

Modelli 3D digitali e ortodonzia assistita da computer



Fabio Mandolesi

Responsabile servizi di ingegneria



Gianni Duranti

Tecnico ortodontista



Roberto Raffaelli

Ingegnere meccanico
Università Politecnica delle Marche
Dipartimento di Meccanica
Dottorato di Ricerca
in Ingegneria Meccanica

INTRODUZIONE

Le tecnologie di Time Compression stanno trovando sempre più ampia applicazione in settori non prettamente industriali. Il campo medicale, e più in particolare odontoiatrico, è uno degli ambiti più interessanti. Nella progettazione e costruzione di protesi ortodontiche vi sono fasi in cui l'applicazione di tecniche di reverse engineering e di prototipazione rapida possono dare benefici sia in termini di qualità del manufatto finale sia in termini di tempi di realizzazione. Da qualche tempo si stanno studiando nuovi sistemi per il supporto del lavoro degli operatori, ma ancora oggi vi è una scarsa penetrazione delle tecnologie nella gran parte degli studi dentistici. Il presente lavoro affronta il problema, individuando i maggiori aspetti critici delle diverse attività del settore dei dispositivi ortodontici, proponendo una soluzione tecnica a basso costo e di facile utilizzo che supporti in modo efficace l'odontoiatra.

La progettazione e la realizzazione di dispositivi ortodontici correttivi sono basate ancora oggi su un approccio di tipo tradizionale. Nella maggior parte dei laboratori di piccole e medie dimensioni, dove gli investimenti sono necessariamente limitati, ci si basa su tecniche consolidate e sul lavoro manuale degli operatori, trascurando la pos-

sibilità di utilizzare tecnologie nuove, per le quali i tempi sono ormai maturi. La difficoltà nell'introduzione di sistemi innovativi è dovuta ad una serie di fattori, tra i quali: scarsa conoscenza delle potenzialità di applicazione, scarsa preparazione degli operatori nell'uso di sistemi informatizzati, costo elevato delle tecnologie dedicate presenti sul mercato, poca confidenza con tutto ciò che modifica la consuetudine.

Nell'ottica di una qualità totale, anche in questo settore è necessario usufruire delle tecnologie più idonee per il raggiungimento della "customer satisfaction" e sviluppare soluzioni che permettano un loro uso ottimale. L'utilizzo di modelli digitali tridimensionali determina un salto qualitativo di importanza strategica in ambito ortodontico.

Tali modelli consentono di operare virtualmente sul paziente, potendo quindi eseguire analisi diagnostiche con ingrandimento, data la disponibilità di strumenti di visualizzazione che permettono di zoomare il dettaglio. È inoltre consentita l'osservazione del modello sotto qualsivoglia angolazione, effettuare la rotazione relativa delle arcate dentali per verificare la cinematica mandibolare e valutare in definitiva, attraverso visualizzazioni in semitrasparenza, l'occlusione dentale.

È garantita la possibilità di effettuare sui modelli verifiche dimensionali in tutta semplicità senza più

il problema di utilizzare strumenti di misura tradizionali che male si adattano alla morfologia da esaminare e di determinare con accuratezza l'indice di Bolton.

È inoltre possibile di mantenere visualizzate o meno sul modello, e quindi archivarle, le quote dimensionali significative unite ad eventuali annotazioni nonché allegare al modello digitale la scheda personale del paziente, il tutto gestito attraverso un ODDB (Orthodontic Digital Data Base) che consente di recuperare velocemente il caso da esaminare gestendo in maniera intelligente la mole di dati che rapidamente viene a crearsi, permettendo di sfogliare anteprime di quanto archiviato. Inoltre, attraverso la manipolazione dei modelli 3D digitali acquisiti, è possibile fornire il modello del setup.

In tale contesto il nostro centro di ricerca e sviluppo si è posto l'obiettivo di sviluppare un sistema di ausilio alla progettazione di dispositivi ortodontici che sia rapido, facile da utilizzare, di basso costo ed affidabile in termini di risultati finali. Con queste caratteristiche si potranno superare le diffidenze degli operatori e migliorare il servizio da loro offerto ai pazienti.

