

Digital Health: analisi strutturale e funzionale dell'organo masticatorio

Dr. Antonio Busato, Dr.ssa Veronica Vismara



Dr. Antonio Busato si laurea in Odontoiatria e protesi dentale nel 1985 con 110 e lode presso l'Università degli Studi di Milano. Tesi sperimentale: interferometria olografica in odontoiatria (tecniche di analisi). Lavora presso lo Studio Associato Odontoiatra Dr.ssa Veronica Vismara, Dr. Antonio Busato dal 1987.

Aree di interesse: Simulatori analogici e digitali dell'organo masticatorio; Ortodonzia digitale; Protesi digitale; Ecografia dinamica ed analisi dello strain dell'organo masticatorio.

www.vismara-busato.com
www.tetra.srl



Laureata in Odontoiatria con 110 e lode presso l'Università degli studi di Milano nel 1987. Specializzata nel 1994 in Omotossicologia e discipline integrate e diplomata in Elettroagopuntura secondo Voll (EAV) nel 2007. Dal 1995 si occupa di relazioni tra Occlusione e Postura (Prof. Nhama-ni, Euroocclusion, Dr. Marco Redana, Dr. Ivan Dus). Ha approfondito le tem

atiche riguardanti la deglutizione e le abitudini viziate frequentando corsi di formazione con la Dr.ssa Silvia Magnani. Diplomata Master in Ipnosi Ericksoniana dal corso biennale presso l'IIPNL di Milano nel 2011. Pratica la libera professione presso il suo studio di Milano occupandosi prevalentemente di Medicina Naturale applicata all'odontoiatria, di gnatologia e di relazione tra occlusione e postura, e delle problematiche psicosomatiche legate al cavo orale. Pratica la libera professione come counsellor e ipnoterapeuta presso il suo studio a Monza.



Fig. 1 Odontoiatra digitale: principi base

Introduzione

La World Health Organization considera la salute orale come parte integrante non solo dello stato di salute generale, ma anche della qualità di vita di ciascun individuo, con ciò ulteriormente ribadendo la necessità di un approccio sistematico e sistemico alla diagnosi delle patologie e disfunzioni dell'organo masticatorio.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) il termine Digital Health indica quel complesso di tecnologie informatiche e di telecomunicazione che sono impiegate a vantaggio della salute umana.

L'analisi strutturale e funzionale dell'organo masticatorio consiste in una accurata valutazione della condizione delle parti che lo compongono (ossa, denti, parodonto, mucose, muscoli e lingua) nonché delle funzioni primarie che ad esso competono come la masticazione, la deglutizione, la fonazione e la respirazione.

Nello specifico l'analisi strutturale e funzionale digitale ha la capacità di definire e analizzare da un punto di vista qualitativo e quantitativo le forze che vengono generate dall'attività funzionale (masticazione, deglutizione, fonazione), e para-funzionale dell'organo masticatorio

ed indicarne il sottostante causale riferibile sia alla struttura (ossa, denti, articolazioni, lingua, muscoli) sia agli schemi motori impiegati.

Questo processo analitico che conduce alla diagnosi delle patologie e disfunzioni eventualmente presenti, costituisce il presupposto fondamentale per la pianificazione di una terapia in grado di ottenere risultati stabili nel tempo, che non si limiti esclusivamente alla cura degli effetti delle disfunzioni ma ne rimuova per quanto possibile le cause.

L'obiettivo di questo lavoro consiste nella presentazione di tecniche, tecnologie e strumenti proprie della Digital Health che sostengono la prima visita specialistica odontoiatrica nella raccolta dei dati anamnestici e clinici, gli esami di secondo livello (tecniche di immagine e di diagnostica clinica strumentale assistita) nonché lo studio dei dati raccolti finalizzato alla pianificazione della terapia mediante l'impiego di simulatori digitali dell'organo masticatorio (CAD e CAM).

L'utilizzo delle tecnologie proprie della Digital Health costituisce certamente un enorme vantaggio ai fini della analisi strutturale e funzionale dell'organo masticatorio ma è necessario ricordare che la tecnologia in genere non si identifica di per sé con l'innovazione. Essa costituisce

un elemento ormai irrinunciabile dell'organizzazione la quale a sua volta consente di produrre, organizzare ed esaminare quantità sempre più rilevanti di informazioni e dati sulle anomalie strutturali e funzionali dell'organo masticatorio e sulle conseguenze che da ciò derivano.

1 - La digitalizzazione

I nostri sensi interagiscono con l'ambiente circostante tramite l'acquisizione di segnali analogici. La digitalizzazione consiste nella conversione di tali segnali in sequenze di "0" e di "1". Tali sequenze possono essere, una volta acquisite, memorizzate e impiegate per vari scopi.

Gli strumenti che utilizziamo per produrre e convertire queste sequenze di numeri non sono esenti da errore ma possono essere estremamente accurati e precisi oltre che dotati di un notevole potere di risoluzione. Ciò significa che scanner, fresatori, tomografi ed ecografi per fare un esempio, debbono essere valutati per ciò che producono, in altri termini "misurati". La prerogativa dell'approccio scientifico è misurare l'incertezza. Avere una misura dell'incertezza è una base solida su cui è possibile costruire una visione condivisa della realtà.



Fig. 2 Analogico e digitale



Fig. 3 Il dato digitale



Fig. 4 I mattoni del digitale



Fig. 5 Organo masticatorio digitale

Accuratezza , precisione , risoluzione dello scanner in vitro

PRECISIONE vs. ACCURATEZZA

Precisione ed accuratezza sono indipendenti fra di loro; misure precise possono essere poco accurate e viceversa.

Elevata precisione ed accuratezza

Bassa precisione ed accuratezza

Elevata precisione, bassa accuratezza

Bassa precisione, elevata accuratezza

Nella **teoria degli errori**, l' **accuratezza** è il grado di corrispondenza del dato teorico, desumibile da una serie di valori misurati con il dato reale.

Nella **teoria degli errori**, la **precisione** è il grado di "convergenza" (o "dispersione") di dati rilevati individualmente (campioni) rispetto al valore medio della serie cui appartengono.

Si definisce **potere risolutivo** di un obbiettivo la capacità che ha la lente o lo specchio di mostrare, opportunamente ingranditi, due punti molto vicini.

