

Sistema per l’ausilio alla progettazione semi-automatica di dispositivi ortodontici

Andrea Gatto
Università di Modena e Reggio
Emilia

Michele Germani
Università Politecnica delle
Marche

Fabio Mandolesi
Structura s.r.l.

Roberto Raffaelli
Structura s.r.l./Università
Politecnica delle Marche

SOMMARIO

Le tecnologie di Time Compression stanno trovando sempre di più ampia applicazione in settori non prettamente industriali. Il campo medicale, e più in particolare quello 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 che in termini di tempi di realizzazione. Da tempo si stanno studiando nuovi sistemi per il supporto del lavoro degli operatori, però ancora oggi vi è una scarsa penetrazione delle tecnologie nella gran parte degli studi dentistici. In questo contesto il presente lavoro affronta il problema, individuando le maggiori criticità delle diverse attività previste nel settore dei dispositivi ortodontici,

**“La Reverse Engineering: potenzialità e applicazioni”
Modena, 25 maggio 2004**

proponendo una soluzione tecnica a basso costo e facile da usare che supporti l'odontoiatra in modo efficace.

PAROLE CHIAVE

CAD dedicato;
Computer Aided Implantology;
Integrazione RE/CAD/RP;
Dispositivi ortodontici;

INTRODUZIONE

La progettazione e realizzazione di dispositivi ortodontici correttivi è basata ancora oggi su un approccio di tipo “artigianale”. Nella maggior parte dei laboratori odontotecnici 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 possibilità di utilizzare tecnologie nuove. La difficoltà nell'introduzione di sistemi innovativi è dovuta ad una serie di fattori, i principali sono: scarsa preparazione degli operatori nell'uso di sistemi software complessi, costo elevato delle tecnologie dedicate presenti sul mercato, poca confidenza con tutto ciò che produce cambiamenti nel modo di agire.

Questo comporta che il processo sia ancora soggetto ad errori e quindi a ritardi nella consegna del prodotto, che si vengono a ripercuotere sul cliente finale.

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.

In tale contesto il lavoro proposto si pone 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 potrà riuscire a superare le diffidenze degli operatori e migliorare il servizio che loro offrono ai clienti finali.

Il sistema vuole integrare una serie di tecnologie che vanno dal Reverse Engineering, all’elaborazione CAD, fino alla prototipazione rapida.

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 odontotecnico per la messa in opera ed il posizionamento degli elementi costituenti il dispositivo quali brackets e fili metallici.

La tendenza sempre più diffusa di posizionare i brackets nella parte linguale, rispetto alla tradizionale vestibolare, pone maggiori difficoltà per il corretto posizionamento, che si superano parzialmente ricorrendo a maschere di trasferimento da un modello fisico esterno al paziente. L’articolo 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**) che è in corso di sviluppo presso l’unità di ricerca situato in Structura. Esso permette di effettuare una serie di operazioni e simulazioni che portano ad una rapida

**“La Reverse Engineering: potenzialità e applicazioni”
Modena, 25 maggio 2004**

definizione dell'apparecchio e ad una verifica del risultato ottenuto per evitare errori ed iterazioni del processo. Tale sistema è stato concepito per interfacciarsi sia con i sistemi di acquisizione delle forme (utilizzati per la traduzione dei calchi in modelli digitali) che con i sistemi di prototipazione rapida (usati per la generazione di prototipi). Nell'implementazione del sistema, basato sul kernel geometrico di un software CAD commerciale low-cost (Rhino3D), si è tenuta in particolare attenzione l'usabilità da parte di utenti non esperti di sistemi di modellazione CAD tridimensionale attraverso l'automazione di gran parte delle funzionalità ed attraverso un'interfaccia utente basata su entità semanticamente legate alle modalità di intervento degli operatori.

Il lavoro illustra il processo messo a punto ed il software sviluppato in Visual C++. La descrizione di un'applicazione dimostra l'efficacia della soluzione proposta.

