocclusione (semaforo giallo);
- ✓ 85% < IMG < 100%: condizione di normocclusione (semaforo verde);

Si sottolinei che nel caso un paziente mostrasse un indice superiore all'85%, il software segnale la presenza di una normocclusione. Ciò il paziente presenta tutti gli indici diagnostici nella norma. Molto spesso, data la natura adattativa e modulativa del sistema muscolo-scheletrico, il complesso biomeccanico dell'ATM, ma più in generale tutto il corpo, produce una serie di adattamenti che portano il paziente a trovare una situazione di equilibrio congeniale alle sue situazioni intraextra complesso. In altre parole, un paziente che mostra un indice IQG= 90%, potrebbe mostrare un POC TA fuori norma o uno SMI fuori norma.

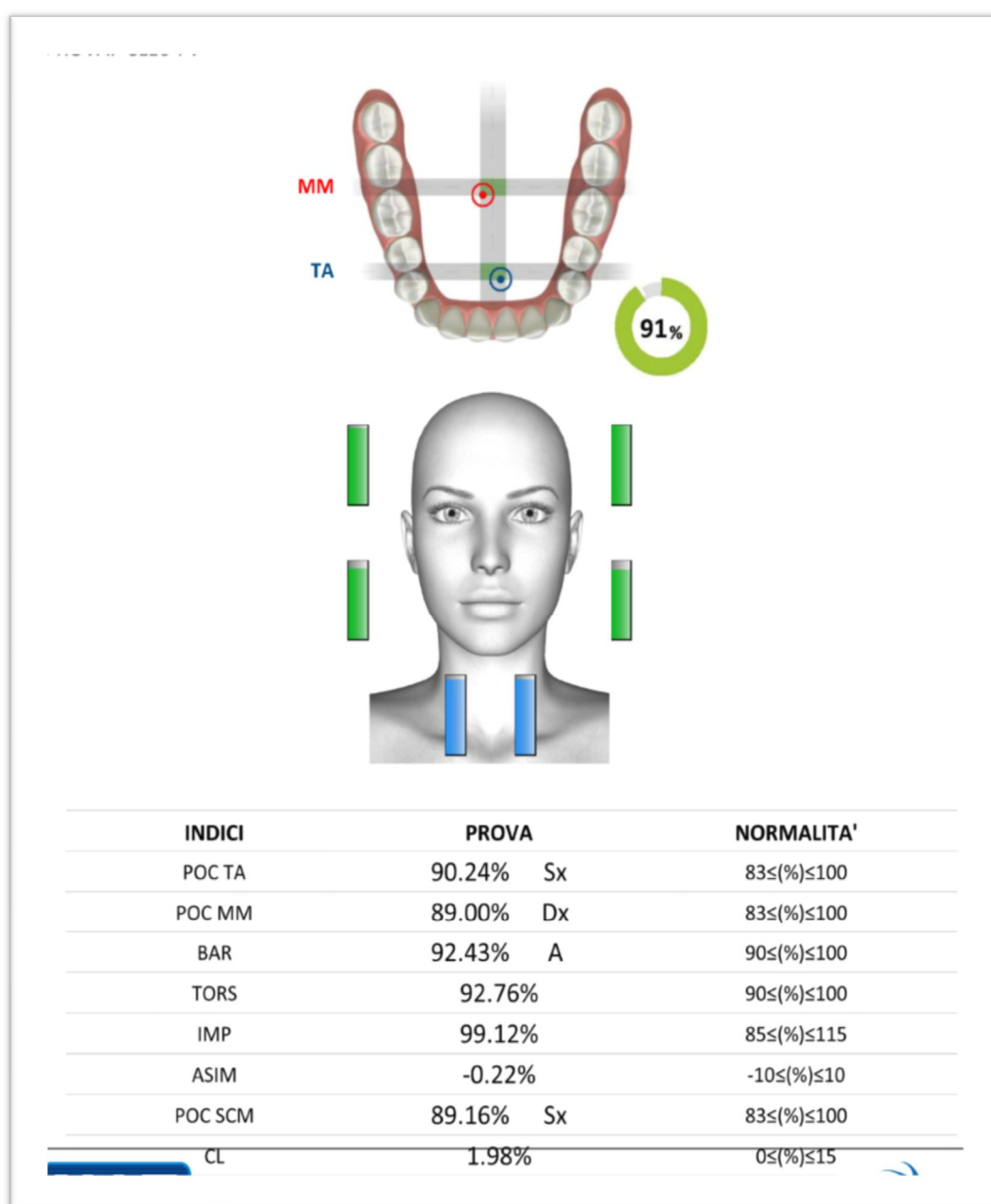
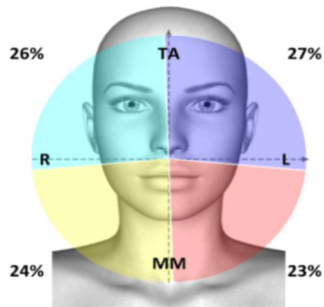


Figura 42: Esempio di Report Diagnostico TMJOINT, pag. 1

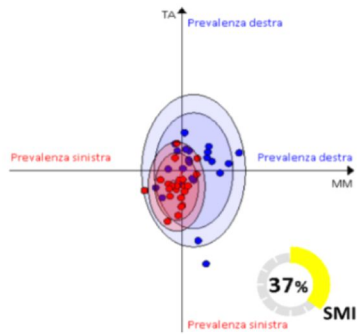
PROVA: CLE6-Pv



CONCLUSIONI

- Baricentro nella norma.
- Prevalenza temporali nella norma.
- Prevalenza masseteri nella norma.
- Prevalenza SCM nella norma.
- Asimmetria nella norma.
- Torsione nella norma.
- Lavoro muscolare prodotto nella norma.

ROVE: MASTRT-Pv - MASTLT-Pv



INDICI	PROVA DX	PROVA SX
FREQUENZA (bps)	1.47	1.54
MODMED (%)	3.95	6.07
TA IMPACT (%)	31.86	20.78
MM IMPACT(%)	23.12	11.05
ACROFASE (°)	-1.23	252.66

Figura 43: Esempio di Report Diagnostico TMJOINT, pag. 2 e pag. 3

2.3 GAIT ANALYSIS: STRUMENTAZIONE, PROTOCOLLI E INDICI FUNZIONALI

Come già evidenziato più volte in questo trattato, fisiologicamente, non dovrebbe esserci connessione tra occlusione dentale e postura: se però la dentatura è posizionata patologicamente questa connessione può aver luogo. La modalità per cui uno squilibrio occlusale anche di modesta entità possa avere ripercussioni sull'assetto corporeo è di tipo "non lineare". A differenza della matematica lineare, in cui vi è una diretta proporzione tra stimolo ed effetto, nella matematica non lineare, anche una piccola variazione può essere in grado di produrre effetti sensibili. Da un punto di vista lineare, quindi, squilibri occlusali non dovrebbero interessare grandi spostamenti di masse corporee, cosa invece possibile da un punto di vista non lineare, ed essendo la connessione tra occlusione e postura una relazione di tipo non lineare, non tutte le persone con problematiche occlusali presenteranno quadri posturali alterati.

Tutti gli squilibri posturali visti potranno a loro volta generare l'insorgenza di patologie ortopediche (scoliosi, lombalgie, cervicalgie, ecc.) che potranno essere definite secondarie ad un primario coinvolgimento patologico dell'apparato stomatognatico e sono solitamente raggruppate in tre categorie:

- Alterazioni sul piano sagittale
- Alterazioni sul piano frontale
- Alterazioni sul piano orizzontale

È necessario ricordare il ruolo cardine dell'osso ioide nell'equilibrio tra l'occlusione e la postura. L'osso ioide, attraverso le sue connessioni dirette con cranio, mandibola, sterno, e scapola ed indirette attraverso i muscoli che dalla scapola e dallo sterno si dirigono cranialmente verso le vertebre cervicali ed il cranio e dalla scapola si dirigono caudalmente verso le vertebre toraco-lombari ed il bacino, è in grado di influenzare e di essere influenzato da tutte le regioni corporee. I muscoli ioidei partecipano quindi alle strategie che il sistema mette in atto nel perseguimento dei propri obiettivi, sia in statica che in dinamica. Se i muscoli ioidei entrano in eccesso di tensione e successivo accorciamento, oltre a determinare disassamenti scheletrici locali e sistemici, potranno determinare disturbi della deglutizione della fonazione.

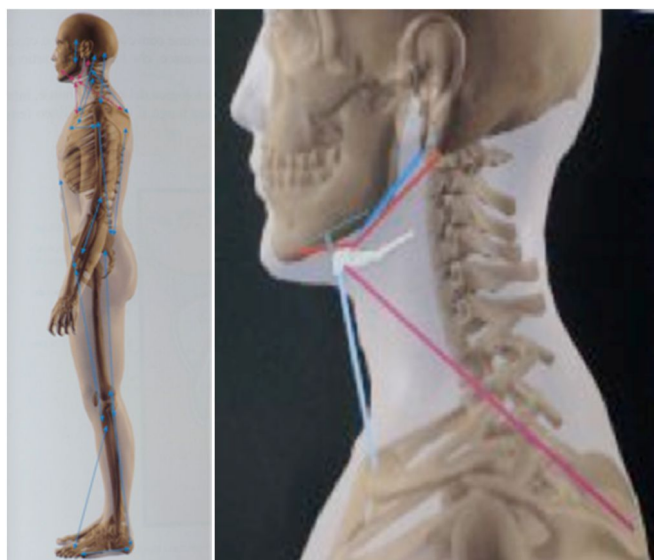


Figura 44: Connessioni dirette ed indirette dell'osso ioide (Mauro Lastrico, 2018)

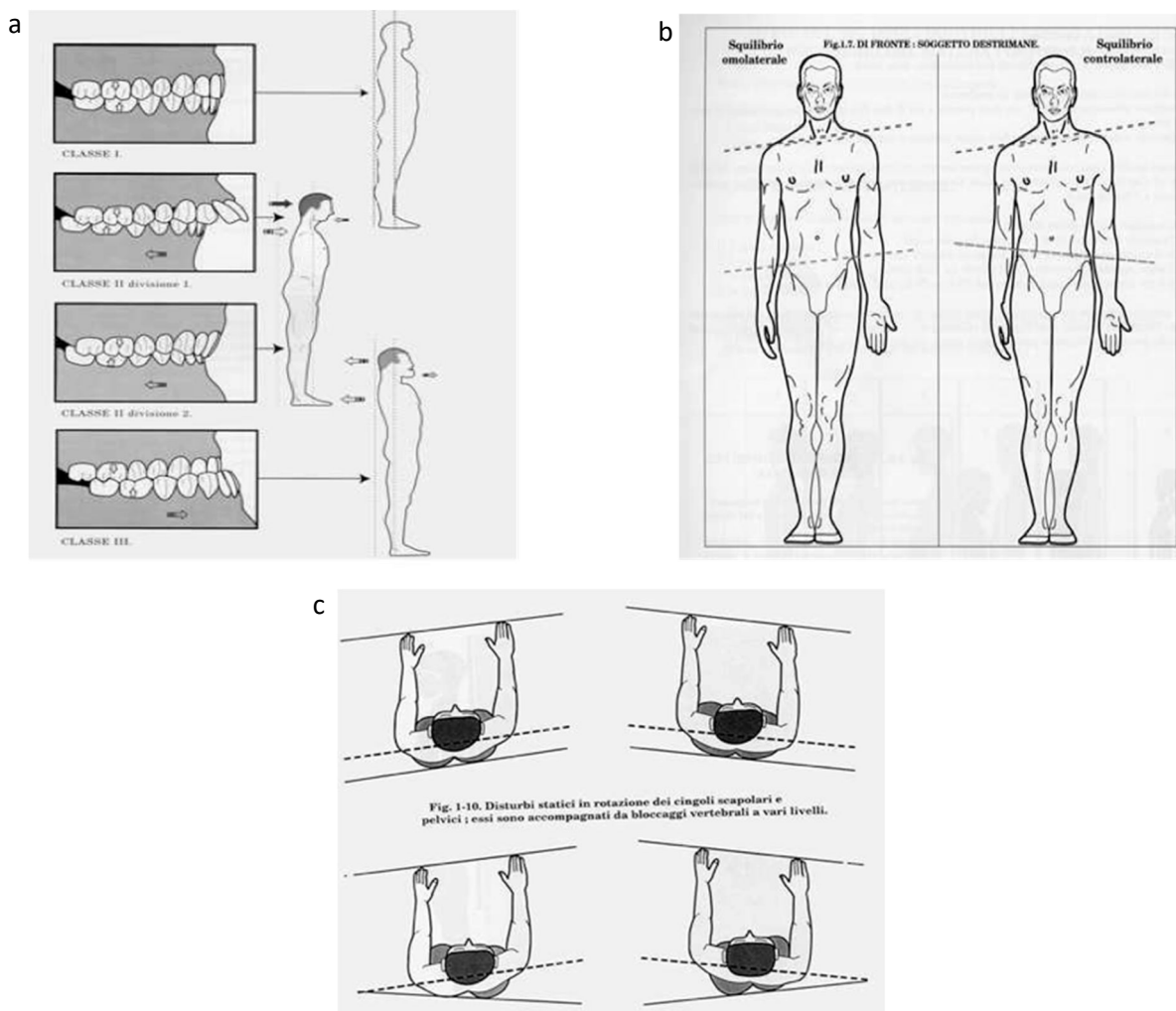


Figura 45: Alterazioni posturali a) piano sagittale, b) piano frontale, c) piano orizzontale a seguito di alterazioni occlusali (Mauro Lastrico, 2018)

Entriamo nel dettaglio e analizziamo come ad esempio un dislocamento laterale mandibolare ha ripercussioni sull'intera catena cinematica dorso-lombare fino ad interessare bacino e quindi apparato locomotore. In presenza di un dislocamento laterale della mandibola in chiusura, si ha uno stato di sofferenza a carico dei muscoli coinvolti con il dislocamento stesso (per esempio il temporale posteriore, lo pterigoideo esterno omolaterali e temporale anteriore, pterigoideo interno controlaterali). Le ripercussioni sulla muscolatura del collo possono interessare: a) il trapezio superiore omolaterale e sternocleidomastoideo controlaterale, così che la testa subirà una flessione dal lato della deviazione avvicinandosi alla spalla, che risulterà più alta della controlaterale; b) l'elevatore della scapola e gli scaleni omolaterali determinano la convessità vertebrale omolaterali da C1 a C7 e ruotano i corpi vertebrali omolateralmente. In queste condizioni la colonna vertebrale risulterà deviata sul tratto cervicale e inevitabilmente si formeranno altre curve compensatorie a livello toracico e lombare. Il coinvolgimento del rachide provocherà per via riflessa altri squilibri muscolari come per il gran dorsale; c) il gran dorsale: l'accorciamento di questo muscolo, avendo molti punti di inserzione, produce vari effetti scheletrici. Schematicamente si possono distinguere due grandi quadri "A" e "B" che non sempre si presentano puri ma spesso si osservano quadri misti.

