

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di Neuroscienze
Direttore Prof. Raffaele De Caro**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE A CICLO UNICO IN
ODONTOIATRIA E PROTESI DENTARIA**

Presidente Prof.ssa Carla Mucignat

TESI DI LAUREA

**RESTAURI DIRETTI MEDIANTE TECNICA INNOVATIVA INIEZION
MOLDING TECHNIQUE**

Relatore: Chiar.mo Prof. Marco Calabrese

Correlatore: Dott. Giampaolo Drago

Laureando: Giaccari Fabio

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

RIASSUNTO.....	1
ABSTRACT.....	3
1 INTRODUZIONE.....	4
1.1 Estetica del sorriso	4
1.1.1 Il colore nei restauri diretti.....	9
1.2 Il Digital Smile Design	13
1.2.1 La Progettazione del DSD	15
1.2.2 Vantaggi e svantaggi del DSD	17
1.3 Le Proprietà dei compositi ibridi	20
1.4 Le Proprietà dei Compositi Flow	26
1.5 Le Proprietà dei Compositi Riscaldati	31
1.6 L'Injection molding technique	38
2. SCOPO DELLO STUDIO	48
4. CASI CLINCI	53
5. RISULTATI	68
6. DISCUSSIONE	70
7. CONCLUSIONI	73
8. BIBLIOGRAFIA	75

RIASSUNTO

Presupposti dello studio: L'injection molding technique rappresenta una tecnica utilizzata per le ricostruzioni dirette degli elementi anteriori. Questa tecnica sfrutta le resine composite che possono essere iniettabili attraverso una mascherina di silicone trasparente per andare a riprodurre fedelmente l'anatomia degli elementi dentali, a seconda delle necessità estetiche del paziente.

Scopo dello studio: Lo scopo dello studio è quello di analizzare le procedure dell'injection molding technique per identificare quali possano essere i limiti, i punti di forza e l'applicabilità di tale tecnica.

Attraverso lo studio dell'injection molding technique ci si propone di individuare quali siano i materiali compositi più adatti nell'utilizzo di questa tecnica ed i suoi risultati estetici e funzionali.

Materiali e metodi: È stata condotta una ricerca in letteratura per apprendere la giusta applicazione dell'injection molding technique e per capire quali fossero i materiali più adeguati ad un corretto piano di trattamento.

Risultati e conclusioni: L'injection molding technique consente l'esecuzione di più restauri diretti in un tempo minore rispetto al restauro diretto a mano libera.

L'evoluzione della composizione dei materiali flow permette di realizzare ricostruzioni durature e con ottimi risultati estetici. L'injection molding technique permette al professionista la riproduzione di restauri diretti anatomicamente fedeli alla struttura dei denti anche senza disporre di una eccelsa manualità ma richiede una

accurata conoscenza della fase di programmazione del piano di trattamento.

ABSTRACT

Background: The injection molding technique is a method used for direct reconstructions of anterior elements. This technique utilizes composite resins that can be injected through a transparent silicone mask to faithfully reproduce the anatomy of dental elements, depending on the aesthetic needs of the patient.

Study Objective: The aim of this study is to analyze the procedures of the injection molding technique to identify its limitations, strengths, and applicability. Through the study of the injection molding technique, we aim to determine the most suitable composite materials for the use of this technique and its aesthetic and functional outcomes.

Materials and Methods: A literature review was conducted to learn about the proper application of the injection molding technique and to understand which composites were most suitable for the technique's use.

Results and Conclusions: The injection molding technique allows for the execution of multiple direct restorations in less time compared to freehand direct restoration. The evolution of the composition of flowable materials enables the creation of durable reconstructions with excellent aesthetic outcomes. The injection molding technique enables the professional to reproduce anatomically faithful direct restorations to the tooth structure even without excellent manual dexterity but requires a thorough understanding of the treatment planning phase.

1 INTRODUZIONE

1 .1 Estetica del sorriso

Nell'era contemporanea, l'importanza dell'estetica dentale ha acquisito un rilievo senza precedenti, influenzando non solo il benessere individuale, ma anche la percezione sociale e la fiducia personale. Il sorriso, come elemento centrale dell'espressione facciale umana, gioca un ruolo fondamentale nell'interazione quotidiana e nell'instaurazione di relazioni.

Il sorriso non è semplicemente un aspetto fisico, ma agisce come un veicolo di comunicazione non verbale, veicolando emozioni, stati d'animo e atteggiamenti. In una società sempre più centrata sull'immagine, individui e professionisti del settore odontoiatrico riconoscono che un sorriso attraente può avere un impatto profondo sulla percezione individuale e sulla relazione con gli altri. Dal mondo lavorativo a quello sociale, la qualità del sorriso può influenzare l'opinione che gli altri si formano di una persona, condizionando la fiducia in sé stessi e la propria proiezione pubblica.

Parlando di estetica in odontoiatria vi sono più caratteristiche che vengono prese in considerazione nel sorriso di un individuo per determinare l'armonia e l'estetica: Lo "smile arc", la simmetria e le dimensioni degli incisivi centrali, la simmetria e le proporzioni degli elementi anterosuperiori, l'anatomia gengivale, l'esposizione gengivale, la linea mediana e l'allineamento dentale, il corridoio buccale, il colore dei denti e la loro forma e il volume delle labbra.[1]

L'area che impatta maggiormente in termini estetici è sicuramente quella che spazia da canino a canino del mascellare superiore, definita anche dalla maggior parte dei professionisti come "zona estetica".

Un piano di trattamento estetico che punta ad armonizzare gli aspetti del sorriso appena citati necessita di un intervento multidisciplinare odontoiatrico, dovendo agire negli ambiti della parodontologia, ortodonzia e conservativa; in questo paragrafo verranno trattate le caratteristiche che possono essere migliorate nel settore della conservativa odontoiatrica.

Smile arc

In base alla curvatura che formano i margini degli elementi anterosuperiori si distinguono tre diversi tipi di smile arc: curvo, piano o inverso.

Nella figura 1 si può osservare come anche degli elementi dentali con un ottimo colore e una soddisfacente forma possono dare un'impressione estetica scadente a causa di uno smile arc inverso.



Figura 1 Rappresentazioni dello smile arc rispettivamente curvo, piano ed inverso immagine tratta da: Machado AW. 10 commandments of smile esthetics. Dental Press J Orthod. 2014 Jul-Aug;19(4):136-57.

Uno smile arc ideale presenta i margini degli incisivi superiori che leggermente circoscrivono il labbro inferiore.[2]

Lo smile arc curvo viene ritenuto estetico perché un sorriso con questa forma rispecchia un sorriso giovane; un sorriso piatto viene percepito come un sorriso senile. Inoltre, anche una minore esposizione degli elementi della zona estetica, socialmente parlando, dà l'impressione di vecchio.

Nella società moderna apparire giovani è strettamente associato alla bellezza estetica.[3]

Secondo una valutazione clinica una curvatura estetica dello smile arc è data da una differenza della lunghezza degli incisivi centrali rispetto agli incisivi laterali di 1-1,5 mm per le donne e di 0.5-1 mm per gli uomini, questa differenza di lunghezza si deve avere anche tra gli elementi laterali ed i canini.

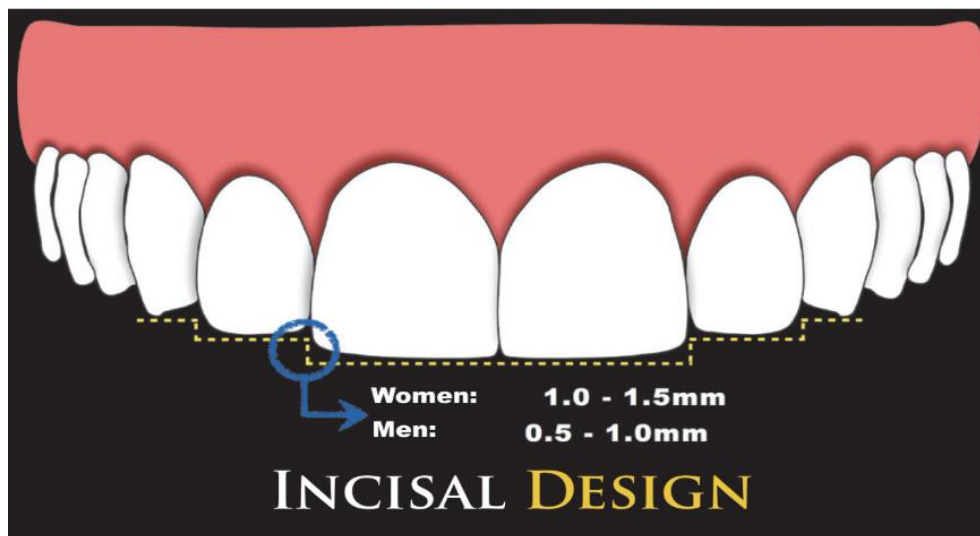


Figura 2 Differenza di lunghezza degli elementi anterosuperiori. Immagine tratta da: Machado AW. 10 commandments of smile esthetics. Dental Press J Orthod. 2014 Jul-Aug;19(4):136-57

Una buona estetica si pone come obiettivo un raggiungimento ideale del rapporto larghezza-altezza (L/A) e la simmetria degli incisivi centrali superiori.

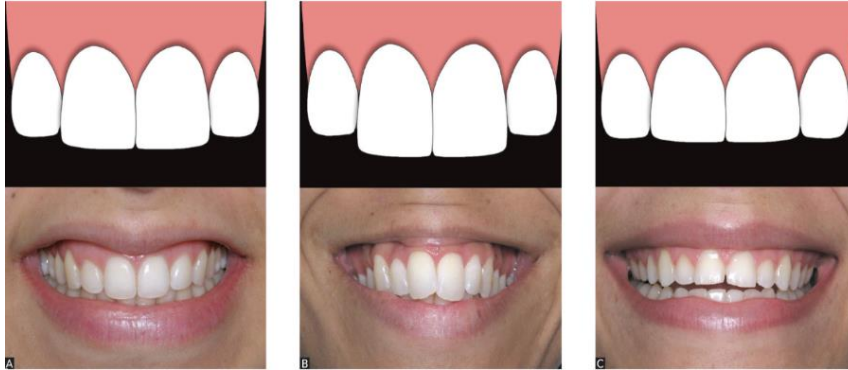


Figura 3 Variazioni della dimensione degli incisivi centrali.
Immagine tratta da: : Machado AW. 10 commandments of smile
esthetics. Dental Press J Orthod. 2014 Jul-Aug;19(4):136-57

Rapporto L/A degli incisivi centrali

L'odontoiatra deve tenere conto della larghezza e dell'altezza delle corone cliniche degli incisivi centrali superiori al fine di determinare il rapporto L/A.

I rapporti L/A che vanno pianificati sono compresi tra il 75% e l'85% i quali sono considerati i più estetici. Se i valori tendono al 75%, gli incisivi centrali hanno una forma più armoniosa su un viso femminile dalle donne, mentre per il genere maschile è meglio adottare rapporti dell'85%.^[4]

Diversi rapporti larghezza-altezza degli incisivi centrali: A) rapporto ideale, tra il 75% e l'85%; B) denti lunghi con un rapporto <75%; C) denti corti o squadrati con rapporto >85%.

Nel caso di rapporti L/A alterati, il primo passo consiste nel determinare se uno degli incisivi centrali ha un adeguato rapporto L/A.

In tal caso, questo dente verrà utilizzato come riferimento (template) per modificare l'altro incisivo centrale. Se entrambi gli incisivi centrali sono alterati, la loro altezza viene utilizzata come riferimento per la correzione. Gli incisivi centrali estetici di solito hanno corone alte tra 9,5 e 11 mm.[5]

La proporzione degli elementi anterosuperiore è stata basata sul rapporto aureo inizialmente proposto da Levin nel 1978. Secondo l'autore, sul piano frontale, deve sussistere una proporzione della larghezza dei denti. Nella figura 4 si vede la larghezza dell'incisivo laterale che corrisponde al 62% della larghezza dell'incisivo centrale, mentre la larghezza del canino corrisponde al 62% della larghezza dell'incisivo laterale.[6]

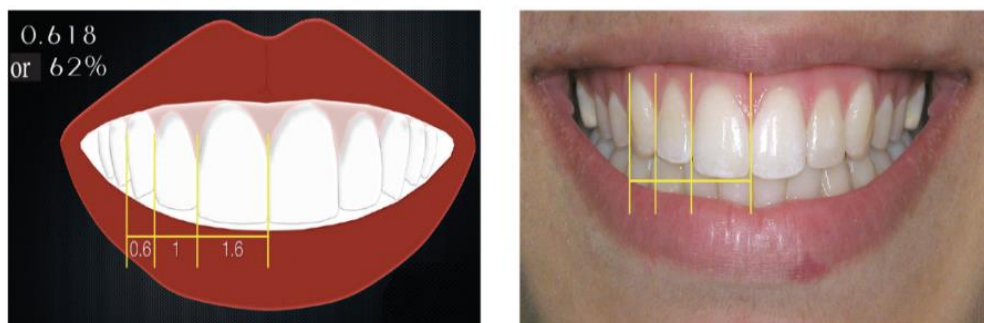


Figura 4 Rapporto aureo secondo Levin. Immagine tratta da: : Machado AW. 10 commandments of smile esthetics. Dental Press J Orthod. 2014 Jul-Aug;19(4):136-57

Una ricerca recentemente pubblicata ha analizzato diverse proporzioni di larghezza sugli elementi del settore anterosuperiore: 57%, caratterizzato da incisivi laterali più stretti; 67%; 70% e 72%, caratterizzati da incisivi laterali più larghi. I risultati hanno rivelato che il rapporto aureo citato in precedenza non sempre viene ritenuto il più estetico, poiché il valore del 62% rappresenta media piuttosto che uno standard da perseguire. Inoltre, proporzioni maggiori (67% e 70%)

sono risultate come più estetiche, rivelando così l'esistenza di una forte preferenza per incisivi più larghi anziché più stretti.[7]

1.1.1 Il colore nei restauri diretti

Per individuare il colore di un dente si fa riferimento a tre parametri: la tinta, il croma e il valore.

La tinta è il colore base della dentina ed è stabilito su una scala di colori che comprende quattro tinte: A (rosso-marrone), B (arancione-grigio), C (verde-grigio) e D (rosa-grigio).

Il croma è il livello di saturazione dell'intensità della tinta ed è determinato principalmente dall'età del dente e dallo spessore dello smalto.

Il croma si può considerare l'unità di misura della quantità del colore. Secondo la scala dei colori, il croma corrisponde a un numero dopo una lettera (per es. A1 indica un croma saturo, cioè un dente bianco).

Il valore è il grado di luminosità del colore ed è spesso legato allo spessore dello smalto. Più un colore tende al bianco, maggiore sarà il suo valore.

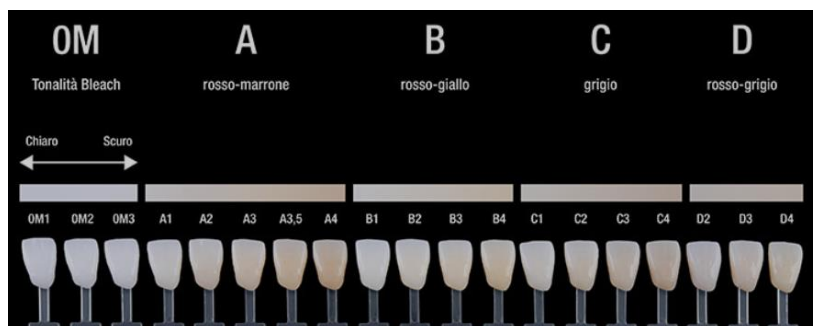


Figura 5 Rappresentazione della scala VITA. Immagine tratta da: Rodrigues, S., Shetty, S.R. & Prithviraj, D.R. An Evaluation of Shade Differences Between Natural Anterior Teeth in Different Age Groups and Gender Using Commercially Available Shade Guides. *J Indian Prosthodont Soc* 12.