**STATO DELL'ARTE DEL PROCESSO DI
REALIZZAZIONE DI DISPOSITIVI ORTODONTICI**

Le maggiori problematiche identificate attraverso un'analisi del lavoro svolto all'interno di un laboratorio odontotecnico sono legate alla scarsa precisione di molti dei processi tradizionali, i quali, spesso, richiedono iterazioni per raggiungere una soluzione ottimale. L'assenza di strumenti semplici di progettazione virtuale del dispositivo ortodontico correttivo e/o della protesi stessa, la mancanza di strumenti e tecnologie, accessibili dal punto di vista dei costi, di simulazione e verifica

rapida dei risultati (ad esempio la simulazione della masticazione una volta impiantata la protesi) obbligano gli operatori a mantenere un *modus operandi* fatto di continue prove e correzioni lavorando su modelli fisici.

In un panorama di questo tipo molti centri di ricerca [1] e molti produttori di sistemi ed apparecchiature ortodontiche stanno studiando metodi e strumenti innovativi e dedicati.

A partire da questo insieme di problematiche si è scelto di verificare come alcune tecnologie low-cost di compressione dei tempi possano essere utilizzate, se inserite in un processo integrato, per aumentare la qualità della protesi/apparato.

In particolare si è definito un benchmark operativo che permettesse di analizzare tutti gli aspetti critici dell'applicazione della reverse engineering e della prototipazione rapida (precisione, risoluzione,), ma che, dall'altra parte, fosse anche un problema circoscritto che potesse essere portato fino alla soluzione finale in tempi ragionevoli. Si è studiato, quindi, e messo a punto, un nuovo processo per la progettazione e realizzazione di dispositivi ortodontici.

Tali dispositivi sono costituiti da placchettine metalliche denominate brackets da incollare sui denti in posizione vestibolare (figura1, sinistra) o in posizione linguale (figura1, destra) [2].



Figura 1: Esempio di dispositivo ortodontico correttivo e relativi brackets (vestibolare, sinistra, linguale, destra).

Su tali brackets viene agganciato un archetto metallico che, deformato a causa della conformazione della dentatura, esercita, attraverso il bracket, su ogni singolo dente un'azione di riallineamento, tendendo ad assumere la sua conformazione geometrica originaria.

La normale prassi di installazione di dispositivi ortodontici prevede la realizzazione di un calco in gesso sul quale si posizionano i brackets fissando le posizioni attraverso una mascherina termoformata. Tale mascherina viene poi utilizzata per trasferire i brackets sul paziente [3].

Nel caso di posizionamento vestibolare si può anche operare direttamente sul paziente attraverso l'uso di strumenti appropriati (altimetri, ...).

Nei due processi appena descritti è molto importante il fattore umano, ossia la qualità del risultato dipende dall'abilità manuale dell'operatore. Inoltre vi è una difficoltà oggettiva nel montaggio dei brackets nelle zone laterali del cavo orale sia nel caso vestibolare che nel caso linguale.

Lo stato dell'arte della ricerca nel settore si sta muovendo verso differenti ambiti: 1) nuovi strumenti di visione che permettano di guidare l'operatore nel posizionamento durante l'intervento [4], 2) strumenti software di progettazione assistita che permettano di definire una maschera di montaggio che può essere realizzata con varie tecniche e materiali più o meno flessibili [5], 3) studio di nuove soluzioni mirate a facilitare l'installazione dei brackets [6].

Il nostro lavoro ha come obiettivo 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 (figura 2). La prima fase è la preparazione di un calco in gesso il quale successivamente viene acquisito con un sistema di rilievo tridimensionale (Roland MDX 15) con risoluzione laterale di 0,05 mm. La scansione viene effettuata utilizzando un'attrezzatura progettata ad hoc per determinare i diversi posizionamenti utili all'eliminazione dei sottosquadra, tali posizioni note sono di riferimento per il matching delle nuvole. Il modello STL generato può essere importato nel sistema software sviluppato.