Il sistema vuole integrare una serie di tecnologie che vanno dalla reverse engineering, tecnica attraverso la quale è possibile acquisire informazioni tridimensionali con le quali costruire un modello virtuale digitale dell'apparato o altro in esame, all'elaborazione CAD con la quale manipolare e progettare parti, apparati e quant'altro riferito all'oggetto del modello digitalizzato, per arrivare poi alla prototipazione rapida, tecnologia che ci consente in tempi brevissimi di ottenere modelli fisici tridimensionali di quanto elaborato e studiato al CAD.

Il lavoro descrive come tali tecnologie possono essere utilizzate, se strutturate all'interno di un sistema integrato, per risolvere le problematiche più diffuse nel lavoro giornaliero di un laboratorio ortodontico ma anche odontotecnico. Nel caso specifico vogliamo illustrare uno degli ambiti di applicazione, che è stato elaborato nell'ottica precedentemente descritta concludendo con il riassunto delle ulteriori applicazioni e delle prospettive di possibili sviluppi. Il caso qui descritto riguarda la messa in opera ed il posizionamento dei bracket. La tendenza sempre più diffusa di posizionare i bracket nella parte linguale, rispetto alla tradizio-

nale vestibolare, pone serie difficoltà nel corretto posizionamento degli stessi, che si superano brillantemente ricorrendo ad un sistema di maschere di trasferimento. Si tratta di una soluzione innovativa per la realizzazione di queste maschere di montaggio che vengono determinate con l'ausilio di un sistema CAD dedicato "CADental", software che è in progressiva fase di implementamento di moduli aggiuntivi. Esso, nella sua attuale configurazione e per il caso in descrizione, permette di effettuare una serie di operazioni e simulazioni che portano ad una rapida definizione dell'apparecchio e ad una verifica del risultato ottenuto per evitare errori ed iterazioni del processo. Tale sistema è stato concepito per interagire sia con i sistemi di acquisizione delle forme (utilizzati per la traduzione dei calchi in modelli digitali) sia con i sistemi di prototipazione rapida (usati per la generazione di prototipi). Il sistema, basato sul kernel geometrico di un software CAD commerciale, pone particolare attenzione alla fruibilità da parte di utenti non esperti di sistemi di modellazione CAD tridimensionale attraverso l'automazione di gran parte delle funzionalità e tramite un'interfaccia utente basata su entità semanticamente legate alle modalità di intervento degli operatori. Il lavoro illustra il processo messo a punto e l'operatività attraverso il software CADental.

Il nostro obiettivo è la definizione di un metodo e la realizzazione del relativo sistema per progettare una maschera di trasferimento di tipo modulare, che verrà realizzata direttamente attraverso il processo di prototipazione rapida.

METODO PROPOSTO PER LA PROGETTAZIONE DEL DISPOSITIVO

Il processo si compone di un insieme di fasi che vengono svolte in sequenza (fig. 1). La prima fase è la preparazione di un calco in gesso che successivamente viene acquisito con un sistema di rilievo tridimensionale con specifiche di precisione da noi definite in base a una serie di ricerche e prove eseguite direttamente sui calchi.

La scansione viene effettuata utilizzando un'attrezzatura progettata appositamente per risolvere gli esistenti problemi di acquisizione dei dati relativi alle più disparate conformazioni delle arcate den-



Fig. 1

Processo di progettazione della maschera di posizionamento dei bracket.

tali. Ne deriva un modello digitalizzato che viene descritto attraverso una nuvola di punti tradotta poi in una superficie poliedrica di opportune caratteristiche di precisione e dettaglio, definite nella fase sperimentale. Il modello viene archiviato in formato dati .STL e viene importato direttamente nel sistema software sviluppato CADental (fig. 1). Esso permette la scelta dei bracket da librerie preimpostate e il posizionamento corretto sulle arcate effettuando le dovute misurazioni. Si passa poi alla creazione della geometria della mascherina, che viene suddivisa opportunamente in base a considerazioni legate all'estrazione della stessa. La maschera viene archiviata in formato STL e processata attraverso il software di gestione della macchina di prototipazione rapida, che è stata opportunamente scelta in base alle specifiche necessità. Il materiale usato è un AcriloneButadieneStirene di tipo medico che può subire trattamenti di sterilizzazione e che in definitiva dà anche la possibilità di applicare i modelli costruiti direttamente sul paziente.

