PROGETTAZIONE BIOMECCANICA DI PROTESI E STRUTTURE FIBRORINFORZATE PER APPLICAZIONI IN AMBITO ODONTOIATRICO

-POB-

1) *INTRODUZIONE E STATO DELL'ARTE*

Da uno studio di ricerca multidisciplinare tra il Dipartimento di Ingegneria strutturale , il Dipartimento di Ingegneria chimica, dei Materiali e della Produzione industriale dell' Università degli Studi di Napoli Federico II ed il sottoscritto, in qualità di Odontoiatra e docente di Meccanica dei tessuti e progettazione meccanica delle strutture in ambito biomedico presso la medesima Università, nasce questo interessante e complesso progetto di ricerca .

Negli ultimi anni, l'avvento di nuovi materiali e l'impiego di tecnologie innovative ha trovato applicazione, non solo in settori industriali tradizionali quali quello della biomeccanica, dell'automobilismo o dell'ingegneria civile ma anche in discipline mediche quali quella dell'odontoiatria, dell'ortopedia e della cardiochirurgia. L'odontoiatria è, da sempre, molto legata ad aspetti operativi ed il contributo di nuovi materiali e l' alto profilo tecnologico applicato hanno contribuito alla semplificazione e modernizzazione delle procedure cliniche. L'odontoiatria è, tra le discipline mediche, quella che maggiormente risente, nelle sue applicazioni quotidiane, di problematiche biomeccaniche in attività quali quella della protesi dentale ,dell'ortodonzia e della conservativa. La rigenerazione guidata dell'osso e dei tessuti in chirurgia orale è un settore in forte crescita, ed a tale crescita un contributo fondamentale è stato dato non solo dai nuovi biomateriali impiegati ma anche dal recente interesse mostrato da parte dell'ingegneria biomedica che ha contribuito a chiarire aspetti relativi la biomeccanica dei tessuti . Il progresso scientifico in medicina e, quindi, anche in odontoiatria, richiede tecniche chirurgiche mini-invasive, protesi dentali di alto profilo tecnologico e altamente biocompatibili, che impieghino la minor quantità di materiale possibile senza ridurre la qualità dei manufatti, ed infine, predicibilità del risultato nel tempo in termini sia di prestazioni biomeccaniche che estetiche. La protesi dentale dovrebbe rispondere, da un lato ad un'esigenza di una semplificazione nella sua progettazione, realizzazione ed applicazione, dall'altro alla necessità di una riduzione complessiva sia dei costi di produzione che di quelli, in ultimo, destinati e sopportati dall'utente-paziente finale. Il coincidere di interessi apparentemente diversi quali quello del mondo industriale, del clinico e del paziente e, quindi, della società civile nel suo complesso, volti all'ottenimento di manufatti protesici di alto profilo tecnologico, biomeccanico ed estetico, ha spinto l'odontoiatria a ricercare e sperimentare una strada che abbandoni progressivamente, ove possibile, l'impiego delle leghe metalliche, realizzando protesi metal-free. Il ricorso, negli ultimi anni, all'utilizzo delle ceramiche integrali e di strutture fibrorinforzate in protesi dentale, sembrerebbe la risposta migliore da parte di un'odontoiatria che voglia soddisfare sia le esigenze estetiche che quelle funzionali dei suoi manufatti protesici per il mantenimento a lungo termine del risultato e della salute del paziente .

La mancanza di uno o più denti interessa 240 milioni di persone del mondo industrializzato. Le protesi metal-free hanno, oggi, una quota di mercato pari al 7-8 %. L'interpretazione di tale dato è duplice, da un lato si può affermare che il 93% circa delle protesi dentali è realizzato ancora con materiali e metodi tradizionali riconducibili a corone e ponti in metallo-ceramica, dall'altro che i margini di crescita in termini di mercato delle protesi metal-free è altissimo, soprattutto se rapportato ad una richiesta delle stesse che proviene dalla società civile, sempre più sensibile ad aspetti legati alla biocompatibilità, all'estetica ed a prestazioni funzionali e biomeccaniche delle protesi almeno sovrapponibili a quelle realizzate in metallo-ceramica. I metalli impiegati in tali

manufatti vanno dal titanio al cromo-cobalto-molibdeno, fino alle più diffuse leghe auree di platino,palladio ed argento con un contenuto di oro variabile dai 200 ai 600 millesimi per grammo circa.
I materiali ceramici sono materiali inorganici non metallici. Le ceramiche metal-free possono essere divise in due grandi famiglie caratterizzate dalla composizione e dalle peculiarità che ne definiscono le diverse indicazioni e procedure operative:

- *ceramiche feldspatiche,vetrose ed a base di disilicato di litio (materiali ceramici tradizionali a base di silicati)*
- *ceramiche ad alta resistenza (neoceramiche avanzate): ossidi puri, nitruri, carburi, silciuri*.

Le ceramiche feldspatiche hanno una bassa resistenza alla flessione compresa tra i 50 e gli 80 MPa (MegaPascal), le vetrose a base di leucite arrivano a 120 MPa, quelle a base di disilicato di litio fino a 400 MPa di resistenza. Tali ceramiche, ancor oggi largamente utilizzate in odontoiatria,per le loro caratteristiche estetiche di traslucenza, hanno limitate applicazioni nelle strutture di ponti e corone a causa della loro bassa resistenza in relazione alle sollecitazioni alle quali devono essere sottoposte nelle funzioni occlusali e masticatorie. Ma è l'impiego delle *ceramiche ad alta resistenza* che ha determinato una svolta nelle applicazioni in protesi dentale: Tali sono l'allumina che presenta una resistenza alla flessione di circa 600 MPa e la zirconia che ha una resistenza alla flessione di circa 1200 MPa. La zirconia è quella che presenta le migliori caratteristiche biomeccaniche per essere impiegata in corone e ponti sia dei settori anteriori (incisivi e canini) che posteriori (premolari e molari). Le ceramiche integrali vengono anche utilizzate come faccette dei denti anteriori, ovvero come rivestimenti estetici che vanno ad integrare e/o sostituire con una tecnica mini-invasiva lo smalto dei denti per correggerne difetti estetici dovuti a discromie ed anomalie di forma o posizione. Sia l'allumina che la zirconia sono degli ossidi. La zirconia è un biossido dello zirconio ed è, nelle applicazioni in odontoiatria, tenacizzata con ittrio (YZTP) che ne migliora la stabilità dimensionale.
La tabella seguente evidenzia alcune delle caratteristiche biomeccaniche delle ceramiche più comunemente impiegate in odontoiatria e le indicazioni cliniche che scaturiscono dalle loro caratteristiche.

	TIPO DI CERAMICA						
	Feldspatica	Leucite	Disilicato	Allumina	YZTP	Smalto	Dentina
MODULO DI ELASTICITÀ	60GPa	70GPa	98GPa	300GPa	200GPa	80GPa	20GPa
RESISTENZA FLESSIONE	80MPa	120MPa	450MPa	600MPa	1200MPa	7MPa	60MPa

Partendo da queste caratteristiche si possono delineare alcune **indicazioni cliniche** di massima:

TIPO DI RESTAURO	TIPO DI CERAMICA				
	Feldspatica	Leucite	Disilicato	Allumina	YZTP
Inlay	SI	SI	SI	=	=
Onlay	SI	SI	SI	=	=
Faccette	SI	SI	SI	NO	=
Corone singole anteriori	NO	SI	SI	SI	SI
Corone singole posteriori	NO	NO	SI	SI	SI
Ponti anteriori 3 unità	NO	NO	SI	SI	SI
Ponti anteriori 4 unità	NO	NO	NO	SI	SI
Ponti posteriori	NO	NO	NO	NO	SI