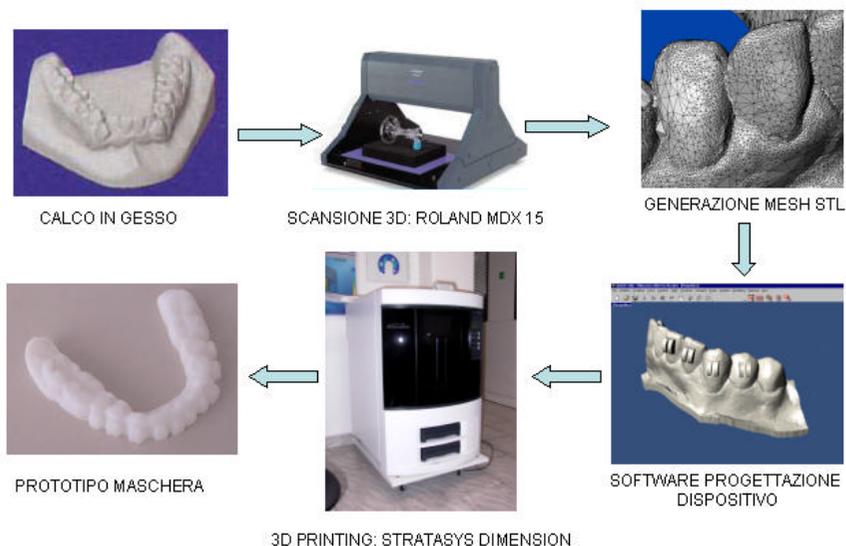


Figura 2: Processo di progettazione della maschera di posizionamento dei brackets

Una volta progettato il modello virtuale del dispositivo all'interno di CADental si esporta la maschera in formato STL e la si processa attraverso il software di gestione della macchina di prototipazione. La macchina utilizzata è una 3D printing Dimension (Stratasys) che esegue il modello con uno slicing di 0,25 mm e con tolleranze dell'ordine del decimo di millimetro. Il materiale usato è un ABS di tipo medicale per cui può essere impiegato direttamente sul paziente.

Il sistema CADental si basa su un kernel di modellazione geometrica di un CAD tridimensionale commerciale (Rhinoceros 3.0). Il CAD in questione fornisce un SDK, ossia un pacchetto di sviluppo software, con il quale è possibile interfacciarsi al

modellatore stesso tramite applicazioni Plug-in scritte nel linguaggio di programmazione Visual C++ 6.0.

Lo sviluppo di applicazioni è reso possibile tramite l'utilizzo di librerie che permettono l'accesso alle varie funzioni del CAD, replicando comandi già esistenti che possono essere combinati per ottenerne altri personalizzati.

La possibilità più interessante è costituita tuttavia dall'interfacciamento con la libreria OpenNurbs, un kernel di modellazione 3D disponibile in rete gratuitamente. Tramite questa libreria è possibile creare le matematiche di enti geometrici personalizzati e quindi utilizzare Rhinoceros come semplice visualizzatore.

Il sistema CADental, in corso di sviluppo, prevede l'utilizzo combinato di queste alternative per la creazione di funzionalità automatizzate che ricalchino le fasi di lavoro del laboratorio odontotecnico.

In figura 3 vediamo l'interfaccia utente del sistema. Si tratta dell'ambiente di Rhinoceros, in cui sono state nascoste tutte le icone dedicate alla modellazione 3D. Vengono lasciate le icone necessarie alle operazioni di apertura e salvataggio dei files e alle operazioni di visualizzazione come lo zoom, il pan e la rotazione del modello.

Vengono quindi aggiunte le icone atte a richiamare le funzionalità specifiche del software. Ciò permette un utilizzo semplice ed intuitivo garantendo allo stesso tempo la potenza delle caratteristiche di un modellatore 3D.

**“La Reverse Engineering: potenzialità e applicazioni”
Modena, 25 maggio 2004**

Lo schema riportato in figura 4 descrive le operazioni che l'odontoiatra può svolgere utilizzando il sistema CADental per giungere alla definizione della geometria di opportune mascherine di posizionamento dei brackets.