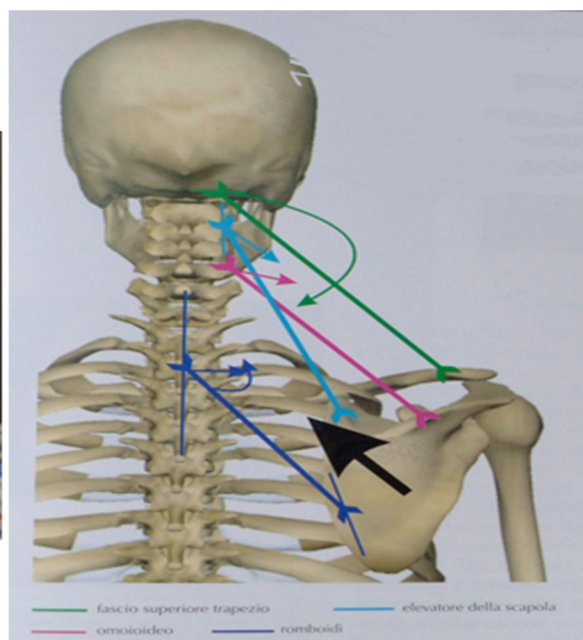
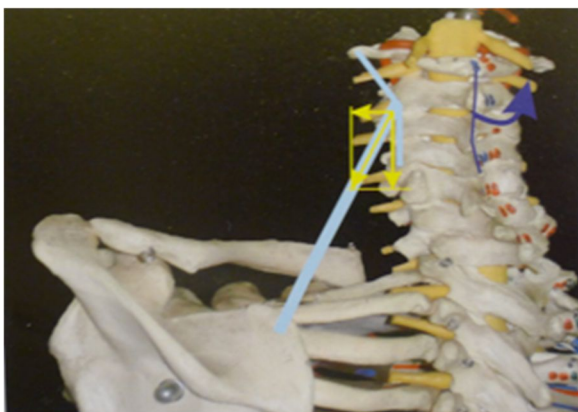


Figura 46: Ripercussioni sulla muscolatura del collo (Mauro Lastrico, 2018)

Quadro “A”

In questo quadro sono interessati prevalentemente i fasci del gran dorsale da cresta iliaca ad omero che, avvicinando l'emibacino e la spalla determinano direttamente l'abbassamento della spalla e l'elevazione dell'emibacino e, per risultante meccanica, la concavità laterale omolaterale. Tali fasci, per risultante meccanica, sono responsabili anche della convessità laterale toracico controlaterale e della spalla alta controlaterale. Se prevalgono le risultanti meccaniche, l'andamento della colonna vertebrale mostrerà una scoliosi ad ampio raggio a convessità controlaterale, convessità che è in realtà conseguenza della concavità omolaterale causata dall'avvicinamento di spalla ed emibacino. Il gran dorsale ha inserzione sui processi spinosi da D12 a D7 e, attraverso la fascia toraco-lombare, sui processi costiformi delle vertebre lombari. Il quadrato dei lombi, oltre alla dodicesima costa, ha inserzione sui processi costiformi delle prime tre vertebre lombari. La loro linea di forza, quindi, non solo è in grado di elevare l'emibacino, ma anche di trazione le vertebre da L5 a D7. Gran dorsale e quadrato dei lombi sono cioè in grado di opporsi alla risultante meccanica indotta dall'elevazione dell'emibacino mantenendo la colonna vertebrale o arrivando persino a creare una convessità omolaterale. In questo caso si determina una doppia curva in cui il gran dorsale ed il quadrato dei lombi saranno direttamente responsabili della convessità vertebrale lombare e toracica inferiore per trazione diretta sulle vertebre, e della concavità vertebrale toracica superiore come risultante dell'avvicinamento di spalla ed emibacino.

Quadro “B”

Questo quadro è caratterizzato dall'azione associata tra i fasci superiori del gran dorsale ed i muscoli dominanti nell'elevazione del moncone della spalla. Nel loro insieme questi muscoli hanno una risultante complessiva che determina l'elevazione in adduzione della scapola e l'elevazione della clavicola. Se interessato anche l'omoioideo, l'osso ioide sarà deviato lateralmente. I fasci toraco-omerale del gran dorsale determinano una convessità laterale toracica nel quadrante inferiore mentre i fasci inferiori elevano l'emibacino e lo ruotano posteriormente.

La convessità laterale toracica è inoltre conseguenza meccanica dell'elevazione del moncone della spalla, direttamente determinata da romboidi e fasci medi del trapezio che, elevando ed adducendo la scapola, possono produrre una convessità omolaterale delle vertebre toraciche. La convessità vertebrale si ripercuoterà sul quadrante supero-laterale del torace e, concorrerà anche il dentato anteriore che innalzerà la sua tensione nel tentativo di impedire l'adduzione e la risalita della scapola. Essendo però sottodominante, la scapola diverrà punto fisso e la sua trazione si manifesterà sulle coste (punto mobile) che si sposteranno lateralmente, dove si può manifestare un'elevazione dell'emibacino ed una postero-rotazione dello stesso.

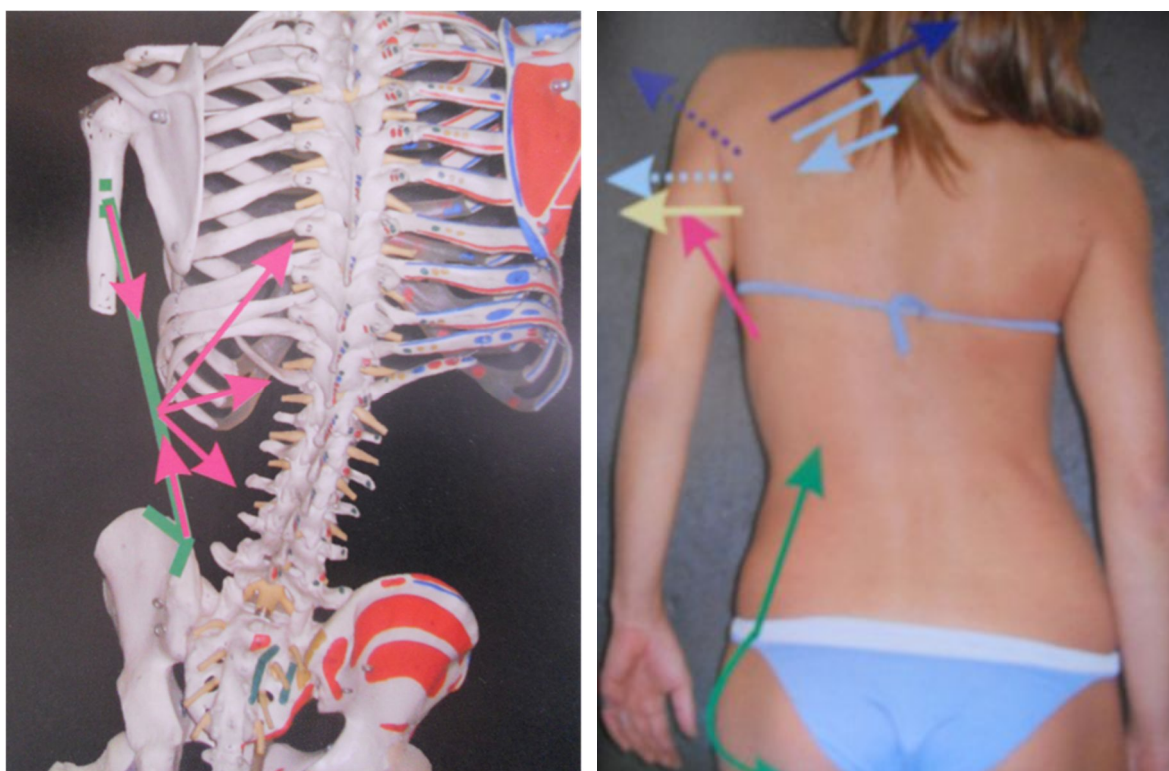


Figura 47: Configurazione mista Quadro "A" - Quadro "B" (Mauro Lastrico, 2018)"

A seguito delle precedenti considerazioni, per avere un quadro migliore della relazione tra apparato stomatognatico e apparato locomotore, si è effettuato un'analisi del passo su tutti i pazienti, al fine di estrapolare i parametri spazio-temporali e cinematici, gli indici di simmetria e propulsione ed i dati relativi alla cinematica del bacino.

2.3.1 STRUMENTAZIONE E PROTOCOLLI (G-WALK)

Nel presente studio, i dati funzionali relativi alla cinematica del passo sono stati ottenuti tramite lo strumento G-WALK (BTS Bioengineering Italia)



Figura 48: BTS G-SENSOR

Sistema indossabile per la valutazione funzionale del cammino e del movimento.

G-WALK introduce un nuovo approccio all'analisi del movimento: uno speciale sensore wireless applicato al paziente consente di valutare la performance di cammino, corsa e salto e di eseguire, in maniera strumentale, test clinici come il Timed Up and Go e il 6 Minutes Walking Test. Queste valutazioni, essenziali in ambito riabilitativo, aiutano medici e specialisti a valutare lo stato del paziente e a quantificare l'efficacia di terapie o programmi di riabilitazione.

Con G-WALK si ottengono in pochi istanti informazioni fondamentali per l'analisi clinica del paziente. I sei test inclusi sono estremamente semplici da eseguire e i risultati sono immediatamente confrontabili con i range di normalità. I protocolli integrati offrono la possibilità di condurre analisi complete e approfondite.

Lo strumento si compone in pochi cm³, formato da 4 piattaforme inerziali e un GPS. Questa architettura aumenta l'accuratezza di acquisizione azzerando la tolleranza d'errore. Al suo interno è presente sensore Accelerometrico triassiale 16 bit/asse con multi-sensibilità settabili (± 2 , ± 4 , ± 8 , ± 16 g), un sensore Giroscopio triassiale 16 bit/asse con multi-sensibilità settabili (± 250 , ± 500 , ± 1000 , ± 2000 °/s), un sensore Magnetico triassiale 13 bit (± 1200 uT).

Potremmo definire il G-WALK come un laboratorio di analisi indossabile.

G-WALK viene indossato dal paziente grazie a un'apposita cintura in modo tale che il paziente è libero di camminare, correre e saltare senza alcun impedimento.

Il sensore trasmette i dati via Bluetooth al computer collegato nel quale viene installato il software G-STUDIO; al termine dell'analisi viene visualizzato un report automatico con i parametri calcolati durante la prova. Tutti i parametri sono frutto di 5 anni di ricerca e sono stati validati nei più importanti centri clinici all'avanguardia mondiale.

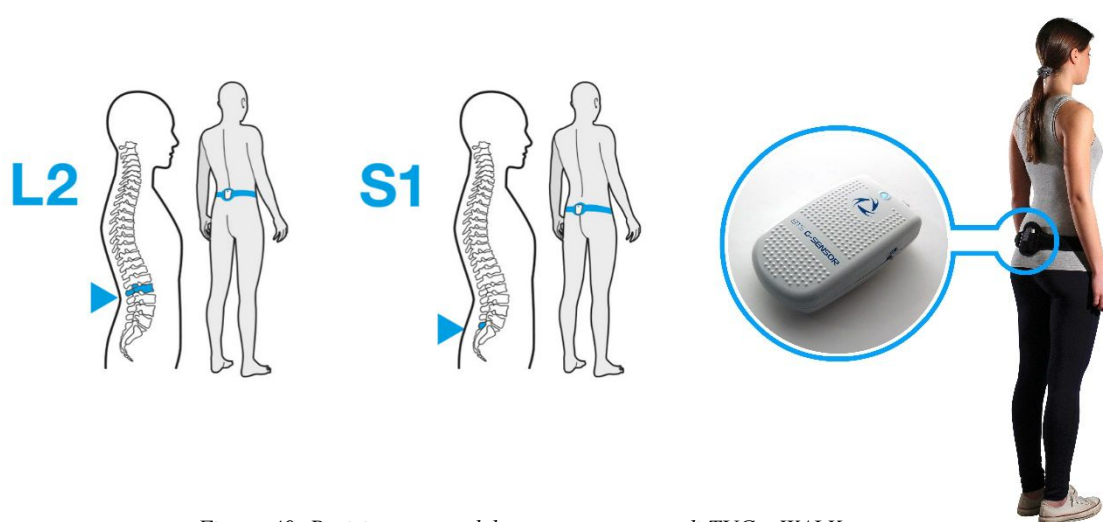


Figura 49: Posizionamento del sensore per prova di TUG e WALK+

Rispetto al protocollo utilizzato, la posizione del sensore varia: nella prova di WALK, il sensore deve essere posizionato sulla prima vertebra sacrale S1, mentre nella prova di TUG, visto la necessità del paziente di sedersi/alzarsi, al fine di evitare e/o ridurre al minimo artefatti da movimento durante la prova, questo viene posto in corrispondenza della seconda vertebra lombare L2.

Il posizionamento del sensore non è casuale: non solo è una posizione congeniale all'esecuzione di task motorie riducendo il movimento del sensore durante l'esecuzione delle stesse, ma è posto in corrispondenza del centro di massa del corpo. Dunque, i movimenti registrati dal sensore in termini di spazio, tempo, velocità, accelerazioni, possono essere ricondotti ai corrispettivi parametri del centro di massa del soggetto.

All'avvio del software, viene richiesto all'operatore di inserire le misure antropometriche del paziente, in particolare: *Altezza, Età, Peso, Numero di Scarpe, Distanza tra Grande Trocantere e Calcagno* (sia Dx che Sx).