Fig. 6 Proprietà e limiti della strumentazione digitale

Fig. 7 Scansione 3D di una arcata



Fig. 8 Struttura a rete: wireframe 3D rendering dentale



a - La mesh

La mesh è il prodotto basilare del processo di digitalizzazione di un oggetto tridimensionale. Una mesh poligonale, in computer grafica, è un reticolo che definisce un oggetto nello spazio, composto da vertici, spigoli e facce. Il termine mesh in inglese significa letteralmente "maglia", "rete". Le mesh possono contenere informazioni che le collocano nello spazio circostante in maniera ripetibile.

2 - L'anamnesi e l'esame clinico

La cartella clinica digitale, la macchina fotografica, lo smartphone, e lo scanner intra-orale sono gli strumenti che permettono di eseguire la prima visita odontoiatrica e quelle che ad essa seguiranno allo scopo di raccogliere dati archiviabili, misurabili e condivisibili. Tali dati sono fondamentali per la costruzione di un simulatore digitale dell'organo masticatorio.

Non tutti i dati raccolti nel corso della prima visita (ad esempio, esame delle mucose, sondaggio parodontale) sono riportati per ragioni di spazio in questa breve trattazione.

a - La cartella clinica digitale

La cartella clinica digitale ha un impatto rispetto alla raccolta della anamnesi e l'esame clinico paragonabile a ciò che uno scanner intra-orale ha in una terapia protesica o ortodontica. I dati anamnestici e clinici raccolti nel corso in una prima visita specialistica odontoiatrica, nel momento in cui diventano un dato

digitale, offrono una serie di vantaggi ragguardevoli.

Per cartella anamnestico-clinica digitale si intende una piattaforma di archiviazione dei dati (di qualsiasi natura) adatta a renderli consultabili sia per la pianificazione della terapia, che per l'analisi statistica, che per altri scopi, come ad esempio la produzione di documenti utili per la formulazione del consenso informato o l'allestimento di simulatori digitali dell'organo masticatorio.

La cartella clinica digitale consente l'archiviazione in un unico ambiente sia di dati testo che di immagini, video, ricostruzioni 3D delle arcate dentali e/o del cranio, e di qualsiasi tipo di accertamento diagnostico. In fase di analisi dei dati ciò comporterà dei vantaggi elevati nella pianificazione della terapia.

La cartella clinica digitale multiutente consente su una piattaforma condivisa, l'accesso da remoto ai dati del paziente da parte degli operatori sanitari (odontoiatra, otorino-laringoiatra e fisioterapista) che collaborano alla formulazione della diagnosi e alla pianificazione ed esecuzione della terapia.

Una cartella clinica digitale deve consentire la raccolta delle seguenti informazioni:

- anamnesi patologica prossima
- anamnesi fisiologica personale
- terapie pregresse
- anamnesi familiare
- anamnesi patologica remota
- terapie farmacologiche in atto
- profilo psico-emotivo
- qualità del sonno
- qualità della respirazione
- terapie in atto con altri specialisti

- analisi morfologica del volto e dei tessuti molli
- analisi funzionale dell'organo masticatorio
- analisi strutturale dell'organo masticatorio
- test relazione occlusione-postura

La cartella clinica digitale ha per sua natura la possibilità di rendere praticabile una diagnosi assistita attraverso sia la compilazione di questionari che la scrittura libera.

Alcuni degli obiettivi primari di una cartella di questo tipo sono i seguenti e sono ottenibili utilizzando un sistema esperto su base statistica:

1. Identificazione dei pazienti con organo masticatorio disfunzionale (segni e sintomi)
2. Identificazione dei pazienti con apparato muscolo-scheletrico traumatizzato (segni e sintomi)
3. Profilazione quantitativa e qualitativa delle arcate dentali (simulatore digitale dell'organo masticatorio e analisi strumentale dell'occlusione dentale)
4. Profilazione quantitativa degli schemi motori: masticare, deglutire, parlare (Motion Capture e Motion Tracking per l'analisi delle traiettorie)
5. Analisi statistica delle relazioni tra segni/sintomi di disfunzione, profili occlusali (strutturali statici) e dinamici (sistema vincolare e di dissipazione dei carichi)
6. Valutazione del rischio terapeutico
7. Predicibilità dei risultati in termini di guarigione



Figg. da 9 a 13
Inquadrature es-
senziali per il face
building

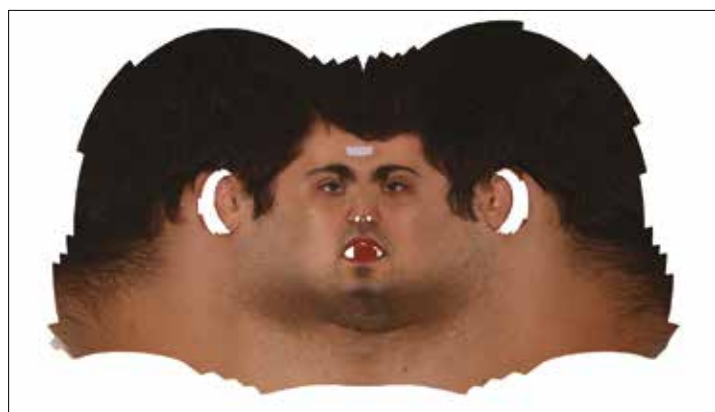


Fig. 14 Face building:
butterfly map



Fig. 15 Face building 3D, rende-
ring colore



Fig.16 Face building 3D mono-
cromatico

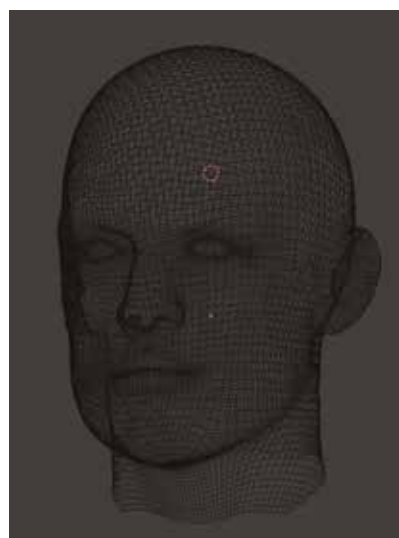


Fig. 17 Face building wireframe

b - La macchina fotografica e lo smartphone

La macchina fotografica e lo smartphone sono due strumenti indispensabili per la documentazione del caso e per la costruzione del simulatore full digital dell'organo masticatorio. Sono due strumenti economici se si rapporta il costo con quello di uno scanner facciale e consentono di ottenere risultati più che ragguardevoli. Le immagini ottenute con una mac-

china fotografica permettono tramite la tecnica "face building" di ottenere un oggetto tridimensionale del volto del paziente utilizzando 5 scatti (di fronte, di tre quarti e di lato).