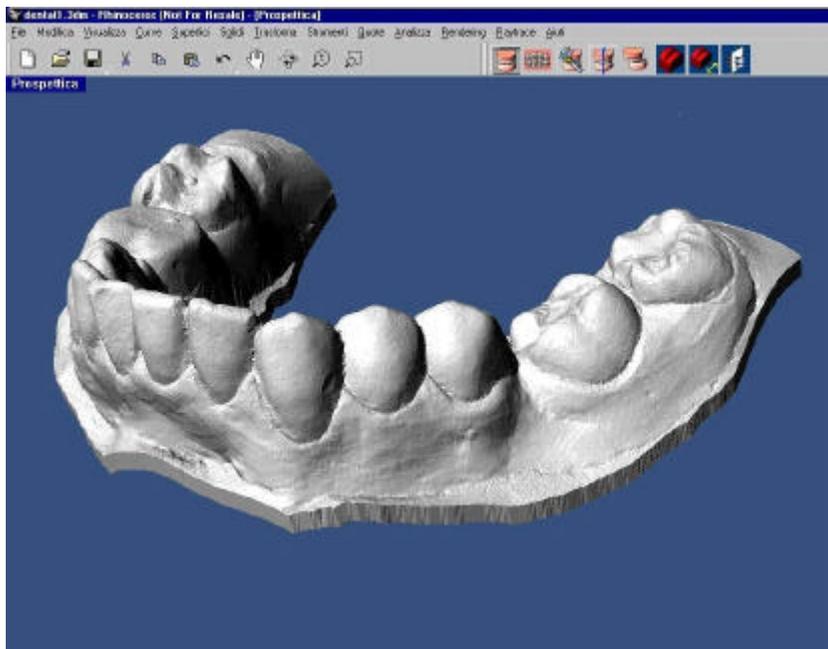


Figura 3: Interfaccia utente del software prototipale.

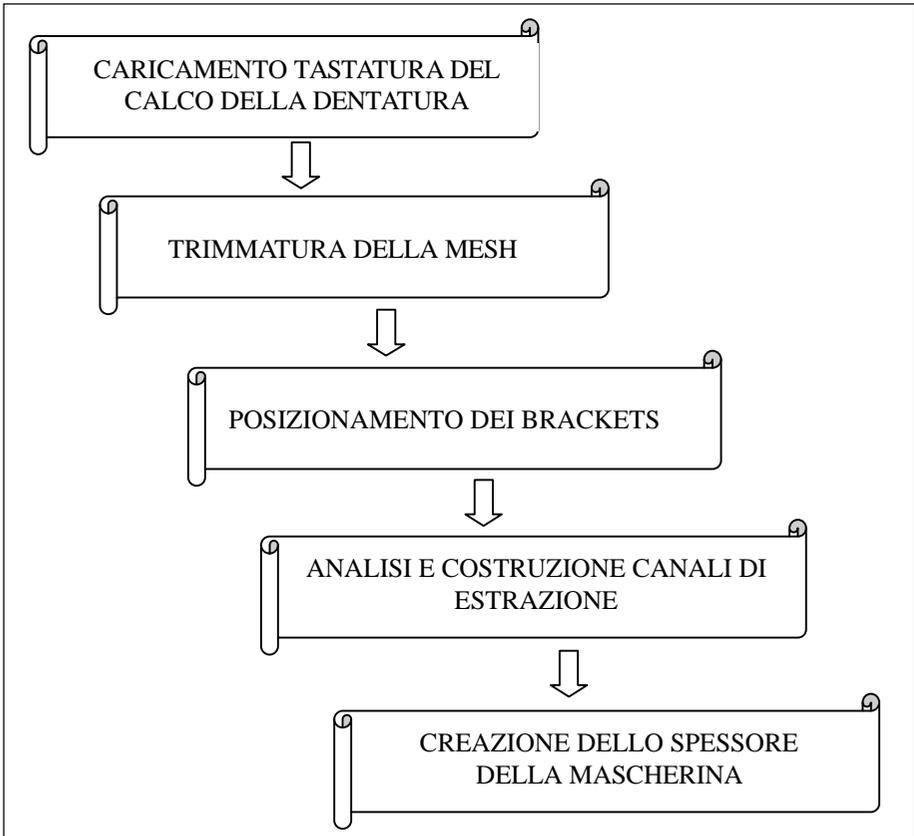


Figura 4: Fasi della modellazione dell'apparato correttivo.