In seguito, è stato chiesto al paziente se avesse subito interventi di natura biomeccanica negli ultimi 12-24 mesi. Questa informazione è utile per capire se il tipo di adattamento posturale potesse essere causato da un evento esterno o interno.

Terminata la fase preliminare, si posiziona il sensore sul paziente e si chiede allo stesso di eseguire una determinata task motoria. Nel seguente studio, ad ogni paziente è stato chiesto di eseguire la task di WALK+: consiste in una camminata libera, lungo un percorso di almeno 7m, chiedendo al paziente di deambulare con la sua velocità usuale, mantenendo una traiettoria rettilinea.

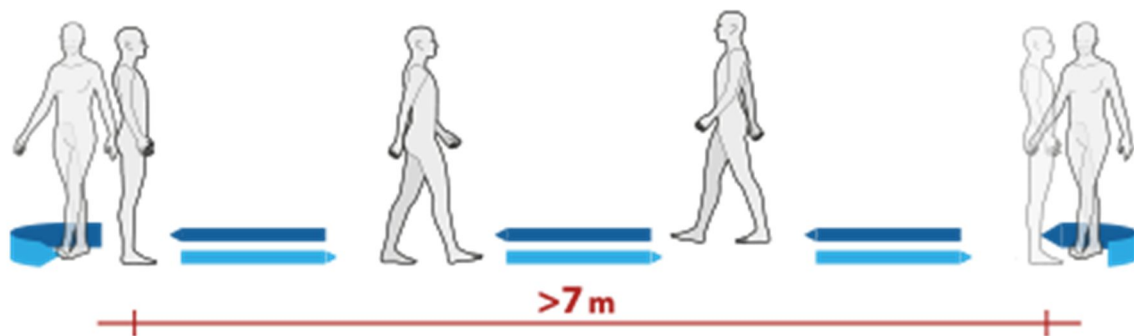


Figura 50: Schematizzazione del protocollo WALK+

Il mantenimento della postura (eretta o in preparazione ad un movimento volontario) e la locomozione hanno sedi di integrazione cerebellari e cerebrali (visive, vestibolari etc...) e componenti spinali (riflessi spinali, ritmicità, etc...). La presenza di recettori (in ogni distretto del corpo) permettere il prelievo e l'invio dei dati al SNC.

I 3 sistemi coinvolti nel portare informazioni esterne (esterocettori) ed interne (propriocettori) sono:

- SISTEMA SOMATOSENSORIALE
- SISTEMA VESTIBOLARE
- SISTEMA VISIVO

Per cercare di capire qual è il contributo che ciascun sistema dà alla locomozione ed al mantenimento della postura, il protocollo stabilito è stato il seguente, supponendo ad esempio che il paziente portasse gli occhiali ed utilizzasse un bite:

- 4 prove WALK+ con scarpe, con occhiali, con bite;
- 4 prove WALK+ con scarpe, con occhiali, senza bite;
- 4 prove WALK+ con scarpe, senza occhiali, senza bite;
- 4 prove WALK+ senza scarpe, senza occhiali, senza bite;
- 4 prove WALK+ senza scarpe, senza occhiali, con bite;

Nell'eventualità in cui il paziente non facesse uso di bite, per riprodurre una diversa condizione oclusale, sono stati utilizzati rulli di cotone oppure un tester (tester BRUX)



Figura 51: Tester BRUX

La necessità di eseguire più registrazioni per una stessa task motoria nelle stesse condizioni di lavoro, è stata quella di eliminare o quanto meno attenuare quanto più possibile la variabilità biologica e la variabilità osservazionale. La prima è insita nel sistema che sto analizzando mentre la seconda appartiene al sistema di misura. Nel dettaglio, la variabilità osservazionale è causata sia dallo strumento di misura che dall'osservatore. Ed è proprio su questo aspetto che si inserisce la necessità di molteplici prove. In questo modo, mediando i valori su tutte e quattro le prove, si ottiene un risultato quantomeno “non dipendente” dall'osservatore e dal soggetto.

Ricordiamo come lo scopo ultimo di questo elaborato di tesi è quello di dimostrare la correlazione esistente tra apparato stomatognatico e apparato locomotore/posturale. Ecco spiegata la necessità di eseguire una prova di WALK+ anche in presenza di bite. L'idea è quella di analizzare i parametri del ciclo del passo e la loro variabilità immediata a seguito di una variazione della condizione oclusale del paziente.

Inoltre, per avere uniformità di condizioni di lavoro, sono state prese in considerazione nelle analisi dei dati solo le prove senza scarpe. Da qui in avanti dunque si farà riferimento sempre a questa condizione di lavoro ogni qual volta si parla di analisi del passo/cammino.

2.3.2 INDICI FUNZIONALI

Come già descritto in precedenza, il ciclo del passo può essere caratterizzato da tutta una serie di grandezze (cinematiche, dinamiche, energetiche etc...) che danno una visione globale del rendimento meccanico del paziente durante la deambulazione.

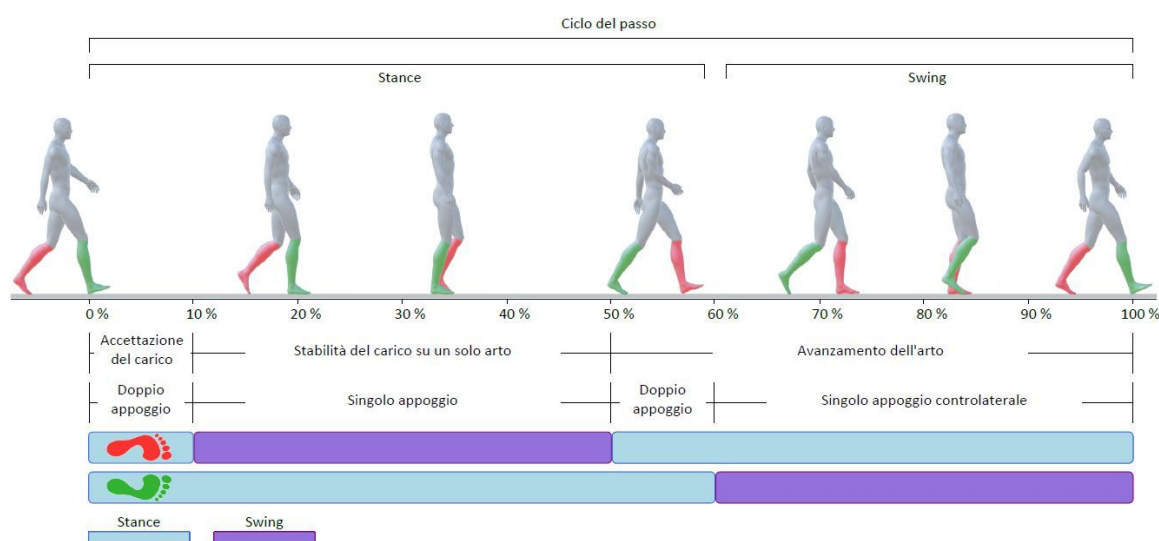


Figura 52: Ciclo del Passo, con riferimento alle Fasi del Passo (Redazione Tecnobody, 2018)

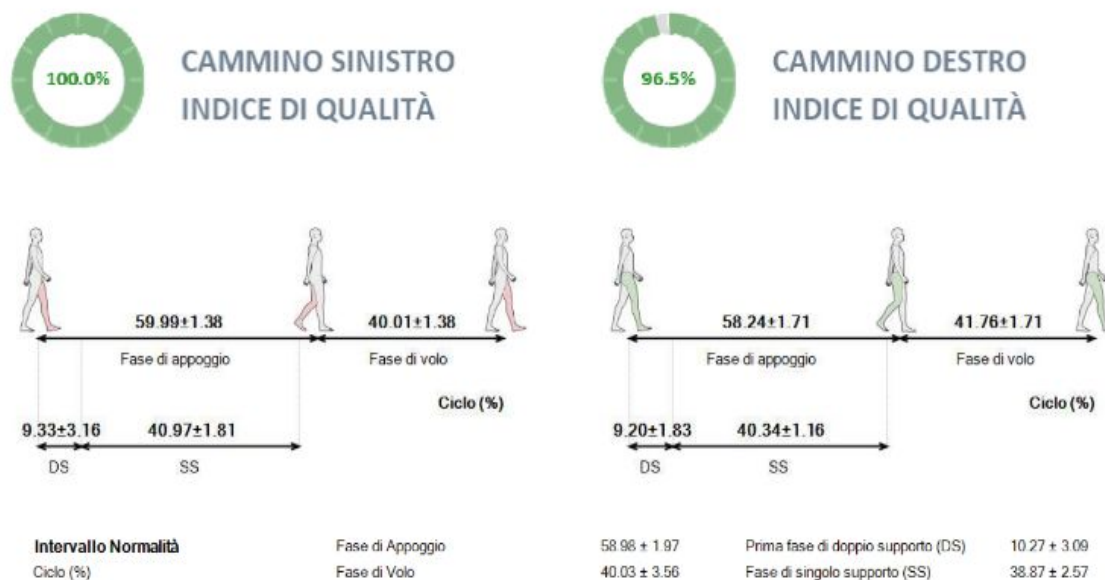
Di seguito verrà esposta una tabella nella quale saranno inseriti tutti i parametri di interesse a questo studio. A questi, verrà affiancato il valore medio fisiologico \pm la deviazione standard. Il fatto che il sensore, sia un sensore inerziale, permette la valutazione anche della dinamica del bacino, con l'identificazione di angoli di tilt, obliquità e rotazione.

PARAMETRO (unità di misura)	MEDIA ± D.S.
PARAMENTRI SPAZIO-TEMPORALI	
<i>CADENZA (passi/min)</i>	124.80 ± 11.70
<i>VELOCITA' (m/s)</i>	1.34 ± 0.17
<i>DURATA DEL CICLO (s)</i>	1.12 ± 0.15
<i>LUNGHEZZA DEL CICLO (m)</i>	1.28 ± 0.09
<i>%LUNGH DEL CICLO (% altezza)</i>	84.70 ± 6.10
<i>LUNGH DEL PASSO (%lungh del ciclo)</i>	50.00 ± 0.70
INDICI GENERALI	
<i>INDICE DI QUALITÀ SX (%)</i>	>90%
<i>INDICE DI QUALITÀ DX (%)</i>	>90%
<i>INDICE DI SIMMETRIA GENERALE (%)</i>	>90%
INDICI DI SPINTA	
<i>PROPULSIONE SX</i>	6.5 ± 1
<i>PROPULSIONE DX</i>	6.5 ± 1
ANGOLI DEL BACINO	
<i>INDICE DI SIMMETRIA TILT (%)</i>	Variabilità elevata
<i>INDICE DI SIMMETRIA OBLIQUITÀ (%)</i>	90<%<100
<i>INDICE DI SIMMETRIA ROTAZIONE (%)</i>	90<%<100

Figura 53: Paramenti e rispettivi valori fisiologici estraibili dal G-WALK

Il software restituisce all'utente un report contenente tutti questi parametri (in rosso sono evidenziati i parametri fuori norma fisiologica).

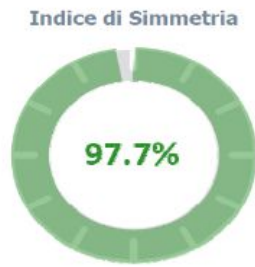
Report di Analisi del Cammino



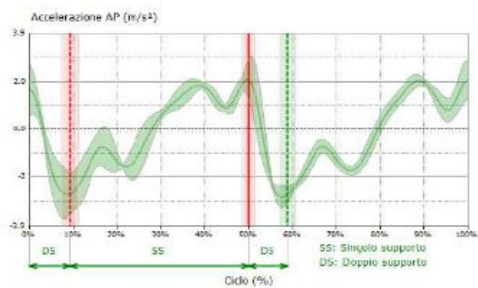
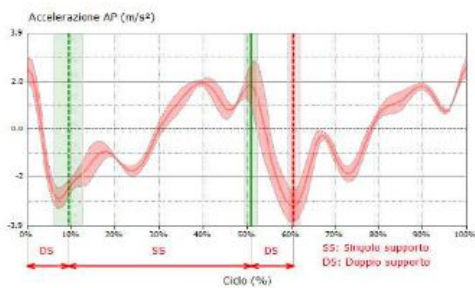
Parametri Spazio-Temporali	Valore (Media ± Dev St)	Valore Normalità (Media ± Dev St)
Durata della prova (s)	13.7	
Cadenza (passi/min)	112.71 ± 3.38	124.80 ± 11.70
Velocità (m/s)	1.28 ± 0.01	1.34 ± 0.17

Parametri Spazio-Temporali	Valore SX (Media ± Dev St)	Valore DX (Media ± Dev St)	Valore Normalità (Media ± Dev St)
Durata del ciclo (s)	1.07 ± 0.02	1.06 ± 0.01	1.12 ± 0.15
Lunghezza del ciclo (m)	1.36 ± 0.03	1.35 ± 0.01	1.28 ± 0.09
%Lunghezza del ciclo (% altezza)	76.11 ± 1.59	75.51 ± 0.68	84.70 ± 6.10
Lunghezza del passo (% lungh ciclo)	49.81 ± 0.79	50.19 ± 1.60	50.00 ± 0.70
Passi considerati	4	4	

Figura 54: Esempio di report G-WALK, pag. 1



Ciclo del Cammino



Angoli del Bacino

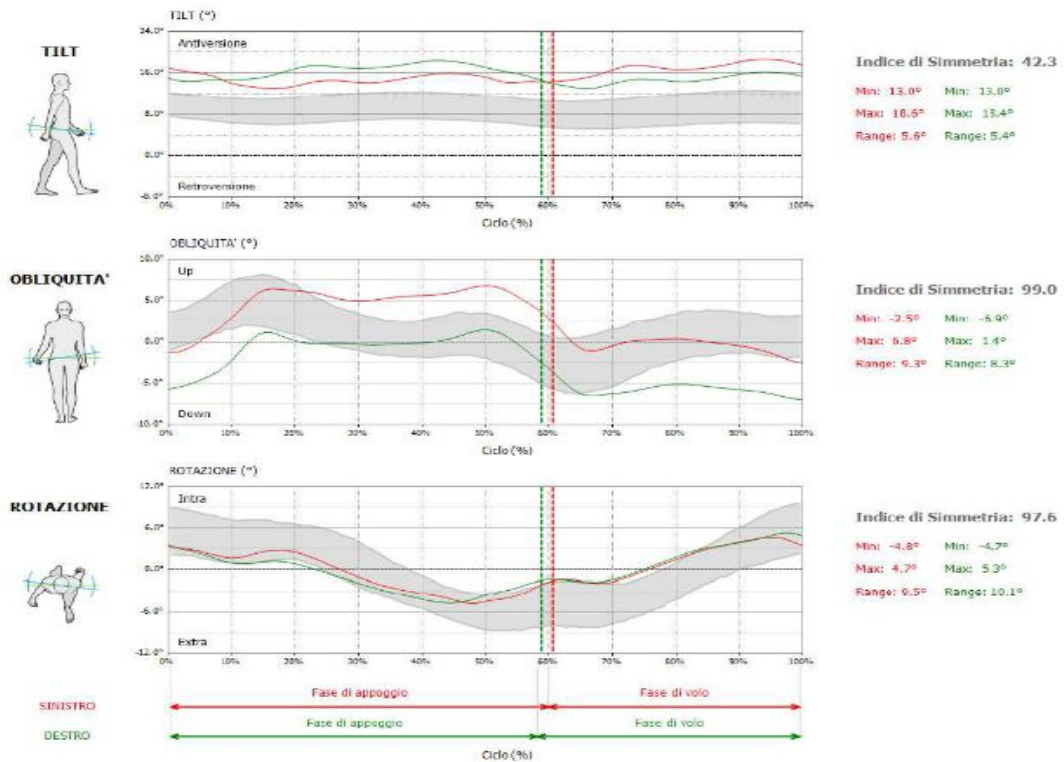


Figura 55: Esempio di report G-WALK, pag.2 e pag.3

Nella sezione avanzate dei report sono presenti rappresentazioni 3D dei movimenti del bacino durante la registrazione. Questo aiuta l'osservatore a capire quali sono i range articolari durante il movimento del bacino, le sue accelerazioni ed oscillazioni.