La macchina fotografica e il face building

La tecnica "face building" permette di ottenere oggetti 3D regolari di buona qualità composti da mesh regolari che si prestano particolar-

mente per eseguire misure di ogni genere (Morfometria del volto). Questi oggetti possono essere scalati e portati alle dimensioni reali se nell'immagine è presente un oggetto di dimensioni note. Il risultato ottenuto è sufficiente per gli obiettivi della tecnica. Questo tipo di immagine è particolarmente adatta per l'esecuzione del face rigging (Animazione del volto).



Fig. 18 Sequenza immagini da smartphome per fotogrammetria

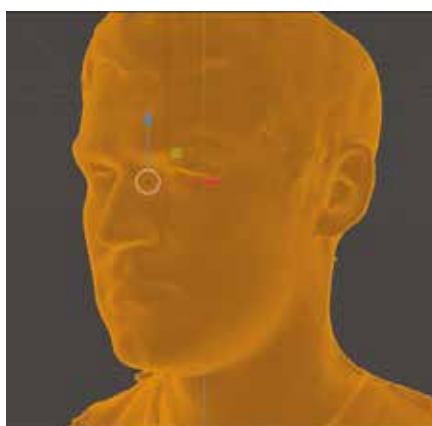


Fig. 19 3D rendering

Fig. 20 3D mesh



Fig. 21 Particolare

Lo smartphone e la fotogrammetria

Le immagini ottenute con lo smartphone sono certamente più accurate ai fini della ricostruzione 3D del volto ma richiedono l'acquisizione di una tecnica relativamente semplice e l'uso di uno specifico supporto per ottenere il numero di scatti sufficienti per risultati ottimali. La ricostruzione del volto mediante queste immagini si basa sulla tecnica detta "fotogrammetria". Così come

per il face building, è necessario per poter dimensionare correttamente il volto del paziente, la presenza di un oggetto di dimensioni note (forchetta di trasferimento, scansione 3D arcate, marker cutanei etc.). In pratica con lo smartphone si eseguono una serie di scatti (tra 30 e 60) che permettono la ricostruzione accurata del volto del paziente.

Le immagini ottenute con queste due tecniche, i cui risultati possono essere assemblati con facilità con-

sentono, una volta allestito il simulatore digitale dell'organo masticatorio, di oggettivare gli effetti della terapia ortodontica, protesica e della chirurgia ortognatica sul volto del paziente. A differenza della tecnica face building la tecnica basata sulla fotogrammetria permette mediante una forchetta di trasferimento (realizzata per stampa 3D) del modello mascellare, il corretto montaggio in articolatore digitale per la realizzazione di dispositivi medici su misura.