DESCRIZIONE DEL SISTEMA SOFTWARE CADENTAL

Di seguito vengono descritte le operazioni fondamentali svolte dal software per generazione delle mascherine di montaggio attraverso un test case di riferimento

1) Caricamento scansione 3D

La scansione tridimensionale del calco della dentatura produce una nuvola di punti che verrà utilizzata per generare un file STL. La geometria è quindi rappresentata da un insieme di vertici e facce triangolari di connessione. Ogni faccia avrà un opportuno orientamento della normale determinato dal verso di percorrenza dei vertici.

Il sistema sviluppato permette l'importazione di un file STL e la sua visualizzazione in modalità ombreggiata secondo le viste canoniche o tramite una vista prospettica. Gli strumenti di zoom, rotazione e pan permettono all'odontoiatra di visionare il modello da diverse orientazioni.

2) Trimmatura della mesh

La scansione potrebbe contenere parti non necessarie all'analisi da compiere o potrebbe avere una estensione eccessiva. Il software permette di tagliare la mesh tramite dei piani comunque orientati nello spazio. Il piano viene definito in modo semplice attraverso linee nelle opportune viste canoniche selezionando settori contenenti la parte desiderata.

Il piano di taglio interseca la mesh dividendo i triangoli in due parti a cavallo dello stesso. Il software ricerca tali triangoli, calcola le intersezioni con il piano stesso, li cancella e ne genera di nuovi in modo da avere un taglio netto.

A questo punto si estraggono i bordi di taglio che uniti insieme formano una curva chiusa. La porzione di piano delimitata dalla curva viene trasformata in mesh utilizzando una

opportuna funzione di Rhinoceros creando la geometria di chiusura. E' infatti necessario avere delle mesh chiuse per poter realizzare un modello tramite la macchina di prototipazione.

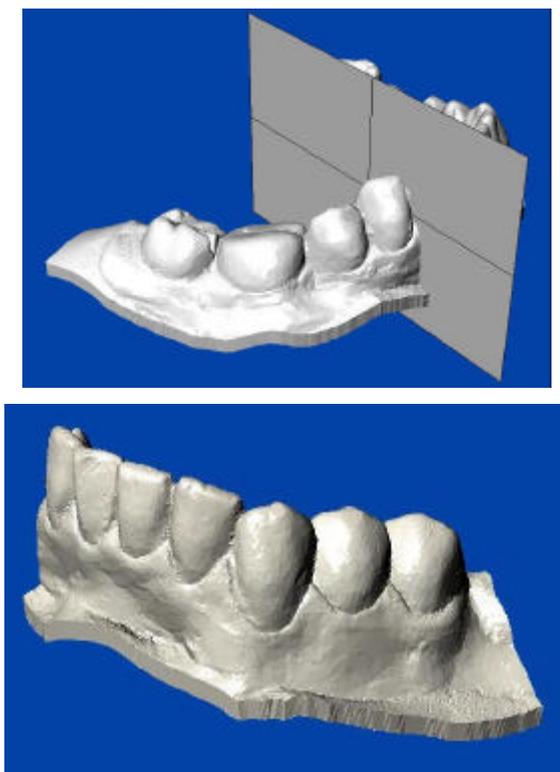


Figura 5: Funzionalità di taglio.

3) Posizionamento dei brackets

I brackets sono stati modellati nelle diverse varianti disponibili in commercio utilizzando la modellazione per superfici NURBS di Rhinoceros e salvati in una cartella. La geometria del bracket non contiene inutili dettagli geometrici ma una forma

**“La Reverse Engineering: potenzialità e applicazioni”
Modena, 25 maggio 2004**

legata all'impronta da lasciare nella maschera di posizionamento.

La funzionalità di posizionamento del bracket prevede la scelta di un bracket da tale cartella e l'inserimento della geometria sopra la dentatura. Il posizionamento 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. Il posizionamento è quindi semplice e veloce.

A questo punto 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 all'asse normale alla dentatura, la rotazione intorno a tale asse o rispetto ai due assi tangenti la dentatura.