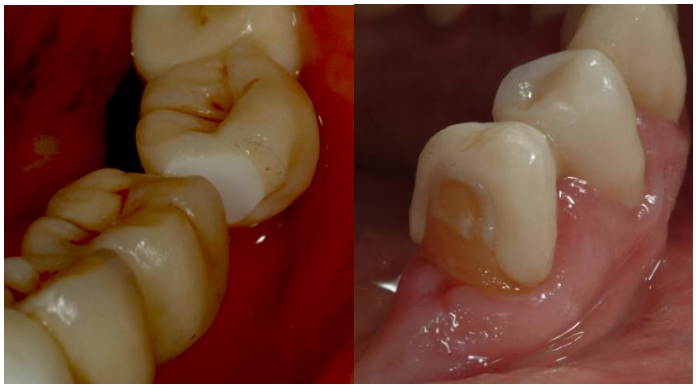
TABELLA AIOP : ASSOCIAZIONE ITALIANA ODONTOIATRIA PROTESICA

Nella fisiologia dell'appparato stomatognatico si hanno *forze occlusali massime* che vanno mediamente dai 155 N degli incisivi ai 208 N dei canini fino ai 288 N dei premolari ed ai 565N dei molari. In particolari condizioni di stress occlusale i molari possono esercitare forze massime occlusali anche di 800N. Diversamente le *forze masticatorie massime* variano tra i 70N ed i 150N. Invece, le forze agenti sui restauri dentali in un paziente portatore di ponte fisso che sostituisce un molare in una emiracata, con l'altra emiarcata integra , si attestano mediamente sui 240 N nell'emiarcata in cui è presente il ponte e di circa 300N nell'emiarcata integra. Tali considerazioni sulle forze occlusali massime e sulle forze masticatorie vanno tenute in grande considerazione quando andiamo a valutare il possibile stress da carico di una struttura protesica sottoposta ad una sollecitazione biomeccanica nella sua funzione fisiologica occlusale.

Immagine studio odontoiatrico dott. Maurizio Macrì

3) *DESCRIZIONE ANALITICA DEL PRODOTTO/SERVIZIO*

Nell'ottica della moderna odontoiatria microinvasiva, l'utilizzo delle ceramiche integrali consente preparazioni dentali più conservative e rispetto biologico dei tessuti dentali e gengivali che si traduce in una maggiore estetica e traslucenza rispetto alla metallo-ceramica. Le protesi dentali realizzate in zirconia, ad esempio, semplificano le procedure tecniche sia per l'odontoiatra che per l'odontotecnico, riducono la quantità di materiale utilizzato sia in temini di peso che di che composizione chimico-strutturale, con un conseguente vantaggio in termini di biocompatibilità . Le protesi metal-free riducono, altresì, alcune delle problematiche biomeccaniche relative, ad esempio, alla presenza di saldature nelle protesi realizzate in metallo-ceramica; saldature, che sono completamente assenti nelle protesi realizzate in zirconia.
Tuttavia esistono ancora limiti nell'utilizzo della zirconia e delle ceramiche integrali in protesi dentale, dovuti alla comparsa di cricche e fratture, in particolare modo per ponti di lunghezza superiore ai 40 mm, o in determinate condizioni cliniche, quali presenza di spazi occlusali ridotti, posizione e dimensionamento dei monconi pilastro. Altre problematiche derivano dall'assenza di protocolli standardizzati di progettazione del design funzionale delle strutture delle travate, dei monconi protesici e degli abutment, e della forma e dimensione dei connettori delle travate. Ad oggi non si è fatto altro che mutuare i principi e parte delle tecniche utilizzate da decenni nella protesi in metallo-ceramica, per la progettazione meccanica delle protesi in ceramica integrale ed in particolare in zirconia. E' ragionevole pensare che questo approccio non sia corretto, trattandosi di materiali con diverse caratteristiche chimico-strutturali e, quindi, diverse risposte agli stress meccanici. Infatti , tutti i dimensionamenti delle strutture in zirconia derivano da uno studio delle prestazioni meccaniche del materiale più che dalle condizioni di stress a cui quel materiale, in determinate condizioni cliniche, è sottoposto.
L'avvento del CAD/CAM e di software sofisticati dedicati ha consentito di progettare e realizzare manufatti protesici metal-free di alta precisione , rivoluzionando le tradizionali sistematiche utilizzate in passato per la metallo-ceramica o per le ceramiche integrali .Tuttavia, le linee guida della progettazione di corone e ponti , il design dei monconi, degli abutment e delle strutture sono rimasti ancorati a quelle della metallo-ceramica e tale impostazione sta rivelando, oggi, tutti i suoi limiti progettuali in termini di prestazioni biomeccaniche delle strutture protesiche.
.