Fotogrammetria, forchetta di trasferimento e montaggio in articolatore digitale



Fig. 22 3D rendering, forchetta e arcate dentali

Fig. 23 Montaggio in articolatore

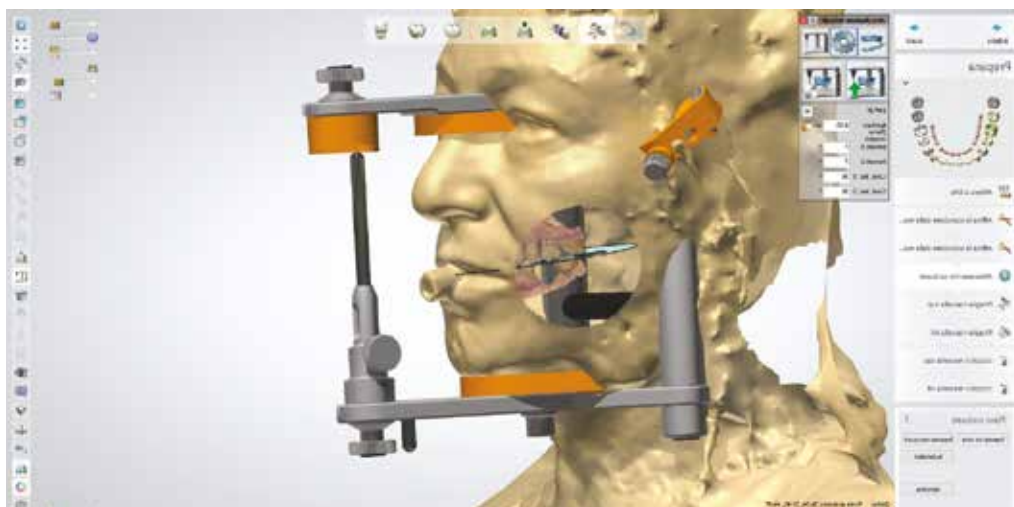


Fig. 24 Fotogrammetria e forchetta di trasferimento

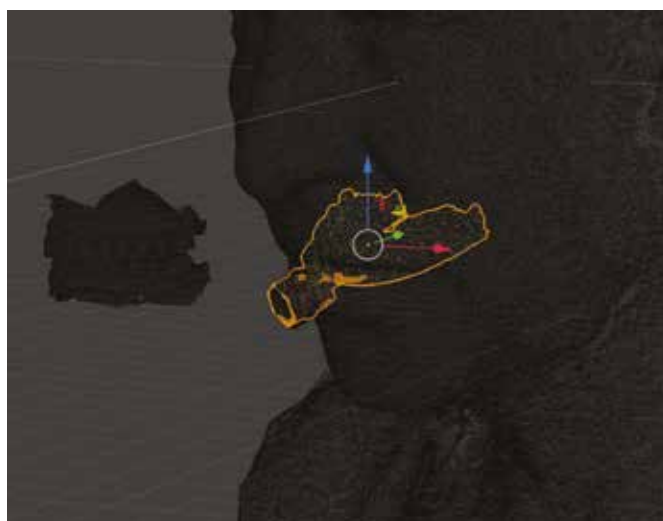


Fig. 25 3D rendering e forchetta di trasferimento

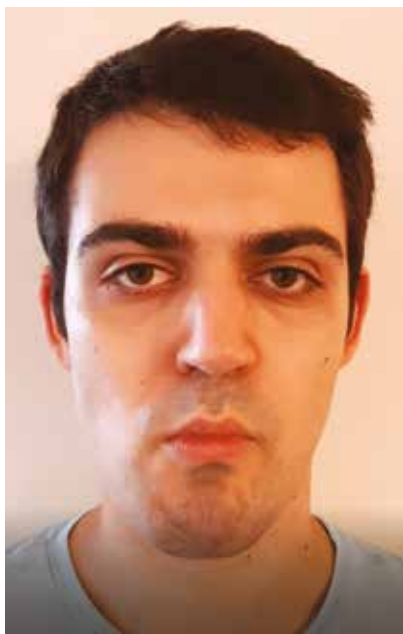


Fig. 26 Video masticazione



Fig. 27 Video deglutizione

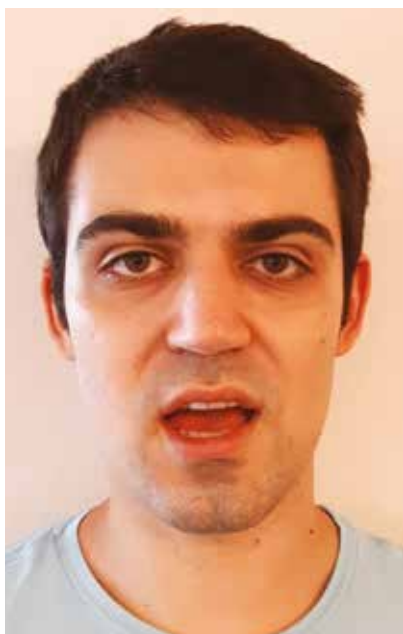


Fig. 28 Video fonazione



Fig. 29 Video mimica

a - La videocamera e lo smartphone

I video del paziente che mastica, deglutisce, parla e respira sono di fondamentale importanza in quanto consentono una analisi qualitativa e quantitativa a livelli avanzati delle funzioni primarie dell'organo masticatorio. L'efficacia dei risultati ottenibili ad esempio con l'analisi strutturale dell'occlusione dentale sono decisamente migliori in presenza di questi documenti.

Lo scopo primario della esecuzione dei video è ottenere un documento riguardo gli schemi motori che il paziente utilizza per masticare, deglutire, parlare, eseguire i movimenti

limite della mandibola, utilizzare la muscolatura mimica e respirare.


I video sono inoltre lo strumento fondamentale per animare con tecniche avanzate (face rigging) il simulatore digitale dell'organo masticatorio allo scopo di effettuare l'analisi delle traiettorie eseguite dalla mandibola che consentono al paziente, ad esempio, di masticare, deglutire e confrontarle con un modello di riferimento.

In presenza di danni strutturali tali da richiedere terapie ortodontiche/protesiche o l'impiego di schemi motori inadeguati l'obiettivo dell'esame non è certamente quello di utilizzare i movimenti di una bio-

macchina inefficiente per progettare le parti di ricambio protesiche, ma con queste ultime modificare le traiettorie stesse.

Face rigging, Motion Capture e Motion Tracking sono le tecniche utilizzate a vari livelli di complessità a tal fine.


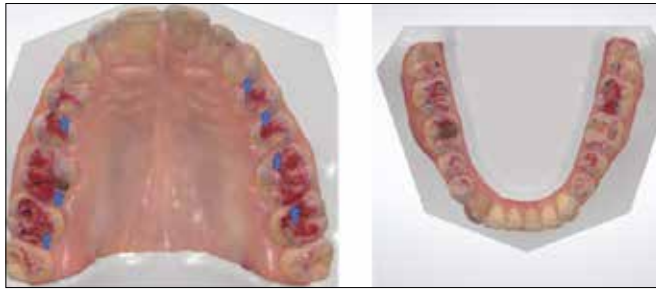
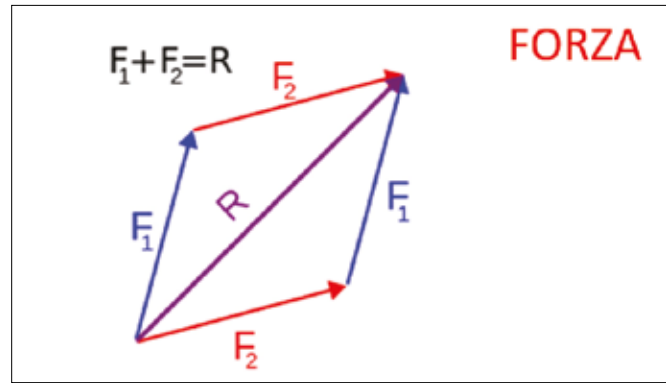
Queste operazioni richiedono per l'analisi avanzata dei movimenti, la disponibilità delle scansioni delle arcate dentali e di una Cone Beam o di una RNM del cranio qualora non si disponga di un arco facciale digitale per l'allineamento di tutte le mesh prodotte.