2.4 DATA ANALYSIS

In questo paragrafo verrà analizzata Step-by-Step l'analisi dei dati ottenuti tramite i materiali ed i metodi descritti precedentemente.

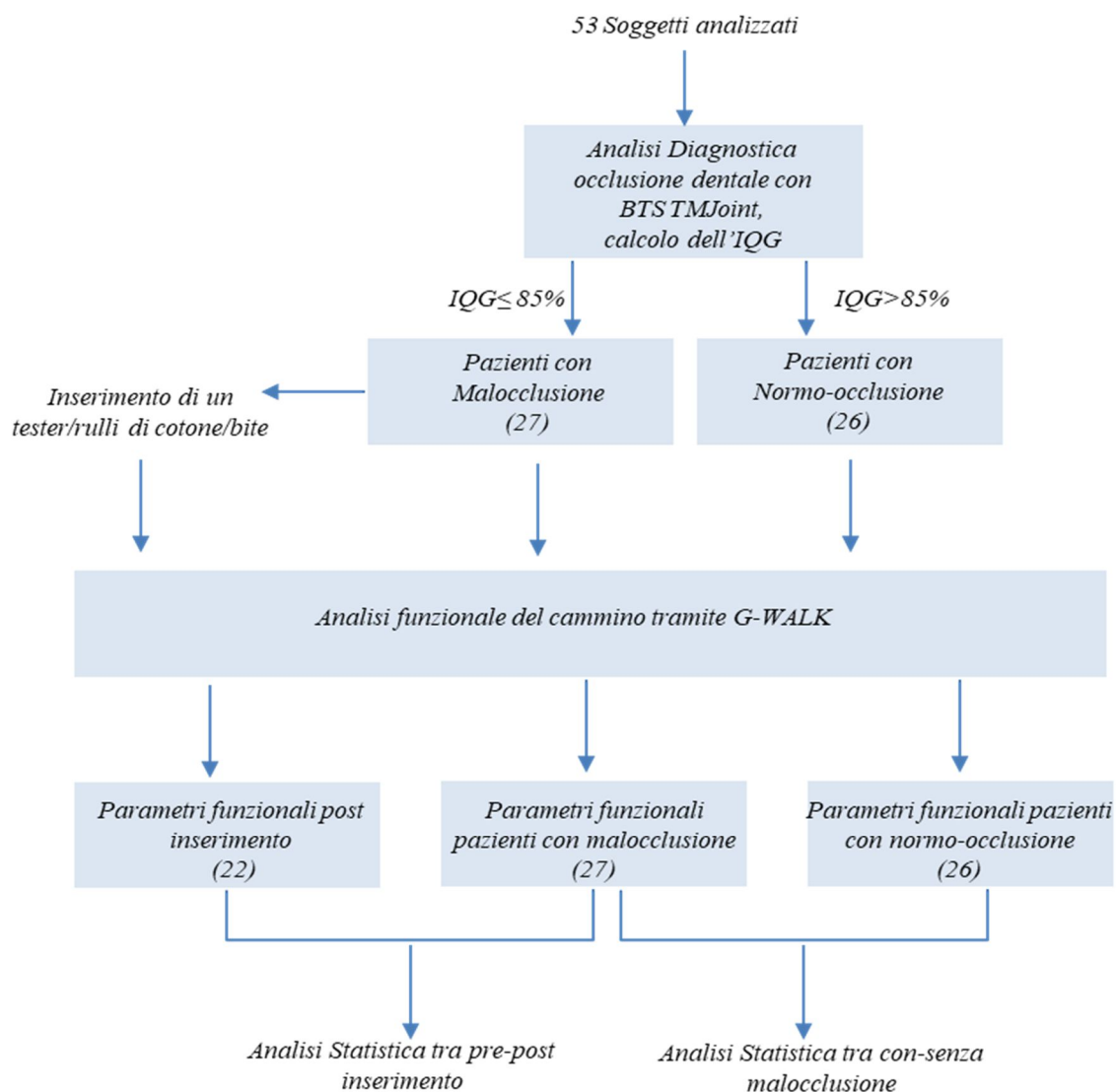


Figura 56: Schema a blocchi gerarchico dell'analisi dei dati raccolti

La popolazione analizzata è composta da 53 soggetti (tutti hanno dato il consenso alla partecipazione allo studio di ricerca), ad ognuno dei quali è stato eseguito l'esame diagnostico con BTS TMJoint. Tutti i dati ottenuti sono stati riportati su un foglio di calcolo Excel. È stata dunque eseguita un riordino dei dati secondo l'IQG: $IQG \leq 85\%$ (semaforo giallo o rosso), sono stati classificati come pazienti che presentavano una malocclusione, $IQG > 85\%$ (semaforo verde) sono stati classificati, invece, come pazienti normocclusi.

DATA DI NASCITA	SESSO	INDICE DI QUALITA' GENERALE 85<(%<100
25/02/1993	F	88
05/05/1995	F	88
15/09/1993	M	83
23/04/1969	F	81
25/10/1990	F	82
28/04/1980	F	81
01/03/1995	M	84
10/12/1969	F	88
02/03/1962	M	85
01/05/1943	F	86
15/03/1963	F	91
02/08/1970	F	87
25/12/1983	F	89
24/07/1989	M	82
22/01/2001	M	90
19/04/1994	F	89
10/06/1953	F	88
02/06/1967	F	84
29/08/1991	F	91
26/09/2001	M	90
18/04/1963	F	82
16/08/1957	M	77
24/0/1972	M	74
06/09/1971	F	89
08/03/1997	F	88
11/10/1983	F	88
05/08/1973	M	82
18/01/1965	F	90
07/06/1996	F	90
12/03/1975	M	89
11/03/1996	F	87
11/07/2000	F	90
16/03/1991	M	75
14/10/1999	F	85
22/03/1983	F	85
07/10/1994	F	90
02/08/1987	F	91
18/07/1994	F	85
02/07/2001	M	88
29/06/1966	F	84
12/10/1963	F	84
18/11/1971	M	85
03/05/1986	F	90
01/05/1968	F	85
11/08/1997	F	89
09/06/1969	M	69
16/07/1992	F	81
18/06/2001	F	84
19/01/1990	M	74
14/04/1978	F	88
04/02/1970	F	80
08/10/2000	F	85
30/05/1959	F	85

Figura 57: Foglio Excel con dati prelevati dai reports del TMJoint

G	H	I
DATA DI NASCITA	SESSO	INDICE DI QUALITA' GENERALE 85<(%)<100
09/06/1969	M	69
24/0/1972	M	74
19/01/1990	M	74
16/03/1991	M	75
16/08/1957	M	77
04/02/1970	F	80
23/04/1969	F	81
28/04/1980	F	81
16/07/1992	F	81
25/10/1990	F	82
24/07/1989	M	82
18/04/1963	F	82
05/08/1973	M	82
15/09/1993	M	83
01/03/1995	M	84
02/06/1967	F	84
29/06/1966	F	84
12/10/1963	F	84
18/06/2001	F	84
02/03/1962	M	85
14/10/1999	F	85
22/03/1983	F	85
18/07/1994	F	85
18/11/1971	M	85
01/05/1968	F	85
08/10/2000	F	85
30/05/1959	F	85
01/05/1943	F	86
02/08/1970	F	87
11/03/1996	F	87
25/02/1993	F	88
05/05/1995	F	88
10/12/1969	F	88
10/06/1953	F	88
08/03/1997	F	88
11/10/1983	F	88
02/07/2001	M	88
14/04/1978	F	88
25/12/1983	F	89
19/04/1994	F	89
06/09/1971	F	89
12/03/1975	M	89
11/08/1997	F	89
22/01/2001	M	90
26/09/2001	M	90
18/01/1965	F	90
07/06/1996	F	90
11/07/2000	F	90
07/10/1994	F	90
03/05/1986	F	90
15/03/1963	F	91
29/08/1991	F	91
02/08/1987	F	91

Figura 58: Dati reports TMJoint organizzati rispetto l'indice IQG

I pazienti sono stati quindi classificati: 27 con normocclusione e 26 con malocclusione.

In maniera del tutto analoga, dunque sempre su un foglio Excel, si sono riportati i valori dei parametri funzionali ottenuti con lo strumento G-WALK. Si sottolinea che delle 4 prove sperimentali eseguite per ogni tipologia di prova, è stata eseguita una media degli indici. Ad esempio, delle 4 prove di Walk+ senza scarpe, senza occhiali e senza bite, ogni parametro è stato considerato come la media dello stesso sulle 4 prove effettuate, al fine di ottenere una riproducibilità del dato quanto più elevata possibile.

I pazienti sono stati poi suddivisi, prendendo come indice di riferimento e, quindi, come classificazione di riferimento quella eseguita in precedenza rispetto all'IQG, in due gruppi: "Con Malocclusione" e "Senza Malocclusione".

Di ogni indice è stato eseguito un test di normalità per capire se la distribuzione di dati relativa a quell'indice fosse normale o non normale. È stato utilizzato il software per analisi statistiche R. Di seguito viene riportato lo script (e.g. analisi di normalità per l'indice di qualità sinistro per pazienti con malocclusione)

#Indice di qualità sinistro pazienti con malocclusione

```
Ind_sx_NORM_ConM <- c(98.8, 95.5, 96.8, 96.6, 93.5, 88, 98.4, 92.6, 98.9, 92.7, 94.7, 94.9, 94, 94.8, 90.9, 97.2, 95.8, 95.7, 99.5, 99.5, 98.4, 97.7, 100, 98.6, 99.1, 96.1, 95.6)
```

```
shapiro.test(Ind_sx_NORM_ConM)
```

```
qqnorm(Ind_sx_NORM_ConM, pch = 1, frame = FALSE)
```

```
qqline(Ind_sx_NORM_ConM, col = "steelblue", lwd = 2)
```

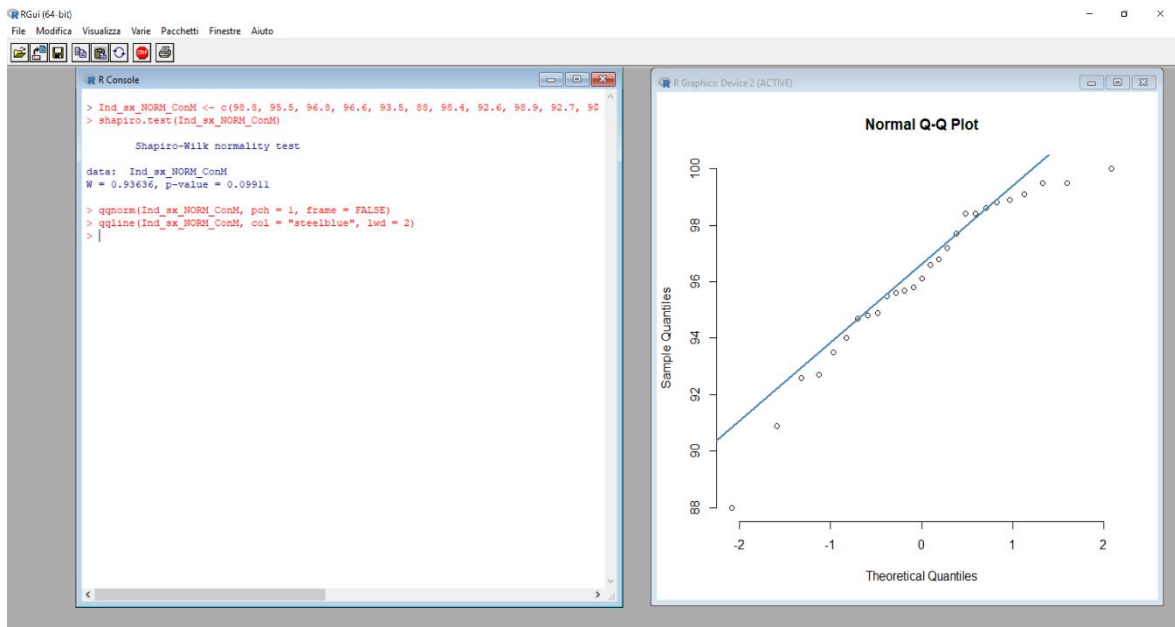


Figura 59: Esempio di test di normalità. Nel caso in esempio, il $p=0.09911$, dunque è maggiore di 0.05. Ciò significa che la distribuzione di dati relativa all'indice di qualità del cammino di sinistra è una distribuzione normale. Infatti i dati sono ben distribuiti lungo la retta che li best fitta.

shapiro.test permette di verificare la normalità della distribuzione dei dati (Shapiro-Wilk test). Restituisce un indice p (*p value*): se $p < 0.05$ allora la distribuzione di dati non è normale, se $p > 0.05$ allora la distribuzione di dati è normale, cioè i dati si distribuiscono lungo una gaussiana.