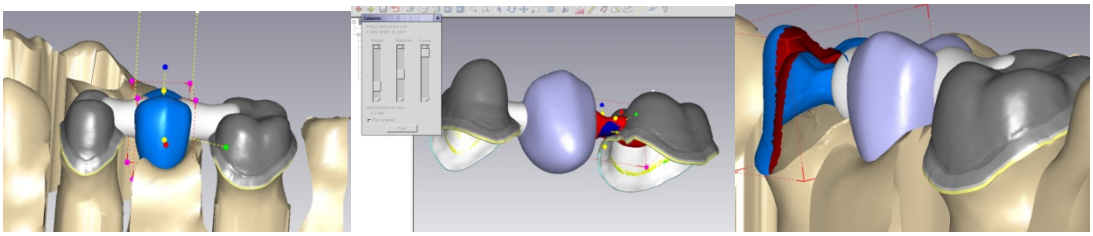


Frattura di un ponte in zirconia-ceramica a sinistra , frattura di una parte della corona in zirconia ceramica a destra ***(immagini studio odontoiatrico dott. Maurizio Macrì).***

Le tre immagini mostrano un esempio di ponte dentale a tre elemnti in zirconia-ceramica: si può notare la perfetta integrazione con i tessuti biologici ,presupposto per una corretta funzione occlusale ed un buon risultato estetico ***(caso clinico dott. Maurizio Macrì*).**

4) *OBIETTIVI E DESTINATARI DEL PRODOTTO/SERVIZIO*

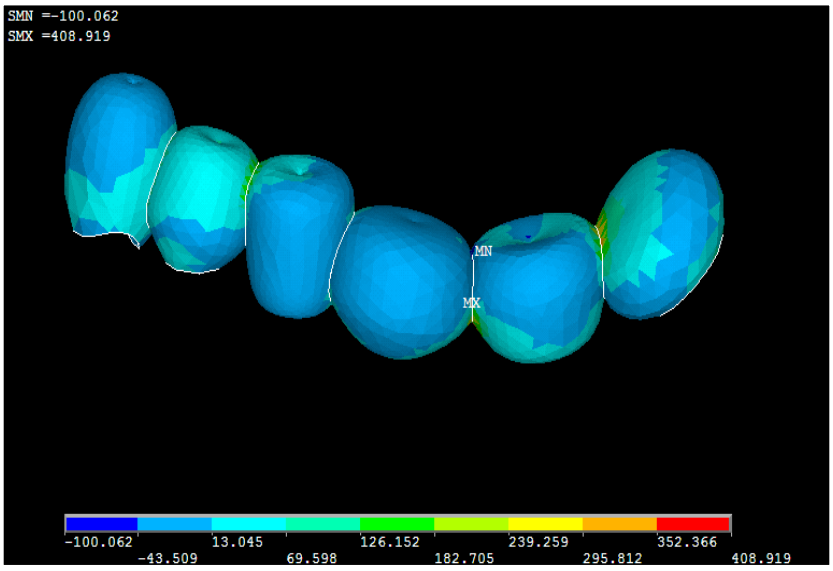
Gli obiettivi del Progetto di ricerca sono quelli relativi alla ***possibile industrializzazione di un protocollo unico di progettazione biomeccanica delle strutture protesiche in ceramica integrale attraverso l'elaborazione di un software che migliori ed ottimizzi le attuali progettazioni CAD in commercio, semplificando e standardizzando le procedure.*** Ciò consentirà di proporre al mercato da un lato CAD più performanti .e, dall'altro, strutture in zirconia che abbiano prestazioni biomeccaniche superiori a quelle attuali attraverso un miglioramneto delle caratteristiche strutturali globali. Destinatari di tale progetto sono, da un lato, il mondo industriale del dentale specializzato nel campo dei materiali per odontoiatria e in progettazioni CAD/CAM, dall'altro, gli odontotecnci e gli odontoiatri, i quali potranno fornire ai pazienti protesi con maggiori margini di durabilità e caratterizzate da alte perfomance meccaniche a parità di resa estetico-funzionale. Ciò consentirà anche la nascita di nuove aziende che potranno rinnovare il tessuto industriale campano, specializzandosi su tematiche di ricerca e sviluppo con ricadute immediate in termini di occupazione e competitività in un settore il cui baricentro è tradizionalmente spostato nel nord Italia e nei paesi dell'Europea centro settentrionale.