Uno dei modi per esprimere il valore è lo spazio di colore $L^*a^*b^*$ dove L rappresenta la luminosità ed a e b si riferiscono alle coordinate di cromaticità.[8]

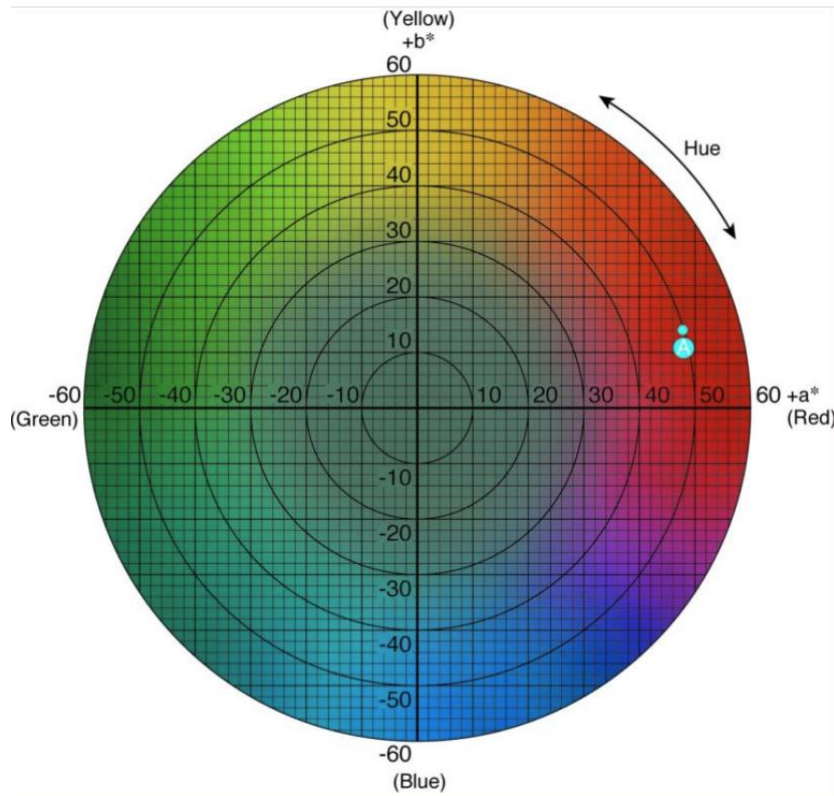


Figura 6 Grafico cromatico dello spazio di colore $L^*a^*b^*$.
Immagine tratta da: Rodrigues, S., Shetty, S.R. & Prithviraj, D.R.
*An Evaluation of Shade Differences Between Natural Anterior
Teeth in Different Age Groups and Gender Using Commercially
Available Shade Guides. J Indian Prosthodont Soc 12.*

La gamma e la distribuzione del colore dei denti sono state descritte in diversi studi in cui si sono investigati fattori come il genere, l'età e l'etnia. In generale, i denti anteriori superiori sono leggermente più gialli dei denti anteriori inferiori e gli incisivi centrali superiori hanno un valore superiore rispetto agli incisivi laterali e ai canini.[9] Sebbene alcune ricerche non abbiano mostrato differenze di colore dei denti tra maschi e femmine[10], molti altri studi hanno misurato differenze tra i

sessi. In questi studi le femmine tendevano ad avere incisivi più chiari e meno gialli rispetto ai maschi.[11]

In una popolazione urbana cinese di 405 soggetti, rispetto ai maschi i valori L^* per le femmine erano significativamente più alti di circa 1,7 unità, mentre per i valori b^* le femmine erano significativamente più basse di circa 0,9 unità.[12]

In una popolazione spagnola di 1361 soggetti, le femmine avevano in media valori L^* superiori di 2,53 unità e valori b^* inferiori di 3,11 unità rispetto ai maschi.[13]

Il colore dei denti di un individuo è determinato geneticamente e si è riscontrato che con il passare degli anni essi tendono a scurirsi, a causa dello stile di vita, dei fattori ambientali e dell'invecchiamento.

Infatti, in numerosi studi è stato dimostrato che il colore dei denti diventa più scuro e più giallo con l'età del soggetto. In un gruppo di 180 adulti e adolescenti statunitensi i cui incisivi centrali superiori sono stati misurati con uno spettrofotometro, è stato dimostrato che per ogni anno di vita, il colore medio dei denti diminuiva di 0,22 unità nel valore L^* e aumentava di 0,10 unità nel valore b^* . Cambiamenti più significativi sono stati misurati in una popolazione spagnola utilizzando uno spettrofotometro, dove il colore dei denti diminuiva di 0,6 unità nel valore L^* ogni anno, i valori b^* aumentavano di 0,56 unità ogni anno e i valori a^* aumentavano di 0,26 unità ogni anno. Inoltre, è stato dimostrato che con l'aumentare dell'età, il valore medio di b^* aumenta più rapidamente nei maschi rispetto alle femmine.

Gli studi che analizzano la relazione tra il colore della pelle ed il colore dei denti sono discordanti. La maggior parte degli studi non mostra

alcuna relazione, mentre gli studi riportati da Jahangiri et al. e Sharma et al. mostrano una relazione inversa in cui le persone con tonalità medio-scure della pelle erano più propense ad avere il valore più alto del colore dei denti rispetto alle persone con tonalità chiare o chiare/medie della pelle, indipendentemente dall'età o dal genere.[14][15]

Al contrario, Haralur et al. ha approfondito uno studio che si è occupato di osservare la relazione che sussiste tra il colore degli incisivi superiori e la pelle del viso in quattro gruppi etnici diversi e ha scoperto che il valore L* del colore dei denti aveva una correlazione positiva con il valore L* del colore della pelle per soggetti di origine saudita, indiana ed asiatica orientale.

Odioso et al. hanno misurato il colore degli incisivi centrali di soggetti di diverse origini etniche come nere, bianche ed ispaniche e hanno dimostrato che l'etnia non era un fattore correlato al colore dei denti. [16]

La scelta del colore in poche parole deve tenere conto di più fattori, non vi è infatti un colore che risulta più estetico rispetto ad un altro in quanto percepito più bianco; il colore, infatti, deve risultare armonioso a seconda delle caratteristiche del paziente.

1.2 Il Digital Smile Design

La digitalizzazione ha ora assunto un ruolo importante nel campo odontoiatrico. Il Digital Smile Design (DSD) è uno strumento moderno, versatile e innovativo per la pianificazione del trattamento dentale che consente al professionista di progettare digitalmente il sorriso del paziente a partire da una serie di fotografie pre e post-DSD.

Il software DSD consente anche al clinico di educare i pazienti riguardo alle migliorie che possono essere apportate e aiuta anche a raccogliere le preferenze e i requisiti del paziente, facendolo sentire parte integrante del processo decisionale.[17]

Alcuni dei software che possono essere utilizzati per il design digitale del sorriso includono Photoshop (Adobe), Microsoft PowerPoint (Microsoft Office, Microsoft), Smile Designer Pro (SDP) (Tasty Tech Ltd), Aesthetic Digital Smile Design (ADSD - Dr. Valerio Bini), DSD App by Coachman (DSDApp LLC), Keynote (iWork, Apple, Cupertino, California, USA), NemoDSD (3D) e Exocad DentalCAD.

Viene effettuata una scansione digitale di entrambe le arcate dentali con uno scanner intraorale digitale. Le impronte vengono quindi caricate sulla macchina di elaborazione CAD/CAM, dove vengono stampate in 3D.

Risulta essenziale l'esecuzione di fotografie ad alta risoluzione che rappresentino il profilo facciale e le vedute frontali del paziente. Tre tipologie di foto sono fondamentali nel design del sorriso e includono:

- Piano frontale completo con un sorriso naturale.
- Espressione facciale a riposo.

- Arcata mascellare e mandibolare non in occlusione.

Una foto a vista 1:1 del dente incisivo centrale con sfondo nero fornisce dettagli approfonditi su cui il tecnico di laboratorio può lavorare.

Gli elementi facciali e dentali del sorriso e i punti precedentemente discussi influenzano la maggior parte del design del sorriso. I software DSD disponibili commercialmente sono: CEREC Smile Design (SIRONA), Digital Smile System (DSS), Smile Design Pro (TASTY TECH), G Design (HACK DENTAL), Romexis Smile Design (PLANMECA) e Smile Composer (3 SHAPE).[18]

1.2.1 La Progettazione del DSD

La progettazione del DSD inizia con la scansione digitale della dentatura del paziente utilizzando uno scanner intraorale; la scansione viene successivamente importata nel software DSD corrispondente. Utilizzando i diversi strumenti disponibili del software, è possibile modificare digitalmente il sorriso per raggiungere il risultato estetico desiderato. La progettazione DSD procede quindi come segue:[19]

- 1) Dopo aver caricato le fotografie facciali, vengono tracciate sulla fotografia due linee prendendo come riferimenti la linea mediana e la linea interpupillare, andando a formare una croce.



Figura 7 Punti di riferimento per stabilire le proporzioni dei denti ed il loro rapporto con i tessuti molli. Immagine tratta da: Coachman, Christian, and Marcelo Calamita. "Digital smile design: a tool for treatment planning and communication in esthetic dentistry." *Quintessence Dent Technol* 35 (2012): 103-111.

delle linee ottenute si sovrappongono dei modelli di denti che deve essere standard ed esatto nelle dimensioni sopra la fotografia originale in modo da stabilire le inclinazioni assiali, le proporzioni rispetto ai denti adiacenti ed il loro rapporto con i tessuti molli.

Come si può osservare dalla figura 6 In questa fase vengo presi in considerazioni diversi parametri per sovrascrivere alla foto altre linee come punti di riferimento:

- Linea verde: Larghezza intercanina misurata dall'apice del margine.
- Linea gialla: Tracciata partendo dal terzo medio del margine di un incisivo centrale fino al terzo medio del margine dell'elemento opposto.
- Linea rossa: Viene tracciata dal filtro del labbro superiore alla papilla interdentale degli incisivi centrali fino all'embrasure incisale.

Si posiziona in seguito, tramite una modalità di ritaglio rettangolare, una griglia sopra la regione di entrambi gli incisivi centrali per misurare la proporzione larghezza/lunghezza degli incisivi centrali.

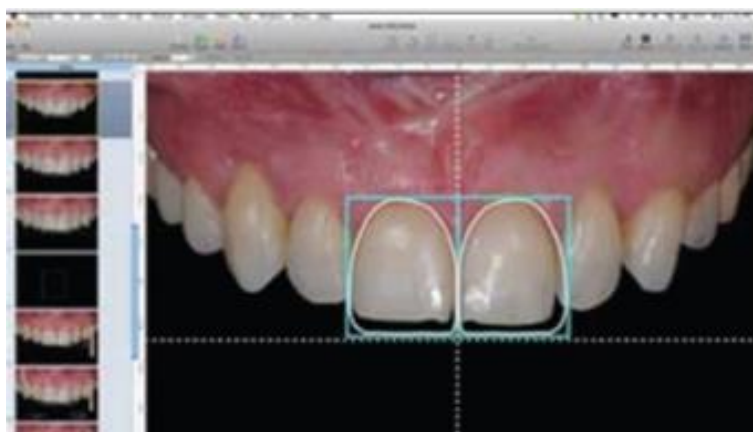


Figura 8 Griglia per misurare il rapporto larghezza/lunghezza degli incisivi centrali. Immagine tratta da: Coachman, Christian, and Marcelo Calamita. "Digital smile design: a tool for treatment planning and communication in esthetic dentistry." *Quintessence Dent Technol* 35 (2012): 103-111.

Utilizzando gli strumenti di modifica, il dente modello può essere posizionato sopra il dente fotografato, incollato e modificato per raggiungere il miglior risultato estetico; in questa fase ci si può confrontare con il paziente venendo in contro alle sue preferenze.



Figura 9 Simulazione del piano di trattamento. Immagine tratta da: Coachman, Christian, and Marcelo Calamita. "Digital smile design: a tool for treatment planning and communication in esthetic dentistry." *Quintessence Dent Technol* 35 (2012): 103-111.

1.2.2 Vantaggi e svantaggi del DSD

Il DSD consente al paziente di partecipare attivamente al proprio piano di trattamento, potendo vedere i risultati con una pre-visualizzazione fotografica ed una simulazione in 3D. Le modifiche possono essere personalizzate in base alle loro preferenze estetiche.

Uno studio condotto da Gabriele Cervino et al.[20] ha esaminato fino al 2018 ben 24 articoli sul DSD con lo scopo di valutare l'efficacia dell'uso delle tecniche di Digital Smile Design e se il Digital Smile Design apportasse miglioramenti nel comfort dei pazienti e nei loro trattamenti. Si è tenuto conto dell'utilità "comunicativa" del software,

della pianificazione terapeutica e della riabilitazione estetica e funzionale dei pazienti. Gli autori hanno concluso, da tutti gli articoli presenti nella letteratura riguardanti il Digital Smile Design, che questo strumento fornisce informazioni importanti al clinico e al paziente. I pazienti possono vedere le loro riabilitazioni anche prima di iniziarle, e ciò può anche avere importanti funzioni medico-legali.

Migliora il piano di trattamento attraverso la visualizzazione estetica del problema del paziente mediante l'analisi digitale dei parametri facciali, gengivali e dentali che calcolando le varie proporzioni del sorriso e del volto in modo obiettivo e standardizzato.

Tutti gli operatori possono accedere a queste informazioni quando necessario per rivedere, cambiare o aggiungere componenti durante le fasi diagnostica e di trattamento, senza essere disponibili nello stesso luogo o allo stesso momento. Questo migliora la comunicazione visiva, aumenta la trasparenza, crea un migliore lavoro di squadra e una pianificazione del trattamento interdisciplinare.

Non migliora solo la comunicazione tra il clinico e il paziente, ma anche tra il clinico e il tecnico di laboratorio. Tutti gli operatori che seguono il caso possono accedere a queste informazioni quando necessario per rivedere, cambiare o aggiungere componenti durante le fasi diagnostica e di trattamento, senza essere disponibili nello stesso luogo o allo stesso momento. Questo aumenta la trasparenza, crea un migliore lavoro di squadra e una pianificazione del trattamento interdisciplinare. Anche il tecnico di laboratorio riceve riscontri sulle aspettative dei pazienti relative alla forma, all'arrangiamento e al colore dei denti per consentire eventuali modifiche desiderate. Questo controllo persistente assicura la qualità del risultato finale.

Sebbene il DSD si presenti come uno strumento di pianificazione del trattamento interessante per i pazienti, presenta alcune limitazioni. Si configura come una soluzione costosa perché per una progettazione digitale completa in 3D, sono necessari software 3D con aggiornamenti, uno scanner intraorale, una stampante 3D e un sistema CAD/CAM, il che rende il processo economicamente costoso.

Non può essere utilizzato da chiunque poiché occorre una rigorosa formazione per imparare a utilizzare lo strumento.

A volte, il paziente non è d'accordo con l'outcome del trattamento, nonostante il software avesse simulato il risultato migliore.

Poiché la diagnosi e il piano di trattamento dipendono dalla documentazione fotografica e video, l'inadeguatezza in questi elementi potrebbe distorcere l'immagine di riferimento e portare a una diagnosi e pianificazione errate.