Il sistema CADental si basa su un kernel di modellazione geometrica di un CAD tridimensionale commercialmente opportunamente modificato e adattato allo scopo. La figura 2 mostra l'interfaccia utente del sistema. Si tratta di un ambiente CAD che è stato personalizzato lasciando disponibili solo i comandi necessari alle operazioni di archiviazione dei file e alle operazioni di visualizzazione tridimensionale nonché una serie di comandi appositamente costruiti per intervenire sul modello e per progettare le mascherine.

Vi sono inoltre comandi per la visualizzazione in

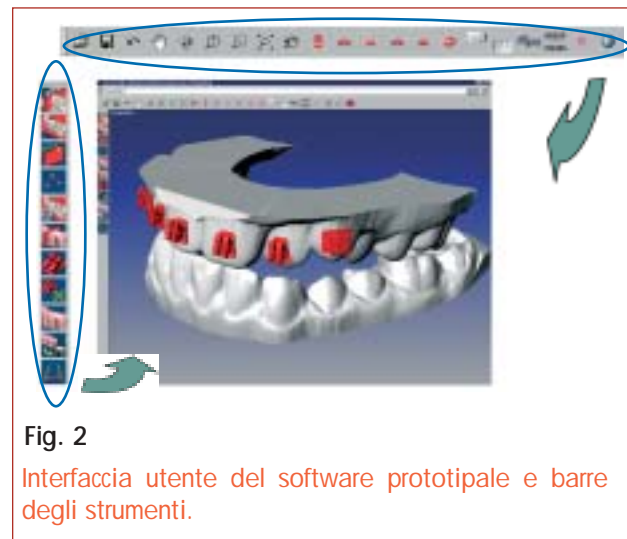


Fig. 2

Interfaccia utente del software prototipale e barre degli strumenti.

trasparenza, per alternare la vista fra le due arcate, per nascondere selettivamente gli elementi, per fare misurazioni e porre annotazioni. Vengono quindi aggiunte le icone atte a richiamare le funzionalità specifiche del software. La potenza di un modellatore 3D si accompagna ad un utilizzo semplice ed intuitivo.

Lo schema riportato nella figura 2 descrive le operazioni che l'odontoiatra può svolgere utilizzando il sistema, dal posizionamento dei bracket fino alla definizione della geometria delle mascherine di trasferimento.

DESCRIZIONE DEL SISTEMA SOFTWARE CADENTAL

Di seguito vengono descritte le operazioni fondamentali svolte dal software per generazione delle mascherine di montaggio.

- Visualizzazione e analisi scansione 3D: la scansione tridimensionale del calco della dentatura produce un modello digitale costituito da una superficie rappresentata da facce triangolari, nota come rappresentazione tramite superficie poliedrica o mesh. Il sistema sviluppato permette l'importazione di tale modello e la sua visualizzazione tridimensionale in varie modalità (ombreggiata, in trasparenza, in assonometria e in prospettiva). Gli strumenti di zoom, rotazione e panoramica permettono all'operatore di visualizzare il modello da diverse angolazioni e ingrandimenti agevolando l'operazione di analisi del modello. La visione in semitrasparenza

Visualizzazione e analisi della dentatura

Suddivisione del modello

Posizionamento dei bracket

Creazione della mascherina

Analisi di estrazione e suddivisione mascherina

Fig. 3

Fasi della modellazione dell'apparato correttivo.



Fig. 4

Scelta e posizionamento dei bracket.



Fig. 5

Strumento per l'ottimizzazione del posizionamento dei bracket.

