



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea in Odontoiatria e Protesi Dentaria

Presidente: Prof. Andrea Santarelli

Evoluzione delle tecniche operative nei restauri adesivi anteriori e posteriori

Evolution of operative techniques in anterior and posterior adhesive restorations

Relatore: Chiar.mo

Dott. Riccardo Monterubbianesi

Candidato:

Morale Raffaele

Correlatore:

Dott.ssa Giulia Orilisi

Anno Accademico 2025-2026

Indice

Introduzione	1
Capitolo 1	2
1.1 Anatomia degli elementi anteriori	2
1.2 Anatomia degli elementi posteriori.....	4
1.3 Proprietà ottiche del dente naturale	6
1.3.1 La translucenza.....	6
1.3.2 Opacità e saturazione cromatica	7
1.3.3 La Fluorescenza	7
1.3.4 Opalescenza	7
1.3.5 Texture superficiale e riflessione della luce	8
1.4 Il concetto di “mimetismo” nelle restaurazioni dirette.....	8
Capitolo 2	11
2.1 Evoluzione dei materiali compositi restaurativi	11
2.2 Classificazione dei compositi in base alla viscosità	12
2.2.1 Compositi flowable.....	13
2.2.2 Compositi packable.....	14
2.2.3 Compositi preriscaldati	14
2.2.4 Viscosità e modellazione diretta	15
2.3 Classificazione dei compositi in base alle caratteristiche colorimetriche	16
2.3.1 Sistemi tradizionali a translucenza variabile.....	16
2.3.2 Sistemi Monoshade	18
2.3.3 Sistemi cromatici semplificati (Simplified Shade Systems)	18
2.3.4 Tecnologia Structural Color	19
2.3.5 Strategie di gestione del colore nella modellazione diretta	20
2.4 Relazione clinica tra materiali e tecniche	21
2.4.1 Materiali per le tecniche di stratificazione	21
2.4.2 Materiali per le tecniche di iniezione	23
2.4.3 Materiali per le tecniche bulk-fill	24
2.4.4 Criteri clinici di scelta del materiale	25
2.5 Materiali di nuova generazione e prospettive future.....	25
2.6 Sistemi di adesione: principi ed evoluzione	26
2.7 Tecniche di posizionamento del composito.....	27
Capitolo 3	30

3.1 Sistema tradizionale dentina-smalto	30
3.2 Stratificazione policromatica	31
3.3 Biomimetic direct composite stratification technique	32
3.4 Tecnica monoshade	33
3.5 Tecniche guidate	34
3.5.1 Tecniche con indice siliconico	35
3.5.2 Injection Molding Technique	36
3.5.3 Matrix Transfer Technique	38
3.5.4 Tecniche guidate mediante matrici anatomiche preformate	38
3.6 Tecniche contemporanee per la gestione della forma e dei diastemi	39
3.6.1 Front Wing Technique	40
3.6.2 Pull Through Technique	41
3.6.3 Shield Technique	42
3.7 Tecniche digitali emergenti	43
Capitolo 4	45
4.1 Tecniche di riempimento cavitario	45
4.1.1 Tecniche incrementali	45
4.1.2 Centripetal Build-Up Technique	46
4.1.3 Bulk-Fill Technique	48
4.2 Tecniche di modellazione anatomica	50
4.2.1 Il concetto delle Essential Lines nella modellazione anatomica	51
4.2.2 Successive Cusp Build-Up Technique	52
4.2.3 Simultaneous Modeling Technique	53
4.2.4 Stamp Technique	55
4.3 Tecniche di rinforzo biomeccanico: Fiber Reinforced Technique	57
4.4 Tecniche di stampaggio guidato nei restauri posteriori	57
4.4.1 Posterior Injection Molding Technique	58
4.4.2 Single Index Technique	59
4.4.3 Flow line stabilizers: evoluzione della Single Index Technique	60
4.4.4 Direct Overlay Technique	60
Capitolo 5	62
5.1 Dalla classificazione delle tecniche ai principi operativi	62
5.2 Il ruolo del composito nella scelta della tecnica restaurativa	63
5.3 Tecniche operatore-dipendenti e tecniche guidate	65

5.4 Discussione comparativa delle tecniche anteriori	66
5.5 Discussione comparativa delle tecniche posteriori	67
5.6 Limiti delle evidenze disponibili	68
5.7 Prospettive future: intelligenza artificiale e realtà aumentata nella modellazione diretta	69
Conclusioni	72
Bibliografia	73

Introduzione

Negli ultimi decenni l'odontoiatria restaurativa ha attraversato una profonda evoluzione, guidata dallo sviluppo dei materiali adesivi e dalla crescente attenzione verso approcci sempre meno invasivi. In questo contesto, i restauri diretti in composito stanno assumendo un ruolo sempre più centrale nella pratica clinica quotidiana, grazie alla loro capacità di coniugare conservazione dei tessuti dentali, funzionalità ed estetica. L'introduzione di materiali compositi caratterizzati da proprietà meccaniche e ottiche sempre più avanzate ha ampliato significativamente le possibilità terapeutiche del clinico, consentendo di affrontare con successo restauri sia nei settori anteriori sia in quelli posteriori. Parallelamente, l'evoluzione delle tecniche adesive e dei protocolli operativi ha reso possibile il raggiungimento di risultati sempre più prevedibili e duraturi nel tempo. Tra i molteplici fattori che influenzano il successo di un restauro diretto, la fase di modellazione riveste un ruolo fondamentale. La corretta gestione della forma anatomica, dei volumi, delle caratteristiche superficiali e delle proprietà ottiche del materiale rappresenta infatti un elemento essenziale per garantire l'integrazione biologica, funzionale ed estetica del restauro.

Le moderne tecniche di modellazione diretta si sono progressivamente evolute in risposta alle innovazioni introdotte dall'industria dei materiali dentali, dando origine a protocolli differenti per indicazioni cliniche, complessità operative e modalità di utilizzo. La disponibilità di compositi con diverse viscosità, sistemi cromatici semplificati e materiali di nuova generazione ha contribuito a modificare l'approccio clinico, offrendo nuove opportunità nella gestione dei restauri diretti.

L'obiettivo del presente elaborato è analizzare le principali tecniche di modellazione diretta in composito, approfondendo il rapporto tra caratteristiche dei materiali e protocolli operativi. In particolare, verranno esaminati l'evoluzione dei materiali compositi, la loro classificazione in funzione delle proprietà reologiche e ottiche, le applicazioni cliniche nei settori anteriori e posteriori e le più recenti innovazioni tecnologiche. Attraverso questa analisi, la tesi si propone di offrire una panoramica aggiornata delle attuali possibilità offerte dalle tecniche di modellazione diretta, evidenziando il ruolo fondamentale dell'integrazione tra conoscenze scientifiche, competenze cliniche e innovazione tecnologica nell'odontoiatria restaurativa contemporanea.

Capitolo 1

Anatomia, estetica e biomimetica nei restauri diretti

1.1 Anatomia degli elementi anteriori

Gli elementi dentari anteriori comprendono incisivi centrali, incisivi laterali e canini (Figura 1) e rivestono un ruolo fondamentale sia dal punto di vista funzionale che estetico. Essi partecipano infatti alla fonazione, all'incisione degli alimenti e alla definizione dell'armonia del sorriso, rappresentando spesso il principale punto focale dell'osservazione estetica del volto (*Wheeler's Dental Anatomy, Physiology and Occlusion*, 2019).



Figura 1: Rappresentazione anatomia elementi dentali anteriori mascellari. **Fonte:** Wikipedia

Per una corretta modellazione di un restauro, la conoscenza dell'anatomia degli elementi anteriori assume particolare importanza poiché la riproduzione accurata della morfologia coronale condiziona direttamente il risultato estetico finale. La semplice sostituzione del tessuto dentale perduto non è infatti sufficiente a garantire l'integrazione del restauro, che deve riprodurre forma, proporzioni e caratteristiche superficiali del dente naturale (Covey, 2003). Dal punto di vista morfologico, gli incisivi superiori presentano una corona caratterizzata da una prevalente dimensione inciso-cervicale rispetto a quella mesio-distale. L'incisivo centrale superiore rappresenta generalmente il dente più evidente all'interno del sorriso e costituisce il riferimento principale per la valutazione delle proporzioni anteriori. La sua superficie vestibolare appare moderatamente convessa e suddivisa in tre lobi di sviluppo, separati da lievi depressioni verticali che tendono a ridursi con l'usura fisiologica. L'incisivo laterale superiore presenta dimensioni leggermente inferiori e una morfologia più arrotondata. Gli angoli incisali risultano

generalmente meno marcati rispetto a quelli dell'incisivo centrale, contribuendo a conferire maggiore dinamismo e naturalezza alla composizione estetica del gruppo frontale (*Woelfel's Dental Anatomy* | *R2 Digital Library*, s.d.). I canini costituiscono gli elementi di transizione tra settore anteriore e posteriore. La loro anatomia è caratterizzata dalla presenza di una cuspid prominente e da una corona particolarmente robusta, progettata per sopportare carichi funzionali elevati. Oltre alla funzione masticatoria, i canini svolgono un ruolo fondamentale nella guida laterale mandibolare, contribuendo alla protezione dei settori posteriori durante i movimenti eccentrici. Un aspetto di particolare interesse nei restauri è rappresentato dalle linee di transizione, ovvero le zone di passaggio tra la superficie vestibolare e le superfici prossimali. Queste strutture anatomiche influenzano significativamente la percezione visiva della larghezza dentale. Linee di transizione maggiormente mediali determinano un'apparente riduzione della larghezza coronale, mentre linee più distali producono l'effetto opposto. Questo principio viene frequentemente sfruttato nelle procedure restaurative estetiche per modificare la percezione delle dimensioni dentali senza alterarne realmente le misure. Anche gli spazi interincisali, o *embrasures* incisali, rivestono un'importanza estetica considerevole. In condizioni fisiologiche essi aumentano progressivamente di dimensione procedendo dal centro verso i settori laterali dell'arcata. La corretta riproduzione di tali spazi contribuisce alla naturalezza del restauro ed alla caratterizzazione degli elementi dentari (Covey, 2003). La superficie vestibolare degli elementi anteriori non si presenta perfettamente liscia, ma è caratterizzata da una micro- e macro-anatomia specifica costituita da depressioni e convessità che modificano il modo in cui la luce viene riflessa dalla superficie dentale e contribuiscono alla percezione tridimensionale dell'elemento. Una modellazione eccessivamente piatta o priva di texture superficiale può determinare restauri facilmente identificabili e poco integrati nel contesto naturale (Ahmad, 2005). Dal punto di vista clinico, la comprensione dell'anatomia anteriore rappresenta il fondamento delle moderne tecniche di modellazione diretta. La corretta ricostruzione delle creste marginali, delle linee di transizione e della morfologia vestibolare consente infatti di ottenere restauri capaci di ripristinare non soltanto la funzione, ma anche le caratteristiche estetiche che contraddistinguono il dente naturale.

1.2 Anatomia degli elementi posteriori

Gli elementi dentari posteriori sono principalmente deputati alla funzione masticatoria e comprendono premolari e molari (Figura 2). A differenza dei denti anteriori, nei quali prevalgono esigenze estetiche e fonetiche, i denti posteriori sono progettati per resistere a carichi occlusali elevati e per garantire un'efficace triturazione degli alimenti. La loro anatomia complessa rappresenta uno degli aspetti più impegnativi nella realizzazione di restauri diretti in composito, poiché richiede la riproduzione accurata di numerose strutture morfologiche funzionalmente interconnesse (*Wheeler's Dental Anatomy, Physiology and Occlusion*, 2019).

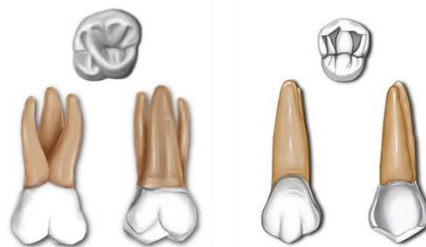


Figura 2: Rappresentazione anatomia elementi dentali posteriori mascellari.
Fonte: Wikipedia

La superficie occlusale dei denti posteriori, ad esempio, è caratterizzata dalla presenza di cuspidi, solchi, fosse e creste, elementi che collaborano nel guidare i movimenti masticatori e nel distribuire le forze occlusali lungo l'asse del dente. Per realizzare restauri che non solo ripristinino il volume coronale perduto, ma mantengano anche l'equilibrio funzionale dell'apparato stomatognatico è fondamentale conoscere ognuna di queste caratteristiche (*Concise Dental Anatomy And Morphology 4th Edition Jim Fuller*, s.d.). Le cuspidi rappresentano le principali unità morfologiche della superficie occlusale. Dal punto di vista funzionale possono essere distinte in cuspidi di supporto (o funzionali) e cuspidi di guida (o non funzionali). Nella dentizione permanente, le cuspidi palatali dei denti posteriori superiori e le cuspidi vestibolari dei denti posteriori inferiori sono generalmente considerate cuspidi funzionali, poiché entrano in contatto con gli elementi antagonisti durante l'intercuspidazione massima. Le cuspidi non funzionali contribuiscono invece alla guida dei movimenti mandibolari e alla protezione delle guance e della lingua durante la masticazione (*Wheeler's Dental Anatomy, Physiology*

and Occlusion, 2019). Tra le cuspidi si sviluppa un sistema articolato di solchi principali e secondari. I solchi principali derivano dalla fusione dei lobi di sviluppo durante l'odontogenesi e delimitano le diverse porzioni anatomiche della superficie occlusale. Essi svolgono un ruolo fondamentale nell'indirizzare il bolo alimentare durante la funzione masticatoria e costituiscono importanti riferimenti nella modellazione dei restauri diretti. Le fosse occlusali rappresentano depressioni anatomiche situate nei punti di convergenza dei solchi principali. Le fosse centrali, particolarmente evidenti nei molari, fungono da aree di ricezione delle cuspidi antagoniste durante i movimenti occlusali. La loro corretta ricostruzione consente di preservare la fisiologia dei contatti occlusali e di ridurre il rischio di interferenze funzionali post-operatorie. Un'altra struttura fondamentale è rappresentata dalle creste marginali, rilievi anatomici localizzati ai margini mesiale e distale della superficie occlusale. Oltre a contribuire alla morfologia del dente, esse svolgono un ruolo biomeccanico importante nel mantenimento dell'integrità strutturale della corona e nella stabilizzazione dei punti di contatto interprossimali. Numerosi studi hanno evidenziato come la conservazione o la corretta ricostruzione delle creste marginali sia associata a una maggiore resistenza alla frattura degli elementi restaurati.

Tutti questi elementi ci permettono di capire come la riproduzione della morfologia occlusale non deve limitarsi a un approccio puramente estetico. La geometria delle cuspidi e dei solchi influenza direttamente la distribuzione delle forze masticatorie e il comportamento biomeccanico dell'elemento dentario. Restaurazioni caratterizzate da cuspidi eccessivamente appiattite o da solchi scarsamente definiti possono alterare la funzione occlusale e compromettere l'efficienza masticatoria (*Functional Occlusion*, s.d.). Le moderne tecniche di modellazione diretta pongono particolare attenzione alla ricostruzione anatomica stratificata delle strutture posteriori. L'identificazione preliminare delle cuspidi principali, delle creste triangolari e dei solchi di sviluppo consente all'operatore di riprodurre una morfologia più vicina a quella naturale, riducendo la necessità di estesi ritocchi occlusali al termine della procedura restaurativa. La capacità di riconoscere e riprodurre correttamente le strutture morfologiche naturali permette di ottenere restauri che integrano efficacemente funzione, biomeccanica e conservazione tissutale, principi che rappresentano la base dell'odontoiatria restaurativa contemporanea (Covey, 2003).

1.3 Proprietà ottiche del dente naturale

La crescente attenzione verso l'estetica dentale ha reso fondamentale la comprensione delle proprietà ottiche dei tessuti dentari. Il successo di una restaurazione estetica non dipende infatti esclusivamente dalla corretta riproduzione della forma anatomica, ma anche dalla capacità di imitare il comportamento della luce all'interno del dente naturale. Per questo motivo, studiare le caratteristiche ottiche di smalto e dentina rappresenta uno dei presupposti fondamentali per approcciarsi alle tecniche di modellazione e stratificazione dei materiali compositi (Covey, 2003). A differenza di quanto avviene per molti materiali artificiali, il colore del dente non è il risultato di una semplice pigmentazione superficiale, ma deriva dall'interazione tra luce incidente, struttura interna dei tessuti dentari e fenomeni di riflessione, rifrazione, assorbimento e diffusione luminosa. Il dente naturale può essere considerato un sistema ottico complesso, nel quale smalto e dentina contribuiscono in modo differente alla percezione cromatica finale (Joiner, 2004). La dentina rappresenta il principale determinante del colore dentale grazie alla sua maggiore opacità e saturazione cromatica. Lo smalto, al contrario, è un tessuto altamente mineralizzato caratterizzato da un'elevata traslucenza, che consente il passaggio della luce verso gli strati sottostanti e ne modula l'aspetto visivo finale. La combinazione tra questi due tessuti genera la profondità cromatica e la vitalità tipiche del dente naturale (Chu et al., 2019).

1.3.1 La traslucenza

La traslucenza è definita come la capacità di un materiale di consentire il passaggio della luce diffondendola al proprio interno. Essa rappresenta una delle proprietà ottiche più rilevanti nella riproduzione estetica dei denti naturali. Nel dente umano la traslucenza varia in funzione dello spessore e della distribuzione dei tessuti dentari. Lo smalto presenta valori di traslucenza superiori rispetto alla dentina e tende a diventare maggiormente traslucido nelle aree incisali, dove lo spessore dentinale risulta ridotto. Questa caratteristica spiega il tipico aspetto luminoso e leggermente grigiastro osservabile lungo il margine incisale degli elementi anteriori. La corretta gestione della traslucenza rappresenta una delle principali sfide cliniche nei restauri diretti. Materiali eccessivamente opachi producono restauri privi di profondità e vitalità, mentre materiali

troppo traslucidi possono compromettere la capacità di mascherare il substrato sottostante o eventuali discromie (Dietschi, 1995).

1.3.2 Opacità e saturazione cromatica

L'opacità rappresenta la capacità di un materiale di impedire il passaggio della luce. Nel dente naturale essa è principalmente attribuibile alla dentina, la cui struttura tubulare determina fenomeni di diffusione e assorbimento della radiazione luminosa. La dentina contribuisce inoltre alla saturazione cromatica del dente, ossia all'intensità del colore percepito. La tonalità finale osservata clinicamente deriva quindi dall'interazione tra la componente cromatica dentinale e la modulazione ottica esercitata dallo smalto sovrastante (Chu et al., 2019). Questa distinzione ha influenzato profondamente lo sviluppo dei moderni sistemi compositi multilayer, nei quali i materiali relativi allo smalto ed alla dentina vengono formulati con differenti livelli di opacità e traslucenza per simulare il comportamento ottico dei tessuti naturali (Dietschi & Fahl, 2016).

1.3.3 La Fluorescenza

La fluorescenza è la capacità di una sostanza di assorbire radiazioni ultraviolette e riemettere energia sotto forma di luce visibile a lunghezze d'onda maggiori. Negli elementi dentali tale fenomeno è attribuito principalmente alla componente organica della dentina. La fluorescenza contribuisce alla luminosità percepita del sorriso, soprattutto in condizioni di illuminazione caratterizzate dalla presenza di radiazioni ultraviolette, come la luce naturale o alcune sorgenti artificiali. Denti e restauri privi di adeguata fluorescenza possono apparire più scuri o innaturali rispetto agli elementi adiacenti (Lee et al., 2005). Per questo motivo, i moderni materiali compositi incorporano specifici agenti fluorescenti destinati a riprodurre il comportamento ottico dei tessuti dentari naturali e a migliorare l'integrazione estetica del restauro.

1.3.4 Opalescenza

L'opalescenza è un fenomeno ottico tipico dello smalto dentale e deriva dalla dispersione selettiva delle diverse lunghezze d'onda della luce. Tale fenomeno determina una predominante riflessione delle componenti luminose blu e una maggiore trasmissione delle componenti aranciate e rossastre. L'opalescenza si manifesta, a livello dei denti

naturali, soprattutto nelle regioni incisali degli elementi anteriori, dove contribuisce alla comparsa delle tipiche sfumature bluastre osservabili lungo il margine incisale. Questo effetto rappresenta una delle caratteristiche più difficili da riprodurre nelle restaurazioni estetiche e richiede l'impiego di materiali specificamente progettati per imitare il comportamento ottico dello smalto naturale (Vanini, 1996). Vanini ha identificato l'opalescenza come uno degli elementi chiave nella percezione della vitalità dentale, sottolineando come la sua corretta riproduzione sia indispensabile per ottenere restauri altamente estetici e indistinguibili dai tessuti naturali.

1.3.5 Texture superficiale e riflessione della luce

La percezione del colore e della forma dentale non dipende esclusivamente dalle proprietà ottiche intrinseche dei tessuti, ma anche dalle caratteristiche della superficie esterna. La micro- e macro-texture dello smalto influenzano infatti la riflessione della luce e contribuiscono in modo significativo all'aspetto finale del dente (Ahmad, 2005). Le superfici dentali naturali presentano irregolarità microscopiche costituite da perichimazie, solchi superficiali e rilievi derivanti dai lobi di sviluppo. Queste strutture generano riflessioni luminose differenziate che aumentano la percezione di profondità e tridimensionalità. Una superficie eccessivamente liscia tende invece a riflettere la luce in maniera uniforme, conferendo al restauro un aspetto artificiale e poco naturale. Per questo motivo, nei restauri diretti moderni, la fase di rifinitura e caratterizzazione superficiale assume un ruolo determinante nel raggiungimento dell'integrazione estetica finale (Fahl, 2000).

1.4 Il concetto di “mimetismo” nelle restaurazioni dirette

Lo sviluppo dell'odontoiatria restaurativa ha portato ad un'evidente evoluzione concettuale, passando da approcci prevalentemente meccanicistici a strategie sempre più orientate alla conservazione dei tessuti dentali e alla riproduzione delle caratteristiche biologiche del dente naturale. Si è sviluppato, dunque, il concetto di odontoiatria biomimetica, una filosofia restaurativa che mira a imitare (“mimesis”) la natura (“bios”), riproducendo forma, funzione, proprietà meccaniche ed estetiche dei tessuti dentari perduti (*Biomimetic Restorative Dentistry* | Pascal Magne / Urs C. Belser, s.d.). L'approccio biomimetico si fonda sul presupposto che il dente debba essere considerato

un sistema biologico complesso, costituito da strutture differenti ma strettamente integrate tra loro. Quando una lesione cariosa, un trauma o un precedente trattamento restaurativo determinano una perdita di tessuto, l'obiettivo clinico non dovrebbe limitarsi alla semplice sostituzione del volume mancante, ma dovrebbe tendere al ripristino dell'equilibrio strutturale originario. Uno dei principi cardine della biomimetica è la massima conservazione del tessuto dentale sano. L'introduzione delle tecniche adesive, come l'adesione micromeccanica e chimica, ha infatti reso possibile una significativa riduzione dell'invasività delle preparazioni cavitare rispetto ai tradizionali approcci ritentivi utilizzati in passato, così da preservare una maggiore quantità di struttura dentale residua. Secondo Magne e Belser, il concetto biomimetico si basa sulla capacità del restauro adesivo di ricreare la continuità strutturale tra i tessuti residui e il materiale restaurativo, permettendo una distribuzione delle forze masticatorie più simile a quella osservata nel dente integro (Covey, 2003). Dal punto di vista strutturale, la biomimetica riconosce che smalto e dentina svolgono funzioni differenti e complementari. Lo smalto, grazie all'elevato contenuto minerale, presenta una notevole durezza superficiale e resistenza all'usura, mentre la dentina possiede una maggiore elasticità e capacità di assorbire le sollecitazioni funzionali. Le moderne tecniche restaurative cercano pertanto di imitare questa organizzazione naturale attraverso l'utilizzo di materiali e strategie operative capaci di riprodurre il comportamento dei diversi tessuti dentari (*Biomimetic Restorative Dentistry* | Pascal Magne / Urs C. Belser, s.d.). Oltre agli aspetti biomeccanici, la biomimetica coinvolge anche la riproduzione delle proprietà ottiche del dente naturale. Come descritto nel paragrafo precedente, il colore dentale non è il risultato di una singola tonalità uniforme, ma deriva dall'interazione tra dentina, smalto e luce. La possibilità di utilizzare materiali compositi con differenti livelli di opacità, traslucenza e fluorescenza ha consentito la nascita di protocolli restaurativi sempre più orientati all'imitazione della struttura naturale del dente (Dietschi & Fahl, 2016). L'applicazione clinica di tali principi ha portato allo sviluppo delle moderne tecniche di stratificazione anatomica. Questo metodo consente non solo di ottenere risultati estetici più prevedibili, ma anche di migliorare il comportamento biomeccanico della restaurazione nel lungo termine. La biomimetica ha inoltre influenzato profondamente la progettazione stessa dei materiali restaurativi contemporanei. L'evoluzione dei compositi ha portato allo sviluppo di prodotti caratterizzati da proprietà meccaniche sempre più vicine a quelle dei tessuti

dentali, nonché da caratteristiche ottiche avanzate in grado di facilitare l'integrazione estetica del restauro (Ferracane, 2024). Tutto questo ha favorito l'affermazione di restauri diretti sempre più conservativi e predicibili, ampliandone le indicazioni cliniche. Nell'ambito delle tecniche di modellazione diretta, la filosofia biomimetica rappresenta oggi il principale riferimento concettuale. La riproduzione della morfologia dentale, la gestione delle masse composite e la scelta dei materiali non vengono infatti considerate procedure indipendenti, ma parti di un unico processo finalizzato alla ricostruzione funzionale ed estetica del dente secondo criteri biologici. In questa prospettiva, la modellazione diretta non consiste semplicemente nella ricostruzione di una forma anatomica, ma nella riproduzione quanto più fedele possibile dell'organizzazione naturale dei tessuti dentari (*Biomimetic Restorative Dentistry* | *Pascal Magne / Urs C. Belser*, s.d.)