1.3 Le Proprietà dei compositi ibridi

Al giorno d'oggi le resine composite rappresentano i materiali con le caratteristiche più adeguate alle ricostruzioni dentali, essi infatti sono caratterizzati da: biocompatibilità, eccellente estetica, proprietà antibatteriche, ottime proprietà fisiche, meccaniche e termiche.

Questi materiali vengono utilizzati in odontoiatria per una varietà di applicazioni, tra cui ricostruzioni, rivestimenti per cavità, sigillanti per fosse e solchi, intarsi, onlay, corone e restauri provvisori. È probabile che l'uso di questi materiali continuerà a crescere risultando dei materiali molto versatili. [21]

I compositi dentali possono essere distinti in base alle differenze nella loro formulazione che conferisce determinate caratteristiche specifiche in base alle esigenze dell'operatore nel loro utilizzo.

Questi materiali sono tutti composti da: una matrice polimerica, tipicamente un di-metacrilato; riempitivi, tipicamente realizzati in vetro radiopaco con lo scopo di rinforzare il materiale; un agente di accoppiamento silano, che serve a legare il riempitivo alla matrice, e sostanze chimiche che promuovono o modulano la reazione di polimerizzazione.

Il monomero di base predominante nei compositi dentali commerciali è il bis-GMA; a causa della sua alta viscosità viene mescolato ad altri di-metacrilati, come il TEGDMA, l'UDMA o altri monomeri per fornire proprietà diverse.[22]

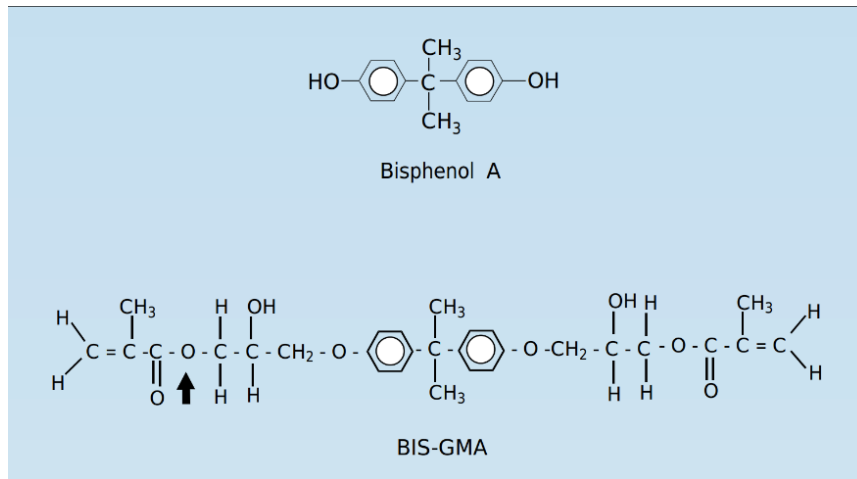


Figura 10 Struttura chimica del Bis- GMA. Immagine tratta da: Ferracane JL. Resin composite--state of the art. Dent Mater. 2011 Jan;27(1):29-38.

Alcuni dei monomeri appena citati, o versioni modificate di essi, vengono utilizzati anche come monomeri di base in molti materiali commerciali. La maggior parte dei compositi è attivata dalla luce.

Il canforochinone (CQ) è il fotoiniziatore più comunemente utilizzato, il quale tendenzialmente viene accoppiato ad un catalizzatore rappresentato da un'ammina terziaria. [23]

Alcune formulazioni commerciali hanno incluso altri fotoiniziatori, come il PPD (1-fenil-1,2-propanedione) [24], il Lucirin TPO (ossido di monoacilfosfina) e l'Irgacure 819 (ossido di bisacilfosfina) i quali risultano meno gialli del CQ e quindi potenzialmente più stabili dal punto di vista del colore.[25]

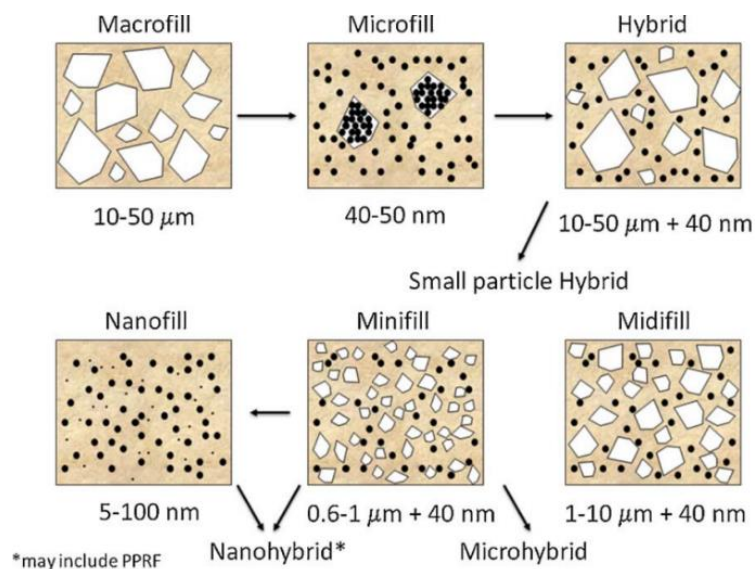


Figura 11 *Suddivisione dei compositi in base alla grandezza dei riempitivi. Immagine tratta da: Ferracane JL. Resin composite--state of the art. Dent Mater. 2011 Jan;27(1):29-38.*

I compositi con una viscosità bassa si definiscono compositi fluidi e sono progettati per essere erogati da delle apposite siringhe, questo tipo di materiale è caratterizzato da una particolare adattabilità; i compositi con maggiore viscosità offrono invece una maggiore resistenza.

I compositi fluidi sono tipicamente prodotti riducendo la quantità di riempitivo nella miscela o aggiungendo altri agenti modificanti, come tensioattivi, che migliorano la fluidità evitando una significativa riduzione della quantità di riempitivo, la quale comporterebbe una notevole riduzione delle proprietà meccaniche. [26] Le resine composite ottengono una maggiore viscosità tramite la modifica delle dimensioni dei riempitivi o l'aggiunta di altri tipi di particelle, come fibre, ma in generale senza quantitativamente il materiale di riempimento [27]

All'interno di ciascun tipo di composito, i materiali si distinguono ulteriormente per le caratteristiche dei loro riempitivi e, in particolare, per le loro dimensioni.

I compositi dentali convenzionali contenevano delle particelle che superavano di gran lunga $1\ \mu\text{m}$ e avevano tipicamente riempitivi con un diametro pari a circa un capello umano ($\sim 50\ \mu\text{m}$). Inizialmente i compositi "macrofill" erano molto resistenti, ma difficili da lucidare e da mantenere lisci in superficie. Per superare questo deficit i produttori hanno iniziato a formulare compositi definiti "microfill", per sottolineare il fatto che le particelle erano "microscopiche". In realtà, questi materiali erano veri e propri nanocompositi, poiché le dimensioni medie delle particelle sferiche di silice amorfa rinforzante erano di circa $40\ \text{nm}$.

I compositi "microfill" erano lucidabili ma generalmente deboli a causa del loro contenuto relativamente basso di riempitivi, e fu necessario trovare un compromesso per ottenere una resistenza adeguata associata ad una migliore lucidabilità ed estetica. Pertanto, la dimensione delle particelle dei compositi convenzionali fu ridotta attraverso ulteriori lavorazioni per produrre ciò che furono definiti successivamente "compositi ibridi a particelle piccole". Questi furono ulteriormente distinti come "midfills", con dimensioni medie delle particelle, leggermente superiori a $1\ \mu\text{m}$, ma contenenti anche una parte dei "riempitivi microscopici" di silice fumata delle dimensioni di $40\ \text{nm}$. Ulteriori perfezionamenti nella dimensione delle particelle, attraverso tecniche di fresatura e triturazione avanzate, portarono alla creazione di compositi con particelle di dimensioni sub-microscopiche, con una media di circa $0,4\text{-}1,0\ \mu\text{m}$, inizialmente chiamati "minifills" [28]

e successivamente noti come "microibridi". Questi materiali sono generalmente considerati compositi universali in quanto possono essere utilizzati per la maggior parte delle applicazioni anteriori e posteriori in base alla loro combinazione di resistenza e lucidabilità. La più recente innovazione è stata lo sviluppo dei compositi "nanofill", contenenti solo particelle di dimensioni nanometriche. La maggior parte dei produttori ha modificato le formulazioni dei loro compositi microibridi per includere più nanoparticelle e riempitivi di resina prepolimerizzata, chiamando questo gruppo di materiali "nanohybrids". In generale, è difficile distinguere i nanohybrids dai microibridi. Le loro proprietà, come modulo di resistenza a flessione ed elasticità, tendono a essere simili.

Mentre alcuni hanno mostrato evidenze di una ridotta stabilità durante la conservazione in acqua per i compositi nano-ibridi o nano-riempitivi rispetto ai microibridi [29] altri hanno mostrato una tendenza opposta [30] o una suscettibilità abbastanza simile all'invecchiamento. [31]

I materiali nanofill e nanohybrid rappresentano il gold standard in termini di formulazione dei riempitivi [32], [33]. Sono state condotte analisi esaustive al microscopio e analisi elementari su molti compositi attuali per verificare le significative differenze nella composizione dei riempitivi, nelle dimensioni e nella forma delle particelle [34]. Le nuove ricerche per i riempitivi rinforzanti si sono generalmente concentrate su materiali di dimensioni nanometriche e riempitivi organico-inorganici ibridi [32].

I compositi dentali attuali hanno proprietà meccaniche adeguate all'uso in tutte le aree della bocca. Tuttavia, persiste una preoccupazione quando i materiali vengono posizionati in situazioni di

stress elevato, specialmente nei pazienti con abitudini di bruxismo o parafunzioni masticatorie. La preoccupazione in questo caso riguarda la frattura della ricostruzione così come l'usura. L'usura è considerata un problema di minore entità per i materiali attuali rispetto a quelli che erano lo standard di cura un decennio fa, in gran parte grazie al perfezionamento delle dimensioni dei riempitivi rinforzanti, che ha ridotto significativamente l'entità dell'usura abrasiva. Tuttavia, quando vengono posizionati in preparazioni ampie, magari su diversi denti in un quadrante, e quando vengono utilizzati per sostituire le cuspidi, l'usura di questi materiali è un aspetto da prendere in considerazione in considerazione.[35]

Negli ultimi anni sono stati presentati dati quasi esaustivi sulle proprietà meccaniche dei compositi dentali[36], [37]. I dati offrono l'opportunità di avere una visione generale dell'entità relativa delle proprietà dei diversi tipi di compositi, e mostrano in generale che le proprietà meccaniche sono principalmente legate al contenuto di riempitivo; infatti, i compositi che hanno più riempitivo risultano essere i più resistenti, più rigidi e più tenaci.

I compositi dentali hanno una resistenza alla flessione, alla frattura ed alla trazione simili alla porcellana e all'amalgama e sono superiori agli ionomeri di vetro. Forse la proprietà in cui il composito dentale è più visibilmente carente rispetto all'amalgama è il modulo elastico, dove il composito è tipicamente diverse volte inferiore. Questo modulo inferiore può consentire una maggiore deformazione e variazione dimensionale sulle superfici occlusali sotto stress elevato, che portano alla formazione di difetti o all'usura potenziata dovuta all'aumento del contatto superficiale.

1.4 Le Proprietà dei Compositi Flow

I compositi flow sono composti da una percentuale di riempitivo che varia dal 37% al 53% del volume, percentuale più bassa rispetto ai convenzionali compositi “minifilled” ibridi i quali sono composti da un 50%-70% di riempitivo.[38]

Uno studio di Bayne et al. ha esaminato le proprietà di otto flow, comparati con due compositi ibridi, in termini di resistenza alla compressione, resistenza alla trazione diametrale (diametral tensile strength o DTS), resistenza alla flessione ed in base alla loro durezza.

Dallo studio è emerso che le proprietà meccaniche rappresentavano circa il 60-90 percentile delle proprietà meccaniche dei compositi convenzionali. Si può concludere che i materiali flow hanno una minore resistenza agli stress elevati.[39]

Anche lo studio di Nuray et al. ha esaminato la resistenza alla flessione di otto flow con un composito ibrido di controllo concludendo che quest'ultimo ha una maggiore resistenza alla flessione.[40]

Estaban D. Bonilla et al. fece uno studio in cui si prese in considerazione la resistenza al “crack propagation” di 9 compositi con diversi riempitivi, i risultati descrivono che non ci sono state differenze in termini di resistenza in 7 compositi flow su 9. Nello studio affermano che non c'è correlazione tra il gruppo di compositi flow tra la quantità di riempitivo in volume e la resistenza alla frattura.[41]

Dagli studi citati in precedenza emerge che le caratteristiche fisiche e chimiche dei compositi flow permettono di avere una bassa viscosità

in cambio di una minore resistenza alle forze rispetto ai compositi ibridi.

Si è visto che aggiungendo al riempitivo nanoparticelle si possono migliorare le proprietà meccaniche mantenendo la maneggevolezza del materiale.

Un flow commerciale è stato unito a 7nm di silice fumata; sono stati testati la resistenza alla frattura e la resistenza alla flessione notando dei miglioramenti meccanici.[42]

Il valore della fluidità varia significativamente da un prodotto all'altro. La viscosità, come le caratteristiche del flow, influenza il comportamento del materiale nelle varie disposizioni cliniche rendendo più adeguato ad un lavoro rispetto ad un altro.[43]

Dalle informazioni citate in precedenza si assume che le caratteristiche dei flow sono molto variabili e dipendono da come il materiale viene prodotto e da quale tipo di riempitivo viene utilizzato; si è visto come essi possono essere più o meno resistenti e più o meno viscosi a seconda dell'utilizzo clinico da parte dell'operatore.

Contrazione alla polimerizzazione

Un fenomeno che interessa i materiali compositi consiste nella contrazione da polimerizzazione. Quando il materiale indurisce in seguito alla luce fotopolimerizzante subisce una piccola contrazione volumetrica che causa uno stress maggiore a livello della zona tra il restauro e la superficie del dente che può provocare la formazione di

microleakage ovvero minifiltrazioni, con conseguente perdita di adesione del restauro e la formazione di carie secondarie.[44], [45]

I flow più utilizzati hanno mediamente una contrazione alla polimerizzazione del 5% che risulta molto più bassa rispetto ai compositi ibridi.[46]

I compositi flow vengono sfruttati grazie alla loro capacità di adattarsi alle superfici da trattare come margini e colletti e di penetrare negli spazi più piccoli per la loro viscosità bassa.[47]

Bisogna specificare che per rendere una resina composita meno viscosa si agisce su due livelli: il primo è quello di sostituire i monomeri ad alto peso molecolare come il Bis GMA con alcuni a basso peso molecolare come il TEGDMA; il secondo è quello di ridurre il volume di riempitivo rispetto alla matrice.

Lo studio di S. Jager et al. si è occupato di analizzare diversi flow con diversa viscosità per determinare le proprietà che questi materiali assumono quando sono caratterizzati da diverse percentuali di riempitivo studiando i comportamenti reologici.[48]

Resistenza alla frattura

È stata testata utilizzando 5 campioni per ognuno dei materiali, la resistenza a tempo zero è stata valutata tramite una macchina per microhardness (Matsuzawa MXT 50, Matsuzawa Seiki Co Ltd, Tokyo, Japan)

È stata applicata una forza di 200g per 20 secondi.