Questa verifica è stata effettuata per ogni distribuzione di dati, di ogni indice in ogni condizione (malocclusione, normocclusione, post inserimento tester/rulli di cotone/bite).

Qualora due distribuzioni di dati, relative allo stesso indice, in condizioni di lavoro differenti, hanno mostrato un $p > 0.05$, allora il confronto statistico è stato eseguito tramite un *t.test*, test parametrico.

Qualora, invece, le distribuzioni di dati, relative allo stesso indice, in condizioni di lavoro differenti, hanno mostrato un $p < 0.05$, allora il confronto statistico tra varie popolazioni di dati viene eseguito con *wilcox.test* (Wilcoxon-Mann-Whitney test), test non parametrico.

Nel caso di test parametrico, per distribuzioni normali, sono state confrontate le medie; nel caso opposto sono state confrontate le mediane.

Indipendentemente dall'utilizzo di un *t.test* o di un *wilcox.test*, entrambi i test restituiscono un valore, *p value*: se $p > 0.05$, allora non ho una differenza statistica significativa; se $p < 0.05$, ho una differenza statistica significativa; qualora $p < 0.01$, ho una differenza statistica significativa importante.

Sono stati quindi dapprima confrontati i parametri dei pazienti con malocclusione con i pazienti senza malocclusione. In seguito, l'analisi è stata fatta anche tra i pazienti con malocclusione prima dell'inserimento di un tester/rulli di cotone/bite e post inserimento.

Grafici delle medie (o mediane) dei parametri che hanno mostrato una differenza statistica significativa sono stati plottati e le conclusioni finali sono state estrapolate.

3. RISULTATI E DISCUSSIONI

A conclusione di questo lavoro di tesi, in questo capitolo, verranno mostrati i risultati ottenuti dall'analisi dei dati raccolti nelle modalità espresse nei capitoli precedenti.

Si mostrerà prima come i test statistici nel confronto tra pazienti malocclusi e pazienti normocclusi non hanno prodotto nessun risultato statistico significativo. Si passerà dunque a mostrare i risultati del confronto tra pazienti malocclusi e gli stessi post inserimento di tester/rulli di cotone/bite, evidenziando quali sono i parametri che hanno mostrato una differenza statistica significativa.

3.1 RISULTATI DEL CONFRONTO STATISTICO TRA PAZIENTI CON NORMOCCLUSIONE E CON MALOCCLUSIONE

Dapprima viene riportata una tabella nella quale vengono mostrati i valori del *p value* ottenuti tramite Shapiro-Wilk test delle popolazioni di dati presi in esame. A questo valore è stato affiancato una colonna nella quale viene evidenziato, rispetto al valore ottenuto con questo test, la tipologia di confronto effettuata (t.test o wilcox.test).

INDICE FUNZIONALE	P VALUE MALOCCLUSIONE	P VALUE NORMOCCLUSIONE	TIPOLOGIA DI TEST DI CONFRONTO
INDICE QUALITÀ SX	0.09911	0.02113	WILCOX TEST
INDICE QUALITÀ DX	0.04632	0.000357	WILCOX TEST
CADENZA	0.8139	0.9913	T TEST
VELOCITÀ	0.1448	0.6362	T TEST
DURATA CICLO SX	0.5538	0.8697	T TEST
LUNGH CICLO SX	0.139	0.8927	T TEST
%LUNGH CICLO SX	0.4715	0.4264	T TEST
LUNGH DEL PASSO SX	0.02519	0.8553	WILCOX TEST
INDICE DI SIMMETRIA	0.000469	0.000121	WILCOX TEST
PROPULSIONE SX	0.9078	0.6258	T TEST
PROPULSIONE DX	0.8815	0.7854	T TEST
TILT	0.08939	0.01739	WILCOX TEST
OBLIQUITÀ	0.000315	0.01934	WILCOX TEST
ROTAZIONE	2.16E-07	4.20E-0.7	WILCOX TEST

Ci si è chiesti se questi valori ottenuti potessero essere influenzati dalla presenza di valori fuori norma, cioè outliers. Si è quindi fatta una ricerca in tutte le distribuzioni di dati di tutti gli indici analizzati, in pazienti sia con malocclusione che senza. Si è visto che l'unico parametro che presentava outliers era l'Indice di Simmetria di Tilt del bacino, parametro, tra l'altro, che anche a livello fisiologico mostra la variabilità più alta inter-intra soggetto.

Si sottolinei come nella tabella precedente, per i parametri *durata del ciclo*, *lunghezza del ciclo*, *%lunghezza del ciclo*, *lunghezza del passo* sono stati riportati i valori solo dell'indice di sinistra, al fine di snellire la trattazione e la visualizzazione dei dati da parte del lettore. In ogni caso l'analisi è stata eseguita anche sull'indice controlaterale, non mostrando nessun valore significati e, tra l'altro, molto simile a quello tabellato.

Si ricordi che nel caso in cui le distribuzioni di dati sono normali, allora la ricerca di una differenza statistica tra le due popolazioni può essere fatta attraverso un test parametrico (t test). Ciò significa che il software analizzerà e confronterà le due distribuzioni prendendo in considerazione la media delle stesse. Nel caso opposto, ovvero distribuzioni non normali, il test è un test non parametrico (wilcox.test) e dunque il riferimento dalla media si sposta sulla mediana delle distribuzioni.

Di seguito verranno elencati i valori del p-value ottenuti dal confronto statistico delle due popolazioni

PARAMENTRO	P VALUE
INDICE QUALITÀ SX	0,8587
INDICE QUALITÀ DX	0,0997
CADENZA	0,9672
VELOCITÀ	0,4462
DURATA CICLO SX	0,9833
LUNGH CICLO SX	0,3065
%LUNGH CICLO SX	0,397
LUNGH DEL PASSO SX	0,6121
INDICE DI SIMMETRIA	0,306
PROPULSIONE SX	0,9837
PROPULSIONE DX	0,7422
TILT	0,5974
OBLIQUITÀ	0,4227
ROTAZIONE	1

Rispetto ai valori presenti nella tabella precedente, si può concludere dicendo che nessun parametro (tra quelli analizzabili con il G-WALK) ha mostrato una differenza significativa tra pazienti con malocclusione e pazienti senza malocclusione.

Vista la presenza di outliers all'interno della distribuzione dati dell'indice di simmetria di tilt del bacino, si è ripetuta l'analisi per questo parametro per ottenere un dato statisticamente più valido.

	A	X	Y	
6	CON MALOCCLUSIONE	INDICE DI SIMMETRIA TILT CON OUTLIERS (%)	INDICE DI SIMMETRIA TILT SENZA OUTLIERS (%)	IN
7		79,3	79,3	
8		49,9	49,9	
9		80,5	80,5	
10		65,8	65,8	
11		13,2		←
12		41,7	41,7	
13		96,5	96,5	
14		36,5	36,5	
15		38,3	38,3	
16		82,1	82,1	
17		29,7		←
18		52,3	52,3	
19		77,8	77,8	
20		51,8	51,8	
21		81,4	81,4	
22		72	72	←
23		26,6		
24		56,4	56,4	
25		20,1		
26		82,7	82,7	←
27		15,8		←
28		93,7	93,7	
29		45,8	45,8	
30		93,7	93,7	
31		80,3	80,3	
32		86,8	86,8	
33		48,2	48,2	
34		59,21851852	67,88636364	
35		25,22219829	19,13464957	
36		56,4	74,9	
37		-0,25598944	-0,201057597	
38		0,08939	0,05346	
39				
40				
41				
42				
43				
44	SENZA MALOCCLUSIONE	INDICE DI SIMMETRIA TILT CON OUTLIERS (%)	INDICE DI SIMMETRIA TILT SENZA OUTLIERS (%)	IN
45		11		←
46		18,4		←
47		75,3	75,3	
48		34,2	34,2	
49		43,2	43,2	
50		95,6	95,6	
51		24,2		←
52		42,3	42,3	
53		63,7	63,7	
54		83,4	83,4	
55		84,9	84,9	
56		31,6	31,6	
57		71,9	71,9	
58		27,4		←
59		16,7		←
60		84,1	84,1	
61		88,5	88,5	
62		16		
63		35,8	35,8	
64		86,2	86,2	
65		90,3	90,3	
66		68,7	68,7	
67		61,8	61,8	
68		27,8		←
69		89,8	89,8	
70		64	64	
71		55,26153646	68,17368421	
72		27,87207145	20,76038338	
73		62,75	71,8	
74		-0,105183901	-0,55597699	
75		0,01739	0,03647	
76				
77				

Figura 60: Popolazioni con e senza outliers in pazienti con e senza malocclusione

P VALUE	TITL CON OUTLIERS	TITL SENZA OUTLIERS
CON MALOCCLUSIONE	0.08939	0.05346
SENZA MALOCCLUSIONE	0.01739	0.03657
T TEST	0.5974	0.9649

Di seguito verranno riportati gli istogrammi solo di alcune delle grandezze analizzate in relazione a quanto detto sinora, cioè che nessun parametro ha mostrato una differenza significativa tra le due popolazioni. In ogni istogramma è stato riportato anche il *p value* ed è stato evidenziato se è plottata la media o la mediana (in riferimento a quanto detto prima)