 Perché alcune terapie hanno **successo** ed altre condotte in condizioni apparentemente simili esitano in un **fallimento**

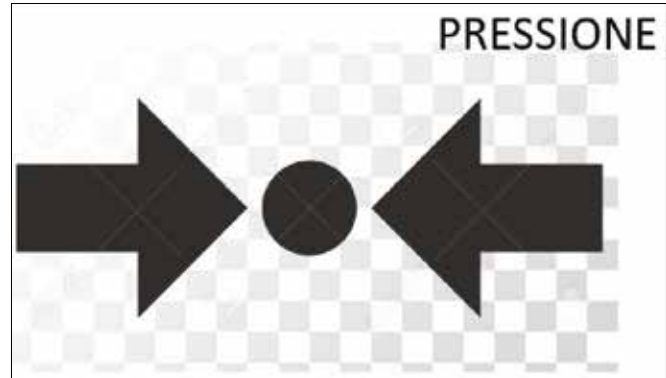
Forza $1\text{ N} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$

Pressione $p = \frac{F_{\perp}}{S}$

Lavoro $J = \text{Nm} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$

Figg. da 30a a 30d Forze, superfici e pressione di esercizio



a - La mappatura e scansione delle arcate dentali

Tra gli obiettivi dell'analisi funzionale dell'organo masticatorio, oltre lo studio delle traiettorie e quindi degli schemi motori impiegati, c'è certamente la misura delle forze che vengono applicate direttamente o indirettamente sui denti. Tale analisi si avvale di numerosi strumenti che permettono di misurare le forze direttamente (dinamometri digitali), di misurarne l'effettiva pressione d'esercizio funzionale e gli effetti che le forze determinano sulla struttura mediante l'osservazione diretta (faccette d'usura) o ad esempio mediante la Cone Beam o la RNM o l'ecografia muscolo scheletrica (morfologia e volume delle strutture dure e molli e relativi danni o adattamenti).

Nel corso della prima visita, disponendo di uno scanner intra-orale a

colori è possibile simulare la fase finale di un ciclo masticatorio chiedendo al paziente di masticare come d'abitudine due marker occlusali di 13 micron di spessore. Al termine di questa operazione viene eseguita una scansione delle arcate dentali e una foto del bolo artificiale ottenuto.

I dati così ottenuti forniscono, unitamente al video e ai dati anamnestici riferiti dal paziente riguardo la masticazione, informazioni sul sottostante strutturale responsabile dei sintomi eventualmente lamentati dal paziente e dei segni di patologia osservati dall'odontoiatra. Prerogativa dell'analisi strutturale e funzionale digitale dell'organo masticatorio è la progressiva confluenza dei dati sino a consentire la definizione della natura dei problemi e le possibili soluzioni.

3. Il simulatore digitale dell'organo masticatorio

a - La quotidianità

Per simulatore si intende un modello della realtà che consente di valutare e prevedere lo svolgersi dinamico di una serie di eventi o processi susseguenti all'imposizione di certe condizioni da parte dell'analista o dell'utente. Lontano dalla nostra quotidianità? Niente affatto; è ciò che facciamo quando ad esempio eseguiamo un set-up ortodontico inserendo delle limitazioni nelle rotazioni e traslazioni (derivate da informazioni fornite da un sistema esperto su base statistica) che i denti subiranno a seguito dell'utilizzo di allineatore ortodontico. La modellazione e simulazione physics based del corpo umano è un fenomeno trasversale che riguarda la medicina e la chirurgia in generale e certamente l'odontoiatria in particolare, che da sempre utilizza simulatori prima analogici e poi digitali via via più complessi dell'organo masticatorio. In odontoiatria la simulazione (ad esempio il set-up ortodontico, la ceratura diagnostica) è una pratica quotidiana ampiamente consolidata.

b - La modellazione e simulazione physics based

La modellazione e simulazione physics based si basa sull'impiego di tecnologie adatte a modellare, analizzare e replicare nel mondo virtuale il comportamento fisico di oggetti e persone reali, simulando fenomeni quali il movimento e la deformazione. L'analisi del movimento, della dinamica di catene cinematiche, il metodo degli elementi finiti per lo studio delle deformazioni e delle sollecitazioni danno vita a sistematiche di analisi articolate e complesse. Definire e replicare struttura prima e movimenti del corpo umano poi, sono solo i primi due passi di un progetto ambizioso che si propone di analizzare le forze che vengono applicate e che descrivono il modo con cui l'uomo interagisce con l'ambiente fisico, psichico ed emozionale che lo circonda e rispetto ad esso si atteggia assumen-

do la propria postura. Lo studio della struttura, del movimento e delle forze applicate porta necessariamente ad affrontare argomenti ancor più complessi come l'efficienza e il bilancio energetico di bio-macchine soggette all'usura da fatica, la "sostituzione" delle parti usurate e il recupero degli schemi motori che le "fanno funzionare" fisiologicamente. Tecniche proprie dell'ingegneria oggi condividono sinergicamente modelli matematici evoluti in spazi un tempo esclusivi della medicina, evidenziando il desiderio di utilizzare tutte le conoscenze sviluppate in secoli di ricerca per iniziare a simulare in modo attendibile la più complessa e stupefacente "macchina" con la quale abbiamo a che fare e cioè il corpo umano.

c - L'odontoiatria digitale

In odontoiatria l'avvento delle moderne tecnologie CAD/CAM ha reso possibile mediante l'impiego di scanner intra-oral di estrema precisione, l'allestimento di un simulatore totalmente digitale dell'organo masticatorio che permette un utile impiego sia da un punto di vista diagnostico che terapeutico delle consolidate tecniche di immagine proprie della radiologia (TAC, Cone Beam, RNM ed Ecografia dinamica). Lo scanner intra-orale ha trasformato l'impronta delle arcate dentali in una vera e propria tecnica di immagine 3D che produce finalmente un oggetto misurabile e spazialmente orientabile con estrema precisione della dentatura umana.

Se l'uso delle tecniche di immagine consente di orientare correttamente nello spazio l'organo masticatorio, l'uso dello scanner intra-orale rende possibile acquisire un'immagine tridimensionale che a sua volta permette di capire come i denti, in virtù di numero, forma, volume, orientamento e posizione, determinano non solo la "qualità" delle forze applicate ma i pattern di deformazione dei muscoli che contraindendosi generano tali forze.

La modellazione e simulazione physics-based dell'organo masticatorio probabilmente più che per qualunque altro distretto dell'apparato muscolo-scheletrico, gode

della possibilità di impiegare tecnologie innovative a "misura d'uomo" totalmente pc-based, che permettono di portare la ricerca nella pratica clinica e l'integrazione dei dati ottenuti con molteplici tecniche di misura (es. dinamometri digitali). Ciò è particolarmente vero per l'ecografia dinamica e l'analisi dei pattern di deformazione dei muscoli della testa e del collo.

d - Il simulatore digitale dell'organo masticatorio

Per simulatore digitale di un organo o di un apparato intendiamo la rappresentazione tridimensionale delle parti dure e molli che lo compongono.