Dopo la prima misura i campioni sono stati immersi in acqua distillata ad una temperatura di 37 gradi, l'acqua è stata cambiata ogni 15 giorni per due anni.

Inizialmente l'acqua comporta un effetto di plastificazione poiché le sue molecole si infiltrano a livello delle catene del polimero provocando una diminuzione della forza di frizione delle catene.[49]

D'altro canto, la temperatura a 37 gradi può promuovere la conversione dei polimeri dando luogo a cross-linked postcuring reactions del composito nel tempo.[50]

Questi effetti agiscono in maniera opposta per la resistenza, la plastificazione la riduce mentre la polimerizzazione postera la aumenta.

Bisogna notificare che perché avvenga la postpolimerizzazione è necessaria una certa mobilità da parte delle catene del polimero, caratteristica che va diminuendo con l'aumentare del peso volumetrico del riempitivo, nella tabella si può osservare come i flow con un alto contenuto di riempitivo dopo una settimana hanno subito una modifica della resistenza maggiore rispetto al flow meno viscoso. Si può concludere che un volume di riempitivo alto, pur avendo più resistenza non garantisce una durabilità maggiore in termini di resistenza rispetto al flow meno viscoso.

Tempo di immersione: 7, 60, 120,180,360,720 giorni.

Studiando le proprietà del fluido hanno concluso che una bassa viscosità ed un basso comportamento elastico prima della fotopolimerizzazione possono essere combinate con un alto filler

offendo un soddisfacente compromesso tra l'adattabilità del materiale e la resistenza dello stesso.

Material	Immediately Postcure	Immersion Time					
	J0	J7	J60	J120	J180	J360	J720
GHF	68.0 ^{aA} (1.9)	58.0 ^{aB} (1.7)	61.7 ^{aC} (1.1)	62.9 ^{aC} (1.6)	62.7 ^{aC} (1.27)	63.5 ^{aC} (2.6)	63.3 ^{aC} (1.4)
GRF	45.2 ^{bA} (2.3)	40.9 ^{bB} (1.4)	41.8 ^{bA} (1.0)	42.0 ^{bA} (1.3)	42.37 ^{bA} (1.1)	42.4 ^{bA} (1.0)	43.5 ^{bA} (1.3)
XTE	36.3 ^{cA} (2.0)	37.9 ^{bA} (1.2)	38.6 ^{cA} (1.0)	39.9 ^{bA} (1.4)	38.9 ^{cA} (0.8)	41.0 ^{bB} (0.6)	41.7 ^{bB} (0.7)
CLI	9.5 ^{dA} (0.6)	9.5 ^{cA} (0.5)	10.4 ^{dB} (0.2)	10.9 ^{cB} (0.3)	10.9 ^{dB} (0.2)	11.6 ^{cC} (0.1)	12.3 ^{cC} (0.2)

^a In each column, results with the same superscript lowercase letter are not statistically different. In each row, results with the same superscript uppercase letter are not statistically different.

Tabella 1 Risultati dell'esperimento sulla resistenza alla frattura dei vari compositi immersi in acqua distillata dopo 0,7,120,180,360 e 720 giorni. Fonte: Jager, S., et al. "Filler content, surface microhardness, and rheological properties of various flowable resin composites." *Operative dentistry* 41.6 (2016): 655-665.

1.5 Le Proprietà dei Compositi Riscaldati

Con alcuni tipi di restauri diretti risulta a volte complicato raggiungere un completo sigillo tra il dente ed il composito. Un composito con una bassa viscosità aumenta il sigillo ma si perde resistenza meccanica del restauro dovuta ai limiti dei compositi flow, un secondo approccio consiste nell'utilizzare un composito flow come sottofondo per poi completare il restauro con un composito; un terzo approccio consiste invece nell'utilizzare i compositi riscaldati.

Ci sono studi che hanno dimostrato che una minore viscosità diminuisce la percentuale di probabilità di avere microleakage nei restauri.[51], [52]

Lo studio di W.C Wagner et al. si è occupato di analizzare queste tre metodiche: utilizzo del composito riscaldato, composito non riscaldato e composito con un flow di sottofondo nelle II classi, per osservare quale tra queste presenta la maggior casistica di microleakage nei restauri.[53]

Per lo studio sono stati utilizzati denti estratti con assenza di lesioni cariose, conservati in una soluzione di 0.2% di azoturo a temperatura ambiente; la grandezza delle cavità della preparazione variavano a seconda dell'anatomia del dente, il margine cervicale della preparazione era situato a livello del cemento dentale 1/1,5 mm apicale alla linea amelo-cementizia.

Tutte le cavità sono state preparate da un singolo operatore. Sono stati presi in considerazione 4 trattamenti: Controllo (C), Composito

riscaldato (P), Composito flow (F) e “Delayed” (D) dove sono stati aspettati 15 secondi prima della polimerizzazione.

I microleakage sono stati analizzati tramite il Penetrant Test (PT), per evitare che il liquido utilizzato entrasse all’interno dell’elemento dentale tramite altri meccanismi, la superficie del dente è stata ricoperta tramite resina epossidica per far sì che l’unica potenziale superficie da cui potesse entrare il liquido fosse la zona di ricostruzione del dente.

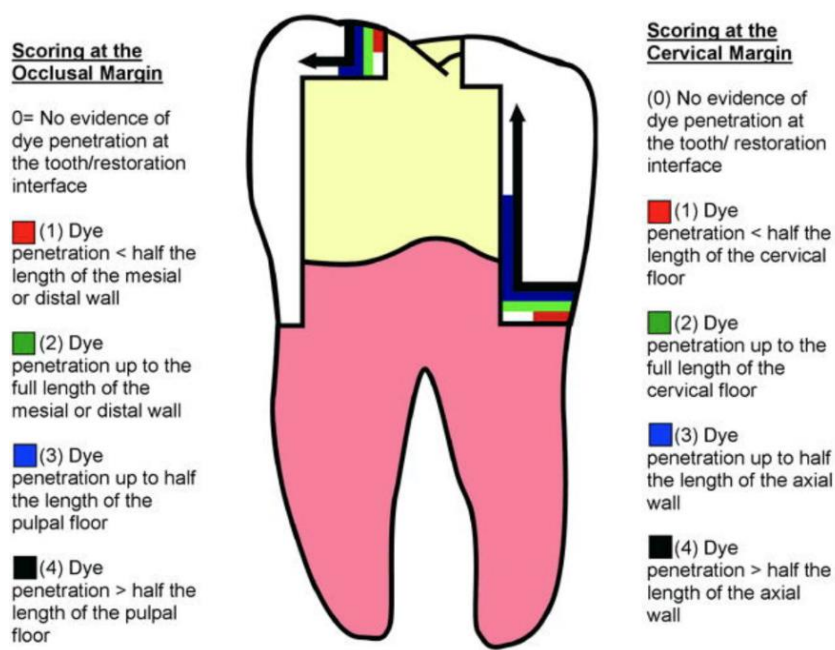


Figura 12 Illustrazione schematica delle classificazioni delle microinfiltrazioni dell’esperimento di Wagner sulla formazione dei microleakage. Immagine tratta da: Wagner WC, Aksu MN, Neme AM, Linger JB, Pink FE, Walker S. *Effect of pre-heating resin composite on restoration microleakage. Oper Dent.* 2008 (10.2341/07-41).

I risultati dello studio sono stati analizzati tramite Wilcoxon Signed Rank Tests. Per quanto riguarda la zona cervicale, i compositi riscaldati presentano un numero minore di microleakage, al contrario di quelli riscaldati (Delayed) che ne presentano il numero maggiore.[53]

Cinetica di polimerizzazione

La polimerizzazione foto attivata dei materiali compositi a base di dimetacrilato si basa sulla formazione di radicali liberi e di una rete di legami che si formano durante questo processo.

La polimerizzazione delle resine composite è caratterizzata da una prima fase di auto accelerazione caratterizzata da un aumento della velocità di reazione (R_p) sebbene il numero di monomeri nel tempo, a causa della reazione, diminuiscano.[54]

Dopo che la reazione ha raggiunto il picco di velocità (R_p^{\max}) inizia la fase di auto decelerazione dove la velocità di reazione diminuisce a causa della ridotta mobilità dei monomeri in seguito alla formazione della rete di legami che si instaurano nel materiale.[55]

Lo studio di Rueggeberg et al. ha analizzato come la temperatura iniziale delle resine composite influenzi il processo di polimerizzazione di quest'ultime.

È stato utilizzato un composito ibrido fotoattivato commerciale (Esthet-X, tonalità A2, lotto n. 030221; Dentsply/Caulk, Milford, DE, USA).

Il composito è stato posizionato in un anello di ottone alto 2 mm.

Le temperature di pre-polimerizzazione del composito erano 3°, 10°, 20°, 22° (controllo), 25°, 27°, 30°, 40°, 54° e 60°C.

Il valore di 3°C rappresentava la temperatura di conservazione in frigorifero. La superficie superiore del composito è stata esposta con un'unità di polimerizzazione alogena al quarzo-tungsteno convenzionale (Optilux 501; Demetron/Kerr Co., Orange, CA, USA) per 5, 10, 20 o 40 secondi.

La potenza della luce polimerizzante era di 630 mW/cm² tra 350 e 600 nm, misurata con uno spettrometro radiometrico di grado di laboratorio (DAS 2100; Labsphere, N. Sutton, NH, USA). Gli spettri infrarossi sono stati raccolti sia a 0 mm che a 2 mm di profondità del composito. La conversione dei monomeri è stata determinata mediante metodi standard che utilizzano variazioni nei rapporti dei picchi di assorbimento alifatici-aromatici C=C nello stato non polimerizzato e polimerizzato.[56]

I risultati di questo studio hanno dimostrato l'influenza significativa della temperatura del composito sulla cinetica di polimerizzazione di un composito restaurativo dentale. L'aumento della temperatura ha migliorato notevolmente la mobilità molecolare, aumentando la frequenza di collisione delle specie reattive e consentendo una maggiore conversione del monomero prima dell'inizio dell'autodecelerazione. C'è stato un aumento dell'R_{pmax}, l'aumento della mobilità molecolare ha permesso alla reazione di polimerizzazione di continuare per un periodo più lungo.

Il tempo per raggiungere R_{pmax} (t_{max}) non è variato significativamente con la temperatura.

Rpmax sulla superficie superiore era significativamente maggiore rispetto a 2 mm di profondità, e tmax si è verificato prima sulla superficie superiore.

La durata dell'esposizione non ha avuto un effetto significativo sui parametri cinetici, tranne a 2 mm di profondità, dove esposizioni più brevi hanno prodotto un Rpmax inferiore.

Questi risultati indicano l'importanza della temperatura nella polimerizzazione dei compositi dentali e suggeriscono che il preriscaldamento del composito può migliorare la cinetica di polimerizzazione.[57]

Adattabilità a livello dei margini

Lo studio di Silva e al. [58] ha osservato il comportamento dei compositi riscaldati a livello dei margini del restauro e se l'aumento della temperatura con conseguente diminuzione della viscosità del materiale possa influenzare il risultato della ricostruzione.

Quaranta incisivi bovini sani sono stati conservati in una soluzione di clorammina al 0,5% per non più di tre mesi dopo l'estrazione. Sono stati utilizzati trapani diamantati cilindrici (rif. #2094, KG Sorensen, Barueri, SP, Brasile) per preparare cavità di classe V (4 mm di larghezza × 2 mm di lunghezza × 2 mm di profondità) con margini in smalto e pareti assiali in dentina. Le pareti interne di ciascuna cavità (C-factor = 3) erano perpendicolari alle superfici superiore e inferiore, con angoli arrotondati.

Le preparazioni sono state mordenzate (acido fosforico al 35%, 3M/ESPE, St. Paul, MN, USA) per 15 s, lavate e asciugate delicatamente. Il sistema adesivo Adper Single Bond 2 (3M/ESPE, St. Paul, MN, USA; numero di lotto 6FT) è stato applicato secondo le istruzioni del produttore e polimerizzato con luce per 10 s a 600mW/cm². Il composito a resina, a temperatura ambiente o preriscaldato a 68 °C, è stato posizionato in massa e polimerizzato con luce per 20 s.

I risultati mostrano che il composito preriscaldato ha una adattabilità migliore sulla superficie rispetto ai compositi a temperatura ambiente.

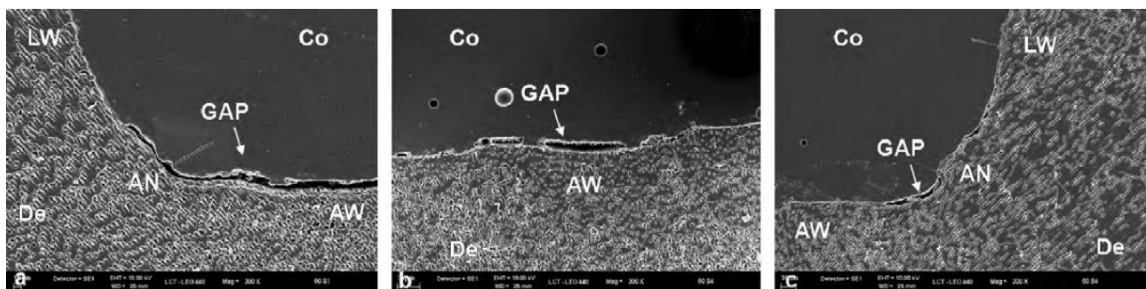


Figura 13 Analisi microscopica della formazione di "gap" tra il restauro in composito a temperatura ambiente e la superficie del dente. Foto tratta da: Fróes-Salgado NR, Silva LM, Kawano Y, Francci C, Reis A, Loguercio AD. Composite pre-heating: effects on marginal adaptation, degree of conversion and mechanical properties. Dent Mater. 2010 Sep;26(9):908-14. doi: 10.1016/j.dental.2010.03.023. Epub 2010 Jun 16.

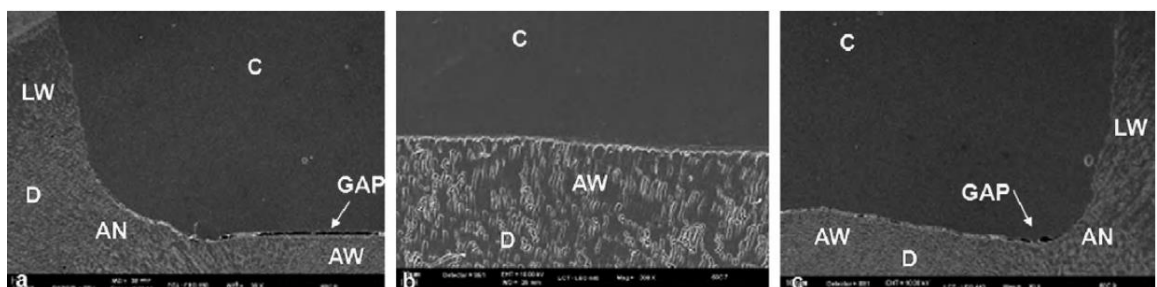


Figura 14 Analisi microscopica della formazione di "gap" tra il restauro in composito riscaldato e la superficie del dente. Foto tratta da: Fróes-Salgado NR, Silva LM, Kawano Y, Francci C, Reis A, Loguercio AD. Composite pre-heating: effects on marginal adaptation, degree of conversion and mechanical properties. Dent Mater. 2010 Sep;26(9):908-14. doi: 10.1016/j.dental.2010.03.023. Epub 2010 Jun 16.