Immagini di progettazione CAD di un ponte di tre elemnti dentali
(caso clinico dott.Maurizio Macrì')

5) *ELEMENTI DI NOVITÀ ED INNOVAZIONE*

Il principale elemento di novità ed innovazione dell'attività di ricerca è costituito dalla ***realizzazione di un protocollo industrializzabile per l'analisi preliminare delle sollecitazioni attese a carico della struttura protesica, volto alla progettazione ottimale del manufatto, tramite simulazioni numeriche basate su avanzati algoritmi agli Elementi Finiti, che consentano di ottenere un design innovativo che sfrutti al meglio la qualità biomeccanica del materiale.*** Ciò porterà a stabilire un protocollo operativo basato su specifici parametri di dimensionamento delle corone, dei ponti e degli abutment, con il risultato – tramite l'utilizzo di metodiche CAD/CAM integrate –di determinare il profilo delle strutture *customizzato* sulle caratteristiche anatomico-funzionali di ogni singola riabilitazione protesica.
Parallelamente, tramite l'utilizzo di materiali compositi fibro-rinforzati di ultima generazione, si otterrà l'incremento delle carattestiche di resistenza complessive delle ceramiche integrali – ed in particolar modo della zirconia – preservando le necessarie finalità estetico-funzionali delle protesi dentali.



FEM: Modellazione ad elementi finiti. Dott. Maurizio Macrì

INTEGRAZIONE DELLA ZIRCONIA-CERAMICA CON I TESSUTI GENGIVALI
(*CASO CLINICO DOTT. MAURIZIO MACRÌ)*

BIBLIOGRAFIA

1. Fradeani M,Redemagni M. An-11 year clinical evaluation of leucite-reinforced glass-ceramic crowns: A retrospective study. Quint Int 2002;33:503-510.
2. Galindo ML , Hagmann E, Marinello CP, Zitzmann NU . Long-term clinical results with Procera AllCeram full-ceramic crowns. Schweiz Monatsschr Zahnmed 2006; 116:804-809.
3. Suarez MJ, Lozano JF, Paz Salido M, Martinez F. Three-year clinical evaluation of In-Ceram Zirconia posterior FPDs. Int J Prosthodont 2004; 17:35-38
4. Raigrodsky AJ, Chiche GJ, Potiket N, Hochstedler JL, Mohamed SE, Billiot S, Mercante DE. The efficacy of posterior three-unit zirconium-oxide-based ceramic fixed partial dental prostheses: a prospective clinical pilot study. J Prosthet Dent 2006;37:685-693
5. Sailer I, Feher A, Filser F , Gauckler L, Luthy H, Hammerle CH. Five years clinical results of zirconia frameworks for posterior fixed partial dentures. Int J Prosthodont 2007; 20:383-388.
6. Wang,Fujun; Li ,Yaojun; Han, K.; Feng, Y.T. " A general finite element model for numerical simulation of structure dynamics" Science in China series G : Physics , Mechanics and astronomy Volume : 49 , Issue : 4 , August , 2006, pp. 440-450.
7. Kemal Oztorun , Namik " A rectangular finite element formulation " Finite elements in Analysis & Design Volume : 42, Issue : 12, August , 2006 , pp. 1031-1052.
8. M. Karbhari , H . Strassler " Effect of fiber architecture on flexural characteristics and fracture of fiber –reinforced dental composites " Dental Materials 2007 , 23 p (960-968).