Capitolo 2

Classificazione dei materiali compositi e implicazioni nelle tecniche di modellazione diretta

2.1 Evoluzione dei materiali compositi restaurativi

L'evoluzione dei materiali compositi restaurativi rappresenta una delle innovazioni più importanti dell'odontoiatria conservativa moderna. Nel corso degli ultimi decenni, questi materiali hanno progressivamente sostituito altre soluzioni restaurative tradizionali grazie alla loro capacità di combinare estetica, conservazione dei tessuti dentali e buone proprietà meccaniche. Oggi i compositi costituiscono il materiale di elezione per la maggior parte dei restauri diretti sia nei settori anteriori che posteriori. Prima della loro introduzione, i restauri dentali venivano eseguiti principalmente mediante amalgama e cementi silicati. Sebbene l'amalgama garantisse un'elevata resistenza meccanica, il suo aspetto metallico e la necessità di preparazioni cavitarie spesso invasive ne limitavano l'accettazione estetica. Parallelamente, i cementi silicati offrivano una migliore resa cromatica ma presentavano una ridotta durabilità clinica (Ferracane, 2024). La svolta avvenne negli anni Sessanta con gli studi di Rafael Bowen, che sviluppò la resina Bis-GMA (Bisfenolo-A Glicidil Metacrilato), considerata il fondamento dei moderni compositi dentali. L'associazione di una matrice resinosa con particelle di riempitivo inorganico silanizzate consentì di ottenere materiali più resistenti, stabili e adatti all'impiego clinico rispetto alle precedenti resine acriliche. I primi compositi commerciali erano caratterizzati da particelle di riempitivo di grandi dimensioni (macrofilled), che garantivano una buona resistenza ma una limitata capacità di mantenere nel tempo una superficie liscia e lucida. Successivamente furono sviluppati i compositi microfilled, caratterizzati da particelle molto più piccole e da migliori proprietà estetiche. L'evoluzione di queste due categorie portò alla comparsa dei compositi ibridi e microibridi, capaci di combinare resistenza meccanica ed estetica in un unico materiale (Ferracane, 2011).

Negli anni successivi, l'introduzione delle nanotecnologie ha determinato un ulteriore miglioramento delle prestazioni cliniche. I nanocompositi e i materiali nanoibridi hanno consentito di ottenere restauri caratterizzati da elevata lucidabilità, buona resistenza

all'usura e maggiore integrazione ottica con i tessuti dentali. In contemporanea, il perfezionamento dei sistemi adesivi e delle tecniche di fotopolimerizzazione ha contribuito ad aumentare la predicibilità e la longevità dei restauri. La ricerca più recente si è concentrata sullo sviluppo di materiali sempre più biomimetici, in grado di riprodurre non solo l'aspetto estetico ma anche il comportamento ottico e meccanico dei tessuti dentali naturali. In questo scenario sono stati introdotti compositi a bassa contrazione da polimerizzazione, materiali bioattivi e sistemi cromatici semplificati basati sul concetto di colore strutturale, che consentono una gestione clinica più efficiente senza compromettere il risultato estetico.

L'evoluzione dei materiali compositi ha quindi seguito un percorso orientato al miglioramento continuo delle proprietà estetiche, meccaniche e biologiche. Tale sviluppo ha reso possibile l'affermazione delle moderne tecniche di modellazione diretta, che sfruttano le caratteristiche dei materiali contemporanei per realizzare restauri sempre più conservativi, funzionali ed esteticamente integrati (Karunakaran et al., 2025) (Zhang et al., 2024).

2.2 Classificazione dei compositi in base alla viscosità

La viscosità rappresenta una delle proprietà più rilevanti dei materiali compositi utilizzati nei restauri diretti, poiché influenza direttamente la manipolazione clinica e la capacità di adattamento alle strutture dentali. Dal punto di vista reologico, la viscosità esprime la resistenza di un materiale allo scorrimento e alla deformazione sotto l'azione di una forza applicata. Nei compositi dentali essa dipende principalmente dal rapporto tra matrice resinosa e riempitivo inorganico, dalla dimensione delle particelle e dalla composizione chimica del materiale. Lo studio e l'evoluzione dei materiali restaurativi ha portato allo sviluppo di compositi con differenti comportamenti reologici, progettati per rispondere a specifiche esigenze cliniche. Alcuni materiali privilegiano la fluidità e l'adattamento alle superfici dentali, mentre altri sono stati sviluppati per offrire una maggiore consistenza e stabilità durante la modellazione anatomica. Più recentemente, l'introduzione del preriscaldamento dei compositi ha consentito di modificare temporaneamente la viscosità del materiale, ampliando ulteriormente le possibilità operative del clinico (Daronch et al., 2005) (Deb et al., 2011).

In base alle loro caratteristiche di viscosità, i compositi utilizzati nelle tecniche restaurative dirette possono essere classificati in tre principali categorie: compositi flowable, compositi packable e compositi preriscaldati.

2.2.1 Compositi flowable

I compositi flowable sono stati introdotti alla fine degli anni Novanta con l'obiettivo di ottenere materiali caratterizzati da una maggiore fluidità rispetto ai compositi convenzionali. La differenza deriva principalmente dalla riduzione del contenuto di riempitivo inorganico e dall'aumento relativo della componente resinosa, che determinano una diminuzione della viscosità e una maggiore capacità di scorrimento del materiale (Baroudi & Rodrigues, 2015). I primi flowable presentavano una percentuale di riempitivo compresa tra il 37% e il 53% in volume, inferiore rispetto ai compositi convenzionali ad alta viscosità. La loro bagnabilità favorisce una distribuzione uniforme del materiale e riduce il rischio di formazione di vuoti interni durante l'applicazione. L'utilizzo di siringhe dedicate consente inoltre un posizionamento preciso anche nelle aree di difficile accesso.

Le principali indicazioni cliniche comprendono l'impiego come liner sotto restaurazioni dirette, la sigillatura di solchi e fossette, il restauro di piccole cavità di classe I e V, la riparazione di restauri esistenti e numerose procedure minimamente invasive. Negli ultimi anni sono stati sviluppati flowable ad elevato contenuto di riempitivo, caratterizzati da prestazioni meccaniche superiori rispetto alle formulazioni tradizionali e utilizzabili anche come materiali restaurativi autonomi in casi selezionati (Tzimas et al., 2025). Tra i principali vantaggi dei compositi flowable figurano l'eccellente adattamento marginale, la semplicità applicativa, la riduzione delle bolle d'aria e la capacità di riprodurre dettagli anatomici complessi. Tali caratteristiche li rendono particolarmente indicati nelle tecniche di iniezione e nelle procedure che prevedono l'utilizzo di mascherine in silicone o matrici trasparenti. I limiti più evidenti sono invece rappresentati dalla minore resistenza all'usura, dal ridotto modulo elastico e da una maggiore contrazione da polimerizzazione rispetto ai compositi più viscosi (Braga et al., 2003). Per questo motivo il loro utilizzo esclusivo nelle zone sottoposte a elevati carichi occlusali rimane generalmente limitato.

2.2.2 Compositi packable

I compositi packable sono stati sviluppati con l'obiettivo di riprodurre alcune caratteristiche operative dell'amalgama, offrendo una maggiore consistenza e una migliore capacità di condensazione all'interno della cavità. La loro elevata viscosità deriva principalmente dall'aumento della percentuale di riempitivo inorganico e dalla migliore distribuzione granulometrica delle particelle. Questo conferisce al materiale una consistenza più rigida e una maggiore stabilità durante la modellazione. Dal punto di vista clinico, i compositi packable consentono di realizzare con maggiore facilità le anatomie occlusali, mantenendo la forma impressa durante la modellazione senza deformarsi. Di conseguenza, risultano particolarmente vantaggiosi nei restauri posteriori di classe I e II, dove è necessario riprodurre accuratamente cuspidi, creste marginali e solchi (Leinfelder, 1997). Con il loro utilizzo si sono riscontrati una serie di vantaggi importanti come l'elevata resistenza meccanica, la ridotta deformabilità durante la modellazione e la buona stabilità anatomica. Inoltre, l'elevato contenuto di riempitivo contribuisce generalmente a ridurre la contrazione da polimerizzazione e ad aumentare la resistenza all'usura. Tuttavia, la minore fluidità può rappresentare un ostacolo nelle cavità complesse o nelle aree caratterizzate da sottosquadri e irregolarità. In questi particolari casi clinici può risultare più difficile ottenere un adattamento ottimale alle pareti cavitare, motivo per cui spesso si associa l'utilizzo di uno strato iniziale di composito flowable (Neme et al., 2002). Con l'evoluzione dei materiali compositi, la distinzione tra moderni compositi convenzionali ad alta viscosità e packable si è progressivamente ridotta. Molti materiali moderni possiedono infatti proprietà intermedie che consentono di combinare una buona modellabilità con adeguate capacità di adattamento.

2.2.3 Compositi preriscaldati

Il preriscaldamento dei compositi rappresenta una strategia relativamente recente finalizzata a migliorare le proprietà reologiche dei materiali restaurativi senza modificarne permanentemente la composizione. Il razionale biologico e clinico di questa tecnica risiede nella possibilità di ridurre temporaneamente la viscosità del composito attraverso un aumento controllato della temperatura, generalmente compreso tra 54 °C e 68 °C. L'incremento termico determina una maggiore mobilità delle catene polimeriche e una conseguente diminuzione della resistenza allo scorrimento del materiale. Studi

sperimentali hanno dimostrato una riduzione della viscosità fino al 90% rispetto ai valori registrati a temperatura ambiente.

Grazie a questa modifica reologica, un composito convenzionale può acquisire una fluidità simile a quella dei flowable mantenendo tuttavia l'elevato contenuto di riempitivo e le proprietà meccaniche tipiche dei compositi convenzionali altamente riempiti. Numerosi studi hanno evidenziato come il preriscaldamento possa aumentare il grado di conversione dei monomeri, migliorare l'adattamento marginale e ridurre la presenza di vuoti all'interno del restauro (*Composite Preheating*, s.d.). I compositi preriscaldati trovano applicazione clinica nei restauri posteriori diretti, nelle tecniche di modellazione anatomica avanzata e nelle procedure di cementazione adesiva indiretta. Negli ultimi anni il loro utilizzo si è diffuso anche nelle tecniche di stampaggio mediante mascherine in silicone e nelle procedure di iniezione controllata. Questi compositi sono vantaggiosi principalmente per il miglior adattamento marginale, la maggiore lavorabilità e la possibilità di sfruttare le proprietà meccaniche di un composito altamente riempito mantenendo una buona fluidità operativa. I limiti, invece, sono rappresentati dalla necessità di dispositivi dedicati per il riscaldamento, dalla rapida perdita di temperatura dopo l'estrusione e dalla variabilità dei risultati riportati in letteratura.

2.2.4 Viscosità e modellazione diretta

Le differenti caratteristiche di viscosità dei materiali compositi influenzano in modo significativo la scelta della tecnica restaurativa. I compositi flowable trovano largo impiego nelle tecniche di Injection Molding e Multilayer Injection grazie alla loro elevata capacità di adattamento e alla facilità di inserimento all'interno delle mascherine trasparenti. I compositi packable e i (compositi altamente riempiti ad alta viscosità) risultano invece particolarmente indicati nelle tecniche di stratificazione tradizionale e nei restauri posteriori, dove la stabilità durante la modellazione rappresenta un requisito fondamentale.

I compositi preriscaldati occupano una posizione intermedia, consentendo di combinare la fluidità necessaria per l'adattamento del materiale con le proprietà meccaniche tipiche dei compositi altamente riempiti. Questa versatilità ha contribuito alla loro crescente

diffusione nelle moderne procedure di modellazione diretta, confermando il ruolo centrale delle proprietà reologiche nella scelta del materiale restaurativo.

2.3 Classificazione dei compositi in base alle caratteristiche colorimetriche

Oltre alle proprietà meccaniche ed alla manipolazione chimica, lo sviluppo dei materiali compositi ha riguardato anche la capacità di riprodurre fedelmente l'estetica del dente naturale. La crescente richiesta di restaurazioni altamente mimetiche ha spinto i produttori a sviluppare sistemi cromatici sempre più sofisticati, in grado di semplificare la selezione del colore e migliorare l'integrazione ottica del restauro con i tessuti dentali circostanti (Dietschi, 1995).

Il colore di un dente naturale è, come approfondito in precedenza, il risultato dell'interazione tra numerosi fattori ottici, tra cui traslucenza, opalescenza, fluorescenza, riflessione e diffusione della luce. Per questo motivo, nel corso degli anni sono stati sviluppati differenti sistemi cromatici basati su filosofie restaurative diverse, che vanno dai tradizionali approcci multistrato fino ai più recenti materiali universali basati sul concetto di colore strutturale (Vanini, 1996). In base alla gestione delle caratteristiche colorimetriche, i moderni materiali compositi possono essere classificati in quattro principali categorie: sistemi tradizionali, sistemi monoshade, sistemi multishade e compositi universal shade.

2.3.1 Sistemi tradizionali a traslucenza variabile

I sistemi tradizionali a traslucenza variabile rappresentano da molti anni il riferimento dell'odontoiatria restaurativa estetica. Tali sistemi si basano sull'utilizzo di compositi caratterizzati da differenti proprietà ottiche, progettati per riprodurre in maniera più fedele la struttura naturale del dente (Fahl, 2006). Il razionale biologico di questo approccio deriva dalla diversa composizione dei tessuti dentali. La dentina costituisce il principale determinante del colore del dente e presenta una maggiore opacità e saturazione cromatica, mentre lo smalto è caratterizzato da una maggiore traslucenza e contribuisce alla profondità ottica e alla vitalità dell'elemento dentario. Per riprodurre tali caratteristiche, i produttori hanno sviluppato masse dedicate con differenti livelli di opacità e traslucenza.

Nella configurazione più comune, questi sistemi prevedono l'utilizzo di una massa dentina (*dentin*), una massa smalto (*enamel*) e, in molti casi, una massa intermedia (*body*). La massa dentina è responsabile della tonalità principale del restauro e della sua capacità di mascherare il substrato sottostante. La massa smalto viene, invece, utilizzata negli strati più superficiali per riprodurre la traslucenza tipica dei tessuti naturali. La massa body possiede caratteristiche intermedie e può essere impiegata per semplificare la stratificazione nei casi meno complessi. Dal punto di vista clinico, questi sistemi rappresentano un compromesso efficace tra semplicità operativa e qualità estetica. Rispetto ai moderni sistemi monoshade, richiedono una maggiore attenzione alla selezione cromatica e alla gestione degli spessori dei diversi strati. Tuttavia, consentono una migliore riproduzione della profondità ottica e delle caratteristiche estetiche del dente naturale (Layers, s.d.) (Thomas et al., 2022). I sistemi a masse differenziate continuano a essere ampiamente utilizzati nelle restaurazioni anteriori e costituiscono ancora oggi la base concettuale delle moderne tecniche di stratificazione diretta. Essi rappresentano inoltre il punto di partenza per i sistemi multishade più evoluti che prevedono l'impiego di numerose masse composite caratterizzate da differenti livelli di opacità, traslucenza e saturazione cromatica. Quest'ulteriore filosofia restaurativa si basa sul concetto biomimetico secondo cui la riproduzione fedele della struttura dentale naturale richiede la simulazione separata dei diversi tessuti che compongono il dente. Oltre alle masse dentinali e smalto, molti sistemi includono masse incisali, effetti opalescenti, materiali traslucidi e modificatori cromatici specifici (Thomas et al., 2022).

Il vantaggio dei sistemi multishade consiste proprio nella possibilità di ottenere risultati estetici estremamente naturali, specialmente nelle restaurazioni anteriori complesse. La gestione separata delle diverse componenti ottiche permette infatti di riprodurre profondità, vitalità e caratterizzazioni individuali difficilmente ottenibili mediante approcci più semplificati. Questi sistemi richiedono inevitabilmente però una maggiore esperienza clinica, una conoscenza approfondita dell'anatomia dentale e tempi operativi più lunghi. Inoltre, la corretta selezione delle masse rappresenta una procedura fortemente operatore-dipendente. Per questi motivi, nonostante l'introduzione di sistemi più semplificati, la stratificazione multishade continua a essere considerata il riferimento per le restaurazioni estetiche ad elevata complessità.

2.3.2 Sistemi Monoshade

I sistemi monoshade sono caratterizzati dall'utilizzo di una singola massa composita destinata a riprodurre l'intera struttura coronale senza la necessità di differenti tonalità di dentina e smalto (Ismail & Paravina, 2022). Questa filosofia restaurativa nasce dall'esigenza di semplificare le procedure cliniche, riducendo il numero di materiali necessari e limitando la complessità della selezione cromatica. A differenza dei sistemi tradizionali e multishade, nei quali il risultato estetico viene ottenuto attraverso la combinazione di masse con differenti proprietà ottiche, i sistemi monoshade affidano l'integrazione cromatica a specifiche caratteristiche del materiale stesso. In molti casi, tali compositi sfruttano il cosiddetto *chameleon effect*, ovvero la capacità di adattarsi visivamente ai tessuti dentali circostanti attraverso fenomeni di traslucenza, diffusione e riflessione della luce (Paolone et al., 2025). Inoltre, un composito monoshade può ottenere il proprio effetto cromatico sia mediante sistemi tradizionali basati su pigmenti colorati presenti nel materiale, sia attraverso tecnologie più recenti, come quelle fondate sul principio del colore strutturale (*structural color*) che fonda il suo principio sulla modifica strutturale del materiale con nanoparticelle reagenti alla luce. Questa tipologia di materiali risulta particolarmente indicata nei restauri diretti di piccole e medie dimensioni, nelle procedure semplificate e nelle situazioni in cui è richiesta una rapida esecuzione del trattamento. La presenza di un'unica massa riduce inoltre il rischio di errori nella selezione del colore e facilita la gestione dell'inventario dei materiali. Tuttavia, la semplicità operativa può rappresentare anche un limite nei casi clinici ad elevata valenza estetica. Nei restauri anteriori complessi, infatti, la riproduzione delle caratteristiche ottiche naturali del dente può risultare meno accurata rispetto ai sistemi che prevedono l'impiego di masse differenziate (Çadırcı & Özakar, 2025a).

2.3.3 Sistemi cromatici semplificati (Simplified Shade Systems)

I recenti sviluppi nel campo dei materiali compositi hanno portato all'introduzione di sistemi cromatici semplificati, progettati per ridurre ulteriormente la complessità della selezione del colore mantenendo un'elevata integrazione estetica del restauro. Questi materiali rappresentano una soluzione intermedia tra i tradizionali sistemi multishade e i più recenti compositi monoshade, consentendo di coprire l'intera gamma delle tonalità dentali mediante un numero limitato di masse restaurative. (Maik, 2025)

Tra gli esempi più rappresentativi vi sono i sistemi basati su tre tonalità principali, generalmente identificate come Bright, Natural e Warm, oppure Light, Medium e Dark, a seconda del produttore. In tali sistemi, la selezione cromatica non avviene più attraverso la scelta di numerose tonalità corrispondenti alla scala VITA, ma mediante l'identificazione del livello generale di luminosità e cromaticità del dente da restaurare.

Ad esempio, la tonalità Bright è destinata ai denti caratterizzati da elevato valore e basso cromatismo (A1, B1, B2, C1, D2), la tonalità Natural ai colori intermedi (A2, A3, C2, D3, D4), mentre la tonalità Warm è indicata per elementi dentari con cromaticità più elevata e valore inferiore (A3,5, A4, B3, B4, C3 e C4). (Maik, 2025)

Il principio alla base di questi materiali è quello della cosiddetta *naturally adaptive opacity*, ovvero una opacità progettata per adattarsi visivamente ai tessuti dentali circostanti, riducendo la necessità di una selezione cromatica estremamente dettagliata. Tale approccio consente di semplificare il workflow clinico, ridurre l'inventario dei materiali e diminuire il rischio di errori nella scelta della tonalità, mantenendo al contempo risultati estetici soddisfacenti nella maggior parte delle situazioni cliniche.

Questi sistemi non sostituiscono completamente i materiali multishade nelle restaurazioni anteriori ad elevata complessità estetica, ma rappresentano una valida alternativa nella pratica clinica quotidiana, soprattutto quando è richiesta una gestione più efficiente del restauro senza compromettere significativamente il risultato finale e per semplificare la gestione del colore in casi clinici semplificati (Çadırcı & Özakar, 2025b).

2.3.4 Tecnologia Structural Color

Una delle innovazioni più significative degli ultimi anni nel campo dei materiali compositi è rappresentata dall'introduzione della tecnologia del colore strutturale (*structural color*) (Color Adjustment Potential of Single-Shade Resin Composite to Various-Shade Human Teeth, s.d.). A differenza dei sistemi tradizionali, nei quali il colore dipende principalmente dalla presenza di pigmenti incorporati nella matrice resinosa, questa tecnologia sfrutta l'interazione della luce con nanoparticelle appositamente progettate per generare specifiche lunghezze d'onda visibili. Il colore percepito deriva quindi dalla struttura fisica del materiale piuttosto che dalla semplice presenza di coloranti convenzionali. Il principio del colore strutturale trae ispirazione da numerosi fenomeni osservabili in natura, nei quali la colorazione di alcune superfici non

è determinata da pigmenti ma dalla particolare organizzazione microscopica della materia. In ambito odontoiatrico, tale concetto è stato applicato allo sviluppo di materiali restaurativi capaci di modulare la riflessione e la diffusione della luce in modo da favorire una migliore integrazione cromatica con i tessuti dentali circostanti. Grazie a questo meccanismo, alcuni compositi di ultima generazione sono in grado di adattarsi a un ampio intervallo di tonalità dentali pur utilizzando una sola massa restaurativa. La particolare interazione tra luce incidente, struttura del materiale e substrato dentale contribuisce infatti a migliorare il cosiddetto *color adjustment potential*, ossia la capacità del restauro di armonizzarsi cromaticamente con il dente naturale. Clinicamente, l'introduzione della tecnologia structural color ha consentito una significativa semplificazione delle procedure restaurative. La riduzione del numero di masse necessarie, la minore dipendenza dalla selezione cromatica tradizionale e la semplificazione della gestione dei materiali rappresentano alcuni dei principali vantaggi che hanno favorito la rapida diffusione di questi sistemi nella pratica clinica quotidiana. Nonostante i risultati promettenti, la letteratura evidenzia come l'efficacia dell'adattamento cromatico possa essere influenzata da diversi fattori, tra cui la dimensione del restauro, lo spessore del materiale e le caratteristiche ottiche del dente da restaurare. In particolare, nei restauri estesi o in presenza di tonalità estremamente chiare, scure o fortemente saturate, la capacità di integrazione cromatica può risultare inferiore rispetto a quanto osservato nei restauri di dimensioni più contenute (Furusawa et al., 2023) (*Color adjustment potential of resin composites: Optical illusion or physical reality, a comprehensive overview - Ismail - 2022 - Journal of Esthetic and Restorative Dentistry - Wiley Online Library, s.d.*). Per tale motivo, sebbene la tecnologia structural color rappresenti una delle innovazioni più interessanti dell'odontoiatria restaurativa contemporanea, i sistemi multishade continuano a mantenere un ruolo fondamentale nelle restaurazioni anteriori altamente estetiche, dove la riproduzione dettagliata delle differenti caratteristiche ottiche del dente naturale rimane un requisito essenziale.