Aumento della temperatura pulpare

Sono stati eseguiti molteplici studi per capire se i compositi a caldo creassero dei danni alla polpa dentale a causa della loro temperatura nel momento in cui si esegue il restauro e tutti hanno smentito questa possibilità.[59][60], [61]

Uno degli studi più completo è quello di Rueggeberg et al.[59][59] in cui è stato utilizzato un premolare superiore umano estratto con una preparazione di Classe V divergente e ampia che lasciava uno spessore di dentina residua di 1 mm sulla parete assiale. È stato simulato l'ambiente in vivo: temperatura fisiologica (tra 34 e 35 °C) e un flusso simulato di fluido intrapulpale.

È stata creata un'apertura di accesso dalla superficie linguale nella camera pulpare ed è stato inserito all'interno di essa un sensore termico.

Il dente è stato restaurato utilizzando un singolo strato di composito ibrido spesso 2 mm sia a temperatura ambiente che preriscaldato. L'irradianza della sorgente luminosa misurava 630 mW/cm² tra 350 e 600 nm.

È emerso che l'uso del composito preriscaldato (impostato a 54 o 60 °C) non ha prodotto un aumento di temperatura significativamente dannoso rispetto al composito posizionato a temperatura ambiente. Il fattore più importante attribuito all'aumento della temperatura intrapulpale è stato associato all'applicazione della luce di polimerizzazione, che si è rivelata essere di più di 5 °C, indipendentemente dalla temperatura del composito al momento del posizionamento.

1.6 L'Injection molding technique

Le ricostruzioni dirette degli elementi dentali anteriori sono un processo che richiedono molto tempo e dipendono fortemente dalle competenze dell'operatore, e la gestione dei compositi convenzionali per il restauro di casi clinici estetici può essere impegnativa; quindi, i clinici spesso preferiscono eseguire ricostruzioni indirette quando si tratta di trattamenti estesi. Tuttavia, le ricostruzioni indirette sono eseguite da un tecnico dentale, il che ne aumenta il costo e il tempo di esecuzione.[62]

I compositi a bassa viscosità o fluidi hanno originariamente presentato un livello ridotto di particelle di riempimento rispetto ai materiali compositi ibridi ed erano inizialmente indicati come liner e basi. Uno svantaggio di tali materiali è rappresentato da una minore resistenza all'usura, resistenza e stabilità del colore. Il loro sviluppo continuo ha portato a formulazioni più recenti migliorate; sono stati lanciati compositi fluidi a bassa viscosità altamente riempiti (carico di riempimento del 69%) dotati di una maggiore resistenza meccanica, resistenza all'usura e un migliore mantenimento della lucentezza, utilizzabili tramite la injection molding technique[62]. Tuttavia, la letteratura su questo materiale è ancora scarsa e il suo utilizzo a lungo termine richiede attenzione.

Una delle caratteristiche che contraddistingue questa tecnica è la pianificazione del piano di trattamento. In primo luogo, si scattano delle fotografie per documentare il caso ovvero fotografie degli elementi dentali senza e con retrattore delle labbra.



Figura 15 Foto del sorriso senza retractor occlusale. Immagine tratta da: McLaren, Edward A., David A. Garber, and Johan Figueira. "The Photoshop Smile Design technique (part 1): digital dental photography." *Compend Contin Educ Dent* 34.10 (2013).



Figura 16 Foto dell'arcata dentale utilizzando un retractor occlusale. Immagine tratta da: McLaren, Edward A., David A. Garber, and Johan Figueira. "The Photoshop Smile Design technique (part 1): digital dental photography." *Compend Contin Educ Dent* 34.10 (2013).

Dopo aver eseguito la fase fotografica si può procedere con la pianificazione delle ristrutturazioni da eseguire tramite due strade, analogica o digitale.

Progettazione analogica

- 1) Si prendono le impronte di entrambe le arcate utilizzando come materiale l'alginato e registrando l'occlusione tramite liquidi o cere per l'articolazione. Le impronte verranno sviluppate dall'odontotecnico che creerà dei modelli in gesso.
- 2) Viene eseguito un wax-up sul modello in gesso a livello degli elementi che devono essere ricostruiti, in questa fase l'odontotecnico tiene conto di tutte le caratteristiche estetiche che devono essere rispettate e delle istruzioni del dentista, il quale può venire in contro a delle preferenze estetiche suggerite dal paziente.

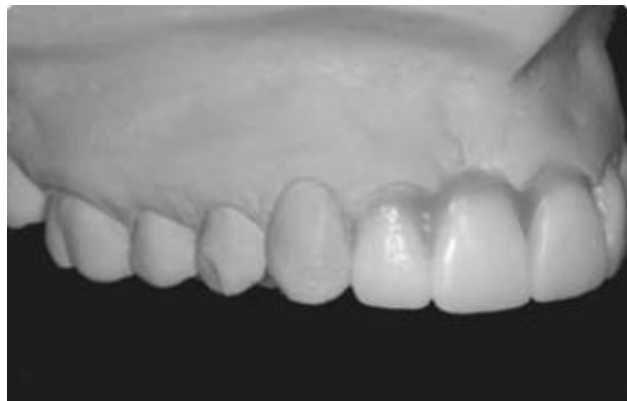


Figura 17 Wax up sul modello in gesso
immagine tratta da: Newitter DA. Predictable
diastema reduction with filled resin: diagnostic
wax-up. *J Prosthet Dent.* 1986 Mar;55(3):293-6.

- 3) Si prende l'impronta del wax-up del paziente utilizzando PVS Putty, che servirà da guida per eseguire il mock-up degli elementi sul paziente. Questa fase risulta importante dal punto di vista della comunicazione del paziente. Infatti, il paziente può avere un'anteprima approssimativa di quale sarà il risultato finale del piano di trattamento ed insieme

all'operatore esporre eventuali preferenze su alcuni aspetti come lunghezza e colore dei denti.



Figura 18 Mock up sul paziente. Immagine tratta da: Newitter DA. Predictable diastema reduction with filled resin: diagnostic wax-up. *J Prosthet Dent.* 1986 Mar;55(3):293-6.

Progettazione digitale (DSD)

- 1) Vengono prese le impronte di entrambe le arcate tramite scanner orale digitale il quale registra anche l'informazione oclusale.



Figura 19 Scansioni digitali. immagine tratta da: Abrera-Crum L, D'Affronte LC, Platia CL, Yimer LK. Challenges in the workflow of a digital diagnostic wax-up: a case report. *Gen Dent.* 2020 Sep-Oct;68(5):56-60. PMID: 32857050.

- 2) Le scansioni vengo inviate in tempo reale al laboratorio odontotecnico di riferimento, il fatto di ricevere digitalmente le impronte riduce i tempi di lavoro poiché non devono essere trasportate fisicamente.

- 3) L'odontotecnico esegue un wax-up digitale utilizzando dei software specifici andando a ricostruire tridimensionalmente gli elementi sul modello digitale secondo le indicazioni dell'operatore.



Figura 20 Wax up digitale. immagine tratta da: Geštakovski D. The injectable composite resin technique: minimally invasive reconstruction of esthetics and function. Clinical case report with 2-year follow-up. Quintessence Int. 2019;50(9):712-719.

- 4) Grazie alla documentazione fotografica è possibile eseguire un mock-up digitale andando a simulare sulla fotografia del paziente il risultato finale per dare una prospettiva allo stesso su come cambierà il proprio sorriso. La formulazione di questa simulazione varia a seconda del programma utilizzato, un esempio è riportato nella figura 21.



Figura 21 Mock up digitale. Immagine tratta da: Geštakovski D. The injectable composite resin technique: minimally invasive reconstruction of esthetics and function. Clinical case report with 2-year follow-up. Quintessence Int. 2019;50(9):712-719.

5) Dopo che viene confermato il piano di trattamento vengo stampati i modelli 3D grazie ad una stampante tridimensionale.



Figura 21 Modelli 3D delle arcate dentali. immagine tratta da: Abrera-Crum L, D'Affronte LC, Platia CL, Yimer LK. *Challenges in the workflow of a digital diagnostic wax-up: a case report. Gen Dent. 2020 Sep-Oct;68(5):56-60.*

Dopo la pianificazione del piano di trattamento ed avendo ottenuto i modelli, che siano in gesso o stampati tramite stampante 3D, viene prodotta sull'arcata di riferimento una mascherina di PVS trasparente, esistono varie marche che producono questo tipo di materiale, nella maggior parte dei casi clinici riportati in letteratura gli operatori usano EXACLEAR un prodotto dell'azienda GC.[63][64]



Figura 22 Mascherina in silicone trasparente. Immagine tratta da: Geštakovski D. *The injectable composite resin technique: minimally invasive reconstruction of esthetics and function. Clinical case report with 2-year follow-up. Quintessence Int. 2019;50(9):712-719.*

Il silicone trasparente è erogabile tramite una siringa ed essendo un materiale morbido richiede l'utilizzo di una base più rigida sul quale formare la mascherina, questa base tendenzialmente è anch'esso un PVS trasparente ma più rigido.

La mascherina durante l'indurimento viene posizionata su una camera a pressione da 1.5 bar, questo procedimento evita la formazione di bolle d'aria all'interno del materiale garantendo una vestibilità ottimale ed accuratezza dei dettagli sia superficiali sia dei contorni.

Affinché sia possibile iniettare il composito flow attraverso la mascherina vengono praticati dei fori di accesso, delle dimensioni della punta del composito fluido, nella mascherina, in concomitanza degli elementi da restaurare, leggermente vestibolare rispetto ai margini occlusali.



Figura 23 Mascherina trasparente con dei fori a livello degli elementi da ristrutturare per permettere l'iniezione di composito flow. Immagine tratta da: Geštakovski D. The injectable composite resin technique: minimally invasive reconstruction of esthetics and function. Clinical case report with 2-year follow-up. Quintessence Int. 2019;50(9):712-719.

È necessario isolare ogni dente non incluso nel piano di trattamento tramite del nastro di politetrafluoroetilene, il minimo spessore di questo materiale fa sì che non ci siano interferenze con il corretto posizionamento della mascherina trasparente.



Figura 24 Isolamento degli elementi adiacenti alle ricostruzioni tramite l'uso di teflon ed iniezione del composito. Immagine tratta da: Geštakovski D. *The injectable composite resin technique: minimally invasive reconstruction of esthetics and function. Clinical case report with 2-year follow-up. Quintessence Int. 2019;50(9):712-719.*

I denti da restaurare vengono trattati con acido fosforico al 38%, vengono sciacquati e viene applicato l'adesivo secondo le istruzioni del produttore.

Dopo aver preparato gli elementi all'esecuzione del restauro si applica la mascherina e si inietta il composito fluido attraverso i fori riempiendo l'intera superficie vestibolare e palatale/linguale.

Bisogna prestare attenzione al fatto che la mascherina sia completamente aderente all'arcata del paziente prima di polimerizzare.

Per ottenere una polimerizzazione ottimale, a causa dello spessore della mascherina, risulta favorevole aumentare il tempo di

polimerizzazione, non ci sono studi che danno un valore di tempo preciso.

Dopo aver polimerizzato il composito flow bisogna rimuovere i residui in eccesso tramite una fresa per finitura o uno scalpello.[65]

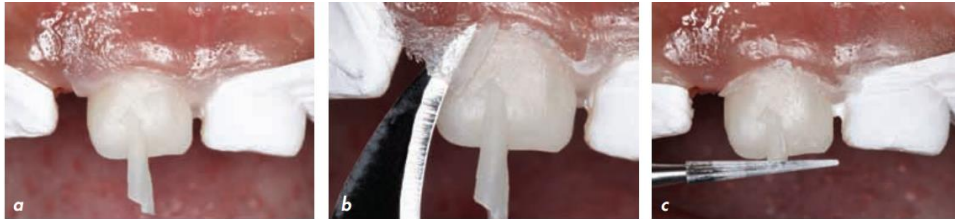


Figura 25 Eliminazione degli eccessi di composito dopo la rimozione della mascherina di silicone trasparente. Immagine tratta da: Douglas, and John Powers. "Using injectable resin composite: part two." *Int Dent Afr* 5 (2014): 64-72.

La fase finale comprende la rifinitura e la lucidatura.

Quest'ultima fase nelle ricostruzioni dirette risulta molto importante per molteplici motivi:

- Rimuovere e rifinire i margini del restauro e l'eccesso di materiale.
- Ridurre il rischio di fratture; una superficie ruvida è più suscettibile alla rottura.
- Riducendo le imperfezioni superficiali si riduce il rischio di corrosione e deterioramento.
- Una superficie liscia è meno incline a trattenere placca.
- Ottenere superfici che facilitano le procedure d'igiene orale a livello delle aree marginali e interprossimali.
- Ottenere una migliore resa estetica ottimizzando la riflessione della luce sulla superficie.[66]

La rifinitura è il processo che comprende la rimozione delle irregolarità marginali, la definizione dei contorni anatomici. Risulta importante, durante questa fase, rendere il più invisibile possibile la giunzione tra il restauro ed il dente naturale.

La lucidatura invece ha come scopo quello di togliere ruvidezza alla superficie e migliorare il riflesso della luce sulla superficie.



Figura 26 Fase di rifinitura e lucidatura. Immagine tratta da: Douglas, and John Powers. "Using injectable resin composite: part two." *Int Dent Afr* 5 (2014): 64-72.

2. SCOPO DELLO STUDIO

Il principale scopo dello studio sull' Injection molding technique è quello di fornire una comprensione approfondita e critica di questa tecnica avanzata utilizzata nella ricostruzione dentale. Di seguito sono elencati alcuni dei principali obiettivi alla base dello studio su questo argomento:

- 1) Analizzare la tecnica ed i materiali: uno degli obiettivi fondamentali è esaminare la procedura specifica della Injection molding technique. Ciò implica comprendere come questa tecnica viene eseguita, quali strumenti sono necessari e quali materiali compositi vengono utilizzati. Questa analisi dettagliata è essenziale per una corretta esecuzione e per ottenere risultati di alta qualità.
- 2) Valutare l'applicabilità clinica: lo studio dovrebbe valutare quando e come l'Injection molding technique può essere applicata con successo nella pratica clinica odontoiatrica. Questo comprende l'identificazione delle situazioni cliniche in cui questa tecnica offre vantaggi significativi rispetto ad altre opzioni di trattamento.
- 3) Valutare le prestazioni del materiale: un altro obiettivo importante è esaminare le prestazioni a lungo termine dei materiali compositi utilizzati con questa tecnica. Ciò include la durata, la stabilità del colore, la resistenza e altre caratteristiche che influenzano il successo a lungo termine dei restauri.
- 4) Esplorare le implicazioni estetiche: lo studio dovrebbe valutare quanto questa tecnica possa fornire risultati estetici soddisfacenti per i pazienti.

3. MATERIALI E METODI

Nella fase iniziale di questo studio è stata eseguita una revisione di tutti gli aspetti che stanno alla base dell'injection molding technique ovvero: i principi fondamentali dell'estetica del sorriso, i compositi ibridi, i compositi flow ed i compositi riscaldati.

Per la realizzazione di questa fase iniziale di ricerca è stata utilizzata la banca dati PubMed.

Attestate le qualità necessarie al materiale per l'esecuzione della tecnica sono stati reperiti i compositi ritenuti adeguati alla realizzazione dei casi clinici.

Come composito flow è stato utilizzato Estelite Universal Flow® medium dell'azienda Tokuyama.

Questo materiale ha una quantità di riempitivo pari a 71peso% e 57vol%.

È un materiale disponibile in 12 colori (CE, BW, A1, A2, A3, A3.5, A4, A5, B3, OPA2, OPA3, OPA4)

Le particelle di riempitivo vengono sintetizzate tramite il metodo che permette di ottenere un riempitivo uniforme e di forma sferica.