Nel caso specifico per simulatore digitale dell'organo masticatorio indichiamo l'"avatar" tridimensionale del paziente ottenuto con varie tecniche che permettono di trasformare in una serie di mesh la superficie della cute, i muscoli della testa e del collo, il cranio, i denti e le articolazioni temporo-mandibolari, i vasi del collo, ed il loro allineamento all'interno di uno spazio tridimensionale misurabile.

Tale simulatore può essere studiato sia da un punto di vista strutturale statico che dinamico animando una o più parti che lo compongono impiegando la tecnica MOCAP (Motion CAPture) che consente di registrare e riprodurre gli schemi motori impiegati dal paziente esaminato mentre mastica un alimento, deglutisce o parla.

L'allestimento di un simulatore dinamico ha lo scopo fondamentale di esaminare sia da un punto di vista diagnostico che per ragioni terapeutiche, l'organo masticatorio in quanto bio-macchina in grado di eseguire movimenti, applicare forze e svolgere un lavoro specifico.

Per quanto riguarda la diagnosi, l'obiettivo di questo processo è stabilire se e per quali motivi il lavoro svolto dall'organo masticatorio è sostenibile per la struttura o causa di danni acuti e/o di usura da fatica alle parti che la compongono.

Per quanto riguarda la terapia l'obiettivo è quello di progettare e costruire dispositivi medici su misura che sostituiscano le parti usurate o



Fig. 31 Scalare, allineare, misurare e simulare

Fig. 32 Allestimento di un simulatore digitale



assenti rendendo successivamente possibile l'impiego di schemi motori fisiologici da parte del paziente sia per la natura delle strutture realizzate, sia grazie alle attività ri-educative praticate nel corso della terapia quale parte integrante di essa (Rieducazione Funzionale e Comportamentale dell'Organo masticatorio, R.F.C.O.).

Questo, in altri termini, ha per obiettivo costruire dispositivi medici su misura per indurre la riacquisizione da parte del paziente di movimenti specifici ed individuali (schemi motori fisiologici) e non registrare movimenti per produrre strutture. A questo servono, a parere nostro, i simulatori digitali.

Tale processo analitico prevede una serie di operazioni che indichiamo nel seguente breve e incompleto elenco per ragioni di spazio.

- Analizzare per via diretta o indiretta la quantità e la qualità delle forze che vengono generate nel corso delle funzioni che competono all'organo masticatorio (mappatura delle arcate dentali, dinamometri digitali, ecografia dinamica ed analisi dello strain, anamnesi ed esame clinico).

- Analizzare il sistema di vincoli di movimento che contribuisce a determinare le traiettorie individuali eseguite dalla mandibola in un ciclo masticatorio (esame clinico ed analisi strutturale).

- Analizzare il sistema di dissipazione delle forze che vengono applicate (analisi strutturale).

- Analizzare gli schemi motori appresi dal paziente (R.F.C.O.).

- Analizzare lo sforzo richiesto dai muscoli della testa e del collo per eseguire un compito specifico in un contesto specifico (ecografia dinamica ed analisi dello strain).

- Simulare l'effetto sui tessuti molli prodotto da interventi di varia natura (protesi, ortodonzia, chirurgia ortognatica) sulle parti dure.

Concludiamo questa breve presentazione con alcune considerazioni riguardo la natura del simulatore digitale come l'allineamento di mesh, il Motion Capture, l'Ecografia dinamica ed analisi dello strain dei muscoli masticatori e l'analisi dei fattori di influenza che determinano l'aspetto del volto umano.

1) Allineamento di mesh e misura

Uno dei vantaggi sostanziali della simulazione digitale consiste nell'allineare tra di loro rappresentazioni dell'organo masticatorio ottenute con strumenti differenti come lo scanner intra-orale, lo smartphone, la Cone Beam o la RMN.

La possibilità di allineare tra loro ed orientare mesh di varia natura permette di programmare terapie di comune pratica come l'implantologia guidata, la chirurgia ortognatica ed impianto ortognatica strumentalmente assistita.

La possibilità di orientare nello spazio il volto umano e di conseguenza le parti che lo compongono consente di analizzare qualitativamente e quantitativamente il sistema vincolare che contribuisce a regolare i movimenti compiuti dalla mandibola nel corso delle attività funzionali. Orientare correttamente l'organo masticatorio nello spazio ha delle implicazioni dirette come stabilire le reali possibilità di una terapia ortodontica condotta mediante allineatori o progettare una protesi adeguata da un punto di vista sia estetico che funzionale.

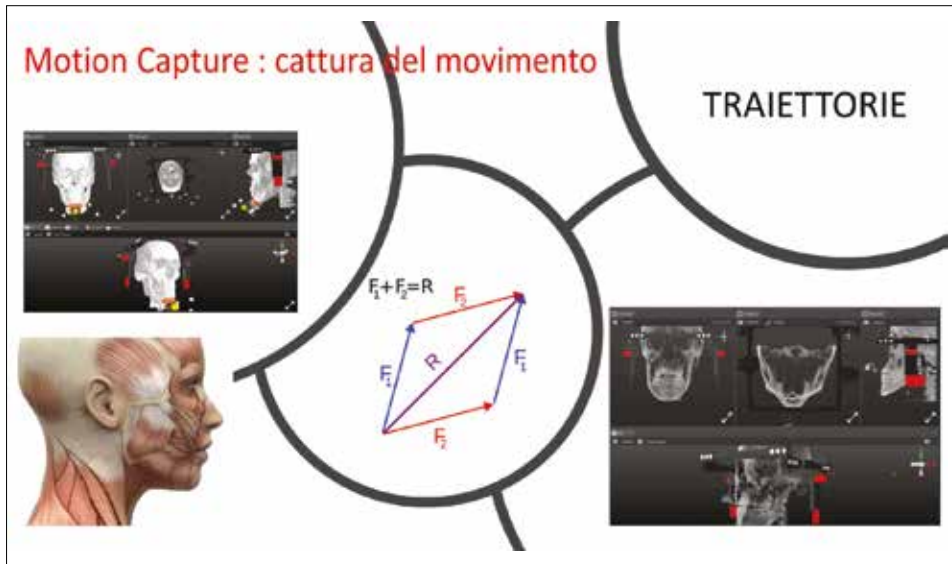


Fig. 33 Motion capture: registrazione dei movimenti



Fig. 34 Ecografia dinamica ed analisi dello strain dei muscoli della testa e del collo