2.3.5 Strategie di gestione del colore nella modellazione diretta

Le differenti strategie di gestione cromatica influenzano direttamente la scelta della tecnica restaurativa. I sistemi monoshade e universal shade trovano applicazione nelle procedure semplificate e nelle moderne tecniche di iniezione, nelle quali l'obiettivo

principale è ottenere risultati estetici predicibili riducendo la complessità operativa. I sistemi tradizionali rappresentano un compromesso tra semplicità ed estetica e vengono frequentemente utilizzati nelle restaurazioni anteriori di media complessità. I sistemi multishade rimangono invece il riferimento per le tecniche di stratificazione policromatica e per integrazione mimetica del restauro, nei quali la riproduzione dettagliata delle caratteristiche ottiche del dente naturale costituisce un elemento fondamentale del successo clinico. L'evoluzione verso i materiali universal shade e structural color ha introdotto nuove possibilità operative, ampliando le opzioni a disposizione del clinico nella realizzazione di restaurazioni dirette estetiche.

2.4 Relazione clinica tra materiali e tecniche

La scelta del materiale per un restauro diretto rappresenta una fase fondamentale della pianificazione, poiché influenza la predicibilità del risultato estetico e funzionale, la semplicità esecutiva e la longevità del restauro. Le moderne tecniche di modellazione diretta si basano su principi differenti e richiedono materiali con specifiche proprietà reologiche, ottiche e meccaniche. Di conseguenza, la selezione del composito deve essere effettuata considerando non solo la situazione clinica, ma anche il protocollo restaurativo che si intende utilizzare.

2.4.1 Materiali per le tecniche di stratificazione

Le tecniche di stratificazione rappresentano uno degli approcci più consolidati nell'odontoiatria estetica restaurativa. Il loro obiettivo consiste nel riprodurre la struttura naturale del dente attraverso la sovrapposizione di differenti incrementi di composito, simulando separatamente dentina, smalto ed eventuali caratterizzazioni ottiche. Per ottenere risultati predicibili, tali procedure richiedono materiali dotati di adeguata stabilità durante la modellazione e di proprietà ottiche differenziate. I compositi universali ad alta viscosità e i sistemi multishade (Tabella 1) rappresentano generalmente la scelta più indicata, poiché consentono di mantenere la forma impartita dagli strumenti e di controllare accuratamente traslucenza, opacità e saturazione cromatica (Layers, s.d.). La disponibilità di masse dentinali, smalti, masse incisali ed effetti speciali permette di riprodurre la complessità ottica del dente naturale, rendendo questa categoria di materiali particolarmente adatta alle restaurazioni anteriori ad elevata valenza estetica (Fahl, 2006).

La complessità operativa delle tecniche di stratificazione richiede, tuttavia, una significativa esperienza clinica e una conoscenza approfondita dell'anatomia dentale. Per questo motivo, negli ultimi anni si è osservata una progressiva diffusione di sistemi cromatici semplificati che cercano di mantenere elevati standard estetici riducendo il numero di masse necessarie.

Tabella 1: *Materiali per le tecniche di stratificazione*

Caratteristica	Compositi universali ad alta viscosità
Gestione cromatica	Sistemi tradizionali
Masse disponibili	Dentina, smalto, incisale, effetti
Indicazione principale	Restaurazioni anteriori ad elevata valenza estetica
Razionale clinico	Mantenimento della forma durante la modellazione e riproduzione della complessità ottica del dente naturale

Fonte: *elaborato sulla base di Manauta e Salat (2012) e Fahl (2006).*

Negli anni, questo concetto restaurativo si è esteso con l'approccio biomimetico che si fonda sul principio di riprodurre non soltanto l'aspetto estetico del dente naturale, ma anche il suo comportamento biomeccanico e ottico (Covey, 2003). Su questa base, il materiale restaurativo deve possedere caratteristiche che consentano di imitare il più fedelmente possibile le proprietà dei tessuti dentali residui. La scelta ricade frequentemente su sistemi multishade avanzati, compositi altamente riempiti e materiali caratterizzati da proprietà ottiche specificamente progettate per simulare dentina e smalto (Dietschi, 1995). Rispetto alle tecniche tradizionali, le procedure biomimetiche richiedono generalmente una maggiore attenzione alla selezione dei materiali (Tabella 2) e una pianificazione restaurativa più complessa, ma consentono di ottenere risultati altamente conservativi e naturali.

Tabella 2: *Materiali per le tecniche mimetiche*

Composizione	Compositi altamente riempiti
Gestione cromatica	Sistemi multishade avanzati
Proprietà ottiche	Differente opacità e traslucenza
Approccio clinico	Tecniche adesive minimamente invasive
Obiettivo biomimetico	Riprodurre il comportamento biomeccanico e ottico del dente naturale

Fonte: *elaborato sulla base di Covey (2003) e Dietschi (1995)*

2.4.2 Materiali per le tecniche di iniezione

Le tecniche di iniezione rappresentano una delle innovazioni più significative e prevedono l'utilizzo di mascherine trasparenti ottenute da una progettazione analogica o digitale, attraverso le quali il materiale composito viene iniettato direttamente nella posizione definitiva (Thomas et al., 2022). Di conseguenza, i compositi flowable e gli injectable composites (Tabella 3) risultano particolarmente indicati grazie alla loro elevata fluidità, che consente un completo riempimento della mascherina e una fedele riproduzione del progetto restaurativo. L'introduzione dei compositi flowable ad alto contenuto di riempitivo ha ulteriormente ampliato le possibilità cliniche di queste tecniche, permettendo di ottenere restauri caratterizzati da buone proprietà meccaniche oltre che da una notevole semplicità operativa (Tzimas et al., 2025). Anche i compositi preriscaldati possono essere utilizzati nelle procedure di iniezione prestando sempre attenzione al tempo di raffreddamento del composito. Questo perché la temporanea riduzione della viscosità consente di migliorare l'adattamento del materiale senza rinunciare ai vantaggi dei compositi universali ad elevato contenuto di riempitivo. (Daronch et al., 2005).

Tabella 3: *Materiali per le tecniche di iniezione*

Elevata fluidità	Compositi flowable
Proprietà meccaniche migliorate	Injectable composites ad alto contenuto di riempitivo
Viscosità modulabile	Compositi preriscaldati
Indicazione principale	Injection Molding e Multilayer Injection
Vantaggio clinico	Trasferimento accurato del progetto restaurativo e adattamento ottimale

Fonte: elaborato sulla base di Thomas et al. (2022), Tzimas et al. (2025) e Daronch et al. (2005).

2.4.3 Materiali per le tecniche bulk-fill

Le tecniche bulk-fill sono state sviluppate con l'obiettivo di semplificare le procedure restaurative riducendo il numero di incrementi necessari per completare il restauro (Ilie, 2022). I materiali bulk-fill presentano una composizione specificamente progettata per consentire la fotopolimerizzazione di spessori maggiori rispetto ai compositi convenzionali, generalmente fino a 4-5 mm. Ciò è reso possibile attraverso modifiche della matrice resinosa, dell'indice di traslucenza e dei sistemi fotoiniziatori (Leprince et al., 2014).

Clinicamente, tali materiali consentono una significativa riduzione dei tempi operativi e una maggiore standardizzazione delle procedure restaurative. Essi trovano particolare applicazione nelle restaurazioni posteriori, dove l'efficienza clinica rappresenta spesso un fattore rilevante (Tabella 4). Nonostante i vantaggi operativi, alcuni autori raccomandano ancora cautela nell'utilizzo esclusivo di tali materiali nelle situazioni più complesse, sottolineando l'importanza di una corretta selezione dei casi clinici.

Tabella 4: *Materiali per le tecniche bulk-fill*

Spessore incrementale	4–5 mm
Fotopolimerizzazione	Maggiore profondità di cura
Proprietà ottiche	Traslucenza ottimizzata
Indicazione principale	Restaurazioni posteriori
Beneficio clinico	Riduzione dei tempi operativi e semplificazione del protocollo

Fonte: elaborato sulla base di Ilie (2022) e Leprince et al. (2014).

2.4.4 Criteri clinici di scelta del materiale

La scelta del materiale composito non dovrebbe basarsi esclusivamente sulle caratteristiche dichiarate dal produttore, ma derivare da una valutazione complessiva che consideri la situazione clinica, gli obiettivi estetici e la tecnica restaurativa prevista. Nei restauri anteriori altamente estetici, i sistemi multishade continuano a rappresentare il riferimento per la riproduzione delle caratteristiche ottiche del dente naturale. Al contrario, nelle procedure semplificate o nelle tecniche di iniezione possono risultare più appropriati compositi monoshade, universal shade o flowable ad alte prestazioni. I restauri posteriori richiedono generalmente materiali caratterizzati da elevata resistenza meccanica e stabilità anatomica, favorendo l'utilizzo di compositi universali altamente riempiti, packable o bulk-fill (Tabella 5). La crescente disponibilità di materiali innovativi ha progressivamente ampliato le possibilità terapeutiche del clinico. Ad ogni modo, la letteratura scientifica evidenzia come il successo a lungo termine del restauro dipenda soprattutto dalla corretta relazione tra materiale e tecnica operativa piuttosto che dalla semplice scelta di un prodotto specifico (Opdam et al., 2014).

Tabella 5: *Criteri clinici di scelta del materiale*

Restaurazioni anteriori complesse	Sistemi multishade
Tecniche di iniezione	Flowable e injectable composites
Restaurazioni posteriori	Compositi altamente riempiti, packable o bulk-fill
Procedure semplificate	Monoshade e materiali con tecnologia structural color
Obiettivo principale	Massimizzare la relazione tra materiale, tecnica ed esigenza clinica

Fonte: *elaborato sulla base di Opdam et al. (2014).*

2.5 Materiali di nuova generazione e prospettive future

Le prospettive future dei materiali compositi restaurativi sono orientate verso lo sviluppo di sistemi sempre più intelligenti e biomimetici. La ricerca attuale si concentra su materiali capaci non soltanto di sostituire il tessuto dentale perduto, ma anche di interagire attivamente con l'ambiente orale. Tra le principali aree di sviluppo figurano i compositi bioattivi, in grado di rilasciare ioni calcio, fosfato o fluoro per favorire processi remineralizzanti e contrastare la formazione di carie secondaria. Parallelamente, sono in

fase di studio materiali dotati di proprietà antibatteriche, ottenute mediante l'integrazione di nanoparticelle funzionalizzate o agenti antimicrobici specifici (Weng et al., 2012). Un ulteriore filone di ricerca riguarda i cosiddetti *smart materials*, progettati per modificare il proprio comportamento in risposta a stimoli esterni come variazioni di pH, temperatura o stress meccanico (Tabella 6). Sebbene molte di queste tecnologie siano ancora in fase sperimentale, esse rappresentano una delle direzioni più promettenti per il futuro dell'odontoiatria restaurativa (Sethumadhavan et al., s.d.)

Tabella 6: *Materiali di nuova generazione*

Compositi bioattivi	Rilascio di calcio, fosfato e fluoro
Compositi antibatterici	Integrazione di agenti antimicrobici
Smart materials	Risposta a variazioni di pH, temperatura o stress
Materiali biomimetici avanzati	Riproduzione delle proprietà del dente naturale
Potenziale applicazione	Prevenzione della carie secondaria e restaurazioni personalizzate

Fonte: elaborato sulla base di Weng et al. (2012) e Sethumadhavan et al.

2.6 Sistemi di adesione: principi ed evoluzione

L'introduzione dei sistemi adesivi ha rappresentato una delle innovazioni più significative dell'odontoiatria restaurativa moderna, consentendo l'affermazione di approcci sempre più conservativi e predicibili nella riabilitazione dei tessuti dentari. Il principio dell'adesione ai tessuti dentali trova origine negli studi di Buonocore che, nel 1955, descrisse l'effetto della mordenzatura acida dello smalto mediante acido ortofosforico, favorendo la formazione di microritenzioni in grado di migliorare significativamente il legame tra materiale restaurativo e substrato dentale (Buonocore, 1955). Nel corso degli anni, l'evoluzione dei sistemi adesivi ha portato allo sviluppo di differenti strategie cliniche orientate verso la semplificazione delle procedure operative e il miglioramento dell'affidabilità del legame adesivo. I sistemi *etch-and-rinse* prevedono una fase preliminare di mordenzatura acida seguita dall'applicazione di primer e adesivo, garantendo risultati particolarmente efficaci sullo smalto. Successivamente sono stati introdotti i sistemi *self-etch*, caratterizzati dall'impiego di primer acidi in grado di condizionare e infiltrare simultaneamente i tessuti dentali, riducendo la sensibilità tecnica della procedura.

Più recentemente, l'introduzione degli adesivi universali ha consentito l'utilizzo di un unico materiale secondo differenti modalità operative (*etch-and-rinse*, *self-etch* o *selective enamel etching*), combinando versatilità clinica e semplicità applicativa. L'efficacia di questi sistemi è strettamente correlata alla formazione dello strato ibrido e alla capacità di instaurare interazioni micromeccaniche e chimiche con smalto e dentina. In particolare, l'impiego di monomeri funzionali come il 10-MDP ha contribuito a migliorare la stabilità del legame adesivo nel tempo, favorendo una maggiore durabilità delle restaurazioni dirette.

Nelle restaurazioni estetiche anteriori, l'adesione rappresenta il presupposto biologico e clinico che rende possibile l'esecuzione di tecniche minimamente invasive mediante resine composite. La possibilità di preservare il tessuto dentale sano, associata all'elevata capacità di integrazione estetica dei materiali moderni, ha favorito la diffusione di numerose tecniche di modellazione diretta che sfruttano le potenzialità dei sistemi adesivi per ottenere restauri funzionali, conservativi ed esteticamente armonici (Sofan et al., 2017; A Literature Review of Adhesive Systems in Dentistry, 2026).

2.7 Tecniche di posizionamento del composito

L'evoluzione dei materiali compositi ha portato allo sviluppo di differenti strategie operative per il loro inserimento all'interno della cavità restaurativa. Sebbene le caratteristiche chimico-fisiche del materiale rivestano un ruolo fondamentale, il successo clinico del restauro dipende anche dalla tecnica utilizzata per il posizionamento e la modellazione del composito. Nel corso degli anni sono stati proposti numerosi protocolli con l'obiettivo di ottimizzare l'adattamento del materiale alle pareti cavitare, ridurre gli effetti della contrazione da polimerizzazione e migliorare l'efficienza clinica (Ferracane, 2011).

Tra le metodiche maggiormente diffuse rientrano le tecniche incrementali, le tecniche snowplow e le più recenti tecniche bulk-fill. Sebbene nate in contesti clinici differenti, tali approcci possono essere applicati sia alle restaurazioni anteriori sia a quelle posteriori, adattandosi alle specifiche esigenze biomeccaniche ed estetiche del caso clinico.

Le tecniche incrementali rappresentano per lungo tempo il gold standard dell'odontoiatria restaurativa adesiva. Esse prevedono l'inserimento del composito mediante incrementi successivi di ridotto spessore, generalmente non superiori a 2 mm, consentendo una

polimerizzazione più efficace e una migliore gestione delle tensioni generate durante il processo di contrazione (Park et al., 2008). Nel tempo sono state descritte numerose varianti, tra cui la tecnica orizzontale, quella obliqua e le metodiche cusp-by-cusp, tutte accomunate dall'obiettivo di limitare il cosiddetto *configuration factor* (C-factor) e migliorare la qualità dell'interfaccia adesiva.

Un approccio alternativo è rappresentato dalla snowplow technique, introdotta con l'obiettivo di migliorare l'adattamento del materiale alle pareti cavitare. Tale metodica prevede l'applicazione di uno strato di composito flowable non polimerizzato, sul quale viene immediatamente inserito un composito convenzionale più viscoso. Durante la condensazione, il materiale flowable viene spinto nelle irregolarità della cavità, favorendo una migliore adattamento marginale e riducendo la formazione di vuoti interni (Ali et al., 2023). Sebbene la letteratura riporti risultati generalmente favorevoli, il reale vantaggio clinico rispetto alle tecniche convenzionali rimane oggetto di discussione.

Negli ultimi anni si è assistito a una crescente diffusione delle tecniche bulk-fill, rese possibili dall'introduzione di materiali specificamente progettati per essere polimerizzati in incrementi di maggiore spessore. Grazie a modifiche della matrice resinosa, dei fotoiniziatori e delle proprietà ottiche del materiale, tali sistemi consentono l'inserimento di strati fino a 4-5 mm, riducendo il numero di passaggi operativi e semplificando la procedura restaurativa (Van Ende et al., 2017). Questo approccio ha trovato particolare applicazione nelle restaurazioni posteriori, dove la riduzione dei tempi clinici rappresenta un vantaggio significativo.

Parallelamente all'evoluzione dei materiali, negli ultimi anni si è assistito a una rivalutazione delle tecniche di stratificazione semplificata. In questo contesto, il contributo del gruppo StyleItaliano ha avuto un ruolo particolarmente rilevante. Attraverso lo sviluppo di protocolli clinici standardizzati e di strumenti dedicati al controllo degli spessori dei diversi strati compositi, questo approccio ha favorito il ritorno a tecniche basate principalmente sull'utilizzo di sole masse dentina e smalto. La possibilità di controllare con maggiore precisione lo spessore dei materiali ha consentito di semplificare la procedura restaurativa senza rinunciare alla riproduzione delle caratteristiche ottiche del dente naturale.

L'introduzione di questi protocolli ha contribuito a diffondere una filosofia restaurativa orientata alla semplificazione clinica e alla riproducibilità dei risultati, influenzando

profondamente molte delle moderne tecniche di modellazione diretta che verranno approfondite nei capitoli successivi.

Capitolo 3

Tecniche di modellazione dei settori anteriori

3.1 Sistema tradizionale dentina-smalto

Il sistema tradizionale dentina-smalto rappresenta il fondamento delle moderne tecniche di stratificazione dei restauri diretti anteriori. Consiste nel riprodurre in maniera semplificata la struttura dentale naturale mediante l'utilizzo di due differenti masse composite: una massa dentinale più opaca e una massa smalto più traslucente. La procedura prevede generalmente la realizzazione preliminare della parete palatale (Figura 3, D, E) mediante guida siliconica, seguita dalla ricostruzione del nucleo dentinale (Figura 3, F) e dal successivo rivestimento con la massa smalto (Figura 3, G). Questa sequenza consente di controllare sia la morfologia anatomica sia la distribuzione della luce all'interno del restauro, favorendo un'integrazione estetica più naturale rispetto alle tecniche monocromatiche tradizionali (Dietschi, 2001).

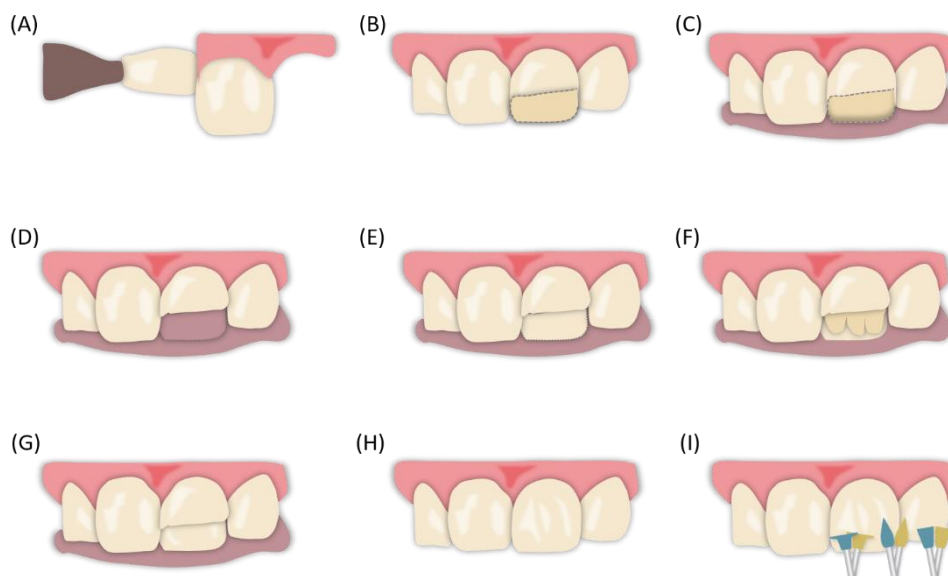


Figura 3: Sistema tradizionale smalto dentina. Selezione della tonalità in due fasi: dentina e smalto (A); Utilizzo di composito fluido incisale per livellare l'elemento (B); Utilizzo dell'indice in silicone per l'anatomia linguale con una pasta di condensazione impastata a mano (C); Rimozione della porzione dell'elemento da restaurare (D); Uno smalto di valore medio e traslucenza è posizionato nell'indice (5mm) (E); La dentina viene applicata contro il guscio palatale e i mammelloni dentinali vengono modellati per emulare la morfologia naturale del nucleo dentinale (F); Una piccola quantità di pigmento blu opalescente e tocchi di ombreggiatura effetto bianco completano la caratterizzazione interna (G); Il volume del viso viene completato con un ultimo strato di smalto biancastro (H); Risultato finale (I).

Secondo Dietschi, la corretta gestione degli spessori relativi delle masse dentinali e smalto rappresenta uno dei principali fattori responsabili del successo estetico del restauro. Un eccessivo spessore della massa dentinale può infatti determinare un aspetto opaco e artificiale, mentre una quantità insufficiente può compromettere il mascheramento del substrato e la profondità cromatica della ricostruzione. L'aggiornamento proposto successivamente da Dietschi e Fahl ha ulteriormente evidenziato l'importanza della selezione cromatica preliminare e della comprensione delle proprietà ottiche dei compositi moderni, sottolineando come il sistema dentina-smalto costituisca ancora oggi la base concettuale di molte tecniche restaurative più evolute, incluse quelle policromatiche e biomimetiche (Dietschi & Fahl, 2016). Il principale vantaggio della tecnica è la relativa semplicità operativa, a cui poi si aggiungono la buona predicibilità clinica e la possibilità di ottenere risultati estetici soddisfacenti con un numero limitato di masse composite. I limiti riguardano invece la minore capacità di riprodurre caratterizzazioni complesse e dettagli anatomici avanzati rispetto alle tecniche multilayer più recenti.

3.2 Stratificazione policromatica

La stratificazione policromatica rappresenta un'evoluzione del sistema tradizionale dentina-smalto e si basa sull'utilizzo di più masse composite con differenti proprietà ottiche per riprodurre in modo più fedele la complessità cromatica e strutturale degli elementi dentari anteriori (Figura 4). Questo approccio nasce dalla consapevolezza che il dente naturale non è costituito da due sole componenti ottiche, ma presenta una combinazione di dentina, smalto, opalescenze, aree traslucenti, mammelloni e caratterizzazioni superficiali che contribuiscono al risultato estetico finale (Dietschi & Fahl, 2016) (Fahl, 2006).