I riempitivi utilizzati hanno una dimensione Supra-Nano ed il materiale è silice-ossido di zirconio con dimensioni di 200nm.

Questo materiale comparato con altri compositi flow risulta estremamente brillante con sessioni di lucidatura brevi (60s).

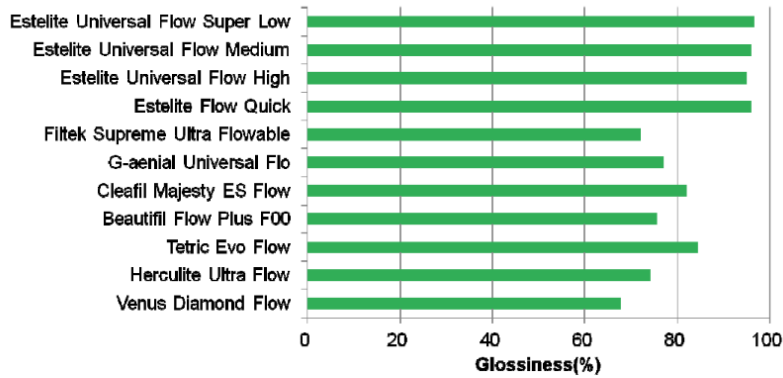


Tabella 2 Lucidatura del materiale.

Anche in termini di resistenza l'Estelite Universal Flow® medium risulta tra i migliori.

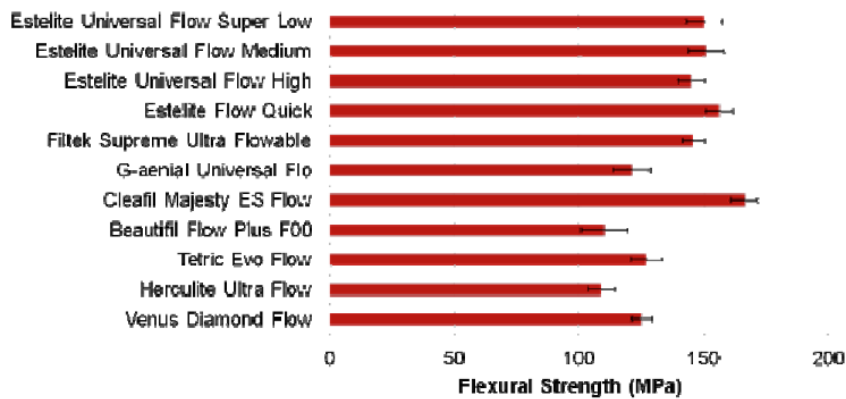


Tabella 3 Resistenza alla flessione del materiale.

Come composito termoriscaldato è stato utilizzato VisCalor bulk dell'azienda VOCCO.

Lo speciale trattamento di superficie sui riempitivi e la matrice resinosa coordinata aiutano a estendere il normale effetto di riduzione della viscosità all'aumento della temperatura. Questo fa sì che il materiale acquisisca la consistenza di un materiale flow quando riscaldato a 68 °C.

Contenuto di riempitivo	83,0 % in peso	DIN 51081
Resistenza alla flessione su 3 punti	164 MPa	ISO 4049
Forza di compressione	335 MPa	analogo a ISO 9917
Contrazione da polimerizzazione	1,44 % in volume	analogo a Watts
Stress dalla contrazione	4,6 MPa	analogo a Watts
Abrasione	39 µm	Usura tridimensionale secondo il metodo ACTA
Radiopacità	310 %Al	ISO 4049
Stabilità alla luce ambientale	conforme agli standard	ISO 4049
Assorbimento d'acqua	11 µg/mm ³	ISO 4049
Solubilità in acqua	≤ 0,1 µg/mm ³	ISO 4049
Resistenza alla trazione diametrale	64 MPa	
Coefficiente termico di espansione α	33·10 ⁻⁶ / K ⁻¹	Società Fraunhofer di Würzburg
Durezza superficiale	147 MHV	Università di Rostock

Tabella 4 Caratteristiche del composito VisCalor Bulk.

I valori di resistenza alla flessione dimostrano che VisCalor bulk è il materiale ideale. Il materiale ha una resistenza alla flessione di 164 MPa e anche la resistenza alla compressione di 335 MPa indica una longevità eccezionale. I restauri eseguiti con VisCalor bulk possono quindi sopportare le sollecitazioni quotidiane per lungo tempo.



Figura 49 Dispositivo VisCalor.

I casi clinici trattati sono stati seguiti presso la Clinica Odontoiatrica di Padova.

Per la documentazione fotografica dei casi è stata utilizzata una macchina fotografica modello Nikon 300.

Le scansioni delle arcate dentali sono state realizzate mediante scanner digitale 3SHAPE TRIOS modello 3Wired.

Per la realizzazione della mascherina trasparente è stato utilizzato il prodotto Hardglass, un silicone bicomponente polimerizzabile per addizione.

Per la realizzazione dei modelli 3D dei casi clinici si è fatto affidamento ad un laboratorio odontotecnico.

4. CASI CLINICI

Paziente di 14 anni di sesso femminile giunge presso l'ambulatorio dopo aver completato un piano di trattamento ortodontico. La paziente si presenta con l'incisivo laterale di sinistra conoide ed agenesia dell'incisivo laterale di destra. Dopo il trattamento ortodontico il sito che dovrebbe ospitare l'elemento 12 viene occupato dal canino di destra.

La paziente desidera e necessita di migliorare l'armonia del sorriso, essendo gli elementi interessati importanti dal punto di vista estetico.



Figura 27 Foto senza retrattore occlusale



Figura 28 Foto con retrattore occlusale

Dopo aver ragionato sul piano di trattamento migliore per la paziente ed aver discusso con il genitore di riferimento per andare in contro alle richieste e alle condizioni di quest'ultimo si propongono le seguenti procedure:

- Elemento 22: Ricostruzione dell'elemento tramite injection flow technique per riabilitare l'elemento in vista della programmazione di una corona; questa soluzione permette di ripristinare l'anatomia del dente tramite una ricostruzione duratura dando il tempo al paziente ed al genitore di organizzarsi a seconda delle proprie esigenze per pianificare una riabilitazione protesica. Inoltre, questo approccio fa sì che venga mantenuta una ulteriore versatilità ortodontica.
- Elemento 13: Si propone di eseguire una coronoplastica modificando la forma del canino per renderla il più simile possibile ad un incisivo laterale. Questo tipo di soluzione permette di ridare armonia al sorriso andando a ricreare la simmetria degli elementi dentali. La ricostruzione diretta in questo caso riabilita anatomicamente il dente senza sacrificare tessuto sano.

Le foto sono state scattate con una macchina fotografica digitale (D300, Nikon Corporation) per documentare e valutare attentamente la forma del sorriso.

Successivamente sono state catturate le impronte di entrambe le arcate utilizzando uno scanner digitale (3Shape TRIOS 3 Wired).

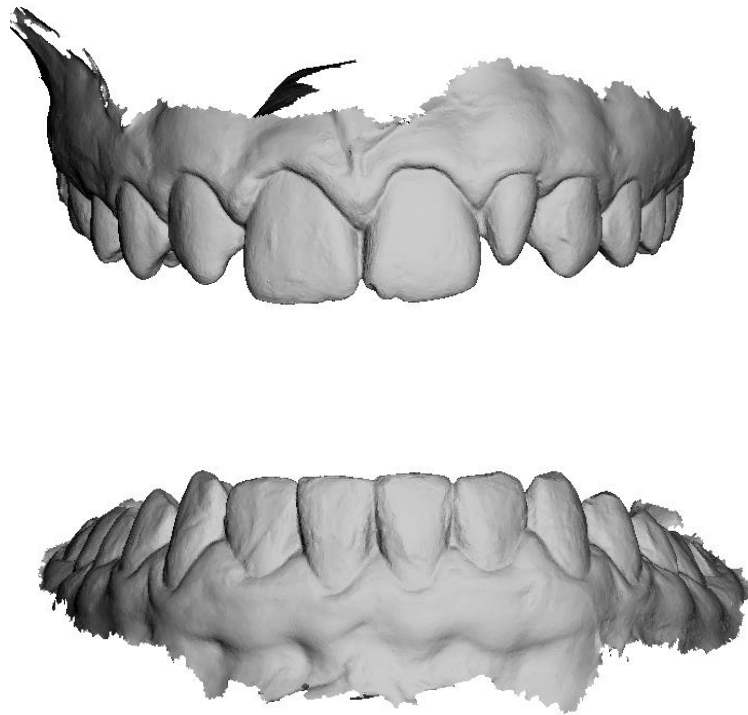


Figura 29 Scansioni digitali con scanner 3SHAPE

Dopo aver acquisito le scansioni digitali, le stesse sono state inviate al laboratorio odontotecnico di riferimento.

L'odontotecnico ha eseguito un wax-up digitale utilizzando il software della 3SHAPE andando a ricostruire tramite il programma gli elementi che devono essere trattati, come si può osservare nella figura 30.

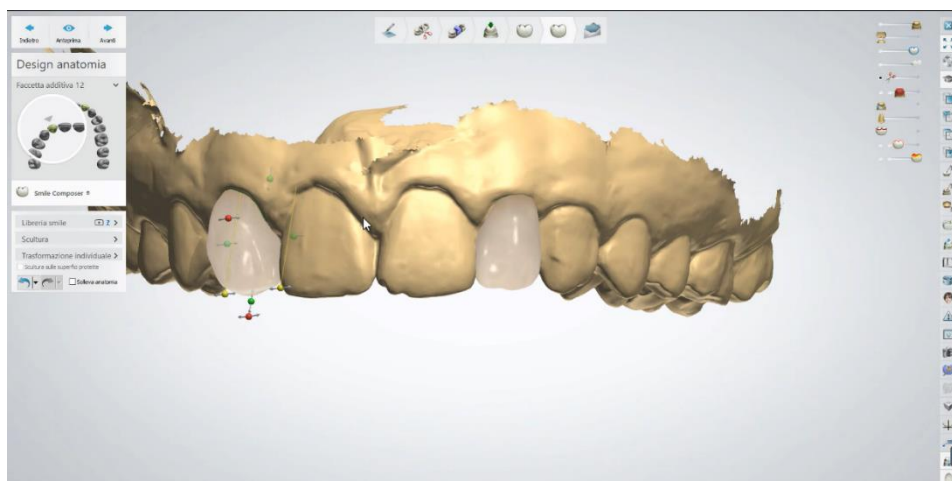


Figura 30 Wax up digitale

Successivamente sono stati stampati i modelli utilizzando una stampante 3D.

Elemento 22

Utilizzando il modello dell'arcata superiore l'odontotecnico ha creato una mascherina in silicone trasparente creando un doppio strato, uno strato più morbido a contatto con il dente stesso ed uno strato più rigido con la funzione di garantire ritenzione agli elementi adiacenti ed una maggiore stabilità alla mascherina.



Figura 31 Modello prodotto da una stampante 3D

Si procede in seguito controllando la ritenzione della mascherina sulla paziente e successivamente si isola il cavo orale utilizzando una diga di gomma.

Si mordenzia la superficie utilizzando acido ortofosforico al 37% (3M Scotchbond Universal Etching) per 20s, si lava minuziosamente l'elemento e si applica l'adesivo (Scotch Bond 3M Oralcare) spalmandolo sulla superficie.

Utilizzando l'aria della siringa si eliminano gli eccessi di adesivo e si polimerizza lo stesso per 20s.



Figura 32 Fase di mordenzatura.

Utilizzando del teflon (Isotape, TDV) si proteggono gli elementi adiacenti per facilitare in seguito la rimozione del composito in eccesso, essendo un materiale fluido vi è la possibilità che esca dai confini della mascherina, il che non comporta un problema poiché risulta facilmente rimovibile tramite uno scalpello.

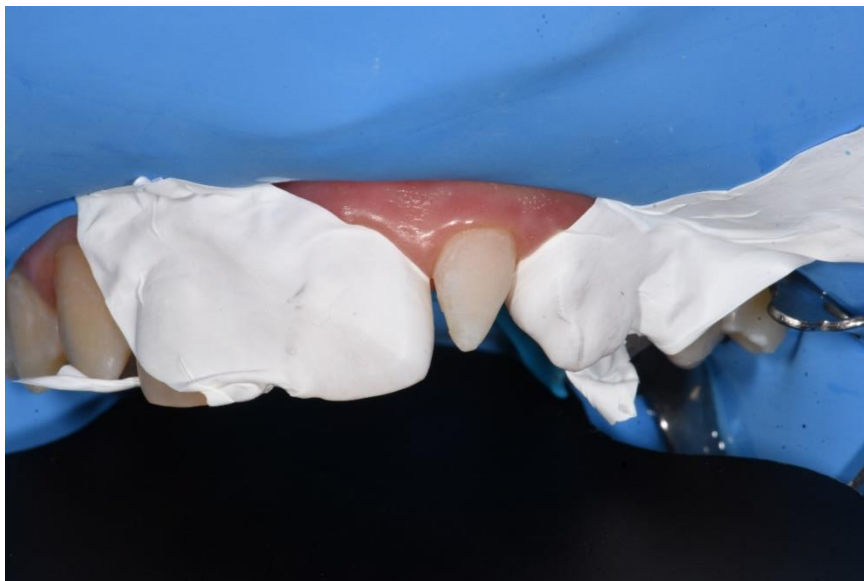


Figura 33 Isolamento dei denti adiacenti.

Dopo aver applicato la mascherina, durante l'iniezione del flow, è consigliabile esercitare pressione su quest'ultima per garantire una vestibilità ottimale, in caso contrario si rischiano imprecisioni a livello del margine dell'elemento.



Figura 34 *Iniezione del composito flow.*

Viene utilizzato come flow l'Estelite universal flow a viscosità media, il quale è caratterizzato dal 71% di peso e 57% di volume di riempitivo, con una maggiore resistenza meccanica rispetto ai flow con una viscosità minore.

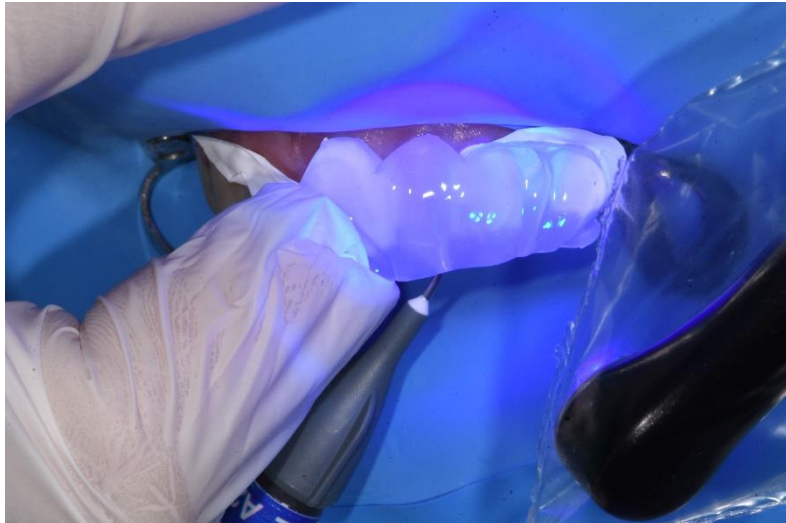


Figura 35 *Polimerizzazione del composito*

Si polimerizza per 40s, la presenza di uno spessore ed una sorta di ostacolo, rappresentato dalla mascherina richiede un tempo di polimerizzazione maggiore rispetto alle tradizionali ricostruzioni dirette, anche se in letteratura non viene specificato precisamente quanto sia il tempo ottimale.