Lo scopo di tale strumento è di permettere la correzione della posizione in base a considerazioni dell'odontoiatra o per supplire a leggeri difetti nell'approssimazione della mesh che potrebbe creare normali alla superficie leggermente anomale.

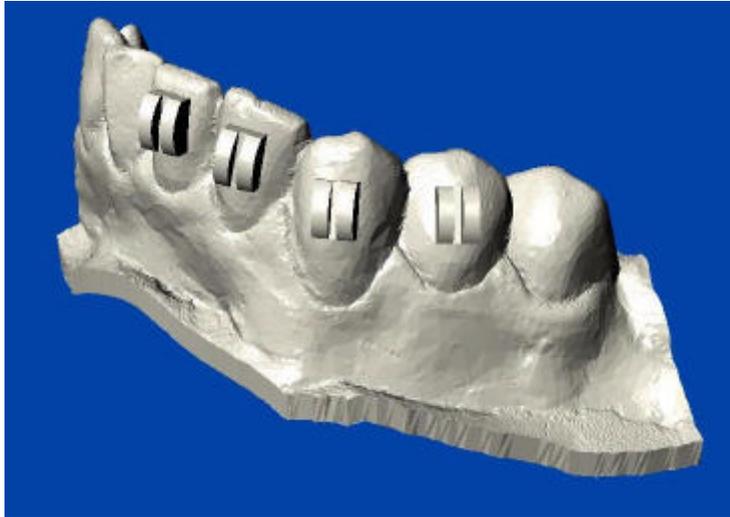


Figura 6: Posizionamento dei brackets.

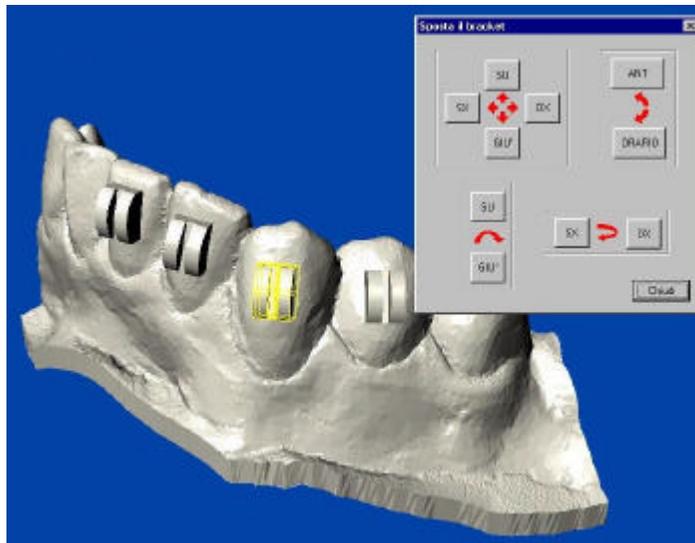


Figura 7: Strumento per l'ottimizzazione del posizionamento e modifica dei brackets.

4) Costruzione delle guide di estrazione maschera

A questo punto la geometria è di tipo misto in quanto la dentatura è rappresentata da una mesh STL mentre i brackets sono modellati da NURBS. Dato che l'obiettivo finale è la costruzione di modelli tramite macchina di prototipazione rapida, è opportuno trasformare il tutto in formato STL.

Allo scopo bisogna trasformare la geometria del bracket in formato STL e quindi fonderlo con la mesh della dentatura. Dato che la superficie che si ottiene costituirà l'interno della maschera di posizionamento dei brackets sarà necessario ricavare i canali per poterla infine estrarre. La geometria del bracket posizionata precedentemente viene quindi sostituita con un bracket modificato che presenta le seguenti caratteristiche:

- si ispessisce la base del bracket per garantire la compenetrazione con la superficie del dente e per tener conto dello spessore del collante;
- la sagoma del bracket viene modificata con l'aggiunta di un elemento prismatico orientato secondo l'asse longitudinale del bracket che determina le pareti della guida per l'estrazione della maschera;

Attraverso una operazione di fusione si ha l'inglobamento della forma del bracket nella mesh della dentatura.