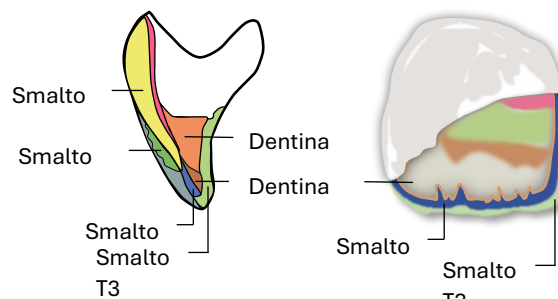


Figura 4: Rappresentazione schematica della stratificazione policromatica

La tecnica prevede la costruzione progressiva del restauro mediante l'impiego di masse dentinali a diversa saturazione cromatica, masse smalto con differenti livelli di traslucenza e, quando necessario, materiali dedicati alla riproduzione di effetti ottici specifici. La sequenza operativa inizia generalmente con la realizzazione della parete palatale, seguita dalla modellazione dei mammelloni dentinali e dalla successiva stratificazione delle masse intermedie e superficiali. Secondo Fahl, la corretta gestione delle proprietà ottiche dei materiali rappresenta il principale fattore responsabile del successo della tecnica, consentendo di ottenere restauri caratterizzati da profondità cromatica, naturalezza e integrazione estetica superiori rispetto agli approcci più semplificati (Fahl, 2006). Dietschi e Fahl hanno inoltre evidenziato come la stratificazione policromatica permetta una riproduzione più accurata delle variazioni anatomiche individuali, risultando particolarmente indicata nei restauri anteriori ad elevata valenza estetica (Dietschi & Fahl, 2016). Questa tecnica porta inevitabilmente ad un eccellente mimetismo ottico ed alla possibilità di personalizzare il restauro in funzione delle caratteristiche del paziente. Tuttavia, sono evidenti la maggiore complessità operativa, tempi clinici più lunghi e una più elevata sensibilità tecnica rispetto alle metodiche tradizionali.

3.3 Biomimetic direct composite stratification technique

La tecnica biomimetica si propone di riprodurre non soltanto l'aspetto estetico del dente naturale, ma anche il suo comportamento strutturale e biomeccanico attraverso restaurazioni adesive minimamente invasive. Questa rappresenta una filosofia restaurativa che si basa sul principio secondo cui la ricostruzione dovrebbe imitare il più fedelmente possibile l'organizzazione anatomica e funzionale dei tessuti dentari originali, preservando la massima quantità di struttura sana residua.

Nei restauri diretti anteriori, la tecnica biomimetica utilizza una stratificazione anatomica che riproduce la disposizione naturale di dentina e smalto, rispettandone spessori, proprietà ottiche e caratteristiche meccaniche. Ardu e collaboratori hanno descritto un protocollo clinico che prevede la ricostruzione progressiva delle differenti componenti del dente mediante l'impiego di masse composite selezionate in funzione delle loro proprietà estetiche e strutturali («Biomimetic Direct Composite Stratification Technique for the Restoration of Anterior Teeth», s.d.). L'obiettivo non è esclusivamente ottenere un

risultato estetico armonico, ma anche distribuire in maniera più fisiologica le sollecitazioni funzionali all'interno del restauro, riducendo il rischio di fallimenti meccanici nel lungo periodo (Shah, 2021).

La tecnica biomimetica porta, di conseguenza, ad una precisa conservazione del tessuto dentale, un'elevata integrazione estetica ed un rispetto della biomeccanica naturale dell'elemento dentario. Il limite principale è senza dubbio la maggiore complessità esecutiva, oltre alla necessità di un'approfondita conoscenza dell'anatomia dentale e una più elevata sensibilità operativa rispetto alle tecniche convenzionali (Shah, 2021).

3.4 Tecnica monoshade

L'introduzione dei compositi monoshade ha portato allo sviluppo di protocolli restaurativi finalizzati a semplificare la gestione cromatica delle restaurazioni dirette anteriori, riducendo il numero di masse composite necessarie e le procedure di selezione del colore. A differenza delle tecniche multilayer tradizionali, basate sulla stratificazione di differenti masse dentinali e smalto, l'approccio monoshade utilizza un unico materiale restaurativo in grado di integrarsi cromaticamente con i tessuti dentali circostanti mediante fenomeni di diffusione e riflessione della luce (Korkut et al., 2023).

Romero ha descritto una tecnica clinica step-by-step per la realizzazione di restaurazioni anteriori mediante l'utilizzo di un singolo composito, evidenziando come una corretta gestione della forma, degli spessori e della finitura superficiale possa consentire il raggiungimento di risultati estetici soddisfacenti anche in assenza di una stratificazione complessa. Il protocollo prevede la preparazione conservativa dell'elemento dentario (Figura 5, A, B, C), l'applicazione del sistema adesivo (Figura 5, D), l'inserimento del composito monoshade (Figura 5, E, F) e la successiva modellazione anatomica (Figura 5, G, H) seguita dalle procedure di rifinitura e lucidatura (Figura 5, I) (Romero, 2015). I principali vantaggi della tecnica comprendono la riduzione dei tempi operativi, la semplificazione della gestione cromatica e la minore sensibilità tecnica rispetto agli approcci multilayer. Tra i limiti figurano invece una minore capacità di riprodurre caratterizzazioni anatomiche complesse ed effetti ottici avanzati, che risultano

maggiormente controllabili mediante tecniche policromatiche o biomimetiche (Dietschi & Fahl, 2016) (Korkut et al., 2023).

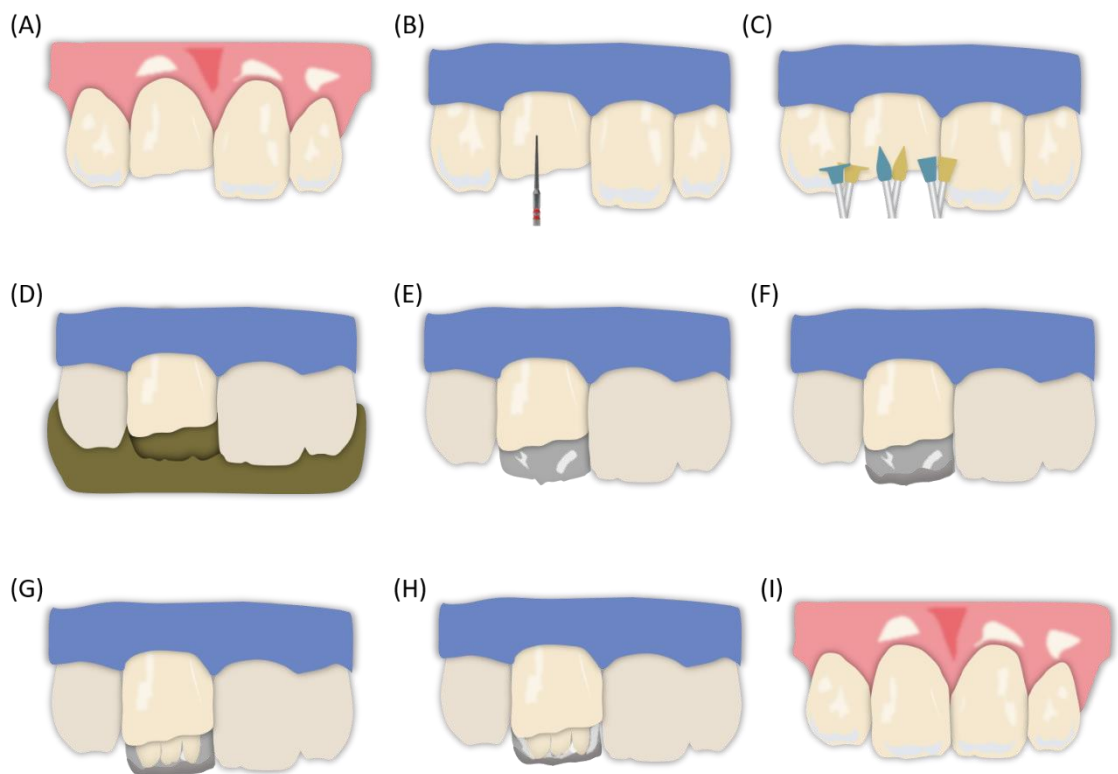


Figura 5: *Tecnica Monoshade (Romero). Rimozione del vecchio restauro dopo aver preso l'impronta (A); Smusso estetico funzionale (B); Smussi estesi in senso interprossimale e apicale sulla superficie facciale (C); Valutazione della matrice linguale (D); Incremento linguale (E); Secondo incremento posizionato sulla porzione di smusso linguale non coperta dal primo incremento (F); Lobi anatomici della dentina (G); Intensificatori di colore (H); Strato finale (I).*

3.5 Tecniche guidate

Le tecniche guidate rappresentano un'evoluzione delle procedure restaurative dirette tradizionali e si basano sull'utilizzo di dispositivi ausiliari in grado di trasferire in modo più prevedibile la morfologia progettata al restauro definitivo. L'impiego di guide siliconiche, matrici dedicate e dispositivi ottenuti mediante workflow analogici o digitali consente infatti di ridurre la variabilità operatore-dipendente, migliorando il controllo anatomico e semplificando le procedure cliniche (*Direct Esthetic Composite Restorations in Anterior Teeth: Managing Symmetry Strategies*, s.d.).

Lo sviluppo di queste metodiche è stato favorito dalla crescente diffusione della pianificazione restaurativa preliminare attraverso cerature diagnostiche, mock-up e workflow digitali, che permettono di definire con precisione forma, volume e posizione degli elementi dentari prima dell'esecuzione clinica del restauro. Le tecniche guidate

consentono, quindi, il trasferimento diretto delle informazioni progettuali dal modello diagnostico alla bocca del paziente, aumentando la predicibilità del risultato finale (Muslimah et al., 2024).

Tra le principali tecniche guidate utilizzate nei restauri anteriori diretti figurano le procedure mediante Silicon Index, l'Injection Molding Technique e la Matrix Transfer Technique. Sebbene differiscano per materiali e modalità operative, tali approcci condividono l'obiettivo di semplificare la modellazione anatomica e migliorare la precisione del restauro, risultando particolarmente utili nelle riabilitazioni additive, nelle chiusure di diastemi e nelle modifiche estetiche del sorriso (Bailey et al., 2022; Muslimah et al., 2024).

3.5.1 Tecniche con indice siliconico

Le tecniche con indice siliconico rappresentano uno dei metodi più diffusi per guidare la ricostruzione anatomica dei restauri anteriori diretti. La procedura consiste nella realizzazione preliminare di una ceratura diagnostica (Figura 6, A, B), analogica o digitale, dalla quale viene ottenuta una guida siliconica (Figura 6, C) utilizzata per trasferire con precisione la morfologia pianificata al restauro clinico (Figura 6, D) (*Direct Esthetic Composite Restorations in Anterior Teeth: Managing Symmetry Strategies*, s.d.).

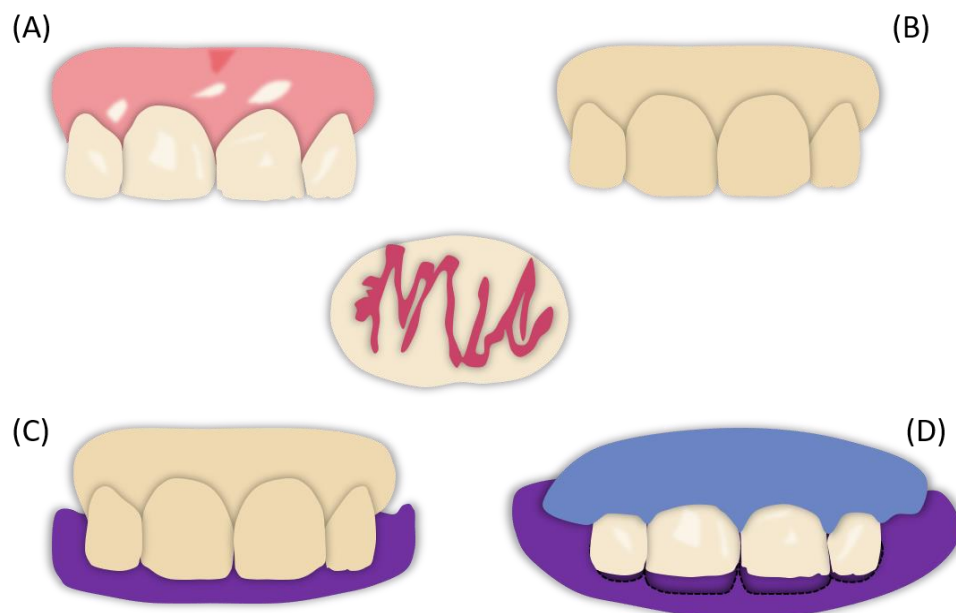


Figura 6: Realizzazione dell'indice in silicone. Condizione iniziale (A); Wax-up della condizione finale (B); Negativo in silicone del wax-up finale (C); Utilizzo dell'indice siliconico (D).

Nei restauri anteriori, l'indice siliconico viene impiegato principalmente per la costruzione della parete palatale iniziale, che costituisce il riferimento anatomico sul quale vengono successivamente stratificate le masse composite. Questo sistema permette di controllare in modo più accurato spessori, profili di emergenza e forma finale del restauro, riducendo il rischio di errori durante la modellazione manuale (Dietschi, 2001). La sequenza inizia con la realizzazione della ceratura diagnostica, il confezionamento della mascherina in silicone e il successivo posizionamento della guida in bocca dopo le procedure adesive. Una volta costruita la parete palatale, il clinico procede con la stratificazione delle masse composite secondo la tecnica restaurativa scelta. La semplicità operativa, il basso costo e l'elevata predicibilità anatomica sono solo alcuni dei principali vantaggi. Inoltre, l'indice siliconico risulta particolarmente utile nei restauri di IV classe, nelle chiusure di diastema e nelle faccette dirette additive. Il punto a sfavore di questa tecnica è legato alla necessità di una fase preliminare di pianificazione e alla dipendenza dalla qualità della ceratura diagnostica iniziale che può facilmente compromettere il risultato.

3.5.2 Injection Molding Technique

L'Injection Molding Technique rappresenta una delle più recenti evoluzioni delle tecniche guidate per la realizzazione di restauri diretti anteriori. La metodica si basa sull'utilizzo di una mascherina trasparente derivata da una ceratura diagnostica analogica o digitale, all'interno della quale viene iniettato un composito fluido al fine di trasferire in modo preciso la morfologia precedentemente pianificata (Muslimah et al., 2024). Come per ogni tecnica guidata vi è una prima fase di progettazione del restauro mediante wax-up o workflow digitale (Figura 7, A, B, C), seguita dalla realizzazione di una guida trasparente che riproduce fedelmente l'anatomia desiderata (Figura 7, D). Dopo le procedure adesive e la previa ricostruzione interprossimale (Figura 7, E, F), la mascherina viene posizionata sugli elementi dentari e il composito viene iniettato attraverso appositi accessi fino al completo riempimento dello spazio restaurativo (Figura 7, G). Una volta terminata la polimerizzazione, la guida viene rimossa e il restauro rifinito e lucidato (Figura 7, H) (Geštakovski, 2019)

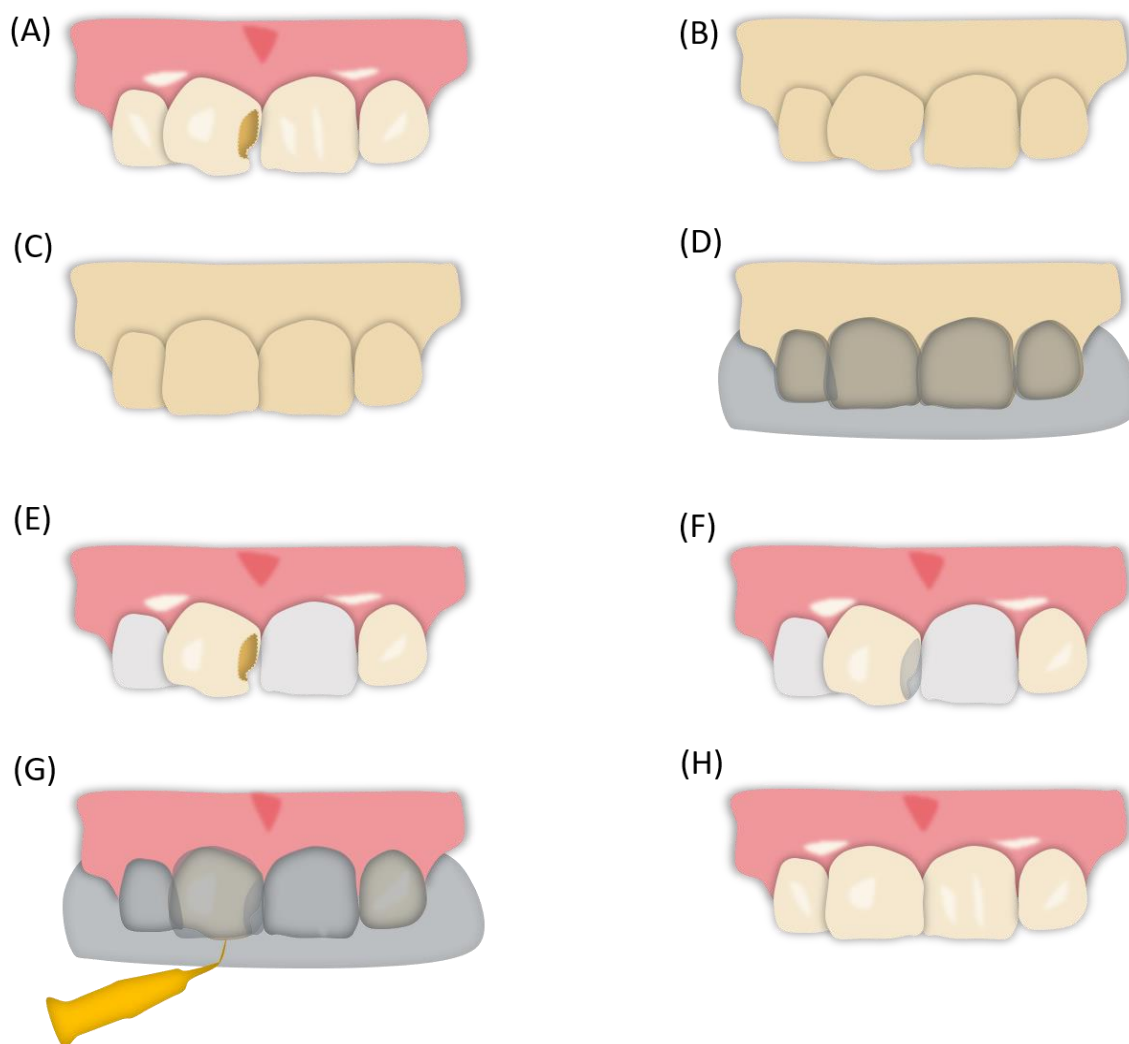


Figura 7: *Injection molding technique. Visione preoperatoria (A); Modello 3D della visione preoperatoria (B); Modello del wax up (C); Un indice in silicone trasparente con l'ingresso rifilato di un'apertura per facilitare l'iniezione del composito (D); Rimozione del vecchio restauro e una riduzione di circa 1,5 mm (E); La superficie mesiale è stata creata prima della tecnica di iniezione del composito per ottenere un contatto prossimale adeguato (F); Iniezione inversa di composito resinoso fluido attraverso l'apertura occlusale (G); Rifinitura e lucidatura del restauro (H).*

L'elevata predicibilità anatomica costituisce il principale vantaggio della tecnica, poiché consente di trasferire accuratamente la morfologia progettata riducendo la necessità di modellazione manuale. Per questo motivo l'Injection Molding risulta particolarmente indicata nelle riabilitazioni additive, nelle chiusure di diastemi, nei restauri di elementi usurati e nelle modifiche estetiche del sorriso. I limiti principali riguardano la necessità di una pianificazione preliminare accurata, la dipendenza dalla qualità della ceratura diagnostica e il possibile impiego di compositi a viscosità ridotta, che in alcuni casi possono richiedere procedure di rifinitura più approfondite. In più, è da considerarsi fondamentale la capacità da parte dell'operatore di eseguire la tecnica nel modo più

accurato possibile per evitare la presenza di eccessi dopo l'iniezione. Nonostante ciò, la metodica è oggi considerata una delle soluzioni più promettenti per la realizzazione di restauri diretti minimamente invasivi ad elevata predicibilità estetica (Geštakovski, 2019; Muslimah et al., 2024).

3.5.3 Matrix Transfer Technique

La Matrix Transfer Technique è una procedura restaurativa guidata che consente il trasferimento diretto della morfologia progettata mediante l'impiego di matrici ottenute da una ceratura diagnostica. A differenza dell'Injection Molding, che utilizza compositi fluidi iniettati all'interno di una guida trasparente, questa tecnica prevede generalmente l'impiego di compositi convenzionali modellati all'interno di una matrice che riproduce la forma finale del restauro (Bailey et al., 2022).

Il protocollo operativo inizia con la pianificazione del caso e la realizzazione di una ceratura diagnostica, dalla quale viene ottenuta una matrice in silicone o materiale trasparente. Dopo le procedure adesive, il composito viene inserito nella matrice e trasferito direttamente sulla superficie dentale, consentendo la riproduzione fedele della morfologia programmata. La fase finale comprende la rifinitura dei margini e la lucidatura del restauro.

La tecnica trova indicazione soprattutto nelle riabilitazioni additive anteriori, nelle faccette dirette e nelle modifiche morfologiche multiple, dove la riproduzione precisa delle forme riveste un ruolo determinante. La riduzione dei tempi di modellazione rappresenta la caratteristica principale di questa tecnica oltre alla maggiore standardizzazione del risultato estetico. I limiti riguardano principalmente la possibile difficoltà di adattamento in situazioni cliniche particolarmente complesso oltre ad, come per le altre tecniche guidate, una pianificazione preliminare accurata (Bailey et al., 2022).

3.5.4 Tecniche guidate mediante matrici anatomiche preformate

L'impiego di matrici anatomiche preformate rappresenta un ulteriore sviluppo delle tecniche guidate per la realizzazione di restaurazioni anteriori diretti. Questi dispositivi sono progettati per riprodurre in modo predeterminato il profilo emergente, la curvatura vestibolare e la morfologia prossimale degli elementi dentari, riducendo la necessità di modellazione manuale durante la fase restaurativa.

Tra i sistemi più recenti rientrano le matrici anteriori anatomiche *UNICA Anterior*, sviluppate per facilitare la ricostruzione delle superfici prossimali e la chiusura dei diastemi mediante restaurazioni dirette in composito. La particolare conformazione della matrice consente di ottenere simultaneamente il contorno cervicale, il profilo emergente e la parete prossimale, semplificando le procedure cliniche e migliorando la predicibilità del risultato finale («Matrice Unica anterior», s.d.).

Krupiński ha descritto l'applicazione clinica di questo approccio nella gestione di diastemi multipli anteriori, evidenziando come l'utilizzo di matrici anatomiche preformate possa ridurre i tempi operativi e facilitare il controllo della morfologia dentale durante la fase di stratificazione del composito (Figura 8) (Krupinski, 2025).

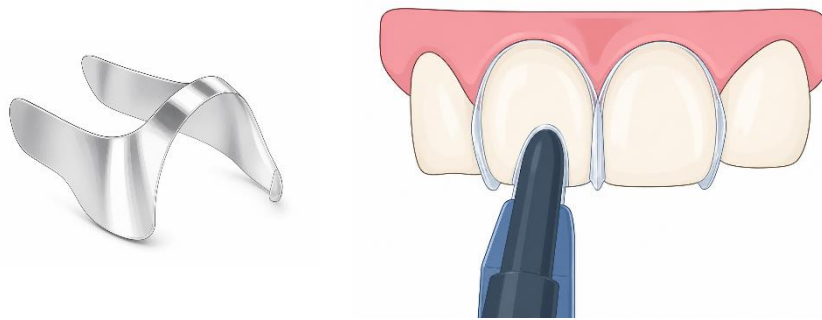


Figura 8: Applicazione delle matrici preformate

Il principale vantaggio della tecnica è indubbiamente la semplicità di utilizzo ma resta sempre il limite rappresentato dalla dipendenza dalla corretta selezione della matrice e dalla disponibilità di forme predefinite che potrebbero non adattarsi perfettamente a tutte le situazioni cliniche.

3.6 Tecniche contemporanee per la gestione della forma e dei diastemi

Negli ultimi anni l'evoluzione dei materiali compositi e delle procedure restaurative ha favorito lo sviluppo di nuove tecniche cliniche finalizzate a semplificare la gestione morfologica dei restauri anteriori ed a migliorare la predicibilità dei risultati estetici. In particolare, l'attenzione si è concentrata sulla chiusura dei diastemi, sulla ricostruzione delle superfici prossimali e sul controllo della forma dentale mediante protocolli operativi sempre più standardizzati (*Direct Esthetic Composite Restorations in Anterior Teeth: Managing Symmetry Strategies*, s.d.; Manauta et al., 2022).