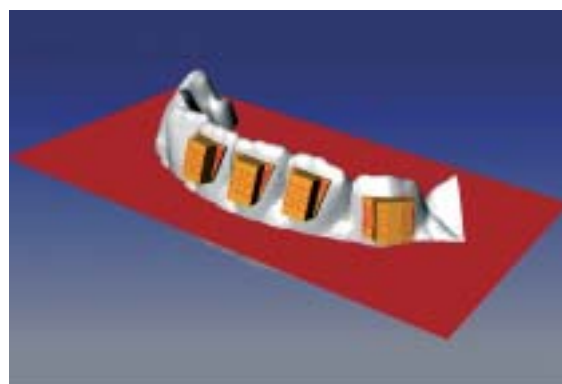


Fig. 6

Alloggiamenti (color oro) per il trattenimento dei bracket.

permette inoltre di apprezzare la qualità dell'occlusione (fig. 3).

- Suddivisione del modello.
- Posizionamento dei bracket: i bracket sono modellati tridimensionalmente nelle diverse forme

disponibili in commercio e archiviati in una libreria suddivisi per produttori e modelli. La funzionalità di posizionamento del bracket prevede la scelta di un bracket da tale cartella e l'inserimento della geometria sulla dentatura. Il posi-

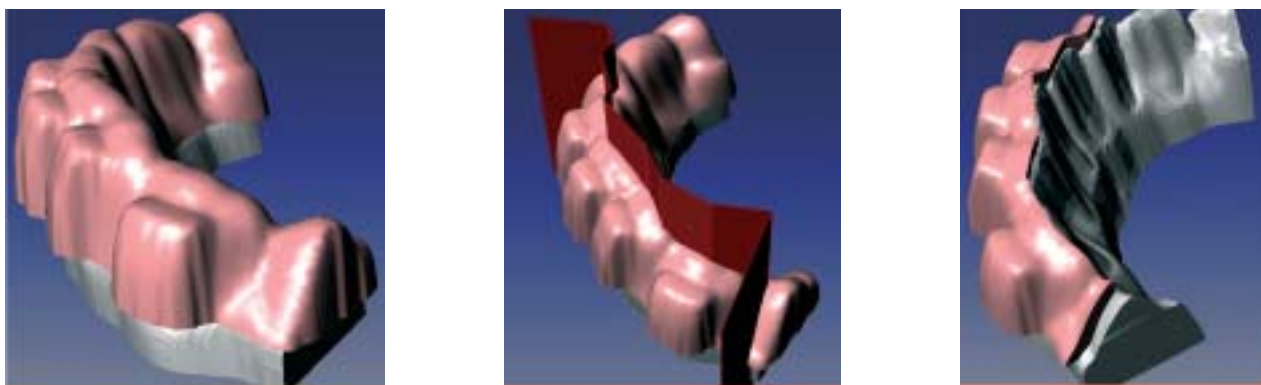


Fig. 7

Taglio di porzione utile della mascherina.



Fig. 8

Mascherine di posizionamento dei bracket e modello della dentatura.



Fig. 9

Fasi di posizionamento dei bracket tramite mascherina.

zionamento avviene in maniera guidata. Mentre si scorre con il puntatore del mouse sopra la dentatura, il bracket si adagia sul dente posizionandosi automaticamente secondo la normale alla superficie del dente. Il posizionamento è

quindi semplice e veloce. L'utente ha a disposizione uno strumento per aggiustare la posizione raggiunta. Il sistema riconosce l'orientamento spaziale del bracket e ne permette la traslazione parallelamente o lungo l'asse normale alla

dentatura, la rotazione intorno a tale asse o rispetto ai due assi tangenti la dentatura (figg. 4 e 5). Lo scopo di tale strumento è di permettere il corretto posizionamento in base ai punti anatomici del dente e a considerazioni dell'odontoiatra sull'azione che il bracket eserciterà sul dente. È possibile calcolare le azioni dell'archetto metallico in termini di intensità, direzione e modulo. Per un posizionamento più preciso il sistema fornisce l'esatta distanza fra il centro del bracket e la sommità del dente, una volta che questa sia stata individuata tramite l'apposita funzione. Da non trascurare la possibilità di avvicinare o allontanare il bracket dal dente in modo da lasciare il corretto spessore che verrà poi riempito dal collante.