Dopo la rimozione degli eccessi di composito il risultato è soddisfacente, non ci sono state imperfezioni a livello dei margini e non si sono create bolle a livello della superficie.



Figura 36 Elemento dentale dopo la rimozione del composito in eccesso.



Figura 37 Risultato finale.

Elemento 13

L'injection molding technique è una tecnica efficiente, gode della possibilità di programmare nei dettagli il piano di trattamento e, servendosi di una mascherina per riprodurre l'anatomia del dente, rende facile l'esecuzione della ricostruzione diretta anche per mani con meno esperienza.

Il limite dell'injection molding technique è l'utilizzo di un materiale flow che, seppur migliorato molto nel corso degli anni, indipendentemente dalla sua viscosità e resistenza non risulta essere meccanicamente stabile come le resine composite ibride.

Si è pensato quindi di trovare un materiale con una viscosità tale da rendere possibile l'iniezione e l'utilizzo di una mascherina ed essere però talmente resistente da avere lo stesso comportamento dei compositi ibridi.

Queste caratteristiche si sono riscontrate nei compositi a caldo.

Tipicamente il composito a caldo è contenuto in delle capsule, esse vengono riposte in una macchina che le riscalda e, avvenuto il riscaldamento, vengono prelevate, inserite in una pistola adatta per poi essere iniettato sulla superficie del dente. Il limite di questa procedura risiede nel tempo che si impiega tra il prelevare la capsula riscaldata e l'iniezione del materiale che comporta il fatto di doverlo utilizzare tempestivamente poiché inizia a raffreddarsi.

Questo limite al giorno d'oggi è stato superato mediante l'uscita in commercio di strumenti che riscaldano il composito tramite un meccanismo che fa sì che rimanga caldo fino alla completa iniezione.

Queste premesse hanno instaurato l'idea di poter "evolvere" questa tecnica sostituendo al flow il composito riscaldato andando a compensare i limiti prodotti dal materiale per produrre un risultato più stabile e predicibile.

Bisognava capire se effettivamente la viscosità del composito riscaldato permettesse l'esecuzione di tale tecnica e per fare ciò si sono utilizzati i modelli precedenti della paziente per andare a simulare la tecnica.

La mascherina utilizzata per l'elemento descritto in precedenza risultava poco stabile, per questo motivo è stata migliorata la forma per creare più stabilità nel momento dell'iniezione del materiale.

È stato creato un box a livello dell'elemento dove la mascherina va a stratificarsi con uno strato di silicone trasparente morbido all'interno e del silicone rigido all'esterno.

In questa sede sono stati applicati dei fori a livello del silicone rigido che permette una migliore ritenzione del silicone morbido nel momento dell'indurimento di tale materiale.

È stato ricavato un foro della grandezza della capsula del composito a caldo per permettere l'iniezione del materiale all'interno della mascherina.

Per iniettare il materiale è stato utilizzato il VisCalor Dispenser, una sorta di pistola che, come citato in precedenza, permette di mantenere il composito riscaldato per tutta la durata dell'iniezione.



Figura 38 Iniezione composito a caldo sul modello.

L'esito di tale esperimento è stato decisamente positivo. La viscosità del materiale è stata tale da permettere al composito di adattarsi a tutte le pareti della superficie e non ci sono state imprecisioni a livello dei margini.

Per avere la migliore resa estetica si è limato il composito per poi apporre uno secondo strato di composito.

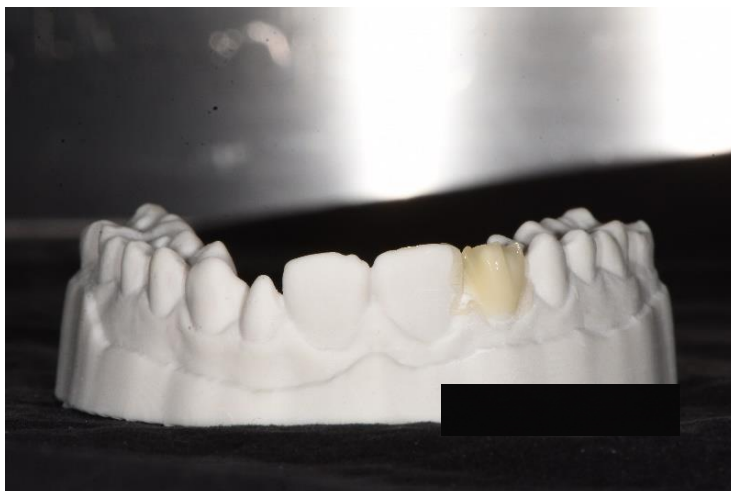


Figura 39 Elemento limato dal modello.

Appurata la validità del materiale nell'utilizzo di questa tecnica si procede con l'applicazione clinica.

Si mordenzina la superficie dell'elemento dentale per 20s. Si lava accuratamente per non lasciare residui di mordenzante.

Si applica l'adesivo attivandolo tramite movimento con il microbrush, si toglie l'eccesso con la pistola aria/acqua e lo si polimerizza per un tempo di 20s.



Figura 40 Fase di mordenzatura ed applicazione dell'adesivo.

Gli elementi adiacenti vengono protetti utilizzando teflon (Isotape, TDV)

Dopo aver acceso il VisCalor Dispenser ed aver atteso il riscaldamento del composito si inietta attraverso la mascherina utilizzando in un primo momento il composito Viscalor OA2.

Si toglie la mascherina, si eliminano gli eccessi e si lima il dente.

Si ripete il procedimento di iniezione utilizzando il composito Viscalor A3 e si procede con la finitura e la lucidatura.



Figura 41 *Limatura dell'elemento ed applicazione del secondo strato di composito.*

Dopo aver polimerizzato per 40s e rimosso gli eccessi di composito si termina con la fase di rifinitura e lucidatura.



Figura 42 *Risultato finale.*

Caso clinico 2

Paziente di otto anni con displasia ectodermica. La displasia ectodermica fa parte di un gruppo di malattie genetiche rare che compromettono i tessuti come la pelle, i capelli, i denti le unghie e le ghiandole sudoripare.

Dal punto di vista dentale questi pazienti possono presentare a livello del cavo orale oligodontia, anodontia ed anomalie nell'anatomia dentale.[67]



Figura 43 Foto dell'arcata dentale inferiore con retrattore occlusale.

Dopo la presa di impronte di entrambe le arcate viene prodotta una mascherina in silicone trasparente.

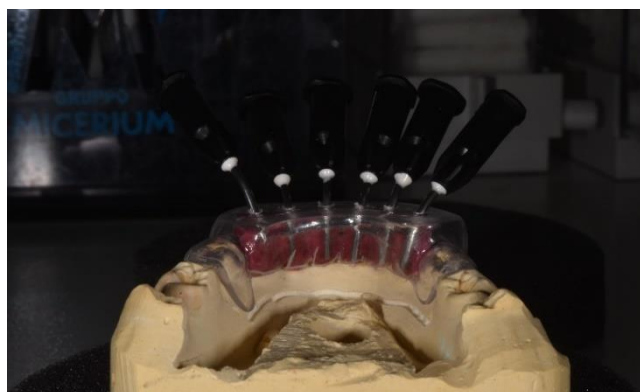


Figura 44 Mascherina in silicone trasparente sul modello in gesso.

Si procede con la mordenzatura della superficie dei denti per 15s e, avvenuto il risciacquo del mordenzate, si applica l'adesivo, si eliminano gli eccessi utilizzando la siringa aria/acqua e si polimerizza per 20s.



Figura 45 Fase di mordenzature ed applicazione dell'adesivo.

Dopo aver protetto gli elementi adiacenti tramite teflon, si inserisce la mascherina e si procede con l'iniezione del composito flow A2 (3M Filtek Flow). Si polimerizza per 40s e si toglie la mascherina.



Figura 46 Iniezione del composito flow.

Avvenuta la rimozione della mascherina si procede eliminando gli eccessi di composito e si termina con la fase di finitura e lucidatura.

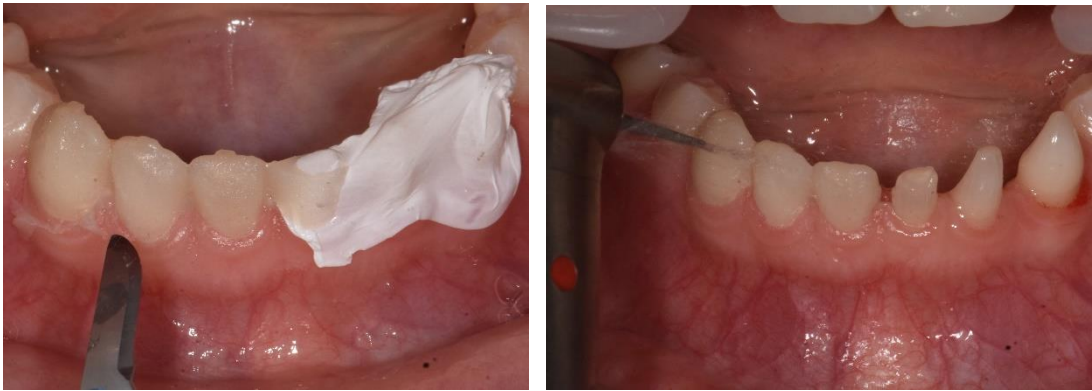


Figura 47 Rimozione degli eccessi di composito.



Figura 48 Risultato finale.

5. RISULTATI

I risultati clinici dimostrano che l'injection molding technique può rivelarsi un ottimo sostituto per la riabilitazione anatomica dei denti in maniera sostitutiva all'approccio protesico grazie a dei costi più contenuti.

Le ricostruzioni avvenute utilizzando il flow a media viscosità hanno dato degli ottimi risultati estetici e, dopo aver studiato la composizione di tali materiali, si può affermare che possono essere utilizzati anche per ricostruire elementi in maniera definitiva.

Il composito riscaldato ha rivelato una viscosità adatta per essere iniettato attraverso la mascherina, lo si può affermare sia grazie alla prova in vitro eseguita sul modello stampato 3D sia dal caso clinico esposto.

Dal punto di vista estetico la ricostruzione eseguita con il composito riscaldato ha ottenuto dei risultati migliori, bisogna però sottolineare il fatto che quest'ultima è avvenuta eseguendo una doppia stratificazione tramite un composito opaco A2 ed un composito A3 mentre la ricostruzione avvenuta utilizzando il composito flow aveva un solo strato di materiale e quindi otticamente non può creare l'effetto dentina-smalto che si è riusciti a ricreare con il composito riscaldato.

La realizzazione della mascherina richiede un'esaustiva conoscenza di questa tecnica da parte del dentista o dell'odontotecnico.

L'utilizzo di questa tecnica risulta efficiente nella realizzazione di coronoplastiche multiple ovvero nel caso in cui vi siano più elementi

da riabilitare sia per un fattore temporale sia per quanto riguarda i costi.

6. DISCUSSIONE

L'injection molding technique si è rivelata un'opzione innovativa nel campo dell'odontoiatria, offrendo una soluzione promettente per il miglioramento estetico e le ricostruzioni dei denti. Questa tecnica è stata ampiamente discussa e utilizzata da professionisti odontoiatrici in tutto il mondo. Questa tesi si propone di esaminare in modo critico questa tecnica in ambito odontoiatrico, esaminando le sue applicazioni, i suoi benefici, i risultati estetici e funzionali.

L'utilizzo di questa tecnica è possibile grazie all'evoluzione che le resine composite hanno subito nel corso degli anni.

I compositi flow da come si può vedere nella tabella hanno raggiunto dei valori di riempitivo elevati mantenendo una certa viscosità e migliorando nelle proprietà fisiche e meccaniche ottenendo una maggiore resistenza.

Grazie all'aumento della resistenza dei compositi flow è stato possibile realizzare la tecnica dell'injection molding technique che utilizza l'iniezione di un composito attraverso una mascherina per ricostruire il dente.

Questa tecnica è stata discussa molto mettendo in dubbio l'utilizzo dei compositi flow per la realizzazione di restauri permanenti anche se vi sono più casi clinici riportati in letteratura.

Osservando la resistenza alla frattura dei compositi ibridi rispetto ai compositi flow, i primi risultano indiscutibilmente più resistenti ma non significa che per questo i compositi flow non possano aver raggiunto

un tale grado di durezza da poterli sostituire completamente nella ricostruzione dell'elemento.

Quando si parla di compositi bisogna prendere in considerazione tutte le caratteristiche del materiale poiché la resistenza meccanica non è tutto quando si parla di ricostruzioni.

L'adattabilità del materiale, infatti, è un fattore importante ed una minore viscosità rende il composito più adattabile alla superficie diminuendo il rischio della formazione di "gap" tra il dente ed il composito stesso.

Si è visto come questo fattore vada particolarmente ad influire nella zona dei margini della corona, vi sono degli studi, infatti, dove consigliano di utilizzare i compositi flow altamente carichi in questa zona.[68], [69]

La viscosità di un materiale va ad influire sulla contrazione da polimerizzazione, fenomeno che si verifica dopo la formazione dei polimeri del materiale.

Una minore viscosità riduce lo stress del materiale alla contrazione da polimerizzazione riducendo a sua volta il rischio della formazione di microleakage ovvero delle microfratture nel materiale che possono indebolirlo in determinati punti.

Analizzando queste caratteristiche peculiari dei compositi ci si è chiesti se ci fosse un materiale che potesse avvicinarsi il più possibile in termini di resistenza ai compositi ibridi mantenendo una certa viscosità, per essere utilizzabile con l'injection molding technique e per sfruttare le proprietà positive dei compositi flow.

Osservando le caratteristiche di diversi materiali compositi si è concluso che il materiale d'elezione per questo studio fosse il composito riscaldato.

I compositi riscaldati, infatti, risultano molto resistenti essendo altamente caricati, sono meno viscosi dei compositi ibridi grazie al calore che ne modifica le proprietà.

I compositi riscaldati oltre ad essere resistenti tanto quanto i compositi ibridi, secondo le ricerche avvenute in questo studio, hanno delle proprietà migliori di quest'ultimi.

Presentano una maggiore adattabilità a livello dei margini; il calore, mantenendo il movimento dei radicali liberi all'interno del materiale, ne migliora il processo di polimerizzazione.

Rispetto ai compositi ibridi comportano un minore rischio di formazione di microleakage.

Durante questa ricerca si è appreso quale fosse il modo migliore di eseguire l'injection molding technique e, unendo le osservazioni sulle varie caratteristiche dei materiali compositi la si è migliorata.

7. CONCLUSIONI

L'injection molding technique rappresenta una valida opzione di trattamento, specialmente per i pazienti che non possono permettersi restauri indiretti tradizionali e cercano miglioramenti estetici.

È necessaria una pianificazione attenta del trattamento e considerazioni occlusali per garantire una buona prognosi e il successo a lungo termine dei restauri.

L'uso di un composito fluido renderà i restauri più suscettibili alla degradazione rispetto ai compositi tradizionali ma si può garantire una longevità soddisfacente tramite la programmazione di appuntamenti per la manutenzione dei restauri.

Questa tecnica negli specifici casi esposti, a differenza delle ricostruzioni manuali dei denti anteriori, risulta essere più conveniente e non richiede elevate competenze cliniche, rendendola più prevedibile ed economica.

Bisogna sottolineare che la programmazione del piano di trattamento digitale richiede una determinata curva di apprendimento e degli appositi hardware/software. Le situazioni cliniche in cui si possono ottenere i maggiori benefici nell'applicare l'injection molding technique sono:

- Molteplici ricostruzioni degli elementi anteriori.
- Paziente poco collaborante: è possibile, infatti, realizzare più ricostruzioni in un tempo minore rispetto alla realizzazione delle stesse a mano libera; nel caso di un paziente poco collaborante questo aspetto facilita molto il trattamento.