Parallelamente all'evoluzione dei materiali restaurativi, anche gli strumenti ausiliari impiegati nella modellazione diretta hanno subito un'importante trasformazione. L'introduzione di matrici anatomiche preformate, sistemi di modellazione dedicati, strumenti ergonomici per la scultura del composito e dispositivi progettati per il trasferimento guidato della morfologia ha contribuito a rendere le procedure restaurative più semplici, riproducibili e predicibili. Analogamente, lo sviluppo di sistemi specifici per il controllo dell'anatomia oclusale e prossimale, come matrici anatomiche anteriori, matrici sezionali evolute e dispositivi di replica morfologica, ha ampliato le possibilità operative del clinico, favorendo una progressiva standardizzazione delle tecniche restaurative senza sostituire il ruolo dell'esperienza dell'operatore.

Molte di queste metodiche sono state sviluppate nell'ambito dell'odontoiatria restaurativa estetica contemporanea e si caratterizzano per un approccio minimamente invasivo, orientato alla conservazione dei tessuti dentali e alla semplificazione delle procedure cliniche. Sebbene alcune di esse siano supportate principalmente da case report e descrizioni cliniche piuttosto che da studi clinici di elevato livello di evidenza, il loro crescente impiego nella pratica quotidiana ne ha favorito una progressiva diffusione (Manauta et al., 2022).

Tra le tecniche più rappresentative rientrano la Front Wing Technique, la Pull Through Technique e la Shield Technique, ciascuna caratterizzata da specifiche modalità operative e indicazioni cliniche.

3.6.1 Front Wing Technique

La Front Wing Technique è una metodica restaurativa sviluppata per semplificare la chiusura dei diastemi e le modifiche di forma degli elementi anteriori mediante restaurazioni dirette in composito. La tecnica si basa sulla realizzazione iniziale di una sottile estensione vestibolare e prossimale, definita *front wing*, che funge da riferimento anatomico per la successiva costruzione del restauro definitivo (Figura 9, A, B, C, D). La modellazione preliminare di questa struttura guida, che consente di definire con precisione i limiti del futuro restauro e di controllare in modo più prevedibile larghezza, simmetria e profilo emergente degli elementi coinvolti è il primo passo di questo protocollo operativo (Figura 9, E). Una volta completata la *front wing*, il clinico procede

alla stratificazione e alla rifinitura del composito secondo il piano estetico stabilito (Figura 9, F) (Manauta et al., 2022).

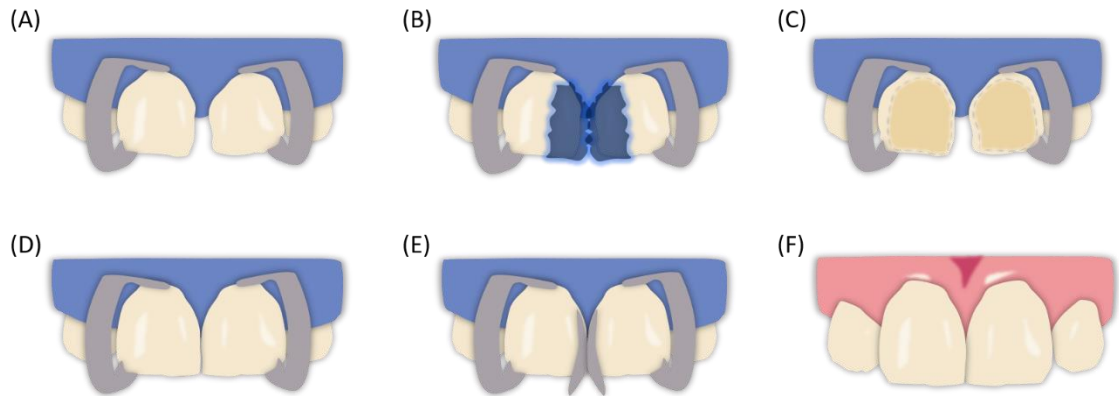


Figura 9: *Injection molding technique. I denti sono stati lucidati prima della procedura e isolati con la diga di gomma (A); La mordenzatura della superficie dello smalto viene eseguita con acido fosforico al 37% per 30 secondi (B); Sono stati applicati due o tre strati di adesivo (C); Creazioni delle ali buccali accurate, il più possibile simili alla forma finale (D); Posizionamento di due matrici preformate in modo da poter ottenere un contatto prossimale stretto (E); Esecuzione delle procedure di finitura e lucidatura (F).*

Secondo gli autori, la tecnica consente di ridurre la complessità della fase di modellazione e di migliorare il controllo delle proporzioni dentali, risultando particolarmente indicata nelle chiusure di diastemi multipli e nelle modifiche estetiche additive. Il limite principale di questa tecnica moderna è la necessità di un'esperienza elevata dell'operatore nella gestione delle proporzioni estetiche (Manauta et al., 2022).

3.6.2 Pull Through Technique

La Pull Through Technique è una procedura restaurativa recentemente proposta per facilitare la gestione delle superfici prossimali nei restauri anteriori diretti. Il principio della tecnica consiste nell'utilizzo controllato di matrici e strumenti dedicati per guidare il composito attraverso gli spazi interprossimali durante la fase di modellazione, favorendo la formazione di contatti e profili emergenti più regolari (Figura 10, 11) (Alshehri et al., 2025).

La metodica è stata sviluppata con l'obiettivo di semplificare una delle fasi più critiche delle restaurazioni anteriori, ovvero la corretta ricostruzione delle aree prossimali e la gestione dei diastemi. Attraverso il controllo del materiale durante la fase di inserimento, il clinico può ottenere una migliore continuità anatomica riducendo la necessità di correzioni successive. Trattandosi di una metodica relativamente recente, la letteratura

scientifica disponibile risulta ancora limitata e ulteriori studi saranno necessari per confermarne l'efficacia clinica nel lungo periodo (Alshehri et al., 2025).

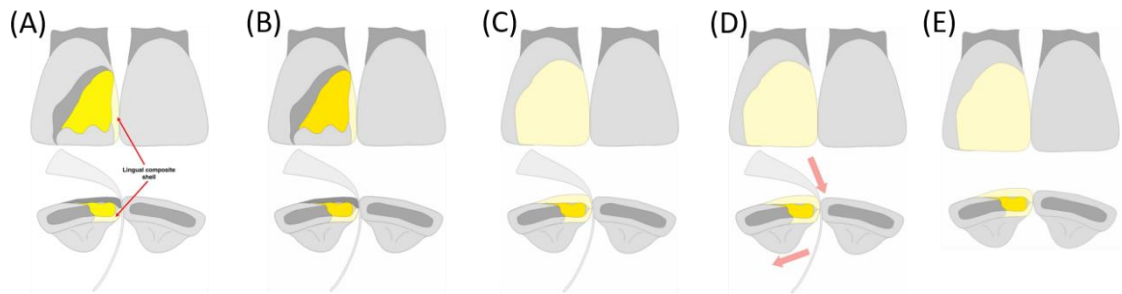


Figura 10: Pull Through Technique (ad una fase). La matrice linguale funge da parete contro cui tirare la resina composita per stabilire i contatti prossimali insieme allo strato di smalto vestibolare (A); Posizionamento di una striscia di celluloidi lunga circa 50 mm in modo da coprire il restauro previsto dal margine incisale a quello gengivale (B); Resina composita per smalto aggiunta a livello vestibolare e compattata prossimalmente contro la striscia (C); La striscia viene premuta contro il dente a livello dello spazio interdentale gengivale con un dito, posizionando il resto della striscia ad un'angolazione tale da ottenere la forma desiderata. Quindi, viene tirata rapidamente verso la superficie linguale con un angolo acuto, allontanandola dal dente adiacente (D); Dopo la fase di pull-through, si utilizza un pennello per definire gli angoli di linea e stabilire un contatto e degli spazi interdentali adeguati prima della fotopolimerizzazione (E).

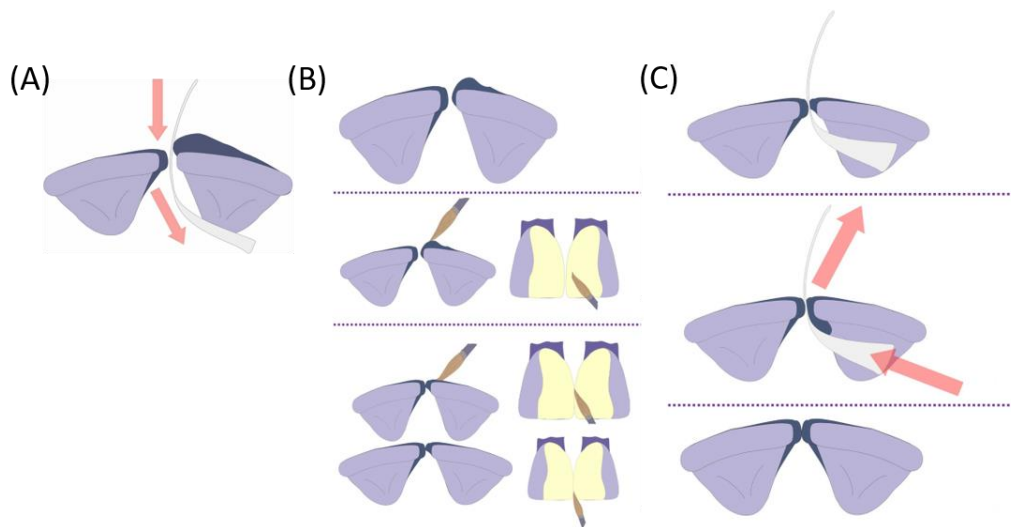


Figura 11: Pull Through Technique (a due fasi). Nella procedura di trazione in due fasi non è necessario stabilire completamente il contorno prossimale in questa fase (A); Dimostrazione della tecnica di trazione; pennello utilizzato per modellare gli angoli della linea, stabilire la parete vestibolare e creare il punto di contatto (B); Resina composita per smalto posizionata lingualmente e modellata per stabilire il contorno linguale, la cresta marginale e l'area di contatto utilizzando un pennello. Quindi, la striscia viene tirata verso la superficie vestibolare ad angolo retto, mantenendola a contatto con il dente sul lato linguale (C).

3.6.3 Shield Technique

La Shield Technique è un protocollo clinico sviluppato per facilitare la ricostruzione delle superfici prossimali anteriori mediante l'impiego di matrici preformate o personalizzate

che fungono da guida durante la modellazione del composito. Grazie a questa tecnica è possibile ottenere profili emergenti e contorni prossimali più precisi, riducendo il rischio di sovracontorni e irregolarità anatomiche (Gupta, 2018; Community, 2015). La procedura inizia con la realizzazione di una sorta di “scudo” anatomico che delimita la superficie da ricostruire e guida il posizionamento del materiale composito. Una volta stabilita la forma desiderata, il composito viene inserito e modellato sfruttando il supporto della matrice, consentendo una maggiore prevedibilità nella ricostruzione delle aree prossimali complesse.

La tecnica trova applicazione soprattutto nei restauri anteriori estesi, nelle chiusure di diastema e nelle situazioni in cui sia necessario controllare accuratamente il profilo emergente. Tra i vantaggi figurano il miglior controllo anatomico e la riduzione delle correzioni post-operatorie, mentre il principale limite è rappresentato dalla necessità di una fase preliminare di personalizzazione della matrice (Pisal et al., 2022).

3.7 Tecniche digitali emergenti

L'integrazione delle tecnologie digitali nei protocolli restaurativi ha ampliato le possibilità operative dell'odontoiatria conservativa, consentendo una pianificazione sempre più accurata dei restauri diretti anteriori. Sebbene la modellazione del composito continui a essere eseguita clinicamente dall'operatore, strumenti quali il Digital Smile Design (DSD), la scansione intraorale, i software CAD e la stampa 3D permettono oggi di progettare preventivamente forma, proporzioni e volumi del restauro, migliorandone la prevedibilità estetica (Muslimah et al., 2024; Thomas et al., 2022). L'impiego di workflow digitali risulta particolarmente utile nelle riabilitazioni additive e nelle modifiche estetiche del sorriso, poiché consente di trasferire in modo preciso le informazioni ottenute durante la fase di progettazione alla fase clinica. Attraverso la realizzazione di wax-up digitali, mock-up e guide stampate in 3D è infatti possibile integrare tecniche tradizionali come l'indice siliconico, la Matrix Transfer Technique e l'Injection Molding Technique con procedure di progettazione completamente digitali. Tra le applicazioni più promettenti rientra l'Injection Molding digitale, nella quale la progettazione CAD e la stampa tridimensionale vengono utilizzate per realizzare mascherine trasparenti altamente precise, capaci di trasferire fedelmente la morfologia pianificata al restauro definitivo. Tali approcci consentono di ridurre la variabilità

operatore-dipendente e di migliorare la comunicazione tra clinico, odontotecnico e paziente durante le diverse fasi del trattamento (Muslimah et al., 2024; Thomas et al., 2022). Nonostante gli indubbi vantaggi in termini di pianificazione e predicibilità, le tecnologie digitali non sostituiscono le competenze cliniche e artistiche necessarie per la modellazione dei restauri diretti, ma rappresentano strumenti complementari in grado di supportare e ottimizzare le procedure restaurative contemporanee.

Capitolo 4

Tecniche di modellazione dei settori posteriori

4.1 Tecniche di riempimento cavitario

4.1.1 Tecniche incrementali

La tecnica incrementale è tra le più più consolidate e studiate per l'esecuzione dei restauri diretti posteriori in composito. L'obiettivo di questa tecnica è quello di contrastare gli effetti della contrazione da polimerizzazione dei materiali resinosi. Infatti, la procedura prevede l'inserimento del composito mediante piccoli incrementi (Figura 12) successivamente fotopolimerizzati, anziché attraverso il riempimento della cavità con un unico volume di materiale (Chandrasekhar et al., 2017).

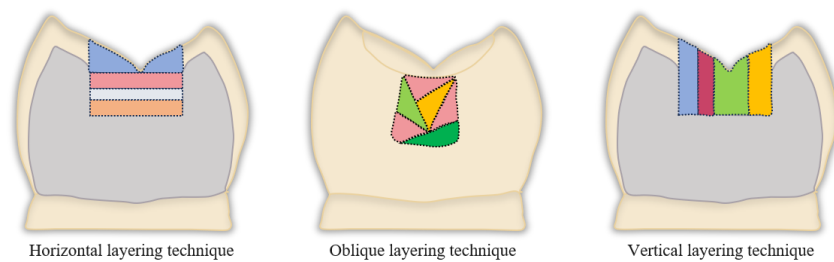


Figura 12: *Tecniche di stratificazione*

L'impiego di incrementi di spessore limitato consente una migliore penetrazione della luce, un grado di conversione più uniforme e una minore deformazione delle pareti cavitare. Inoltre, la riduzione del volume di materiale polimerizzato in ogni fase permette di controllare più efficacemente il fattore di configurazione cavitaria (C-factor), considerato uno dei principali responsabili dello sviluppo di stress nei restauri adesivi. Dal punto di vista operativo, la tecnica incrementale prevede la ricostruzione progressiva della cavità attraverso l'applicazione di strati successivi di composito, generalmente di spessore non superiore a 2 mm. Ogni incremento viene modellato e fotopolimerizzato singolarmente prima dell'applicazione dello strato successivo. Tale procedura consente al clinico di controllare accuratamente la forma anatomica del restauro durante tutte le fasi operative, facilitando la riproduzione della morfologia oclusale e dei contatti prossimali (Chandrasekhar et al., 2017).

Nonostante i vantaggi clinici ampiamente documentati, la stratificazione incrementale presenta alcuni limiti. La procedura risulta infatti relativamente lunga e operatore-dipendente, richiedendo numerosi passaggi clinici e un'elevata precisione tecnica. Inoltre, la presenza di molteplici interfacce tra gli incrementi può teoricamente favorire l'inclusione di porosità o difetti di adattamento qualora la tecnica non venga eseguita correttamente (Ferracane, 2011).

Tra le varianti sviluppate per migliorare il controllo delle tensioni da polimerizzazione vi è la *Split Increment Technique*, descritta da Hassan e collaboratori. In questa metodica, dopo l'inserimento dell'incremento di composito viene praticata una sottile incisione diagonale o centrale all'interno del materiale non ancora polimerizzato, suddividendolo virtualmente in porzioni più piccole. Tale accorgimento determina una riduzione del volume di materiale che polimerizza contemporaneamente e consente una parziale dissipazione delle tensioni generate durante il processo di contrazione (Hassan & Khier, 2005).

Secondo gli autori, la suddivisione dell'incremento permette di diminuire gli stress trasmessi alle pareti cavitare e di migliorare l'adattamento marginale del restauro. Una volta completata la fotopolimerizzazione iniziale, lo spazio creato dall'incisione viene riempito con ulteriore composito e nuovamente polimerizzato. Sebbene la metodica abbia mostrato risultati promettenti dal punto di vista sperimentale, la sua diffusione clinica risulta oggi più limitata rispetto ad altre strategie di controllo della contrazione, come la stratificazione obliqua o l'utilizzo dei materiali bulk-fill.

Nel complesso, le tecniche incrementali continuano a rappresentare il riferimento tradizionale per i restauri diretti posteriori in composito.

4.1.2 Centripetal Build-Up Technique

La Centripetal Build-Up Technique è una metodica restaurativa proposta da Bichacho negli anni Novanta con l'obiettivo di semplificare la ricostruzione delle cavità posteriori di classe II e migliorare il controllo della morfologia prossimale durante l'esecuzione dei restauri diretti in composito (Bichacho, 1994). La tecnica si basa sul principio di trasformare una cavità di classe II in una cavità di classe I mediante la ricostruzione preliminare della parete prossimale mancante, consentendo successivamente di completare il restauro come una semplice cavità occlusale.

Dopo aver posizionato il sistema di matrice ed aver eseguito le procedure adesive, viene applicato un primo incremento di composito in corrispondenza della parete prossimale (Figura 13, A, B). Tale incremento viene modellato contro la matrice fino a ricostruire completamente il contorno anatomico e il punto di contatto con l'elemento adiacente. Una volta fotopolimerizzata questa porzione, la cavità assume una configurazione assimilabile a una classe I, permettendo il completamento del restauro mediante tecniche incrementali convenzionali (Figura 13, C, D) (Bichacho, 1994).

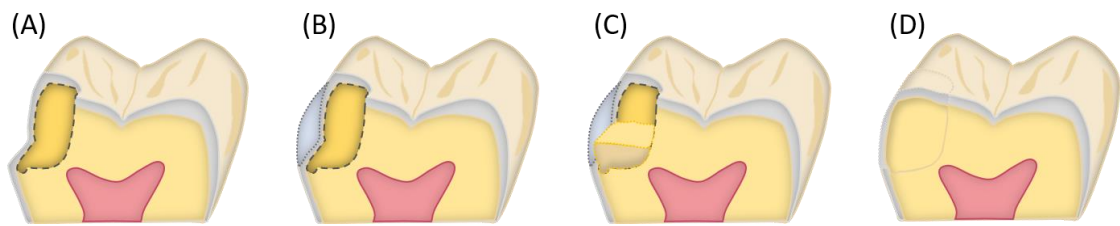


Figura 13: *Centripetal Build-Up Technique. Visione pre-operatoria della cavità dopo la pulizia (A); Creazione di uno strato semitrasparente interprossimale (B); Rappresentazione schematica degli incrementi (C); Risultato finale (D).*

La caratteristica più importante della tecnica centripeta consiste nella possibilità di ottenere un controllo più prevedibile della morfologia prossimale. La ricostruzione anticipata della parete consente infatti di definire precocemente il profilo di emergenza e il punto di contatto, aspetti spesso critici nei restauri posteriori diretti. Inoltre, la trasformazione della cavità in una configurazione più semplice facilita le successive fasi di inserimento e modellazione del composito, migliorando l'accessibilità visiva e operativa. Dal punto di vista biomeccanico, la metodica contribuisce anche a una più razionale gestione della contrazione da polimerizzazione. La realizzazione iniziale di una sottile parete prossimale permette infatti di limitare il volume di materiale inserito nelle fasi successive e di ridurre gli stress generati durante la polimerizzazione dei singoli incrementi. Questo approccio si integra efficacemente con i principi della stratificazione incrementale, mantenendone i vantaggi pur semplificando la gestione delle cavità interprossimali (Chandrasekhar et al., 2017).

La tecnica centripeta ha acquisito nel tempo una notevole diffusione clinica grazie alla sua semplicità operativa e alla prevedibilità dei risultati. Numerosi autori la considerano tuttora una delle metodiche più efficaci per la ricostruzione delle cavità posteriori di classe II, soprattutto nei casi in cui sia fondamentale ottenere contatti prossimali corretti e una morfologia anatomica adeguata.

4.1.3 Bulk-Fill Technique

L'introduzione dei materiali bulk-fill ha rappresentato una delle innovazioni più significative nell'ambito dell'odontoiatria restaurativa adesiva degli ultimi due decenni. Questa categoria di compositi è stata sviluppata con l'obiettivo di semplificare le procedure cliniche e ridurre i tempi operativi associati alle tradizionali tecniche incrementali, consentendo l'inserimento e la fotopolimerizzazione di spessori di materiale superiori a quelli normalmente raccomandati per i compositi convenzionali (Veloso et al., 2019). Nei restauri eseguiti mediante stratificazione tradizionale, infatti, il composito viene generalmente applicato in incrementi di circa 2 mm per garantire un'adeguata profondità di polimerizzazione e limitare gli effetti della contrazione volumetrica. I materiali bulk-fill sono stati progettati per consentire la polimerizzazione efficace di incrementi fino a 4-5 mm grazie a modifiche della matrice resinosa, all'impiego di fotoiniziatori più efficienti e all'ottimizzazione delle proprietà ottiche del materiale, che favoriscono una maggiore trasmissione della luce all'interno della massa composita (Alshali et al., 2013).

I compositi bulk-fill possono essere classificati in due principali categorie: bulk-fill flowable e bulk-fill sculptable. I primi presentano una viscosità ridotta che favorisce l'adattamento alle pareti cavitare, ma richiedono generalmente la copertura con uno strato superficiale di composito convenzionale o bulk-fill ad alta viscosità nelle aree sottoposte a carico occlusale. I materiali sculptable, invece, possiedono una consistenza più simile a quella dei compositi tradizionali e consentono la modellazione diretta della morfologia occlusale senza la necessità di ulteriori strati di rivestimento (Van Ende et al., 2017). Oltre alla semplificazione della procedura clinica, i produttori hanno sviluppato questi materiali con l'obiettivo di ridurre gli stress da polimerizzazione attraverso modifiche chimiche della matrice resinosa e l'introduzione di sistemi in grado di modulare la cinetica di polimerizzazione. Ciò permette di ottenere una contrazione più controllata e una migliore distribuzione delle tensioni generate durante l'indurimento del materiale (Ilie & Hickel, 2011).

La principale differenza tra la tecnica bulk-fill e la stratificazione incrementale riguarda il numero di incrementi necessari per completare il restauro. Questa caratteristica si traduce in una significativa riduzione dei tempi operativi, aspetto particolarmente

rilevante nella pratica clinica quotidiana e nei pazienti con limitata collaborazione (Leinonen et al., 2023).

Le evidenze disponibili in letteratura mostrano generalmente risultati favorevoli per entrambe le metodiche. Diverse revisioni sistematiche e studi clinici hanno evidenziato come i restauri posteriori realizzati con materiali bulk-fill presentino tassi di sopravvivenza, adattamento marginale e comportamento clinico comparabili a quelli ottenuti mediante tecniche incrementali tradizionali nel breve e medio termine (Al-Zain et al., 2023; Chaple Gil et al., 2026).

Un aspetto frequentemente analizzato riguarda la profondità di polimerizzazione. Grazie alle modifiche introdotte nella composizione dei materiali, i compositi bulk-fill sono in grado di raggiungere un grado di conversione soddisfacente anche in incrementi di spessore elevato. Tuttavia, alcuni autori sottolineano come il rispetto delle indicazioni del produttore relative allo spessore massimo e ai tempi di esposizione rimanga fondamentale per garantire prestazioni ottimali (Alshali et al., 2013).

Anche il comportamento nei confronti della contrazione da polimerizzazione è stato ampiamente analizzato. Sebbene i materiali bulk-fill siano stati progettati per ridurre gli stress generati durante la polimerizzazione, le differenze rispetto ai compositi convenzionali non risultano sempre clinicamente significative. Molti studi suggeriscono infatti che il successo del restauro dipenda non soltanto dal materiale utilizzato, ma anche dalla corretta esecuzione delle procedure adesive e dal rispetto dei protocolli clinici (Chaple Gil et al., 2026; Ilie & Hickel, 2011).