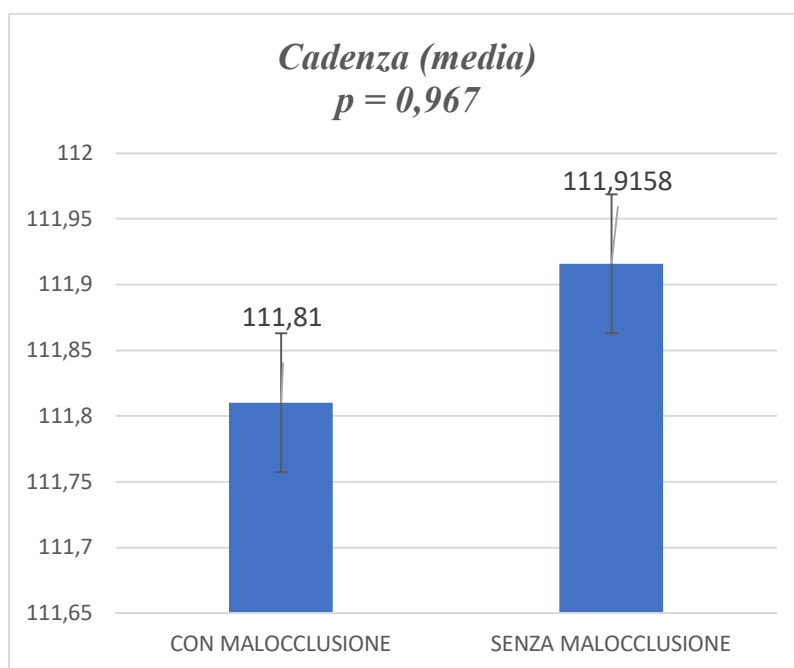


Figura 61: Istogramma cadenza

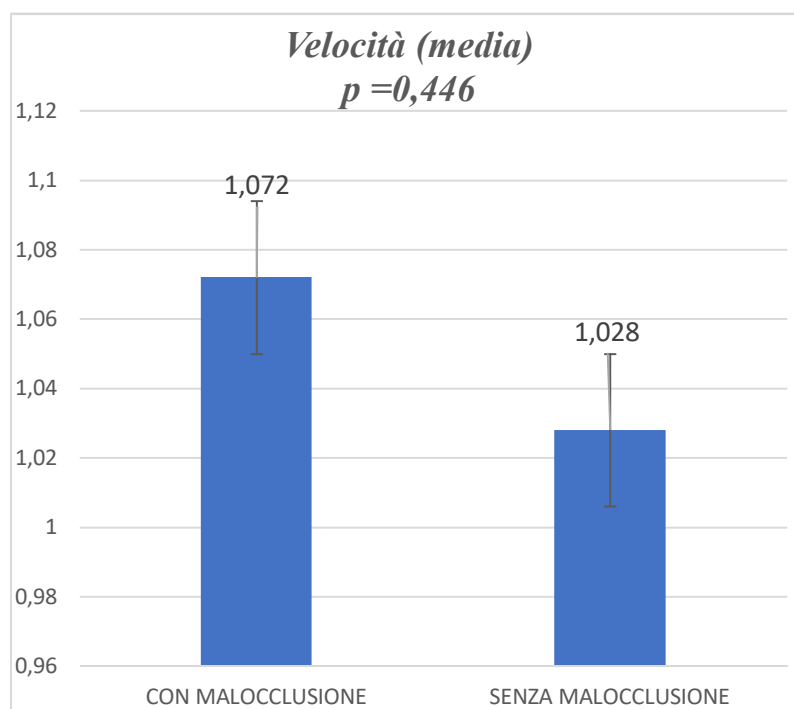


Figura 62: Istogramma velocità

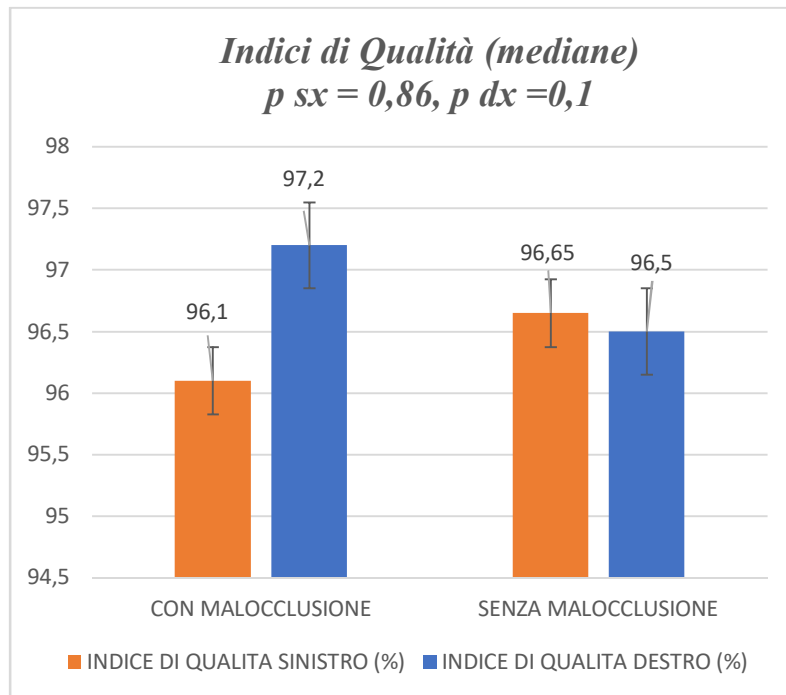


Figura 63: Istogramma indici di qualità

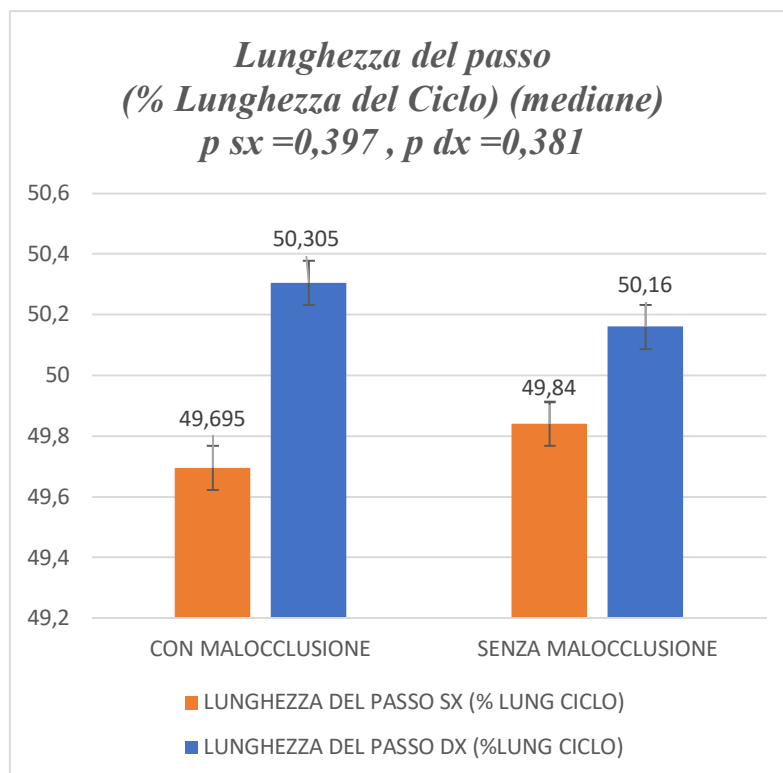


Figura 64: Istogramma lunghezza del passo

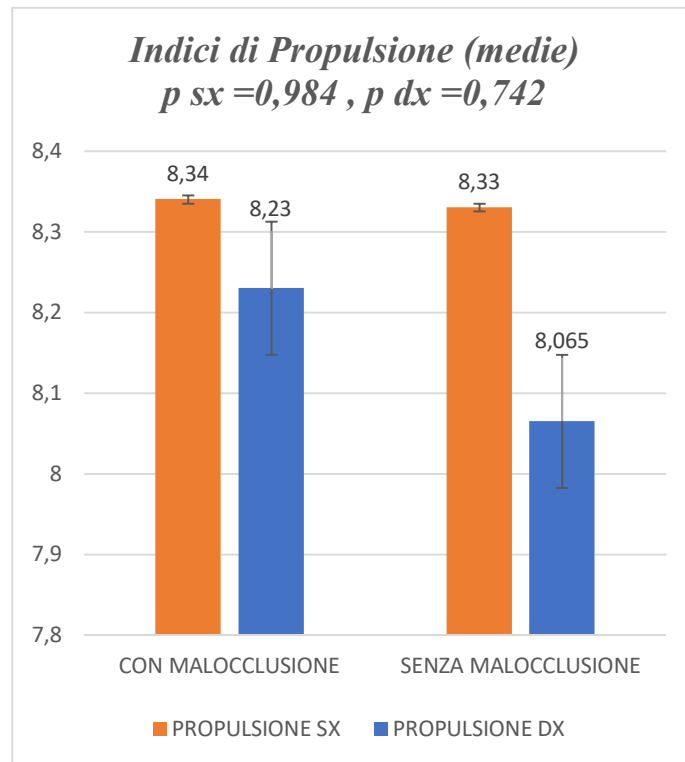


Figura 65: Istogramma propulsione

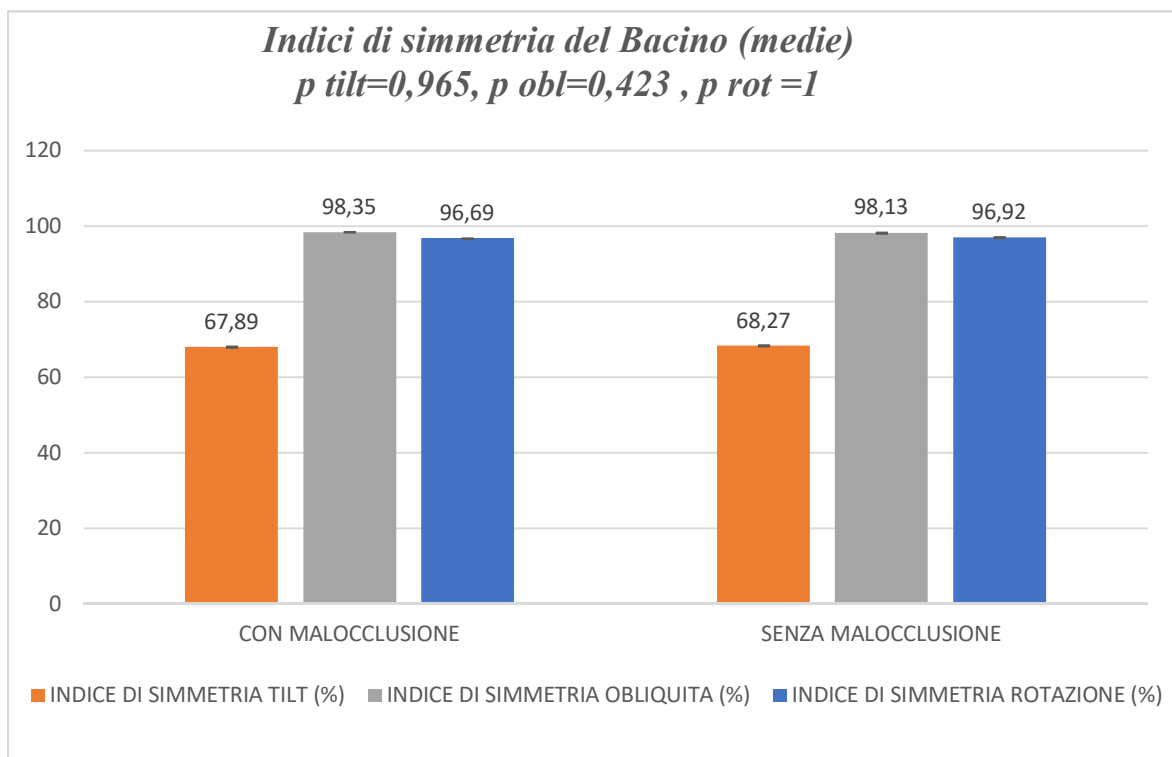


Figura 66: Istogramma indici di simmetria del bacino

3.2 RISULTATI DEL CONFRONTO STATISTICO TRA PAZIENTI CON MALOCCLUSIONE PRE-POST MODIFICA DELLA CONDIZIONE OCCLUSALE

A seguito della precedente analisi statistica, si è passati quindi ad un confronto interpopolazione: si sono confrontati gli indici funzionali del cammino, estratti dal G-WALK, tra i pazienti con malocclusione e gli stessi a cui è stato inserito un tester Brux (simulatore di bite) o rulli di cotone o bite personale. L'obiettivo è stato quello di modificare la condizione occlusale di partenza attraverso un livellamento e/o innalzamento del tavolo occlusale, attraverso cioè un rialzo bi/mono-laterale ottenuto tramite le tecniche prima elencate.

Il primo dato che si evidenzia è che l'inserimento di un rialzo comporta, in ogni paziente, una modifica del IQG, indice di qualità generale. In particolare, dei 27 pazienti a cui è stata riscontrata una malocclusione, 22 sono stati trattati con un rialzo bi/mono-laterale.

H	AM	AN
INDICE DI QUALITÀ GENERALE 85<(%<100	POST TIPOLOGIA DI TRATTAMENTO	INDICE DI QUALITÀ GENERALE 85<(%<100
83		
81		
82	Rialzo Bilaterale di 2mm	88
81	Tester Brux	85
84	Tester Brux	89
85		
82	Rialzo Bilaterale di 2mm	83
84	Rialzo Bilaterale di 2mm	88
82	Bite personale	89
77	Rialzo Bilaterale di 2mm	86
74		
82	Tester Brux	87
75	Bite personale	91
85	Rialzo Bilaterale di 2mm	88
85	Bite personale	90
85	Rialzo Bilaterale di 2mm	88
84	Tester Brux	88
84	Rialzo Bilaterale di 2mm	84
85	Tester Brux	84
85	Molaggio selettivo	90
69	Tester Brux	86
81	Rialzo Bilaterale di 2mm	87
84	Tester Brux	85
74	Rialzo Bilaterale di 2mm	85
80	Rialzo Bilaterale di 2mm	88
85		
85	Rialzo Monolaterale di 2mm	89

Figura 67: Evidenza del miglioramento del IQG

	MEDIA IQG	D.S. IQG	% MIGLIORAMENTO	% PEGGIORNAMETNO
PRE	81.59	4.16	95.5% (21)	4.5% (1)
POST	87.23	2.09		

Ciò che è palese, dunque, è che un trattamento volto al riottenere un equilibrio oclusale fisiologico, porta ad un miglioramento di tutti gli indici diagnostici analizzati dal TMJoint.

INDICI [%]	PRE	POST
POC TA	81.92	85.44
POC MM	80.37	84.56
BAR	80.33	87.81
TORS	86.51	90.13
IMP	92.82	129.65
ASIM	0.67	3.05
POC SCM	81.38	83.84
CL	6.01	6.85
PREVALENZA MUSCOLARE	TA	TA equilibrati con MM
POSIZIONE BARICENTRO	23 anteriore, 4 posteriore	10 anteriore, 3 posteriore 9 nella norma

È stata eseguita la stessa tipologia di analisi statistica eseguita ed analizzata nel paragrafo precedente, modificando però le popolazioni di dati presi in esame.

Dapprima verrà riportata una tabella nel quale vengono mostrati i valori del *p value* ottenuti tramite Shapiro-Wilk test delle popolazioni di dati presi in esame. A questo valore è stato affiancato una colonna nella quale viene evidenziato, rispetto al valore ottenuto con questo test, la tipologia di confronto effettuata (t.test o wilcox.test).

INDICE FUNZIONALE	P VALUE MALOCCLUSIONE PRE	P VALUE MOCCLUSIONE POST	TIPOLOGIA DI TEST DI CONFRONTO
INDICE QUALITÀ SX	0.09911	7.28E-10	WILCOX TEST
INDICE QUALITÀ DX	0.04632	0.04224	WILCOX TEST
CADENZA	0.8139	0.8711	T TEST
VELOCITÀ	0.1448	0.01277	WILCOX TEST
DURATA CICLO SX	0.5538	0.8857	T TEST
LUNGH CICLO SX	0.139	0.139	T TEST
%LUNGH CICLO SX	0.4715	0.07637	T TEST
INDICE DI SIMMETRIA	0.000469	0.000996	WILCOX TEST
PROPULSIONE SX	0.9078	0.02544	WILCOX TEST
PROPULSIONE DX	0.8815	0.01136	WILCOX TEST
TILT	0.08939	0.04194	T TEST
OBLIQUITÀ	0.000315	0.0113	WILCOX TEST
ROTAZIONE	2.16E-07	6.70E-07	WILCOX TEST

Anche in questo caso, grazie al software di elaborazione dati statistici R, sono stati implementati codici per la valutazione dell'indice *p value*.

PARAMENTRO	P VALUE
INDICE QUALITÀ SX	0,3228
INDICE QUALITÀ DX	0.9926
CADENZA	0.8809
VELOCITÀ	0.6641
DURATA CICLO SX	0.7772
LUNGH CICLO SX	0.6414
%LUNGH CICLO SX	0.6399
INDICE DI SIMMETRIA	0.4283
PROPULSIONE SX	<u>0.0322</u>
PROPULSIONE DX	<u>0.0321</u>
TILT	<u>0.023</u>
OBLIQUITÀ	0.256
ROTAZIONE	0.8307

In questo caso, l'analisi statistica ha restituito tre parametri che mostravano una differenza statistica significativa. Ci si è chiesti anche in questo caso, se la presenza di outliers influenzasse il risultato. Si è proceduti verso il riconoscimento e l'eliminazione di valori fuori norma dalle distribuzioni di dati. Anche in questo caso l'unico parametro che presentava outliers è stato l'indice di simmetria di tilt del bacino

	PROPULSIONE SX	PROPULSIONE DX	INDICE DI SIMMETRIA TILT (%)	INDICE DI SIMMETRIA TILT SENZA OUTLIERS (%)	PROPULSIONE SX POST	PROPULSIONE DX POST	INDICE DI SIMMETRIA TILT POST (%)
	8,1	7,1	79,3	79,3	8,2	7,5	96,6
	8,2	7,1	49,9	49,9	8,5	7,8	60
	10,2	10,4	80,5	80,5	10,5	10,8	53
	8	8,7	65,8	65,8	7,9	8,5	81
	7,2	6,8	13,2	13,2	7,1	8,2	76,8
	6,8	6,9	41,7	41,7	7,7	8,4	73,4
	5,4	4,6	96,5	96,5	8,2	7,6	80,8
	7,5	8,3	36,5	36,5	7,8	7,8	75
	10	10,2	38,3	38,3	10,8	8,4	66,4
	7,3	7,6	82,1	82,1	7,3	7,6	92,1
	4,5	4,5	29,7	29,7			
	6,7	6	52,3	52,3	8,5	7,3	46,5
	5,5	5	77,8	77,8	7,5	7,9	79,2
	8,4	9,5	51,8	51,8	8,6	8,8	61,2
	6,9	9	81,4	81,4	7,8	9,5	47,5
	10,2	11,5	72	72	11,1	12,8	75,0
	5,6	6,5	26,6	26,6	9,1	8	53,9
	9,8	8,5	56,4	56,4	10,1	11,1	72,7
	9,1	8,3	20,1	20,1	10,3	9,6	62,8
	9,3	7	82,7	82,7	13,4	11	62
	8,9	8,2	15,8	15,8	9,4	9,7	73,6
	10,7	9,2	93,7	93,7	11,3	10,9	95,5
	11,9	13,4	45,8	45,8	13,3	12,4	81,2
	11,4	11,3	93,7	93,7	13,1	12,5	93,0
	9,4	7,9	80,3	80,3	9,5	8,3	90,3
	9	9,6	86,8	86,8	10,2	9,9	78,3
	9,3	9,2	48,2	48,2	9,1	9,4	62
MEDIA	8,344444444	8,233333333	59,21851852	67,88636364	9,240909091	9,054545455	74,18333333
D.S.	1,856786019	2,068995104	25,22219829	19,13464957	1,745034277	1,425650497	14,00500902
MEDIANA	8,4	8,3	56,4	74,9	8,8	8,45	74,3
ASIMMETRIA	-0,182257488	0,291705268	-0,25598944	-0,201057597	1,081587496	0,719090941	-0,150612619

Figura 68: Dati funzionali pre e post inserimento, che hanno mostrato una differenza statistica significativa

P VALUE	TITL CON OUTLIERS	TITL SENZA OUTLIERS
CON MALOCCLUSIONE PRE	0.08939	0.05346
CON MALOCCLUSIONE POST	0,04194	0.0402
T TEST	0.02298	0.4914

Effettivamente, la presenza di outliers all'interno di questo parametro avrebbe portato questo studio a giungere a conclusioni errate riguardo la correlazione tra apparato stomatognatico e apparato locomotore.