- Paziente che economicamente non può permettersi delle ricostruzioni indirette.
- Operatore che non ha manualità nelle ricostruzioni estetiche: il fatto di utilizzare una mascherina che guida la ricostruzione anatomica rende possibile ottenere la fedele riproduzione anatomica degli elementi dentali pur non avendo molta esperienza nell'ambito.

Le prove realizzate in vitro ed il caso clinico trattato utilizzando i compositi riscaldati hanno dimostrato come quest'ultimi hanno una consistenza tale da permettere la corretta esecuzione della tecnica e un'ottima resa estetica.

In sintesi, l'applicazione di questa tecnica consente ai pazienti di ottenere un risultato prevedibile con costi ridotti, minor sforzo e tempo.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] A. W. Machado, "10 commandments of smile esthetics," *Dental Press J Orthod*, vol. 19, no. 4, pp. 136–157, Aug. 2014, doi: 10.1590/2176-9451.19.4.136-157.sar.
- [2] "(Camara CALP. Estética em Ortodontia: Diagramas de Referências Estéticas Dentárias (DRED) e Faciais (DREF). *R Dental Press Ortodon Ortop Facial*. 2006; 11(6):1308-56.)".
- [3] "(Vig RG, Brundo GC. The kinetics of anterior tooth display. *J Prosthet Dent*. 1978;39(5):502-4.)".
- [4] "(Wolfart S, Thormann H, Freitag S, Kern M. Assessment of dental appearance following changes in incisor proportions. *Eur J Oral Sci*. 2005;113(2):159-65.)".
- [5] "(Chiche G, Pinault A. Esthetics of anterior fixed prosthodontics. Chicago: Quintessence; 1994.)".
- [6] "Levin EI. Dental esthetics and the golden proportion. *J Prosthet Dent*. 1978;40(3):244-52.)".
- [7] "Bukhary SMN, Gill DS, Tredwin CJ, Moles DR. The influence of varying maxillary lateral incisor dimensions on perceived smile aesthetics. *Br Dent J*. 2007;22(12):687-93."
- [8] "Turgut S, Kilinc H, Eyupoglu GB, Bagis B. Color relationships of natural anterior teeth: An In vivo study. *Niger J Clin Pract*. 2018 Jul;21(7):925-931. doi: 10.4103/njcp.njcp_361_17. PMID: 29984727."
- [9] "Zhao Y, Zhu J. In vivo color measurement of 410 maxillary anterior teeth. *The Chinese Journal of Dental Research*: the

Official Journal of the Scientific Section of the Chinese Stomatological Association (CSA). 1998 Dec;1(3):49-51. PMID: 10557174.”.

- [10] “Rodrigues, S., Shetty, S.R. & Prithviraj, D.R. An Evaluation of Shade Differences Between Natural Anterior Teeth in Different Age Groups and Gender Using Commercially Available Shade Guides. *J Indian Prosthodont Soc* 12, 222–230 (2012). <https://doi.org/10.1007/s13191-012-0134-9>”.
- [11] “Gómez-Polo, Cristina, et al. ‘Natural tooth color estimation based on age and gender.’ *Journal of Prosthodontics* 26.2 (2017): 107-114.”.
- [12] “Xiao, J., et al. ‘The prevalence of tooth discolouration and the self-satisfaction with tooth colour in a Chinese urban population.’ *Journal of oral rehabilitation* 34.5 (2007): 351-360.”.
- [13] “Polo, Cristina Gómez, et al. ‘Correlation of natural tooth colour with aging in the Spanish population.’ *International Dental Journal* 65.5 (2015): 227-234.”.
- [14] “Jahangiri L, Reinhardt SB, Mehra RV, Matheson PB. Relationship between tooth shade value and skin color: an observational study. *J Prosthet Dent.* 2002 Feb;87(2):149-52. doi: 10.1067/mpr.2002.121109. PMID: 11854669.”.
- [15] “(Sharma, Vivek, et al. ‘A study of relationship between skin color and tooth shade value in Population of Udaipur, Rajasthan.’ *Int J Dent Clin* 2.4 (2010): 26-9.)”.

- [16] “Odioso LL, Gibb RD, Gerlach RW. Impact of demographic, behavioural, and dental care utilization parameters on tooth color and personal satisfaction. *Compendium of Continuing Education in Dentistry* 2000;21(Suppl 29):S35—S41.”.
- [17] “Singla, Sapna, and Gurvanit Lehl. ‘Smile analysis in orthodontics.’ *Indian Journal of Oral Sciences* 5.2 (2014): 49-49.”.
- [18] “McLaren, Edward A., David A. Garber, and Johan Figueira. ‘The Photoshop Smile Design technique (part 1): digital dental photography.’ *Compend Contin Educ Dent* 34.10 (2013).”.
- [19] “Gupta C, Mittal A. Role of digital technology in prosthodontics: A step toward improving dental care *Indian J Oral Health Res.* 2018;4:35–41”.
- [20] “Cervino, Gabriele, et al. ‘Dental restorative digital workflow: digital smile design from aesthetic to function.’ *Dentistry journal* 7.2 (2019): 30.”.
- [21] “Wille S, Holken I, Haidarschin G, Adelung R, Kern M. Biaxial € flexural strength of new Bis-GMA/TEGDMA based composites with different fillers for dental applications. *Dent Mater* 2016;32:1073e8.)”.
- [22] “Peutzfeldt, Anne. ‘Resin composites in dentistry: the monomer systems.’ *European journal of oral sciences* 105.2 (1997): 97-116.”.
- [23] “Stansbury, Jeffrey W. ‘Curing dental resins and composites by photopolymerization.’ *Journal of esthetic and restorative dentistry* 12.6 (2000): 300-308.”.

- [24] "Park, Y-J., K-H. Chae, and H. R. Rawls. 'Development of a new photoinitiation system for dental light-cure composite resins.' *Dental materials* 15.2 (1999): 120-127."
- [25] "Neumann, Miguel G., et al. 'Molar extinction coefficients and the photon absorption efficiency of dental photoinitiators and light curing units.' *Journal of dentistry* 33.6 (2005): 525-532."
- [26] "Bayne, Stephen C., et al. 'A characterization of first-generation flowable composites.' *The Journal of the American Dental Association* 129.5 (1998): 567-577."
- [27] "Choi, Kyoung Kyu, et al. 'Properties of packable dental composites.' *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* 12.4 (2000): 216-226."
- [28] "Bayne, Stephen C., Harald O. Heymann, and Edward J. Swift Jr. 'Update on dental composite restorations.' *Journal of the American Dental Association* (1939) 125.6 (1994): 687-701."
- [29] "Ilie, Nicoleta, and Reinhard Hickel. 'Macro-, micro-and nano-mechanical investigations on silorane and methacrylate-based composites.' *Dental materials* 25.6 (2009): 810-819."
- [30] "Curtis, Andrew R., et al. 'The mechanical properties of nanofilled resin-based composites: the impact of dry and wet cyclic pre-loading on bi-axial flexure strength.' *Dental materials* 25.2 (2009): 188-197."
- [31] "Hahnel, Sebastian, et al. 'Investigation of mechanical properties of modern dental composites after artificial aging for one year.' *Operative dentistry* 35.4 (2010): 412-419."

- [32] “Klapdohr, Simone, and Norbert Moszner. ‘New inorganic components for dental filling composites.’ *Monatshefte für Chemie/Chemical Monthly* 136 (2005): 21-45.”
- [33] “Chen, M-H. ‘Update on dental nanocomposites.’ *Journal of dental research* 89.6 (2010): 549-560.”
- [34] “Scougall-Vilchis, Rogelio Jose, et al. ‘Examination of composite resins with electron microscopy, microhardness tester and energy dispersive X-ray microanalyzer.’ *Dental materials journal* 28.1 (2009): 102-112.”
- [35] “Krämer, Norbert, et al. ‘Nanohybrid vs. fine hybrid composite in Class II cavities: clinical results and margin analysis after four years.’ *Dental Materials* 25.6 (2009): 750-759.”
- [36] “Ilie, Nicoleta, and Reinhard Hickel. ‘Investigations on mechanical behaviour of dental composites.’ *Clinical oral investigations* 13 (2009): 427-438.”
- [37] “Ilie, Nicoleta, and Reinhard Hickel. ‘Macro-, micro-and nano-mechanical investigations on silorane and methacrylate-based composites.’ *Dental materials* 25.6 (2009): 810-819.”
- [38] “(García AH, Lozano MAM, Vila JC, Escribano AB, Fos Galve P. Composite resins. A review of the materials and clinical indications. *Medicina Oral Patologia Oral Y Cirugia Bucal*. 2006;11:E215-20.)”
- [39] “Bayne SC. A characterization of first-generation flowable composites. *Journal of American Dental Association*. 1998;129:567-77”

- [40] "Attar N, Tam LE, McComb D. Flow, Strength, Stiffness and Radiopacity of Flowable Resin Composites. *Journal of Canadian Dental Association*. 2003;69:516–21."
- [41] "Bonilla ED, Yasharb M, Caputo AA. Fracture toughness of nine flowable resin composites. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2003;89:261-67."
- [42] "Balos S, Pili B, Petronijevi B, Markovi D, Mirkovi S, Sarev I. Improving mechanical properties of flowable dental composite resin by adding silica nanoparticles. *Vojnosanitetski Pregled*. 2013;70:477–83."
- [43] "Lee IB, Son HH, Um CM. Rheologic properties of flowable, conventional hybrid, and condensable composite resins. *Dental Materials*. 2003;19:298-307."
- [44] "Davidson CL, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *Journal of Dental Research*. 1997;25:435– 40."
- [45] "Millar BJ, Nicholson JW. Effect of curing with plasma light on the properties of polymerizable dental restorative materials. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2001;28:549–52."
- [46] "Radz G. An Improved Bonding System and Flowable Composite for Fast, Effective Class V Restorations. *Inside Dentistry*. 2006;2(5)."
- [47] "Pardi V, Sinhoreti MAC, Pereira AC, Ambrosano GMB, & Meneghim M (2006) In vitro evaluation of microleakage of

- different materials used as pit-and-fissure sealants Brazilian Dental Journal 17(1) 49-52.”.
- [48] “Jager, S., et al. ‘Filler content, surface microhardness, and rheological properties of various flowable resin composites.’ Operative dentistry 41.6 (2016): 655-665.”.
- [49] “Ferracane JL, Berge HX, & Condon JR (1998) In vitro aging of dental composites in water-effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling Journal of Biomedical Materials Research Part A 42(3) 465-472”.
- [50] “Watts DC, Amer O, & Combe E (1987) Surface hardness development in light-cured composites Dental Materials 3(5) 265-269.”.
- [51] “Blalock JS, Holmes RG, Rueggeberg FA. Effect of temperature on unpolymerized composite resin film thickness. J Prosthet Dent. 2006 Dec;96(6):424-32. doi: 10.1016/j.prosdent.2006.09.022. PMID: 17174660.”.
- [52] “Opdam NJ, Roeters JJ, Joosten M, Veeke Ov. Porosities and voids in Class I restorations placed by six operators using a packable or syringable composite. Dent Mater. 2002 Jan;18(1):58-63. doi: 10.1016/s0109-5641(01)00020-3. PMID: 11740965.”.
- [53] “Wagner WC, Aksu MN, Neme AM, Linger JB, Pink FE, Walker S. Effect of pre-heating resin composite on restoration microleakage. Oper Dent. 2008.”.

- [54] “Andrzejewska, Ewa. ‘Photopolymerization Kinetics of Multifunctional Monomers.’ *Progress in Polymer Science*, vol. 26, no. 4, 2001, pp. 605–65,”.
- [55] “Scherzer, T., and U. Decker. ‘The Effect of Temperature on the Kinetics of Diacrylate Photopolymerizations Studied by Real-Time FTIR Spectroscopy.’ *Polymer : the International Journal for the Science and Technology of Polymers : Including Polymer Communications*, vol. 41, no. 21, 2000, pp. 7681–90”.
- [56] “Ruyter, Ivar Eystein, and Harry Øysæd. ‘Conversion in Different Depths of Ultraviolet and Visible Light Activated Composite Materials.’ *Acta Odontologica Scandinavica.*, vol. 40, no. 3, 1982, pp. 179–92”.
- [57] “1. Daronch M, Rueggeberg FA, De Goes MF, Giudici R. Polymerization Kinetics of Pre-heated Composite. *Journal of Dental Research*. 2006;85(1):38-43. ”.
- [58] N. R. Fróes-Salgado, L. M. Silva, Y. Kawano, C. Francci, A. Reis, and A. D. Loguercio, “Composite pre-heating: Effects on marginal adaptation, degree of conversion and mechanical properties,” *Dental Materials*, vol. 26, no. 9, pp. 908–914, Sep. 2010, doi: 10.1016/j.dental.2010.03.023.
- [59] M. DARONCH, F. RUEGGERBERG, G. HALL, and M. DEGOES, “Effect of composite temperature on in vitro intrapulpal temperature rise,” *Dental Materials*, vol. 23, no. 10, pp. 1283–1288, Oct. 2007, doi: 10.1016/j.dental.2006.11.024.
- [60] “Freedman G, Krejci I: Warming up to composites. *Compend Contin Educ Dent*. 2004, 25:371-8.”.

- [61] “Daronch M, Rueggeberg FA, Hall G, De Goes MF: Effect of composite temperature on in vitro intrapulpal temperature rise. *Dent Mater.* 2007, 23:1283-8.”
- [62] “Coachman C, De Arbeloa L, Mahn G, et al. An improved direct injection technique with flowable composites. A digital workflow case report. *Oper Dent.* 2020; 45: 235-242.”
- [63] “Coachman C, De Arbeloa L, Mahn G, Sulaiman TA, Mahn E. An Improved Direct Injection Technique With Flowable Composites. A Digital Workflow Case Report. *Oper Dent.* 2020 May/Jun;45(3):235-242. doi: 10.2341/18-151-T. Epub 2020 Feb 26. PMID: 32101498.”
- [64] “Geštakovski, David. ‘The injectable composite resin technique: biocopy of a natural tooth-advantages of digital planning.’ *Int J Esthet Dent* 16.3 (2021): 280-99.”
- [65] “Terry, Douglas, and John Powers. ‘Using injectable resin composite: part two.’ *Int Dent Afr* 5 (2014): 64-72.”
- [66] “Jones CS, Billington RW, Peason GJ. Interoperator variability during polishing. *Quintessence Int* 2006;37(3):183–90.”
- [67] “Reyes-Realí J, Mendoza-Ramos MI, Garrido-Guerrero E, Méndez-Catalá CF, Méndez-Cruz AR, Pozo-Molina G. Hypohidrotic ectodermal dysplasia: clinical and molecular review. *Int. J Dermatol* 2018;57:965–972. ”
- [68] “Szesz A, Parreiras S, Martini E, Reis A, Loguercio A. Effect of flowable composites on the clinical performance of non-carious cervical lesions: A systematic review and meta-analysis. *J Dent.*

2017 Oct;65:11-21. doi: 10.1016/j.jdent.2017.07.007. Epub 2017 Jul 17. PMID: 28729119.”.

- [69] “Zhang, H., Wang, L., Hua, L. et al. Randomized controlled clinical trial of a highly filled flowable composite in non-carious cervical lesions: 3-year results. Clin Oral Invest 25, 5955–5965 (2021)”.