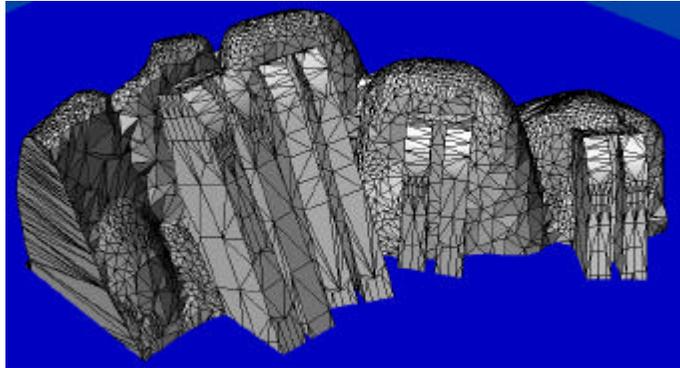


Figura 8: Guida di estrazione.

5) Creazione dello spessore della mascherina

La creazione dello spessore si basa su una operazione di offset della superficie creata con successiva chiusura dei bordi a formare un modello chiuso da inviare alla macchina di prototipazione.

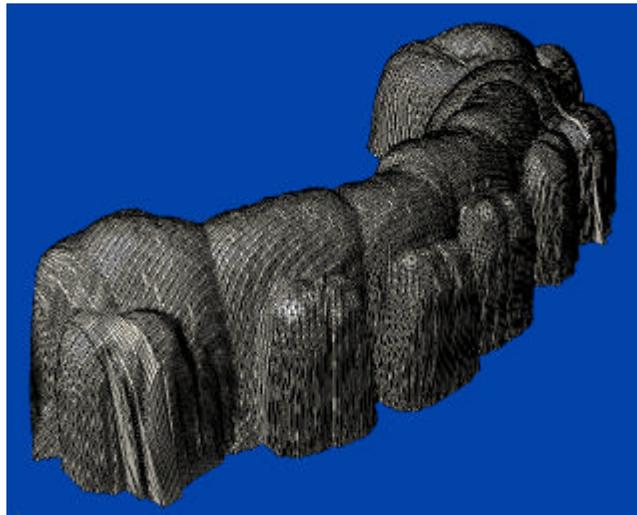


Figura 9: Mascherina di posizionamento dei brackets.

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 odontotecnico. Non da trascurare è la possibilità data sia al dentista che all'odontotecnico di progettare il dispositivo ortodontico (in collaborazione real time).

Essendo basato sulla semplicità d'uso, il sistema consente di essere rapidamente operativi, 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 prevede di estendere l'approccio ad ulteriori ambiti applicativi, con funzionalità dedicate al settore della progettazione di protesi implantologiche e considerando problematiche di simulazione della masticazione e della cinematica mandibolare.

RINGRAZIAMENTI

Per la consulenza tecnica si desidera ringraziare il sig. Gianni Duranti.

BIBLIOGRAFIA

[1] Zilberman, O., Huggare, J., Parikakis, K., “*Evaluation of the Validity of Tooth Size and Arch Wire Measurements using Conventional and Three-dimensional Virtual Orthodontic Models*”, Angle Orthodontist, Vol.73, N.3, pp.301-306. 2003.

[2] Wiechmann, D., Thalheim, A., “*Lingual Orthodontics as the First Choice*”, Journal of Lingual Orthodontics, Vol.4, pp.92-99, 2002.

[3] Fillion, D. « *Orthodontie Linguale: Systèmes des Positionnement des Attaches au Laboratoire* », Orthodontie Francaise, Vol.60, pp.695-704, 1989.

[4] Redmond, R., “*The Cutting Edge*”, Journal of Clinical Orthodontic, Vol.38, N.2, February 2004.

[5] Fortini, A., Lupoli, M., Autore 2, “*STEP: Optimizing Well-known Technique*”, Ortho News, Vol.1, September 2001.

[6] Wiechmann, D., Rummel, V., Thalheim, A., Simon, J.S., Wiechmann, L., “*Customised Brackets and Arch wires for Lingual Orthodontic Treatment*”, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Vol.124 N.5, November 2003.