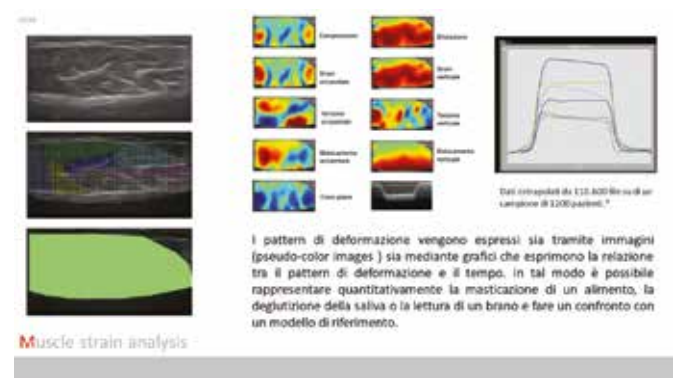


Fig. 35 Analisi dello strain: i pattern di deformazione

2) Il Motion Capture

Il Motion Capture (conosciuto con l'abbreviazione MOCAP, in italiano cattura del movimento) consiste nella registrazione del movimento del corpo umano eseguita per effettuare una analisi immediata o differita nel tempo grazie alla sua riproduzione.

Il dispositivo base per l'acquisizione del movimento è costituito da un sistema fotogrammetrico ovvero un sistema di più telecamere che sono anche emettitrici di luce (che può essere rossa, infrarossa o near-infrared) e di marcatori (piccole sfere di materiale riflettente).

Tali sistemi permettono la registrazione ad esempio di un ciclo masticatorio che può essere frammentato ed analizzato per unità masticatorie

che vengono esaminate rispetto ad un modello fisiologico di riferimento.

I movimenti catturati vengono utilizzati per animare il simulatore digitale dell'organo masticatorio e fornire quindi un'analisi qualitativa e quantitativa delle traiettorie eseguite dalla mandibola.

3) Ecografia dinamica ed analisi dello strain dei muscoli masticatori

La registrazione dei movimenti (MOCAP) compiuti dalla mandibola può essere integrata e sincronizzata con la registrazione della attività dei muscoli masticatori e più in generale dei muscoli della testa e del collo impiegando una doppia sonda ecografica. Il video ecografico viene poi processato utilizzando una tecnica

di analisi specifica (strain analysis) che permette di misurare lo sforzo richiesto per esempio ai muscoli masseteri per eseguire un compito specifico, come ad esempio masticare una carota, in un contesto reso specifico dalle caratteristiche complessive della dentatura del paziente (presenza di protesi, impianti, dentatura usurata).

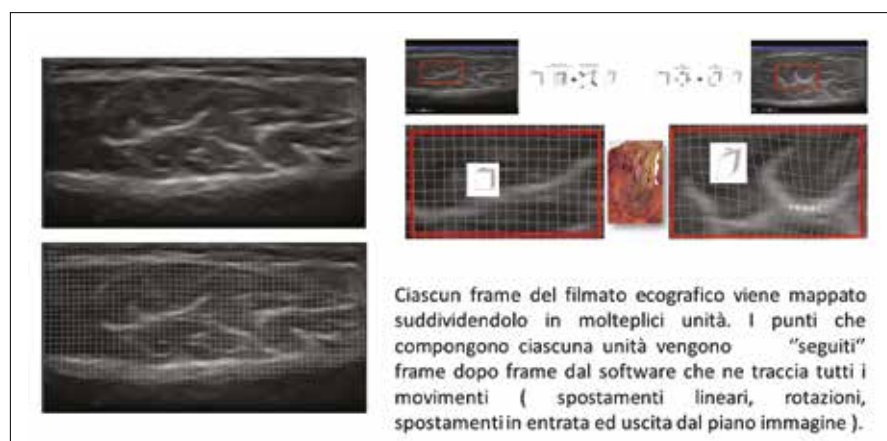


Fig. 36 Analisi dell'immagine ed ecografia multi frequenza ad alta risoluzione

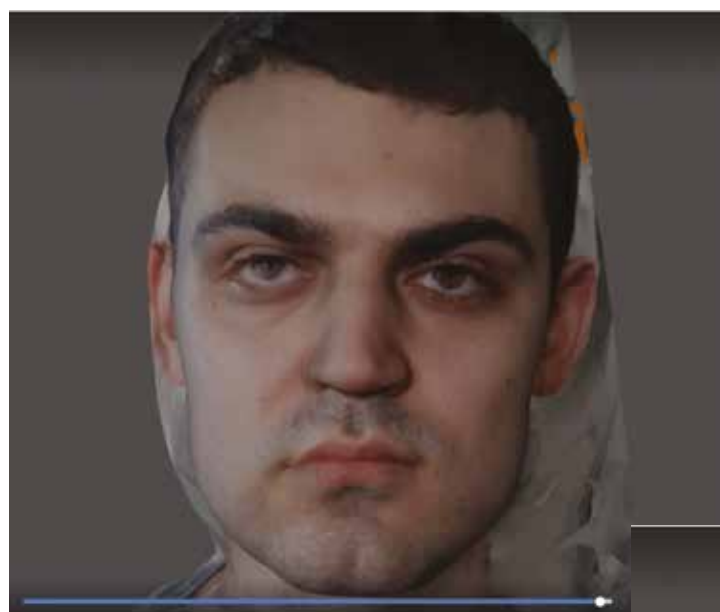


Fig. 37 3D rendering: occlusione abituale

Fig. 38 3D rendering: simulazione del movimento di medio trusione in base a dati statici (scansioni arcate dentali) e dinamici (MOCAP, Cone Beam)



4) Chirurgia ortognatica e fattori di influenza

Analisi e oggettivazione del risultato estetico determinato da una terapia odontoiatrica che modifichi in modo significativo il terzo medio del volto costituisce certamente

una sfida importante. Se ciò è particolarmente vero per la chirurgia ortognatica e impianto ortognatica anche terapie ortodontiche e protesiche di un certo rilievo possono porre lo stesso problema. Per fattori di influenza si intendono tutte quelle strutture che per volume,

orientamento e posizione possono condizionare l'aspetto del volto. I simulatori digitali avanzati consentono di definire in funzione dell'esperienza dell'operatore e delle caratteristiche dei tessuti del paziente il peso che questi fattori di influenza hanno sull'aspetto del volto.