Di seguito verranno riportati gli istogrammi delle grandezze con un $p < 0.05$: *propulsione sinistra e propulsione destra*.

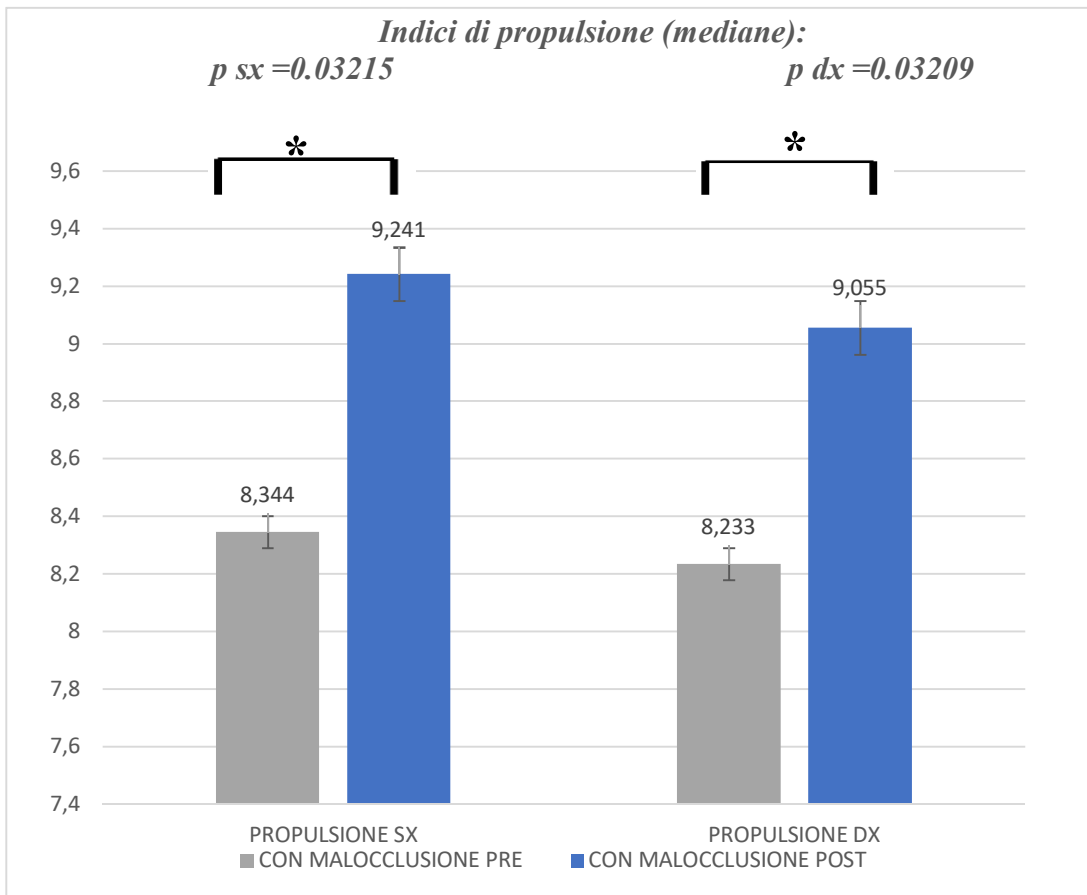


Figura 69: Istogramma indici di propulsione

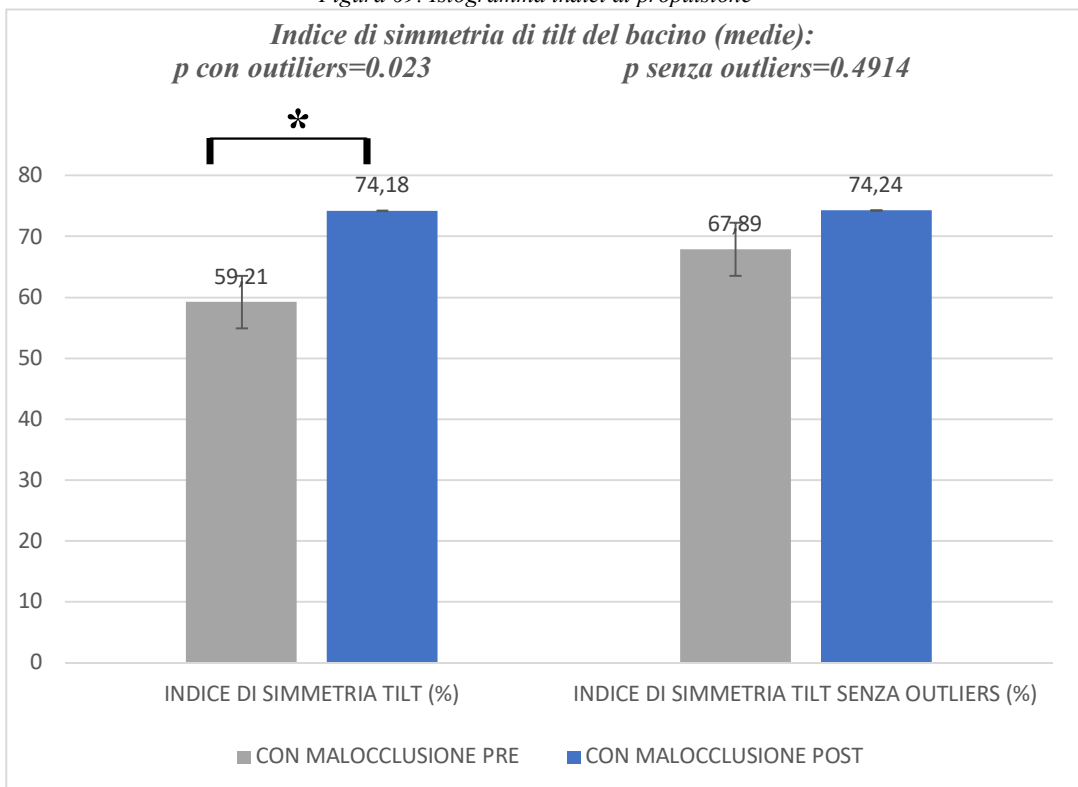


Figura 70: Istogramma indice di Tilt

È stato infine plottata la nuvola di punti rappresentate la distribuzioni di dati pre e post. Sull'asse delle x è stata considerata come coordinata un parametro diagnostico, quale l'IQG, mentre sull'asse delle y è stato inserito un parametro funzionale, quale *Propulsione*.

IQG PRE	PROP SX PRE	IQG POST	PROP SX POST
83	8,1	88	10,5
81	8,2	85	7,9
82	10,2	89	7,1
81	8	83	8,2
84	7,2	88	7,8
85	6,8	89	10,8
82	5,4	86	7,3
84	7,5	87	8,5
82	10	91	7,5
77	7,3	88	8,6
74	4,5	90	7,8
82	6,7	88	11,1
75	5,5	88	9,1
85	8,4	84	10,1
85	6,9	84	10,3
85	10,2	90	13,4
84	5,6	86	9,4
84	9,8	87	11,3
85	9,1	85	13,3
85	9,3	86	13,1
69	8,9	88	9,5
81	10,7	89	9,1
84	11,9		
74	11,4		
80	9,4		
85	9		
85	9,3		

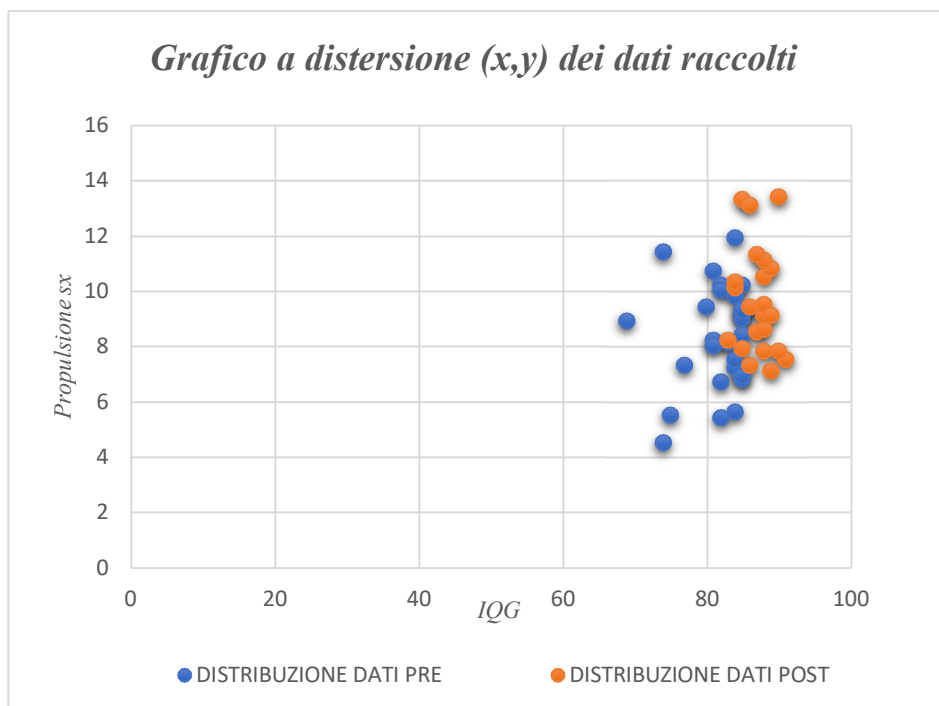


Figura 71: Esempio di dispersione dei dati raccolti, con particolare riferimento alla propulsione sx

3.3 DISCUSSIONE DEI RISULTATI OTTENUTI

Dall'osservazione e dall'analisi dei risultati ottenuti si evince che nel presente studio, con le modalità di prelievo ed analisi dei dati adottati in questa ricerca, non vi è nessuna differenza statistica nei parametri funzionali descrittivi del cammino tra i pazienti con malocclusione e i pazienti con normocclusione. Questo risultato poteva essere previsto osservando la distribuzione di dati ottenuti a seguito dell'analisi diagnostica con TMJOINT.

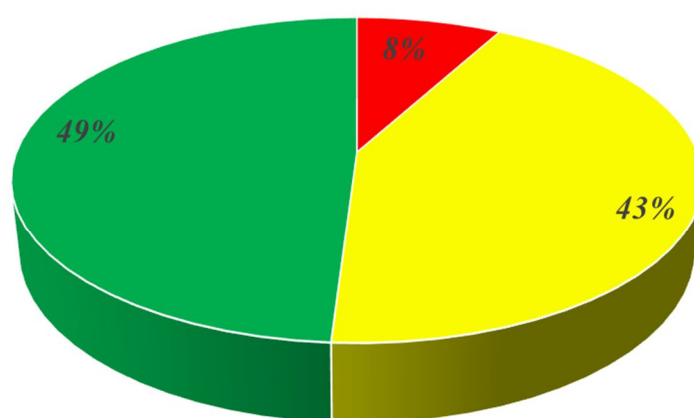


Figura 72: Grafico a torta della percentuale di pazienti affetti da malocclusione severa (rosso), malocclusione moderata (giallo), normocclusione (verde)

Su 53 pazienti totali, il 51% è affetto da malocclusione, dei quali, l'85% è affetto da una malocclusione moderata e solo il 15% da malocclusione severa. Ciò significa che l'85% mostra degli indici diagnostici nell'intorno dell'estremo inferiore del range di normalità.

Il corpo umano, in quanto macchina automotrice, presenta una serie di compensi e azioni muscolari combinate definite sinergie: sono l'azione coordinata di muscoli che concorrono al corretto svolgimento di un atto motorio. I muscoli coinvolti non sono solo quelli che agiscono ad una articolazione nel produrre il movimento di un segmento corporeo (i cosiddetti 'prime movers') ma anche muscoli distanti topologicamente e con funzioni che potrebbero anche non sembrare direttamente collegate allo specifico atto motorio. L'azione sinergica ha perciò uno sviluppo temporale (sequenza di azioni muscolari) ed uno sviluppo spaziale (disposizione anatomica dei muscoli coinvolti).