Per quanto riguarda la presenza di porosità interne e difetti strutturali, alcuni studi hanno evidenziato che l'utilizzo di grandi masse di materiale potrebbe teoricamente favorire la formazione di bolle o disomogeneità. Tuttavia, i risultati disponibili risultano spesso contrastanti e non consentono di attribuire un chiaro vantaggio a una delle due metodiche (Sengupta et al., 2023).

Nel complesso, la letteratura attuale supporta l'impiego dei compositi bulk-fill come valida alternativa alle tecniche incrementali tradizionali nei restauri posteriori diretti. La possibilità di ridurre i tempi operativi mantenendo prestazioni cliniche comparabili rappresenta il principale vantaggio di questa metodica. Tuttavia, la scelta tra approccio bulk-fill e stratificazione incrementale dovrebbe essere basata sulle caratteristiche del

caso clinico, sull'estensione della cavità, sulle proprietà del materiale selezionato e sull'esperienza dell'operatore (Al-Zain et al., 2023; Chaple Gil et al., 2026).

4.2 Tecniche di modellazione anatomica

I restauri diretti in composito dei settori posteriori rappresentano una delle procedure più frequenti nell'odontoiatria restaurativa contemporanea. L'introduzione di materiali compositi con proprietà meccaniche e ottiche sempre più avanzate ha progressivamente ampliato le indicazioni dei restauri diretti, consentendo il trattamento di cavità posteriori anche di notevole estensione. Tuttavia, la complessità anatomica degli elementi posteriori e le caratteristiche intrinseche dei materiali resinosi rendono tali procedure particolarmente impegnative dal punto di vista tecnico e clinico (Ferracane, 2011). A differenza dei restauri anteriori, nei quali l'obiettivo principale è rappresentato dal raggiungimento di un risultato estetico ottimale, nei settori posteriori assume un ruolo fondamentale il ripristino della funzione oclusale. La corretta riproduzione della morfologia cuspidale, dei solchi principali e secondari, delle creste marginali e dei punti di contatto prossimali è essenziale per garantire un'adeguata distribuzione dei carichi masticatori e preservare l'equilibrio funzionale del sistema stomatognatico. La realizzazione di un'anatomia oclusale accurata richiede pertanto un elevato controllo della fase di modellazione del composito, che rappresenta uno dei momenti più critici dell'intera procedura restaurativa.

Un'ulteriore difficoltà è legata alla contrazione da polimerizzazione dei materiali compositi. Durante il processo di conversione dei monomeri in polimeri si verifica infatti una riduzione volumetrica che può generare tensioni all'interfaccia adesiva, con conseguente rischio di formazione di gap marginali, infiltrazione batterica, sensibilità post-operatoria e compromissione della longevità del restauro (Feilzer et al., 1987). L'entità di tali tensioni è influenzata da molteplici fattori, tra cui la configurazione cavitaria (C-factor), il volume di materiale inserito e la modalità di stratificazione adottata. Per questo motivo, nel corso degli anni sono state sviluppate diverse tecniche operative finalizzate a controllare e ridurre gli effetti della contrazione da polimerizzazione.

Le tecniche di modellazione diretta nei settori posteriori si sono evolute progressivamente da approcci basati sulla stratificazione incrementale tradizionale verso metodiche più

avanzate volte a semplificare il procedimento clinico, migliorare la riproduzione anatomica e ottimizzare le prestazioni biomeccaniche del restauro. Tra queste rientrano la tecnica centripeta, la ricostruzione cuspidale per cuspidale, le procedure bulk-fill, la stamp technique, le tecniche di injection molding e gli approcci mimetici. Sebbene ciascuna metodica presenti specifiche indicazioni e peculiarità operative, tutte condividono l'obiettivo comune di ottenere restauri posteriori funzionali, duraturi e minimamente invasivi (Deliperi & Bardwell, 2002).

4.2.1 Il concetto delle Essential Lines nella modellazione anatomica

Le *Essential Lines* (Figura 14) rappresentano un concetto morfologico sviluppato per semplificare la riproduzione anatomica dei restauri diretti attraverso l'identificazione delle principali linee di transizione e delle aree di riflessione che caratterizzano la superficie vestibolare dei denti naturali. Più che una tecnica restaurativa autonoma, esse costituiscono un approccio progettuale che guida il clinico nella modellazione delle forme dentali e nella gestione della luce sulla superficie del restauro (Chiodera et al., 2021). Il principio fondamentale consiste nel riconoscimento e nella corretta riproduzione delle linee che delimitano le diverse aree di riflessione luminosa. La posizione, l'inclinazione e la continuità di tali linee influenzano infatti la percezione visiva di larghezza, lunghezza e proporzioni dell'elemento dentario. Una corretta gestione delle Essential Lines consente pertanto di migliorare significativamente il risultato estetico finale, anche in presenza di restauri relativamente semplici.

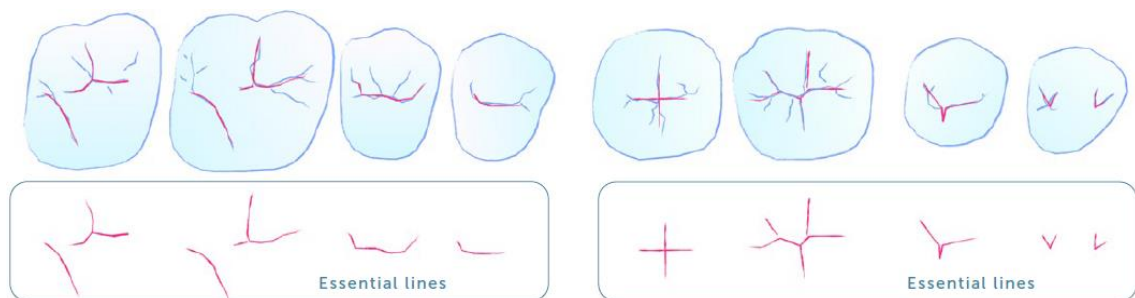


Figura 14: Esempi di Essential lines. **Fonte:** Style Italiano

Negli ultimi anni questo concetto è stato ampiamente sviluppato e divulgato da autori quali Putignano A., Devoto W., Manauta J., Chiodera G. e dal gruppo Style Italiano, che ne hanno evidenziato l'importanza nella semplificazione delle procedure di modellazione

diretta e nella standardizzazione dei protocolli estetici. L'applicazione clinica delle Essential Lines risulta particolarmente utile nella chiusura dei diastemi, nelle faccette dirette e nei restauri estesi del settore anteriore, dove il controllo delle proporzioni e della riflessione della luce assume un ruolo determinante. Risulta evidente come il vantaggio principale sia la prevedibilità estetica, parametro molto ricercato nei restauri diretti anteriori insieme alla semplificazione della fase di modellazione. Tuttavia, è importante considerare che vi è la necessità di una buona conoscenza preliminare dell'anatomia dentale e della morfologia superficiale degli elementi anteriori per ottenere un risultato ottimale (Chiodera et al., 2021).

4.2.2 Successive Cusp Build-Up Technique

La Successive Cusp Build-Up Technique è un protocollo restaurativo sviluppato con l'obiettivo di riprodurre in maniera più fedele l'anatomia naturale degli elementi posteriori attraverso una ricostruzione progressiva delle singole cuspidi. A differenza delle tecniche incrementali convenzionali, nelle quali il composito viene inserito principalmente secondo criteri di riduzione dello stress da polimerizzazione, questo approccio pone al centro della procedura la ricostruzione anatomica della struttura dentale, seguendo una sequenza che replica la morfologia originaria del dente (Deliperi & Bardwell, 2002).

La tecnica è stata descritta da Deliperi e Bardwell come un metodo alternativo per la realizzazione di restauri posteriori diretti, finalizzato non solo al controllo della contrazione da polimerizzazione ma anche al miglioramento dell'integrazione funzionale del restauro. Dopo l'esecuzione delle procedure adesive, il composito viene applicato mediante piccoli incrementi modellati individualmente per ricostruire una cuspidi alla volta. Ogni cuspidi viene completata e fotopolimerizzata prima della realizzazione della successiva, fino alla completa ricostruzione della morfologia oclusale (Deliperi & Bardwell, 2002).

La costruzione progressiva delle singole unità anatomiche consente infatti di limitare gli stress generati dalla contrazione da polimerizzazione e di orientare in maniera più controllata le forze sviluppate durante il processo di indurimento del composito. Inoltre, la presenza di incrementi di dimensioni ridotte favorisce una migliore conversione del materiale e un più accurato adattamento alle pareti cavitare (Chandrasekhar et al., 2017).

Dal punto di vista morfologico, la tecnica offre il vantaggio di consentire una riproduzione particolarmente accurata dell'anatomia oclusale. La modellazione separata delle cuspidi permette infatti al clinico di definire progressivamente inclinazioni cuspidali, solchi e creste marginali, riducendo la necessità di estese procedure di rifinitura e rimodellamento al termine del restauro. Questo aspetto risulta particolarmente importante nei restauri estesi, nei quali il recupero della funzione oclusale rappresenta un obiettivo clinico fondamentale (Ferracane, 2011).

Un ulteriore elemento di interesse è rappresentato dalla vicinanza concettuale della Successive Cusp Build-Up Technique ai principi dell'odontoiatria mimetica. La ricostruzione delle strutture dentali secondo unità anatomiche distinte richiama infatti il comportamento biomeccanico del dente naturale, caratterizzato da una distribuzione dei carichi attraverso cuspidi, creste marginali e versanti oclusali ben definiti. Sebbene la metodica sia stata sviluppata prima della diffusione moderna delle tecniche biomimetiche, essa viene frequentemente considerata una delle tecniche che ne hanno anticipato alcuni principi fondamentali (Covey, 2003).

Il principale limite di questa tecnica è dato dalla realizzazione sequenziale delle cuspidi che richiede infatti tempi clinici più lunghi rispetto ad approcci semplificati come le tecniche bulk-fill e presuppone una buona conoscenza dell'anatomia dentale da parte dell'operatore. Inoltre, il successo del restauro dipende in larga misura dalla capacità del clinico di riprodurre correttamente la morfologia oclusale durante le fasi di modellazione. Per tali motivi, la Successive Cusp Build-Up Technique trova la sua principale indicazione nei casi in cui sia richiesta una ricostruzione altamente anatomica e personalizzata del dente posteriore (Deliperi & Bardwell, 2002).

4.2.3 Simultaneous Modeling Technique

La Simultaneous Modeling Technique rappresenta un approccio restaurativo sviluppato per semplificare la ricostruzione anatomica dei settori posteriori e ridurre il tempo necessario alle procedure di rifinitura e lucidatura. A differenza delle tecniche incrementali tradizionali, nelle quali la morfologia oclusale viene ottenuta attraverso la sovrapposizione progressiva di più incrementi di composito, questa metodica prevede la modellazione simultanea delle principali strutture anatomiche del restauro prima della fotopolimerizzazione finale (Scolavino et al., 2016).

La tecnica si basa sul fatto che una parte significativa del tempo clinico nei restauri posteriori è spesso dedicata alla rifinitura dell'anatomia occlusale. Errori nella riproduzione di cuspidi, solchi e creste marginali possono infatti richiedere estese correzioni mediante strumenti rotanti, con il rischio di alterare la morfologia ottenuta e aumentare i tempi operativi. La Simultaneous Modeling Technique nasce pertanto con l'obiettivo di trasferire la maggior parte della definizione anatomica alla fase di modellazione iniziale del composito, riducendo la necessità di interventi correttivi successivi.

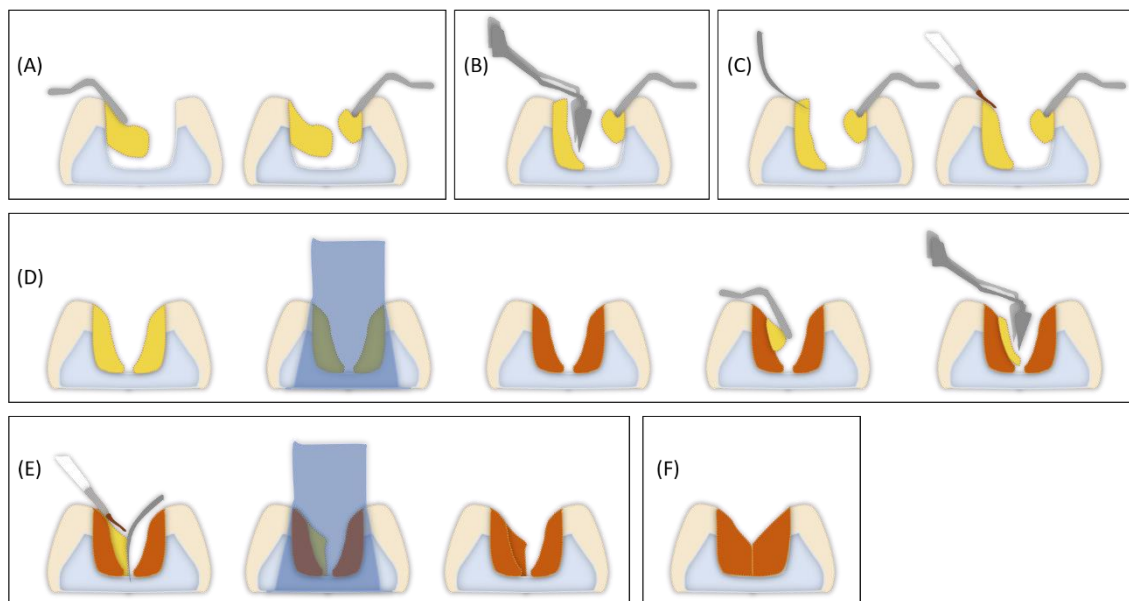


Figura 15: *Successive Cusp Build-Up Technique. Simultaneous increments (A); Proiezione centripeta di incrementi compositi per definire le creste (B); Rimozione degli eccessi seguendo l'anatomia per mezzo di strumenti e brush (C); Fase di polimerizzazione e nuova stratificazione (D); I primi strati devono essere applicati e polimerizzati simultaneamente. Quando è necessario definire scanalature e cavità, gli strati devono essere polimerizzati uno alla volta (E); Risultato finale (F).*

Dopo le procedure adesive e la ricostruzione delle pareti mancanti quando necessario, il composito viene inserito nella cavità e modellato direttamente fino a ottenere la configurazione anatomica desiderata. Attraverso l'impiego di specifici strumenti da modellazione e tecniche di manipolazione del materiale, il clinico realizza simultaneamente cuspidi, solchi principali e creste marginali, cercando di riprodurre il più fedelmente possibile la morfologia naturale del dente (Figura 15, A, B, C). Solo dopo il completamento della modellazione anatomica viene eseguita la fotopolimerizzazione (Figura 15, D) (Scolavino et al., 2016).

Uno dei principali vantaggi della metodica consiste nella possibilità di ottenere restauri con una morfologia occlusale più precisa e prevedibile. La definizione anatomica prima

della polimerizzazione consente infatti di visualizzare immediatamente il risultato finale e di apportare eventuali modifiche prima dell'indurimento del materiale. Questo approccio può contribuire a ridurre il tempo dedicato alla rifinitura occlusale e migliorare l'integrazione funzionale del restauro all'interno dell'arcata dentaria (Ferracane, 2011). La tecnica riduce quindi il numero di passaggi necessari per ottenere una corretta anatomia occlusale e può risultare vantaggiosa soprattutto nei restauri di media estensione, nei quali il mantenimento della morfologia originale del dente costituisce un obiettivo prioritario.

Tuttavia, la procedura richiede una buona conoscenza dell'anatomia dentale e una notevole abilità manuale da parte dell'operatore. La possibilità di modellare simultaneamente l'intera superficie occlusale può infatti rappresentare una difficoltà per i clinici meno esperti. La Simultaneous Modeling Technique può comunque essere considerata una metodica orientata alla semplificazione della fase anatomica del restauro, con l'obiettivo di ottenere una riproduzione più immediata della morfologia occlusale e una riduzione delle procedure di rifinitura post-operatoria.

4.2.4 Stamp Technique

La Stamp Technique è una tecnica restaurativa introdotta con l'obiettivo di riprodurre in maniera estremamente accurata la morfologia occlusale originale nei restauri diretti posteriori. La tecnica trova particolare indicazione nei casi di lesioni cariose o difetti localizzati in cui la superficie occlusale conserva ancora una morfologia sostanzialmente integra prima della preparazione cavitaria. In tali situazioni, è possibile registrare preventivamente l'anatomia occlusale del dente mediante la realizzazione di una matrice o "stamp", che verrà successivamente utilizzata per trasferire fedelmente la morfologia originale al restauro definitivo (Pipare et al., s.d.).

Il principio fondamentale della tecnica consiste nella creazione di un'impronta della superficie occlusale prima dell'apertura della cavità (Figura 16, A, B). Tale impronta può essere ottenuta mediante differenti materiali, tra cui resine fluide, siliconi o materiali fotopolimerizzabili trasparenti (Figura 16, C). Una volta completata la preparazione cavitaria e le procedure adesive (Figura 16, D), il composito viene inserito nel dente e modellato grossolanamente (Figura 16, E); successivamente, la matrice precedentemente realizzata viene riposizionata sulla superficie occlusale esercitando una leggera pressione,

consentendo così di riprodurre in modo preciso la morfologia anatomica originaria (Figura 16, F, G) (Alshehadat et al., 2016).

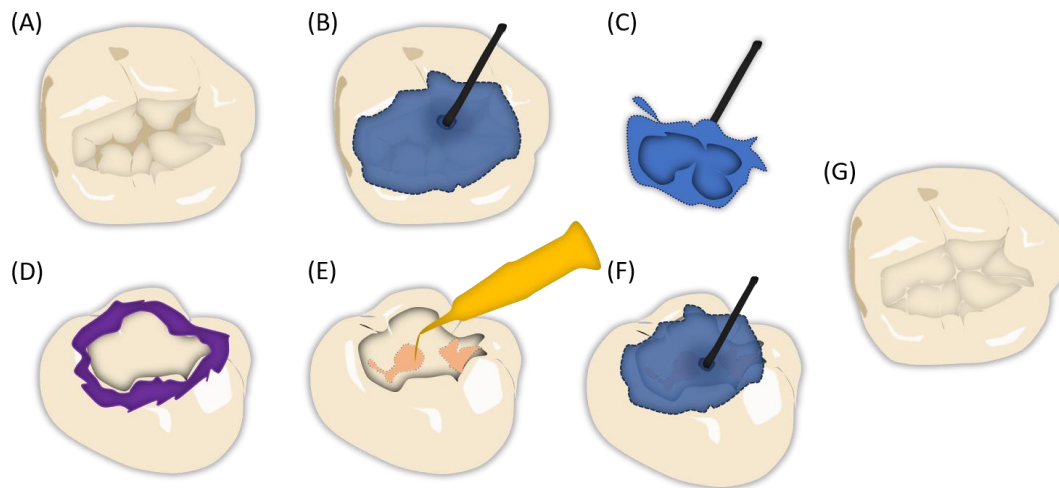


Figura 16: *Stamp Technique. Visione pre-operatoria (A); Registrazione della superficie occlusale dei denti utilizzando una resina specializzata (B); Primo piano del timbro realizzato (C); Pulizia e mordanatura della cavità (D); Riempimento della cavità lasciando un ultimo strato sottile (E); Impressione della superficie occlusale iniziale per mezzo dello stampo (F); Risultato finale (G).*

La Stamp Technique avvantaggia il clinico dandogli la possibilità di ottenere una riproduzione altamente fedele dell'anatomia occlusale. Poiché la morfologia viene registrata direttamente dal dente prima della preparazione, il restauro finale tende a mantenere la conformazione originaria di cuspidi, solchi e creste marginali. Questo aspetto consente di ridurre significativamente la necessità di rifiniture occlusali e di semplificare il raggiungimento di un corretto equilibrio funzionale (Pipare et al., s.d.). Clinicamente, la tecnica contribuisce inoltre a migliorare l'efficienza operativa. La possibilità di trasferire rapidamente la morfologia occlusale al restauro permette infatti di ridurre il tempo dedicato alla modellazione manuale del composito, una fase spesso complessa e fortemente dipendente dall'esperienza dell'operatore. Tale caratteristica rende la metodica particolarmente interessante nei restauri di classe I e nelle cavità posteriori di dimensioni contenute o moderate (Manik et al., s.d.). Un ulteriore vantaggio riguarda la riduzione dell'inclusione di ossigeno sulla superficie del composito durante la modellazione finale. Alcuni protocolli prevedono infatti l'utilizzo di matrici trasparenti che consentono la fotopolimerizzazione attraverso lo

stamp stesso, favorendo l'ottenimento di una superficie più uniforme e riducendo la necessità di procedure correttive successive (Alshehadat et al., 2016).

4.3 Tecniche di rinforzo biomeccanico: Fiber Reinforced Technique

La Fiber Reinforced Technique prevede l'impiego di fibre di rinforzo integrate all'interno del restauro composito con l'obiettivo di aumentare la resistenza alla frattura e migliorare la distribuzione delle tensioni funzionali. Le fibre possono essere costituite da differenti materiali, tra cui vetro, polietilene o quarzo, e vengono generalmente posizionate nelle aree sottoposte a maggiori sollecitazioni meccaniche (ElAziz et al., 2024). Il razionale biomeccanico della tecnica deriva dall'osservazione che gli elementi posteriori ampiamente restaurati risultano particolarmente suscettibili a fenomeni di flessione cuspidale e frattura. L'inserimento di fibre all'interno del restauro consente di creare una struttura composita capace di assorbire e distribuire le tensioni masticatorie in maniera più uniforme, riducendo il rischio di cedimenti strutturali (Lassila et al., 2016). Diversi studi hanno dimostrato che l'impiego di fibre può determinare un incremento della resistenza alla frattura dei restauri posteriori estesi, soprattutto nei casi caratterizzati da una significativa perdita di tessuto dentale. Inoltre, la presenza delle fibre può contribuire a modificare il pattern di frattura, favorendo la comparsa di lesioni più favorevoli dal punto di vista restaurativo rispetto alle fratture catastrofiche osservate nei restauri convenzionali (ElAziz et al., 2024).

La tecnica, tuttavia, richiede un'attenta pianificazione clinica e una corretta gestione dei materiali. La posizione, l'orientamento e il tipo di fibre utilizzate influenzano infatti in maniera significativa il comportamento biomeccanico del restauro finale.

4.4 Tecniche di stampaggio guidato nei restauri posteriori

Le recenti evoluzioni dell'odontoiatria restaurativa adesiva hanno favorito lo sviluppo di tecniche di modellazione guidata finalizzate a ridurre la dipendenza dalle capacità manuali dell'operatore e a migliorare la prevedibilità anatomica dei restauri posteriori diretti. In questo contesto si inseriscono le metodiche di stampaggio guidato, che prevedono il trasferimento di una morfologia dentale predefinita mediante l'utilizzo di matrici trasparenti o indici individualizzati (Manik et al., s.d.). L'obiettivo comune di queste tecniche è quello di semplificare la ricostruzione anatomica,

ridurre i tempi operativi e ottenere una maggiore standardizzazione del risultato clinico. A differenza delle metodiche convenzionali, nelle quali la morfologia oclusale viene modellata direttamente dal clinico durante la procedura restaurativa, le tecniche di stampaggio guidato consentono di pianificare preventivamente la forma finale del restauro e di trasferirla con elevata precisione all'interno del cavo orale (Thomas et al., 2022).

4.4.1 Posterior Injection Molding Technique

La Posterior Injection Molding Technique rappresenta una delle più recenti applicazioni dei principi dell'injection molding ai restauri diretti dei settori posteriori. La metodica prevede la realizzazione preliminare di una morfologia dentale ideale mediante wax-up analogico o progettazione digitale, seguita dalla fabbricazione di una mascherina trasparente personalizzata. Dopo le procedure adesive, il composito, generalmente preriscaldato o caratterizzato da elevata fluidità, viene inserito nella cavità e modellato attraverso la matrice, consentendo il trasferimento diretto dell'anatomia precedentemente progettata (K et al., s.d.). Uno dei principali vantaggi della tecnica consiste nella possibilità di ottenere una riproduzione altamente prevedibile della morfologia oclusale, riducendo la necessità di estese procedure di rifinitura e minimizzando la variabilità operatore-dipendente. Inoltre, l'integrazione con i moderni flussi di lavoro digitali permette di associare la progettazione virtuale del restauro alla realizzazione di guide individualizzate, favorendo un approccio sempre più preciso e conservativo (Layers, s.d.). Tuttavia, la tecnica richiede una fase preliminare di pianificazione e la realizzazione di una mascherina dedicata, con conseguente aumento della complessità organizzativa rispetto alle tecniche di modellazione convenzionali. Per tale motivo, il suo impiego risulta particolarmente indicato nei restauri estesi o nei casi in cui sia richiesta un'elevata precisione anatomica.