- Creazione della mascherina: viene posto uno spessore sopra la dentatura dotato di appositi alloggiamenti per i bracket. L'operazione descritta è completamente automatica e richiede solamente la definizione di un piano che delimiti la mascherina dal lato gengivale (fig. 6).
- Analisi di estrazione e suddivisione della mascherina: a questo punto la mascherina va delimitata per facilitare la sua estrazione una volta che i bracket abbiano fatto presa sui denti, liberandola della parte non necessaria come mostrato nella figura 7.
- Utilizzo delle mascherine: le mascherine definite attraverso CADental possono essere inviate alla macchina di prototipazione rapida dopo l'elaborazione attraverso l'apposito software. Nella figura 8 si può vedere un modellino della dentatura realizzato in prototipazione e tre mascherine per posizionare i bracket. Per il posizionamento dei bracket nella bocca del paziente basta inserirli nelle mascherine, depositare una quantità sufficiente di collante e spingere il tutto contro i denti assicurandosi del giusto posizionamento (fig. 9). Raggiunta la polimerizzazione del collante la mascherina può essere estratta.

CONCLUSIONI

Il metodo proposto e il sistema sviluppato hanno evidenziato una serie di vantaggi rispetto alla tecnica tradizionale. La sostituzione di procedure manuali con un sistema virtuale riduce in gran parte

gli errori sistematici.

Il sistema, generando dati digitali, consente facilmente di creare un database significativo di casi clinici e di scambiare i dati attraverso il web, ad esempio fra studio dentistico e laboratorio ortodontico.

Da non trascurare la possibilità data sia al dentista che all'odontotecnico di progettare il dispositivo ortodontico in collaborazione diretta.

Essendo basato sulla semplicità d'uso, il sistema consente una rapida operatività, anche a persone che non abbiano una cultura informatica avanzata. Alla luce dei risultati ottenuti con il benchmark operativo illustrato con il presente lavoro si sono intrapresi gli sviluppi di nuovi moduli quali:

- setup;
- dime per impianti.

Tali moduli potranno essere estesi ad altri ambiti applicativi, in particolare al settore della progettazione di protesi implantologiche e in caso di problematiche di simulazione della masticazione e della cinematica mandibolare.

L'integrazione del sistema consente di accedere con particolare agilità a simulazioni agli Elementi Finiti, che siamo in grado di eseguire nella maggior parte delle applicazioni di tipo medicale.

Il modello tridimensionale acquisito, unito alla progettazione delle parti di impianto, possono essere messi in relazione e analizzati attraverso una simulazione dei carichi ricorrendo al Metodo degli Elementi Finiti.

Il tutto consente di ottimizzare il funzionamento dell'impianto o di quant'altro sia sottoposto a carichi di elevata intensità, prevenendo quindi cedimenti di particolare gravità e garantendo una migliore qualità del prodotto finale.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Zilberman O, Huggare JA, Parikakis KA. Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *Angle Orthod* 2003 Jun;73(3):301-6.
- 2) Wiechmann D, Thalheim A. Lingual orthodontics as the first choice. *Journal Lingual Orthodontics* 2002;4:92-9.
- 3) Fillion D. Orthodontie linguale: systèmes des positionnement des attaches au laboratoire. *Orthodontie Francaise* 1989;60:695-704.
- 4) Redmond R. The cutting edge. *Journal Clinical Orthodontics* 2004;38(2).
- 5) Fortini A, Lupoli M. Step: optimizing well-known technique. *Ortho News* Vol. 1, 2001.
- 6) Wiechmann D, Rummel V, Thalheim A, Simon JS, Wiechmann L. Customized brackets and archwires for lingual orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003 Nov;124(5):593-9.

Indirizzo autore: structura@interbusiness.it