Si parla di sinergie posturali intendendo riferirsi a quelle che hanno come scopo il mantenimento della postura a seguito di perturbazioni interne (movimenti volontari di parti del corpo) o esterne (applicazione di forze esterne al corpo), e di sinergie motorie riferendosi a quelle che hanno lo scopo di permettere l'esecuzione corretta di atti motori (*Galli*). Presumibilmente, a seguito di controlli neuromuscolari discenti/ascendenti, in questi pazienti si è messo in atto un meccanismo compensatorio, il quale ha portato gli stessi ad adattarsi ad una situazione di malocclusione, che non può essere rilevato attraverso un'analisi del passo in una sola registrazione. Diverso sarebbe stato se si fossero seguiti i pazienti in follow-up, in una finestra temporale più ampia e attraverso differenti misurazioni più dettagliate relative a diversi aspetti funzionali del cammino (stabilometria, analisi posturale, analisi del dispendio energetico etc...).

Sebbene i protocolli sono stati eseguiti cercando di rispettare al massimo tutti gli standard richiesti per il prelievo dei dati e l'esecuzione delle task motorie, una variabilità dovuta all'osservazione e alla strumentazione deve essere tenuta in considerazione.

Uno sguardo più meticoloso ai risultati noterebbe che all'interno dei pazienti, considerando tutta la popolazione, c'è una variabilità elevata degli indici funzionale del passo, conseguente a tutti quei fattori che ci distinguono gli uni dagli altri.

Quando si è passati ad un'analisi di variabilità intra paziente, si è visto che la modifica della condizione oclusale ha un immediato effetto discendente sulla deambulazione.

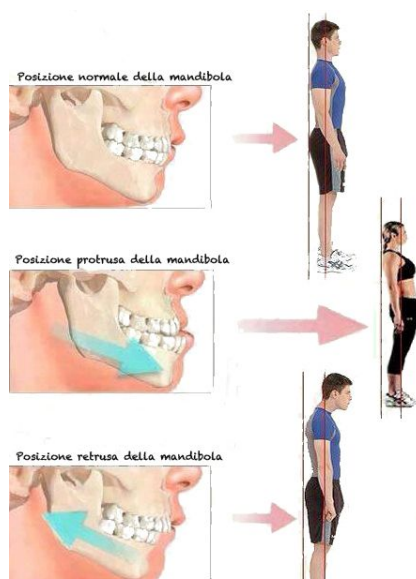


Figura 73: Modifiche nel piano sagittale (Mauro Lastrico, 2018)

L'effetto palpabile, sebbene si è visto dall'analisi dei dati che non è statisticamente rilevabile in questo studio, è una modifica della posizione anteroposteriore del bacino, in cui mediamente c'è un aumento dell'indice di simmetria di tilt del bacino.

Effetto, invece, certificato grazie all'analisi statistica, è un aumento della propulsione nei soggetti a cui è stato inserito un rialzo all'interno del tavolo occlusione.

Questo fenomeno è stato analizzato anche in altre ricerche in letteratura, soprattutto per la stretta correlazione che esiste tra apparato stomatognatico e performance sportiva. In uno studio di *Alessandra Puggioni* viene analizzato come il miglioramento dell'occlusione dentale provoca un miglioramento della performance sportiva, cioè che una giusta relazione posturale tra mascella e mandibola si rende necessaria al fine di assicurare la funzionalità tra dentatura superiore e inferiore, il che garantisce la distribuzione equilibrata degli stress occlusali influenzando "positivamente" l'intera attività corporea. Quindi possiamo affermare che esiste un reale miglioramento sportivo dopo interventi occlusali in soggetti "disfunzionali".

Montagna et al. in una ricerca per il Gruppo di Studio di Fisiologia dell'Apparato Stomatognatico della Società Italiana di Odontostomatologia dello Sport, ha dimostrato come l'occlusione dentale giocasse un ruolo importante in sport di equilibrio, meno in sport di potenza.

Questo studio ha dimostrato, come si evidenzia in Figura 72, che l'inserimento di un rialzo sposta la nuvola di punti relativa alla propulsione (e.g. propulsione sinistra) verso destra e verso l'alto cioè verso valori di IQG maggiori e propulsione di spinta più forti.

4. CONCLUSIONI

Lo studio sperimentale svolto è stato mirato a trovare evidenze scientifiche empiriche che dimostrassero una relazione, quanto meno immediata, tra apparato stomatognatico e locomotore. Un'analisi dinamica prevede sempre delle condizioni al contorno che complicano sia il prelievo dei dati che la ripetibilità dei protocolli.

Punto di partenza è stato un approfondimento della teoria alla base dei meccanismi biomeccanici dei distretti di interesse, necessaria al fine di redigere un protocollo che potesse mettere in luce la correlazione tra essi. A questa si è affiancata una ricerca in letteratura dei lavori scientifici riguardanti questa tematica e di come questo studio si inserisce in essa.

Sono stati descritti strumenti e protocolli sia diagnostici che funzionali, così come è stata descritta nel dettaglio l'analisi statistica e non dei dati raccolti in questo lavoro.

La popolazione di soggetti analizzata è stata classificata in base all'indice di qualità generale dell'occlusione dentale, restituito dallo strumento TMJoint. Questa è una classificazione "comoda" dal punto di vista pratico, sebbene un'occlusione dentale prevede un'analisi ad ampio spettro per poter essere definita fisiologica o meno.

Ogni paziente è stato quindi sottoposto ad un'analisi funzionale del cammino con lo strumento G-WALK. In particolare, è stato chiesto di eseguire le task motorie descritte nella sezione 2.3.1, delle quali solo le prove senza scarpe sono state sottoposte ad analisi statistica (evitare variabilità di condizioni di lavoro dovuta a differenti calzature).

Gli indici statistici non hanno rilevato nessuna differenza statistica significativa tra i pazienti con malocclusione ed i pazienti con normocclusione, mentre per i parametri di propulsione destra e sinistra, nel confronto tra pazienti con malocclusione e gli stessi post-inserimento rialzo occlusale, è stata indentificato un p value pari a 0.03215 per propulsione sinistra ed un p value pari a 0.03209 per la propulsione destra. Questo indica che le mediane (distribuzioni di dati non normali) differiscono in maniera significativa a livello statistico.

Si può dunque concludere dicendo che l'effetto della modifica dell'occlusione dentale, nei termini e condizioni sopra citati, produce come effetto immediato un aumento di spinta da parte del paziente durante la deambulazione. Ricordiamo che questo è un parametro che descrive il passaggio dell'arto dalla fase di stance alla fase di swing e quindi descrittivo di come i complessi neuromotori stanno agendo e organizzandosi nel meccanismo di contrazione muscolare durante la deambulazione.

Un'analisi approfondita, ad esempio attraverso una valutazione elettromiografica dell'apparato stomatognatico e non solo (muscoli vertebrali, spinali e paraspinali etc....) durante l'atto motorio, potrebbe essere il punto di partenza per studi futuri. Si potrebbe pensare di analizzare una popolazione in follow-up a cui viene modificata (migliorata o peggiorata) l'occlusione dentale e verificarne la ricaduta discendente sull'apparato locomotore. Di contro canto si possono eseguire test dinamici in cui vengono modificate le afferenze provenienti dalla pianta del piede o dai recettori posturali e verificare la ricaduta ascendente sull'ATM.

La letteratura è ricca di lavori che cercano di trovare un'interconnessione biomeccanica tra gli apparati presi in considerazione in questo studio. Per quanto vasta sia la letteratura, ancora nel modo scientifico c'è una spaccatura tra coloro i quali credono ed hanno dimostrato una correlazione diretta ed evidente tra stomatognatico e locomozione e coloro i quali scindono questi due complessi biomeccanici sottolineando come le compensazioni adattate dal corpo umano tendano a distribuire le asimmetrie necessarie al compenso, solo lì dove è necessario.

Al termine di questo studio, revisionando la letteratura e gli altri lavori scientifici, è opinione del redattore che le micro-compensazioni che interessano il corpo umano non si fermano al semplice distretto sul quale si agisce, ma, attraverso tutte le sinergie muscolari e le catene cinematiche presenti, si ripercuote sull'intera struttura biologica, in ogni sua parte.

5. RINGRAZIAMENTI

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Laskin, «Temporomandibular Disorders: An Evidenced-Based Approach to Diagnosis and Treatment,» *Quintessence Publishing Co.*, pp. 3-34, 2006.
- [2] Hannama, «A dynamic model of jaw and hyoid biomechanics during chewing,» *Journal of Biomechanics*, vol. 41, pp. 1069-1076, 2008.
- [3] P. KEMPPAINEN, «Review of clinical EMG studies related to muscle and occlusal,» *Journal of Oral Rehabilitation*, pp. 631-644, 2007.
- [4] Ciancaglini, «Evoluzione degli studi sulla relazione tra occlusione e postura,» *MONDO ORTODONTICO*, pp. 59-65, 2008.
- [5] Michelotti e P. Manzo, «Associazioni tra apparato stomatognatico, disordini dell'ATM e alterazioni posturali,» *MONDO ORTODONTICO*, pp. 1-9, 2008.
- [6] R. Lotti, «Le Relazioni tra l'assetto posturale e l'apparato stomatognatico,» 2010.
- [7] V. F. Ferrario, «Commentary to Suvinen and Kempainen,» *Journal of Oral Rehabilitation*, pp. 9-10, 2009.
- [8] Suvinen, «Commentary,» *Journal of Oral Rehabilitation*, pp. 157-158, 2009.
- [9] C. S. Virgilio F. Ferrario, «Coordinated electromyographic activity of the human masseter and temporalis anterior muscles during mastication,» *European Journal of ORAL SCIENCES*, pp. 511-517, 1996.
- [10] V. F. Ferrario e T. GM, «Neuromuscular coordination of masticatory muscles in subjects with two types of implant-supported prostheses,» *Clin. Oral Impl. Res.*, pp. 219-225, 2004.
- [11] A. Puggioni, «Come la correzione dell'occlusione può migliorare le prestazioni sportive,» 2012.
- [12] A. N. Silvia Cavallini, «Le tensioni cervicali e le cefalee : perchè e cosa fare,» *Dental Clinics*, pp. 41-44, 2012.
- [13] D. MANFREDINI, «Dental occlusion, body posture and temporomandibular disorders: where we are now and where we are heading for,» *Journal of Oral Rehabilitation*, pp. 463-471, 2012.

- [14] D. Gary D. Klasser e D. Jeffrey P. Okeson, «The clinical usefulness of surface electromyography in the diagnosis and treatment of temporomandibular disorders,» *CLINICAL PRACTICE*, pp. 763-771, 2006.
- [15] D. G. L. TREBBI, «Efficienza muscolare e bite occlusale,» in *LA GNATOLOGIA PROTESICA-Riesame della letteratura e pratica quotidiana*, 2000, pp. 111-140.
- [16] V. F. e. al., «EMG SYMMETRY I N NORMO-OCCLUSION SUBJECTS,» *Journal of Oral Rehabilitation*, pp. 33-40, 2000.
- [17] Gianluca M. TARTAGLIA, «NON-INVASIVE 3D FACIAL ANALYSIS AND SURFACE ELECTROMYOGRAPHY DURING FUNCTIONAL PREORTHODONTIC THERAPY: A PRELIMINARY REPORT,» *J Appl Oral Sci*, pp. 487-494, 2009.
- [18] Paulo de Jesus Chaves, «INCIDENCE OF POSTURAL CHANGES AND TEMPOROMANDIBULAR DISORDERS IN STUDENTS,» *Acta Ortop Bras*, pp. 162-164, 2017.
- [19] V. T. W. Marin, «Anatomia Patologica Odontostomatologica,» in *L'anatomia Patologica dell'articolazione temporo-mandibolare (ATM)*, PADOVA, CLEUP EDITORE, 2008, pp. 327-343.
- [20] V. F. FERRARIO, «The influence of crossbite on the coordinated electromyographic activity of human masticatory muscles during mastication,» *Journal of Oral Rehabilitation*, pp. 575-581, 1999.
- [21] U. Montecorboli, «Le Disfunzioni del Sistema Cranio-Cervico-Mandibolare,» 1998.
- [22] D. S. M. e. al., «Occlusione e atto motorio,» *Virtual Journal of Orthodontics*, 1996.
- [23] Dott. Giuseppe Massaiu, «Approccio Clinico-Terapeutico al Trattamento delle Interferenze Occlusali e dei Sintomi Associati,» *Il corriere ortodontico*, pp. 1-12, 2009.
- [24] V. F. FERRARIO, «VIAEvidence of an influence of asymmetrical occlusal interferences on the activity of the sternocleidomastoid muscle,» *Journal of Oral Rehabilitation*, p. 34-40, 2003.
- [25] M. Dr. Federico Marin, «Quaderno Clinico volume1,» 2014.

- [26] Seok Woo Honga, «Relationship among Cervical Spine Degeneration, Head and Neck postures, and Myofascial Pain in Masticatory and Cervical Muscles in Elderly with Temporomandibular Disorder,» *Archives of Gerontology and Geriatrics*, pp. 119-128, 2019.
- [27] Daniela Ohlendorfa, «The effects of a temporarily manipulated dental occlusion on the position of the spine: a comparison during standing and walking,» *The Spine Journal*, p. 2384–2391, 2014.
- [28] P. Cappello, *Bioingegneria della postura e del movimento*, Bologna: Patron Editore, 2003.
- [29] R. Frigo, «Functionally oriented and clinically feasible quantitative gait analysis method.,» *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 36, n. 2, pp. 179-85, 1998.
- [30] R. Frigo, «Multifactorial estimation of hip and knee joint centres for clinical application of gait analysis,» *Gait & Posture*, pp. 91-102, 1998.
- [31] E. I. Winter, «A review of kinetic parameters in human walking,» in *Gait Analysis Theory and application*, 1995, pp. 252-270.
- [32] G. LODETT, «INDAGINI STRUMENTALI ELETTROMIOGRAFICHE IN PAZIENTI CON DISORDINI TEMPOROMANDIBOLARI,» UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO, MI, 2012.
- [33] G. Turchetti, «Osteopata.it - Osteopata a Roma - Trastevere | Latina | Frosinone,» 2017. [Online]. Available: <https://www.osteopata.it/disturbo-atm-e-postura/>.
- [34] «BTS TMJOINT. analisi oggettiva dell'occlusione dentale,» 2016. [Online]. Available: <https://docplayer.it/4042934-Bts-tmjoint-analisi-oggettiva-dell-occlusione-dentale.html>.
- [35] U. Capurso, «OCCLUSIONE, POSTURA E DISMETRIE IN ETA' EVOLUTIVA,» *REVISTA ROMÂNĂ DE STOMATOLOGIE*, pp. 103-111, 2007.