4.4.2 Single Index Technique

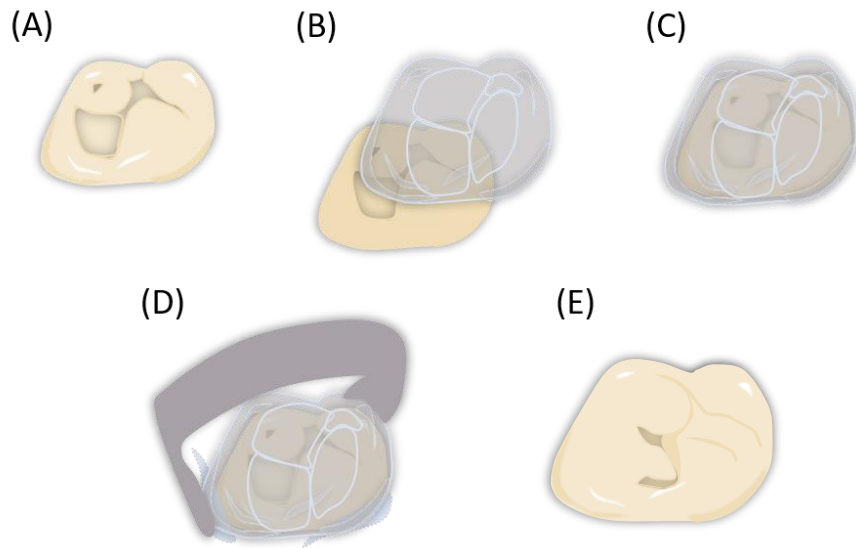


Figura 17: *Single Index Technique. Situazione clinica iniziale di un caso di riabilitazione nel contesto dell'usura dentale (A); Modello della ceratura restaurativa attraverso un flusso full digital con relativa mascherina singola realizzata in stampa 3D (B); Verifica dell'adattamento della mascherina singola sul dente con atterraggio sullo stabilizzatore (C); Calzata della mascherina singola con la presenza del composito sul dente da rimuovere (D); Stampaggio singolo ultimato dopo una rifinitura facile e veloce grazie alla rimozione degli eccessi prima di polimerizzare il composito (E).*

Recentemente, Ammannato ha proposto una variante semplificata delle tecniche di stampaggio guidato, denominata Single Index Technique. La metodica si basa sull'utilizzo di una singola mascherina trasparente individualizzata, progettata sulla base della morfologia desiderata e applicata direttamente sull'elemento dentario da restaurare (Figura 17, A, B, C) (Ammannato, s.d.).

Dopo l'esecuzione delle procedure adesive, il composito viene inserito all'interno della cavità e la mascherina viene posizionata in sede, consentendo il trasferimento simultaneo della morfologia occlusale (Figura 17, C). Gli eccessi di materiale vengono rimossi prima della fotopolimerizzazione finale, riducendo la necessità di successive correzioni anatomiche (Figura 17, D, E).

Rispetto alla Posterior Injection Molding Technique, la Single Index Technique presenta un workflow semplificato, caratterizzato da un numero inferiore di passaggi operativi e da una minore complessità clinica. Tale approccio si propone di coniugare la prevedibilità

delle tecniche guidate con una maggiore efficienza operativa, risultando particolarmente indicato nei restauri posteriori singoli o di limitata estensione.

4.4.3 Flow line stabilizers: evoluzione della Single Index Technique

Nel 2026 Ammannato ha ulteriormente sviluppato la Single Index Technique introducendo il concetto di flow line stabilizers, piccoli riferimenti tridimensionali realizzati direttamente sulla superficie dentale mediante composito flowable fotopolimerizzabile (Ammannato et al., 2026).

Questi elementi fungono da stop meccanici per la mascherina, guidandone il corretto posizionamento e garantendo una maggiore stabilità durante la fase di stampaggio del composito. Il loro impiego consente di ridurre il rischio di disallineamenti della mascherina, migliorando la ripetibilità del protocollo clinico e la precisione del trasferimento anatomico.

L'introduzione dei flow line stabilizers risponde alla necessità di superare uno dei principali limiti delle tecniche di stampaggio guidato, rappresentato dalla corretta riposizionabilità dell'indice. Attraverso la creazione di punti di riferimento stabili e riproducibili, questa evoluzione mira a standardizzare ulteriormente la procedura restaurativa, riducendo la dipendenza dall'esperienza dell'operatore e favorendo l'integrazione con i moderni workflow digitali.

Sebbene i dati clinici disponibili siano ancora limitati, l'introduzione dei flow line stabilizers rappresenta un interessante sviluppo nell'ambito delle tecniche di modellazione diretta, confermando la tendenza dell'odontoiatria restaurativa contemporanea verso approcci sempre più guidati, predicibili e minimamente invasivi.

4.4.4 Direct Overlay Technique

La Direct Overlay Technique rappresenta un'evoluzione dei restauri diretti estesi e si propone come alternativa conservativa alle tradizionali ricostruzioni indirette nei casi di ampia perdita di sostanza dentale. In questa metodica, il composito viene utilizzato per ricoprire e proteggere le cuspidi residue, spesso con l'ausilio di indici in silicone nelle fasi iniziali, ricreando la morfologia oclusale e rinforzando al tempo stesso la struttura dentale compromessa (Hasani, 2023).

Il principio fondamentale consiste nella copertura selettiva delle cuspidi indebolite mediante un restauro adesivo diretto che ne riduca il rischio di frattura (Figura 18). A differenza delle ricostruzioni convenzionali, l'approccio direct overlay consente di preservare una maggiore quantità di tessuto dentale sano, evitando preparazioni invasive necessarie per alcune soluzioni indirette (Veneziani, 2017).

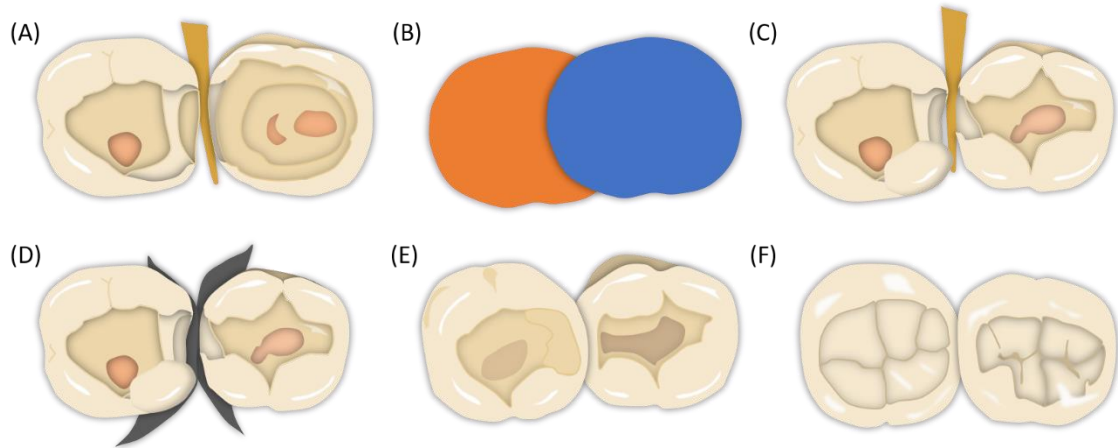


Figura 18: *Direct Overlay Technique. Riduzione dell'intera superficie del dente 37, così come la cuspidе disto-linguale del dente 36 (A); Impasto ed utilizzo dell'indice in silicone (B); Tutte le cuspidi mancanti sono state ricostruite grazie all'ausilio dell'indice in silicone (C); Le matrici sono state posizionate e fissate con l'anello, utilizzando la tecnica schiena contro schiena per costruire le pareti prossimali (D); Rimozione delle matrici e modellazione occlusale con approccio a tonalità singola (E); Risultato immediato dopo la rimozione della diga di gomma (F).*

Dal punto di vista biomeccanico, la copertura cuspidale permette di limitare la deformazione delle pareti residue durante la funzione masticatoria e di distribuire più efficacemente i carichi occlusali. Tale comportamento si avvicina ai principi della biomimetica, secondo cui il restauro dovrebbe contribuire a ristabilire l'integrità strutturale dell'elemento dentario senza sacrificare ulteriormente i tessuti residui. Questo approccio rappresenta una naturale evoluzione delle tecniche di modellazione diretta tradizionali e testimonia il progressivo passaggio da una concezione puramente sostitutiva della restaurazione a una visione maggiormente orientata alla conservazione e al rinforzo della struttura dentale naturale (Covey, 2003).

Capitolo 5

5.1 Dalla classificazione delle tecniche ai principi operativi

L'analisi comparativa delle tecniche di modellazione diretta evidenzia come l'evoluzione della moderna odontoiatria restaurativa abbia progressivamente spostato l'attenzione dalla singola procedura clinica ai principi biologici e operativi che ne determinano il successo.

Tabella 7: *Principi operativi.*

Parametro	Modellazione libera	Tecniche guidate mediante indice	Tecniche di trasferimento anatomico
Tecniche incluse	Stratificazione incrementale; multilayer; monoshade free-hand	Silicone index; palatal index; single index technique	Matrix transfer; injection molding; occlusal stamp
Principio operativo	Modellazione intraorale diretta	Trasferimento parziale della morfologia	Replicazione completa del wax-up
Fase critica	Anatomia e gestione cromatica	Posizionamento dell'indice	Pianificazione preoperatoria
Livello di standardizzazione	Basso	Medio-alto	Elevato
Dipendenza dall'operatore	Elevata	Moderata	Ridotta

Fonte: *elaborato dall'autore della tesi*

Piuttosto che considerare le diverse metodiche come entità separate, è possibile raggrupparle in tre principali categorie funzionali: tecniche di modellazione libera (*free-hand*); tecniche guidate mediante indice anatomico; tecniche di trasferimento anatomico mediante stampaggio o iniezione (Tabella 7).

Questa classificazione consente di evidenziare le analogie tra procedure apparentemente differenti e di comprendere come le innovazioni più recenti abbiano avuto l'obiettivo comune di ridurre la sensibilità operatore-dipendente e aumentare la predicibilità clinica. In particolare, tecniche quali la silicone index technique, la matrix transfer technique e la injection molding technique condividono il medesimo razionale biologico: trasferire nel cavo orale una morfologia precedentemente progettata mediante wax-up analogico o workflow digitale. Le differenze tra tali metodiche riguardano principalmente il tipo di matrice utilizzata, la viscosità del materiale restaurativo e il livello di controllo richiesto durante la fase di modellazione.

L'evoluzione verso protocolli guidati riflette la crescente esigenza di ottenere restauri minimamente invasivi, riproducibili e meno dipendenti dalle capacità artistiche dell'operatore («a contemporary review of injection molding technique and materials used», s.d.).

5.2 Il ruolo del composito nella scelta della tecnica restaurativa

Tabella 8: *Relazione tra compositi e tecnica restaurativa.*

Parametro	Packable	Flowable ad alto riempimento	Preriscaldati
Viscosità	Elevata	Bassa	Moderata
Adattamento alle pareti cavitare	Medio	Elevato	Elevato
Controllo anatomico	Elevato	Ridotto	Elevato
Proprietà meccaniche	Elevate	Moderate	Elevate
Tecniche preferenziali	Stratificazione incrementale; free-hand	Injection molding; stampaggio	Tecniche guidate; transfer technique
Indicazione clinica principale	Restauri complessi	Riabilitazioni additive; usura dentale	Riabilitazioni estetiche e funzionali

Fonte: *elaborato dall'autore della tesi*

L'analisi delle tecniche descritte nei capitoli precedenti evidenzia come la selezione del composito rappresenti un fattore determinante nella scelta del protocollo operativo.

Le proprietà reologiche, ottiche e meccaniche del materiale influenzano direttamente la modalità di modellazione, il numero di incrementi necessari, la predicibilità del risultato e la complessità della procedura.

In termini pratici, la relazione tra composito e tecnica può essere interpretata secondo tre dimensioni principali: viscosità del materiale; gestione cromatica; caratteristiche meccaniche.

I compositi ad alta viscosità (*packable*) offrono un elevato controllo anatomico e risultano particolarmente indicati nelle tecniche incrementali tradizionali e nelle procedure di ricostruzione cuspace dei settori posteriori.

Al contrario, i compositi flowable ad alto contenuto di riempitivo presentano una minore viscosità e un migliore adattamento alle pareti cavitare, caratteristiche che li rendono ideali per le tecniche di iniezione e stampaggio. Tuttavia, la riduzione della viscosità può associarsi a proprietà meccaniche inferiori e a una maggiore suscettibilità all'usura, soprattutto nei settori sottoposti a elevati carichi occlusali (Vargas & Margeas, 2025). L'introduzione dei compositi preriscaldati ha parzialmente superato questa dicotomia, consentendo di utilizzare materiali convenzionali ad alta viscosità all'interno di tecniche originariamente sviluppate per compositi flowable. Tale approccio permette di combinare la precisione delle tecniche guidate con le migliori proprietà meccaniche dei compositi universali (Tabella 8).

L'evoluzione dei sistemi cromatici ha profondamente modificato l'approccio alle ricostruzioni dirette. Le tecniche multilayer tradizionali, basate sull'impiego di masse smalto, dentina e body, consentono la massima personalizzazione ottica e rimangono il riferimento nei restauri anteriori ad elevata complessità estetica. I compositi monoshade e universal shade, invece, sono stati sviluppati per semplificare la procedura restaurativa, riducendo il numero di masse necessarie e la sensibilità tecnica legata alla selezione cromatica. Le evidenze disponibili suggeriscono che i compositi monoshade presentano prestazioni cliniche soddisfacenti nel breve e medio termine, soprattutto nei restauri anteriori di piccole e medie dimensioni e nei settori posteriori. Tuttavia, i sistemi multishade mantengono una superiore capacità di riprodurre le caratteristiche ottiche naturali nei casi esteticamente più complessi (Tabella 9) (Forabosco et al., 2025).

Tabella 9: *Compositi, tecniche e semplificazione operativa.*

Parametro	Multishade tradizionale	Smalto-Dentina	Monoshade / Universal shade
Numero di masse	Elevato	Intermedio	Una
Complessità tecnica	Elevata	Moderata	Ridotta
Tempo operativo	Lungo	Intermedio	Breve
Personalizzazione estetica	Massima	Elevata	Moderata
Indicazioni cliniche	Restauri anteriori complessi	Restauri estetici di media complessità	Settori posteriori; restauri multipli

Fonte: *elaborato dall'autore della tesi*

Ne consegue che la semplificazione del materiale non determina automaticamente una semplificazione universale della tecnica: all'aumentare delle richieste estetiche, la competenza dell'operatore nella gestione delle proprietà ottiche rimane un elemento imprescindibile.

5.3 Tecniche operatore-dipendenti e tecniche guidate

Le tabelle comparative mostrano come il principale fattore discriminante tra le diverse metodiche sia il grado di dipendenza dalle abilità dell'operatore. Le tecniche free-hand e multilayer richiedono elevate competenze nella gestione di: anatomia dentale, stratificazione cromatica, controllo volumetrico, rifinitura e tessitura superficiale. Questi protocolli garantiscono la massima flessibilità clinica, ma presentano una curva di apprendimento significativa.

Le tecniche guidate mediante matrici o indici anatomici trasferiscono invece parte della complessità dalla fase esecutiva alla fase di pianificazione. In tali procedure, la predicibilità del risultato dipende soprattutto dalla qualità del wax-up, del mock-up e della progettazione digitale. Si assiste quindi a una redistribuzione della complessità clinica: il tempo e le competenze richieste non vengono eliminati, ma spostati dalla modellazione intraorale alla fase preoperatoria. Di conseguenza, la riduzione della sensibilità operatore-dipendente non coincide necessariamente con una minore complessità complessiva del

trattamento (Tabella 10) («A contemporary review of injection molding technique and materials used», s.d.).

Tabella 10: *Tecniche operatore-dipendenti e guidate.*

Parametro	Tecniche free-hand	Tecniche guidate
Curva di apprendimento	Elevata	Moderata
Pianificazione preoperatoria	Limitata	Fondamentale
Tempo alla poltrona	Maggiore	Ridotto
Tempo extraorale	Ridotto	Maggiore
Riproducibilità	Moderata	Elevata
Predicibilità estetica	Operatore-dipendente	Elevata
Predicibilità funzionale	Operatore-dipendente	Elevata
Indicazione principale	Restauri singoli complessi	Riabilitazioni multiple e additive

Fonte: *elaborato dall'autore della tesi*

5.4 Discussione comparativa delle tecniche anteriori

Nei settori anteriori, la scelta della tecnica deve essere guidata principalmente da tre variabili: estensione del difetto, livello di integrazione estetica richiesto, numero di elementi coinvolti.

Le tecniche free-hand multilayer rappresentano la soluzione di elezione nei restauri singoli ad alta valenza estetica, in cui è necessaria una precisa gestione delle masse e delle caratterizzazioni. Le tecniche monoshade consentono invece di ridurre tempi operativi e complessità clinica nei restauri di limitata estensione, mantenendo risultati estetici soddisfacenti. Le tecniche guidate mediante indice in silicone, matrix transfer e injection molding trovano indicazione preferenziale nei casi di usura dentale generalizzata, chiusura multipla di diastemi e riabilitazioni estetiche multiple. In tali situazioni, la possibilità di replicare fedelmente un progetto diagnostico consente di migliorare la predicibilità e di ridurre il rischio di errori anatomici (Tabella 11).

Tabella 11: *Comparazione tecniche settori anteriori.*

Parametro	Free-hand multilayer	Monoshade free-hand	Silicone index	Matrix transfer	Injection molding
Complessità estetica gestibile	Elevata	Bassa-moderata	Moderata-elevata	Elevata	Elevata
Numero di elementi	Singolo/Multiplo	Singolo/Multiplo	Singolo/Multiplo	Singolo/Multiplo	Singolo/Multiplo
Tempo operativo	Elevato	Ridotto	Moderato	Ridotto	Ridotto
Personalizzazione	Massima	Moderata	Elevata	Elevata	Moderata
Indicazione più frequente	Fratture estese	Restauro semplici	Chiusura di diastemi	Riabilitazioni additive	Usura dentale generalizzata

Fonte: *elaborato dall'autore della tesi*

5.5 Discussione comparativa delle tecniche posteriori

Nei settori posteriori, il successo clinico dipende principalmente dal ripristino della funzione oclusale e della morfologia anatomica.

Le tecniche incrementali convenzionali rimangono un riferimento consolidato grazie alla loro versatilità e al controllo dello stress da polimerizzazione. Le tecniche di stampaggio oclusale e la single index technique consentono invece una riproduzione più accurata della morfologia oclusale, riducendo il tempo dedicato alla rifinitura ed agli aggiustamenti oclusali.

L'introduzione dei flow line stabilizers rappresenta un ulteriore tentativo di migliorare la stabilità e il corretto posizionamento degli indici anatomici nei casi di usura dentale avanzata (Tabella 12).

Anche nei settori posteriori emerge una stretta correlazione tra tecnica e materiale: i compositi packable risultano preferibili nelle ricostruzioni cuspal e nelle tecniche incrementali, mentre i flowable ad alto riempimento e i compositi preriscaldati appaiono più indicati nelle tecniche di trasferimento anatomico (Chatzidimitriou et al., 2025).

Tabella 12: *Comparazione tecniche settori posteriori.*

Parametro	Stratificazione incrementale	Bulk-fill	Occlusal stamp	Single index technique	Flow line stabilizers
Controllo anatomico	Elevato	Moderato	Elevato	Elevato	Elevato
Tempo di rifinitura	Elevato	Moderato	Ridotto	Ridotto	Ridotto
Controllo occlusale	Moderato	Moderato	Elevato	Elevato	Elevato
Materiale ideale	Packable	Bulk-fill	Flowable ad alto riempimento	Preriscaldati; packable	Preriscaldati
Indicazione principale	Cavità estese	Restauri di media complessità	Anatomia conservata	Usura dentale	Riabilitazioni complesse

Fonte: *elaborato dall'autore della tesi*

5.6 Limiti delle evidenze disponibili

Nonostante la crescente diffusione delle tecniche guidate e dei compositi universal shade, le evidenze cliniche disponibili presentano ancora limiti significativi. La maggior parte degli studi pubblicati consiste in case report, serie di casi o studi con follow-up limitati, rendendo difficile il confronto diretto tra protocolli differenti. Inoltre, l'eterogeneità dei materiali impiegati, dei criteri di valutazione clinica e delle indicazioni terapeutiche limita la possibilità di definire protocolli standardizzati. Le future prospettive di sviluppo sembrano orientate verso una maggiore integrazione tra compositi di nuova generazione, workflow digitali e tecniche di trasferimento anatomico, con l'obiettivo di coniugare semplicità operativa, predicibilità clinica e conservazione della struttura dentale residua.

5.7 Prospettive future: intelligenza artificiale e realtà aumentata nella modellazione diretta

L'evoluzione delle tecniche di modellazione diretta descritta nei capitoli precedenti evidenzia una tendenza costante verso la semplificazione dei protocolli operativi, la riduzione della sensibilità operatore-dipendente e l'incremento della predicibilità clinica. L'introduzione di materiali compositi innovativi, workflow digitali e tecniche guidate mediante indici anatomici rappresenta l'espressione più recente di questo processo evolutivo. In tale contesto, l'integrazione tra intelligenza artificiale (IA) e realtà aumentata (AR) potrebbe costituire una delle prospettive più promettenti per il futuro dell'odontoiatria restaurativa diretta.



Figura 19: *Visione della guida digitale attraverso un visore AR per settori anteriori*

Attualmente, i flussi di lavoro digitali consentono già di acquisire impronte ottiche mediante scanner intraorali, elaborare modelli tridimensionali del cavo orale e progettare virtualmente il risultato restaurativo attraverso software CAD dedicati. Tuttavia, il trasferimento clinico del progetto digitale richiede ancora la realizzazione di dispositivi intermedi, quali guide in silicone, matrici trasparenti o indici anatomici, che consentano di riprodurre intraoralmente la morfologia pianificata.

È possibile ipotizzare che i futuri sviluppi tecnologici (Figura 19, 20) consentiranno di superare questi passaggi intermedi attraverso l'impiego di sistemi di realtà aumentata integrati con algoritmi di intelligenza artificiale. In uno scenario ipotetico, l'operatore potrebbe acquisire un'impronta digitale del cavo orale mediante scanner intraorale e ottenere, in tempo reale, un progetto restaurativo generato dall'intelligenza artificiale sulla base di parametri anatomici, funzionali ed estetici specifici del paziente. L'algoritmo potrebbe elaborare automaticamente la morfologia ideale del restauro considerando fattori quali la forma dentale originaria, l'occlusione, le dinamiche mandibolari, le proporzioni del sorriso e le caratteristiche dei denti adiacenti. Successivamente, mediante un visore di realtà aumentata o un sistema di visualizzazione integrato nel microscopio operatorio, il progetto digitale verrebbe sovrapposto direttamente al campo clinico, consentendo all'operatore di visualizzare in tempo reale la morfologia finale del restauro come una guida tridimensionale "ancorata" al dente del paziente.