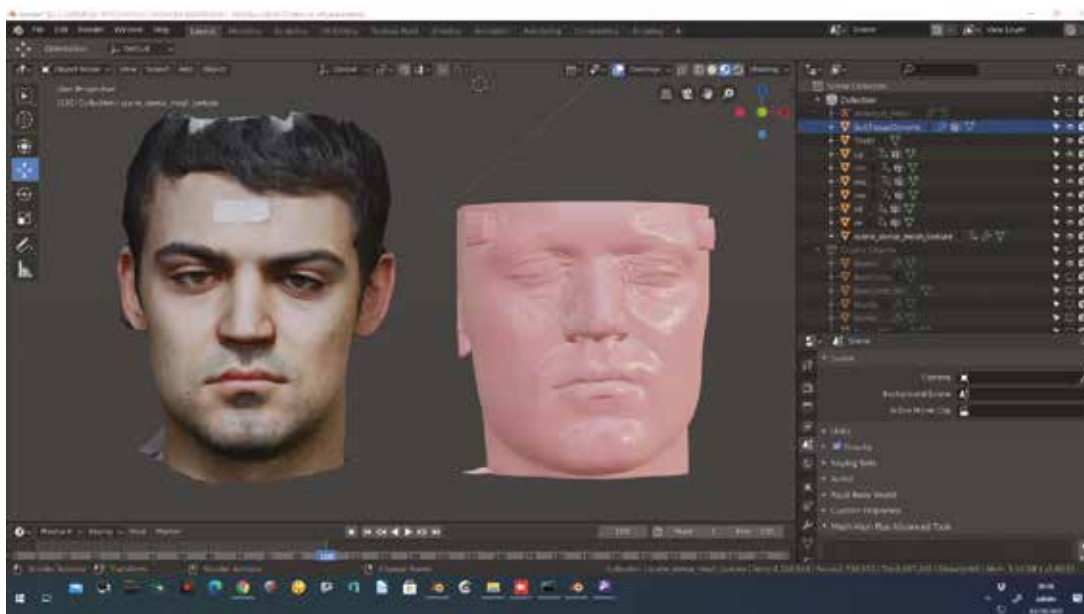


Fig. 39 Fotogrammetria MOCAP/ Cone Beam: occlusione abituale

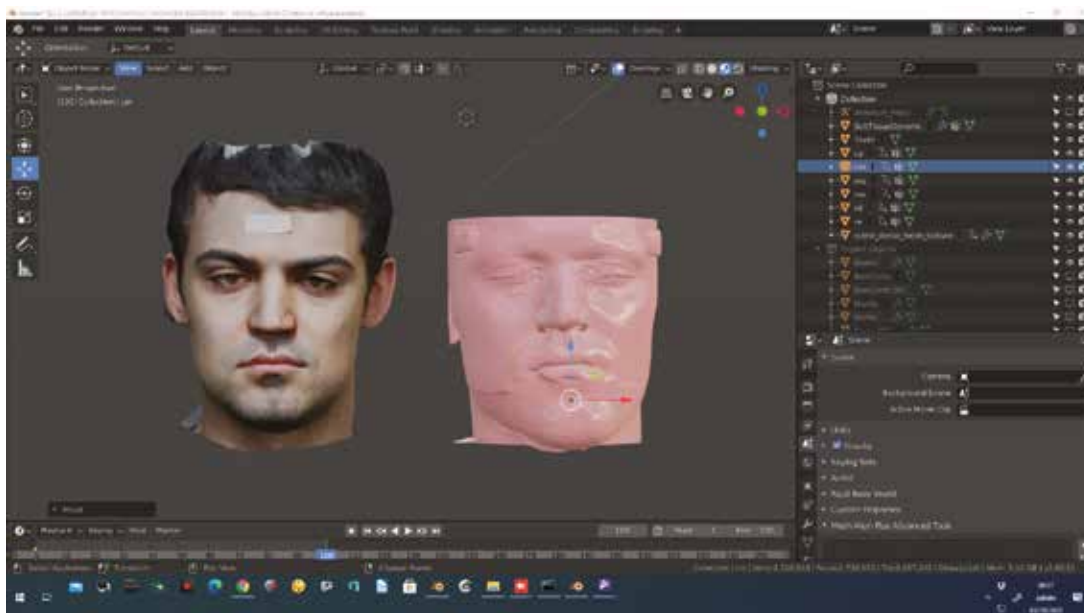


Fig. 40 Fotogrammetria MOCAP/Cone Beam (medio trusione)

Conclusioni

La Digital Health con tecniche e tecnologie pc-based innovative e integrate, consente un approccio sistematico alla diagnosi e terapia delle disfunzioni dell'organo masticatorio.

In particolare le tecnologie digitali rendono agevole l'allestimento di simulatori complessi e sofisticati dell'organo masticatorio che consentono di esaminarlo in quanto bio-macchina e cioè organo adatto ad eseguire movimenti complessi

applicando forze allo scopo di produrre attività utili come masticare, deglutire e parlare.

L'aspetto più interessante di tali tecnologie consiste nell'eseguire con precisione un'analisi strutturale e funzionale che abbia la capacità di definire e analizzare da un punto di vista qualitativo e quantitativo le forze che vengono generate dall'attività funzionale (masticazione, deglutizione, fonazione), e para-funzionale dell'organo masticatorio e soprattutto indicarne il sottostante causale riferibile sia alla struttura

(ossa, denti, articolazioni, lingua e muscoli) sia agli schemi motori impiegati (R.F.C.O.).

Ciò ci offre la possibilità di disegnare (CAD) e realizzare (CAM) dispositivi medici su misura (protesi, allineatori ortodontici) che consentano unitamente ad una attività rieducativa e riabilitativa (R.F.C.O.) il recupero di schemi motori fisiologici che consentano all'organo masticatorio di funzionare come una macchina efficiente in grado di durare nel tempo.