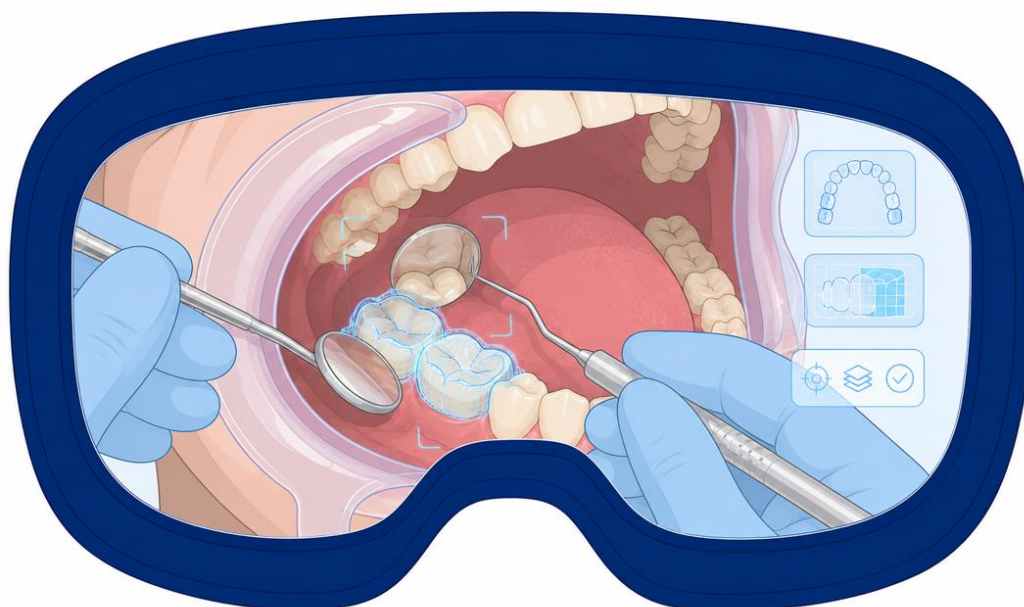


Figura 20: *Visione della guida digitale attraverso un visore AR per settori posteriori*

In questa prospettiva, la modellazione del composito non verrebbe più guidata da un indice fisico, ma da un riferimento virtuale dinamico, costantemente aggiornato in funzione dei movimenti dell'operatore e del paziente.

In un ipotetico workflow basato sulla realtà aumentata, lo scanner intraorale acquisirebbe la situazione clinica iniziale e l'intelligenza artificiale elaborerebbe automaticamente un

progetto restaurativo additivo, proponendo la ricostruzione ideale delle superfici usurate. L'operatore, indossando un visore AR, visualizzerebbe direttamente nel cavo orale la morfologia finale dei restauri sovrapposta agli elementi dentari residui e potrebbe modellare il composito seguendo la guida virtuale, senza la necessità di realizzare guide fisiche. È tuttavia importante sottolineare che, allo stato attuale, tali applicazioni rappresentano prevalentemente una prospettiva teorica e non dispongono ancora di evidenze scientifiche specifiche nell'ambito della modellazione diretta con compositi. Nonostante ciò, l'evoluzione tecnologica osservata negli ultimi anni suggerisce che l'integrazione tra intelligenza artificiale, scanner intraorali, sistemi CAD e realtà aumentata potrebbe progressivamente trasformare il ruolo delle matrici e degli indici anatomici, analogamente a quanto già avvenuto in altri settori della medicina guidata dalle immagini.

In questo scenario futuro, il clinico non verrebbe sostituito dalla tecnologia, ma assumerebbe il ruolo di supervisore di un processo restaurativo sempre più digitale, nel quale l'esperienza operativa e la capacità decisionale continuerebbero a rappresentare elementi imprescindibili per il successo del trattamento. La progressiva convergenza tra materiali innovativi, tecniche minimamente invasive e tecnologie immersive potrebbe dunque rappresentare il prossimo passo evolutivo della modellazione diretta, trasformando la guida anatomica da dispositivo fisico a riferimento digitale dinamico e ridefinendo il concetto stesso di odontoiatria restaurativa guidata.

Conclusioni

L'evoluzione dei materiali compositi e delle tecniche restaurative adesive ha determinato un profondo cambiamento nell'approccio clinico all'odontoiatria conservativa, orientando la pratica verso procedure sempre più predicibili, semplici e orientate alla preservazione dei tessuti dentali se non che all'ottimizzazione dei tempi operatori.

L'obiettivo di questo elaborato è stato quello di fornire una panoramica aggiornata delle principali tecniche di modellazione diretta in composito, analizzandone le caratteristiche operative, le indicazioni cliniche e il rapporto con i materiali di nuova generazione. L'attenzione si è concentrata sul ruolo centrale della fase di modellazione, considerata non solo come un momento esecutivo del restauro, ma come un passaggio determinante per il raggiungimento di risultati estetici e funzionali ottimali. La progressiva introduzione di compositi con proprietà ottiche avanzate, sistemi cromatici semplificati e materiali caratterizzati da migliori caratteristiche meccaniche e reologiche ha ampliato le possibilità terapeutiche del clinico, consentendo di affrontare con maggiore efficacia restauri sia nei settori anteriori sia in quelli posteriori. Parallelamente, lo sviluppo di protocolli operativi sempre più codificati ha contribuito a rendere le procedure restaurative più riproducibili e prevedibili.

Le tecniche di modellazione diretta rappresentano oggi una valida soluzione terapeutica in numerosi contesti clinici, grazie alla loro versatilità, alla possibilità di conservare il tessuto dentale residuo e alla capacità di soddisfare le crescenti esigenze estetiche dei pazienti. Tuttavia, il successo del trattamento rimane strettamente legato alla conoscenza delle caratteristiche dei materiali, alla corretta selezione della tecnica più appropriata e al rispetto rigoroso dei protocolli operativi.

In questo contesto, la formazione continua e l'aggiornamento professionale assumono un ruolo fondamentale. La rapida evoluzione dei materiali e delle tecnologie digitali richiede infatti un costante adeguamento delle competenze cliniche, al fine di integrare efficacemente le innovazioni nella pratica quotidiana. Le prospettive future dell'odontoiatria restaurativa appaiono orientate verso una crescente integrazione tra materiali innovativi, flussi di lavoro digitali e strumenti di supporto tecnologico, con l'obiettivo di semplificare le procedure cliniche e migliorare ulteriormente la qualità delle riabilitazioni dirette.

Bibliografia

- Ahmad, I. (2005). Anterior dental aesthetics: Dental perspective. *British Dental Journal*, 199(3), 135-141; quiz 174. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4812569>
- Ali, A. M., Mostafa, D., Sakr, A., El Tantawi, M., Abellatif, H., & Elkateb, M. A. (2023). Comparing nanoleakage between class II bulkfill and incremental composite restorations using snowplow technique. *The Saudi Dental Journal*, 35(1), 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2022.12.005>
- Alshali, R. Z., Silikas, N., & Satterthwaite, J. D. (2013). Degree of conversion of bulk-fill compared to conventional resin-composites at two time intervals. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 29(9), e213-217. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.05.011>
- Alshehadat, S. A., Halim, M. S., Carmen, K., & Fung, C. S. (2016). The stamp technique for direct Class II composite restorations: A case series. *Journal of Conservative Dentistry : JCD*, 19(5), 490–493. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.190021>
- Alshehri, A., Alkhazaleh, A., Alshabib, A., Algamaiah, H., & Denehy, J. (2025). The pull-through technique: A simplified clinical guide for anterior composite resin restorations. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 134(2), 318–323. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2025.04.008>
- Al-Zain, A. O., Baesa, L., Jassoma, E., Alghilan, M. A., Hariri, M., Ismail, E. H., & Münchow, E. A. (2023). Assessment of internal porosities for different placement techniques of bulk-fill resin-based composites: A micro-computed tomography study. *Clinical Oral Investigations*, 27(12), 7489–7499. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05337-z>
- Ammannato, R., Valle, M., & Ferraris, F. (2026). «Flow line stabilizers» for single index technique molding in worn dentition. *The International Journal of Esthetic Dentistry*, 21(2), 164–183.
- Bailey, O., McGuirk, C., & O'Connor, C. (2022). Matrix transfer techniques for direct paste composite resins. *British Dental Journal*, 233(2), 91–98. <https://doi.org/10.1038/s41415-022-4447-8>
- Baroudi, K., & Rodrigues, J. C. (2015). Flowable Resin Composites: A Systematic Review and Clinical Considerations. *Journal of Clinical and Diagnostic Research : JCDR*, 9(6), ZE18–ZE24. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/12294.6129>
- Bichacho, N. (1994). The centripetal build-up for composite resin posterior restorations. *Practical Periodontics and Aesthetic Dentistry: PPAD*, 6(3), 17–23; quiz 24.
- Biomimetic direct composite stratification technique for the restoration of anterior teeth | Request PDF. (s.d.). *ResearchGate*. Recuperato 7 giugno 2026, da

https://www.researchgate.net/publication/7242712_Biomimetic_direct_composite_stratification_technique_for_the_restoration_of_anterior_teeth

Biomimetic Restorative Dentistry | Pascal Magne / Urs C. Belser. (s.d.). Quintessence Publishing USA. Recuperato 6 giugno 2026, da <https://www.quintessence-publishing.com/usa/en/product/biomimetic-restorative-dentistry>

Braga, R. R., Hilton, T. J., & Ferracane, J. L. (2003). Contraction stress of flowable composite materials and their efficacy as stress-relieving layers. *Journal of the American Dental Association*, 134(6), 721–728. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2003.0258>

Buonocore, M. G. (1955). A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *Journal of Dental Research*, 34(6), 849–853. <https://doi.org/10.1177/00220345550340060801>

Çadircı, M., & Özakar, N. (2025a). Clinical performance of single shade universal resin composites: A randomized controlled one year follow-up study. *BMC Oral Health*, 26, 154. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-07472-3>

Çadircı, M., & Özakar, N. (2025b). Clinical performance of single shade universal resin composites: A randomized controlled one year follow-up study. *BMC Oral Health*, 26, 154. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-07472-3>

Chandrasekhar, V., Rudrapati, L., Badami, V., & Tummala, M. (2017). Incremental techniques in direct composite restoration. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 20(6), 386–391. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_157_16

Chaple Gil, A. M., Pereda Vázquez, L., Santiesteban Velázquez, M., Ortiz Santiago, L. L., & Jiménez Hernández, E. (2026). Clinical Performance of Bulk-Fill Versus Incremental Layering Techniques in Class II Restorations: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry: Official Publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et Al.]*, 38(4), 764–779. <https://doi.org/10.1111/jerd.70060>

Chatzidimitriou, K., Katechi, V., & Seremidi, K. (2025). Innovative Composite Resin Restoration Techniques in Posterior Permanent Teeth of Young Patients: Presentation of Two Clinical Cases. *Case Reports in Dentistry*, 2025, 6675239. <https://doi.org/10.1155/crid/6675239>

Chiodera, G., Orsini, G., Tosco, V., Monterubbianesi, R., Manauta, J., Devoto, W., & Putignano, A. (2021). Essential Lines: A simplified filling and modeling technique for direct posterior composite restorations. *The International Journal of Esthetic Dentistry*, 16(2), 168–184.

Chu, S. J., Devigus, A., Paravina, R., & Mieszko, A. (2019). *Fundamentals of Color: Shade Matching and Communication in Esthetic Dentistry, Second Edition* (2^a ed.). Quintessence Publishing Co, Inc.

<https://www.perlego.com/book/1457808/fundamentals-of-color-shade-matching-and-communication-in-esthetic-dentistry-second-edition-pdf>

Color adjustment potential of resin composites: Optical illusion or physical reality, a comprehensive overview—Ismail—2022—Journal of Esthetic and Restorative Dentistry—Wiley Online Library. (s.d.). Recuperato 6 giugno 2026, da <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jerd.12843>

Community. (2015, febbraio 9). Custom Shield. *Styleitaliano.Org*. <https://www.styleitaliano.org/custom-shield-part-1/>

Concise Dental Anatomy And Morphology 4th Edition Jim Fuller | PDF. (s.d.). Recuperato 6 giugno 2026, da <https://www.slideshare.net/slideshow/concise-dental-anatomy-and-morphology-4th-edition-jim-fuller/280719960>

Covey, D. A. (2003). Bonded Porcelain Restorations in the Anterior Dentition: A Biomimetic Approach. *Journal of Prosthodontics*, 12(3), 233–234. [https://doi.org/10.1016/S1059-941X\(03\)00133-5](https://doi.org/10.1016/S1059-941X(03)00133-5)

Daronch, M., Rueggeberg, F. A., & De Goes, M. F. (2005). Monomer conversion of pre-heated composite. *Journal of Dental Research*, 84(7), 663–667. <https://doi.org/10.1177/154405910508400716>

Deb, S., Di Silvio, L., Mackler, H. E., & Millar, B. J. (2011). Pre-warming of dental composites. *Dental Materials*, 27(4), e51–e59. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.11.009>

Deliperi, S., & Bardwell, D. N. (2002). An alternative method to reduce polymerization shrinkage in direct posterior composite restorations. *Journal of the American Dental Association*, 133(10), 1387–1398. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.2002.0055>

Dietschi, D. (1995). Free-hand composite resin restorations: A key to anterior aesthetics. *Practical Periodontics and Aesthetic Dentistry: PPAD*, 7(7), 15–25; quiz 27.

Dietschi, D. (2001). Layering concepts in anterior composite restorations. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 3(1), 71–80.

Dietschi, D., & Fahl, N. (2016). Shading concepts and layering techniques to master direct anterior composite restorations: An update. *British Dental Journal*, 221(12), 765–771. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2016.944>

Direct Esthetic Composite Restorations in Anterior Teeth: Managing Symmetry Strategies. (s.d.). Recuperato 7 giugno 2026, da <https://www.mdpi.com/2073-8994/13/5/797>

ElAziz, R. H. A., ElAziz, S. A. A., ElAziz, P. M. A., Frater, M., Vallittu, P. K., Lassila, L., & Garoushi, S. (2024). Clinical evaluation of posterior flowable short fiber-reinforced composite restorations without proximal surface coverage. *Odontology*, 112(4), 1274–1283. <https://doi.org/10.1007/s10266-024-00905-5>

- Fahl, N. (2000). Achieving ultimate anterior esthetics with a new microhybrid composite. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*. (Jamesburg, N.J.: 1995). Supplement, (26), 4–13; quiz 26.
- Fahl, N. (2006). A polychromatic composite layering approach for solving a complex Class IV/direct veneer-diastrama combination: Part I. *Practical Procedures & Aesthetic Dentistry: PPAD*, 18(10), 641–645; quiz 646.
- Feilzer, A. J., De Gee, A. J., & Davidson, C. L. (1987). Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *Journal of Dental Research*, 66(11), 1636–1639. <https://doi.org/10.1177/00220345870660110601>
- Ferracane, J. L. (2011). Resin composite—State of the art. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 27(1), 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.020>
- Ferracane, J. L. (2024). A Historical Perspective on Dental Composite Restorative Materials. *Journal of Functional Biomaterials*, 15(7), 173. <https://doi.org/10.3390/jfb15070173>
- Forabosco, E., Josic, U., Consolo, U., Generali, L., D'Alessandro, C., Breschi, L., & Checchi, V. (2025). Color Match of Single-Shade Versus Multi-Shade Resin Composites: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 37(6), 1443–1451. <https://doi.org/10.1111/jerd.13444>
- Functional occlusion: From TMJ to smile design - National Library of Medicine Institution.* (s.d.). Recuperato 6 giugno 2026, da https://catalog.nlm.nih.gov/discovery/fulldisplay/alma9912898813406676/01NLM_INST:01NLM_INST
- Furusawa, K., Kobayashi, S., Yamashita, A., Tichy, A., Hosaka, K., Shimada, Y., & Nakajima, M. (2023). Effect of filler load on structural coloration and color adjustment potential of resin composites. *Dental Materials Journal*, 42(3), 343–350. <https://doi.org/10.4012/dmj.2022-199>
- Geštakovski, D. (2019). The injectable composite resin technique: Minimally invasive reconstruction of esthetics and function. Clinical case report with 2-year follow-up. *Quintessence International*, 50(9), 712–719. <https://doi.org/10.3290/j.qi.a43089>
- Gupta, D. V. (2018, marzo 27). DT News—India—Custom shield Technique. *Dental Tribune India*. <https://in.dental-tribune.com/news/custom-shield-technique/?time=1523716429>
- Hasani, M. A. (2023, luglio 4). A step by step to direct composite overlay. *Styleitaliano.Org*. <https://www.styleitaliano.org/a-step-by-step-to-direct-composite-overlay/>
- Hassan, K., & Khier, S. (2005). Split increment horizontal layering: A simplified placement technique for direct posterior resin restorations. *General Dentistry*, 53(6), 406–409.

- Ilie, N. (2022). Resin-Based Bulk-Fill Composites: Tried and Tested, New Trends, and Evaluation Compared to Human Dentin. *Materials*, 15(22), 8095. <https://doi.org/10.3390/ma15228095>
- Ilie, N., & Hickel, R. (2011). Investigations on a methacrylate-based flowable composite based on the SDRTM technology. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 27(4), 348–355. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.11.014>
- Ismail, E. H., & Paravina, R. D. (2022). Color adjustment potential of resin composites: Optical illusion or physical reality, a comprehensive overview. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry: Official Publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et Al.]*, 34(1), 42–54. <https://doi.org/10.1111/jerd.12843>
- Joiner, A. (2004). Tooth colour: A review of the literature. *Journal of Dentistry*, 32 Suppl 1, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2003.10.013>
- K, H., N, V., & Prasad, B. S. K. (s.d.). *Digitally Guided Injection Molding Technique for Posterior Composite Restoration: A Case Report | Journal of Advances in Medicine and Medical Research*. Recuperato 9 giugno 2026, da <https://journaljammr.com/index.php/JAMMR/article/view/5955>
- Karunakaran, J., Jayakumar, S., Rajamani, S., Shri, B. S., Nandhini, G., & Srinivasan, V. (2025). Revolutionizing dental restorations with nanoparticle-incorporated composites. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 28(6), 498–504. https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_98_25
- Korkut, B., Ünal, T., & Can, E. (2023). Two-year retrospective evaluation of monoshade universal composites in direct veneer and diastema closure restorations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry: Official Publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et Al.]*, 35(3), 525–537. <https://doi.org/10.1111/jerd.12992>
- Krupinski, M. (2025, marzo 27). Multiple Diastema Closure with Filtek Easy Match Bright. *Styleitaliano.Org*. <https://www.styleitaliano.org/multiple-diastema-closure-with-filtek-easy-match-bright/>
- Lassila, L., Garoushi, S., Vallittu, P. K., & Säälynoja, E. (2016). Mechanical properties of fiber reinforced restorative composite with two distinguished fiber length distribution. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 60, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2016.01.036>
- Layers: An Atlas of Composite Resin Stratification | Jordi Manauta / Anna Salat*. (s.d.). Quintessence Publishing USA. Recuperato 9 giugno 2026, da <https://www.quintessence-publishing.com/usa/en/product/layers-an-atlas-of-composite-resin-stratification>
- Lee, Y.-K., Lu, H., & Powers, J. M. (2005). Measurement of opalescence of resin composites. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 21(11), 1068–1074. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.03.015>

- Leinfelder, K. F. (1997). New developments in resin restorative systems. *Journal of the American Dental Association*, 128(5), 573–581. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1997.0256>
- Leinonen, K. M., Leinonen, J., Bolstad, N. L., Tanner, T., Al-Haruni, M., & Johnsen, J.-A. K. (2023). Procedure time and filling quality for bulk-fill base and conventional incremental composite techniques—A randomised controlled in vitro trial. *Journal of Dentistry*, 138, 104725. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104725>
- Leprince, J. G., Palin, W. M., Vanacker, J., Sabbagh, J., Devaux, J., & Leloup, G. (2014). Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. *Journal of Dentistry*, 42(8), 993–1000. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2014.05.009>
- Maik. (2025, agosto 4). Simplified Shading Composite Systems: The Intuitive Shade Matching Approach with Naturally Adaptive Opacity. *Solventum Dental Blog*. <https://dentalblog.solventum.com/simplified-shading-composite-systems-the-intuitive-shade-matching-approach-with-naturally-adaptive-opacity/>
- Manauta, J., Salat, A., Monterubbianesi, R., Tosco, V., Devoto, W., Orsini, G., & Putignano, A. (2022). Advances in diastema closure and tooth shape change using direct composite restorations: The Front Wing Technique. *The International Journal of Esthetic Dentistry*, 17(4), 378–393.
- Manik, K., Ikhar, A., Patel, A., Chandak, M., Mahapatra, J., Bhopatkar, J., & Bhojwani, P. R. (s.d.). Effortless Precision: A Case Report on the Stamp Technique for Posterior Teeth. *Cureus*, 16(6), e63358. <https://doi.org/10.7759/cureus.63358>
- Matrice Unica anterior. (s.d.). *Polydentia*. Recuperato 24 giugno 2026, da <https://polydentia.ch/prodotto/matrice-unica-anterior/>
- Muslimah, D. F., Hasegawa, Y., Antonin, T., Richard, F., & Hosaka, K. (2024). Composite Injection Technique With a Digital Workflow: A Pragmatic Approach for a Protruding Central Incisor Restoration. *Cureus*, 16(4), e58712. <https://doi.org/10.7759/cureus.58712>
- Neme, A.-M. L., Maxson, B. B., Pink, F. E., & Aksu, M. N. (2002). Microleakage of Class II packable resin composites lined with flowables: An in vitro study. *Operative Dentistry*, 27(6), 600–605.
- Opdam, N. J. M., van de Sande, F. H., Bronkhorst, E., Cenci, M. S., Bottenberg, P., Pallesen, U., Gaengler, P., Lindberg, A., Huysmans, M. C. D. N. J. M., & van Dijken, J. W. (2014). Longevity of posterior composite restorations: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Dental Research*, 93(10), 943–949. <https://doi.org/10.1177/0022034514544217>
- Paolone, G., Collivasone, G., De Masi, N., Heinichen, A., Greco, K., Gherlone, E., & Cantatore, G. (2025). Chameleon Effect of Universal Shade Composite Polymers in Repairing CAD/CAM Lithium Disilicate. *Materials*, 18(13), 3020. <https://doi.org/10.3390/ma18133020>

- Park, J., Chang, J., Ferracane, J., & Lee, I. B. (2008). How should composite be layered to reduce shrinkage stress: Incremental or bulk filling? *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 24(11), 1501–1505. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.03.013>
- A contemporary review of injection molding technique and materials used. (s.d.). In *ResearchGate*. Recuperato 19 giugno 2026, da https://www.researchgate.net/publication/391469802_A_CONTEMPORARY_REVIEW_OF_INJECTION_MOLDING_TECHNIQUE_AND_MATERIALS_USED
- A Literature Review of Adhesive Systems in Dentistry: Key Components and Their Clinical Applications. (2026). *ResearchGate*. <https://doi.org/10.3390/app14188111>
- Color adjustment potential of single-shade resin composite to various-shade human teeth: Effect of structural color phenomenon. (s.d.). *ResearchGate*. <https://doi.org/10.4012/dmj.2020-364>
- Composite Preheating: A Review Article*. (s.d.). *ResearchGate*. Recuperato 6 giugno 2026, da https://www.researchgate.net/publication/340136711_Composite_Preheating_A_Review_Article
- Layers: An atlas of composite resin stratification. (s.d.). *ResearchGate*. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2013.317>
- Pipare, V., B, S., Mahapatra, J., Ikhar, A., & Agrawal, K. (s.d.). Exploring the Efficacy of the Occlusal Stamp Technique: A Dual Perspective. *Cureus*, 16(10), e70672. <https://doi.org/10.7759/cureus.70672>
- Pisal, N. S., Shah, N. C., Gandhi, N. N., Rao, A. S., Dedania, M. S., & Pisal, N. S. (2022). A 1-year comparative evaluation of clinical performance of conventional direct composite restoration technique with a novel “custom shield” technique in class I compound lesions – A randomized clinical study. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 25(2), 135–139. https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_309_21
- Romero, M. F. (2015). Esthetic anterior composite resin restorations using a single shade: Step-by-step technique. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(1), 9–12. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.02.013>
- Scolavino, S., Paolone, G., Orsini, G., Devoto, W., & Putignano, A. (2016). The Simultaneous Modeling Technique: Closing gaps in posteriors. *The International Journal of Esthetic Dentistry*, 11(1), 58–81.
- Selected, N. A. (s.d.). *Riabilitazioni additive no prep su denti usurati: L'innovativa «single index technique» per stampaggi in composito*. Kuraray Noritake. Recuperato 19 giugno 2026, da <https://www.kuraraynoritake.eu/it/newsroom/riabilitazioni-additive-no-prep-l-innovativa-index-technique-per-stampaggi-in-composito>
- Sengupta, A., Naka, O., Mehta, S. B., & Banerji, S. (2023). The clinical performance of bulk-fill versus the incremental layered application of direct resin composite

- restorations: A systematic review. *Evidence-Based Dentistry*, 24(3), 143. <https://doi.org/10.1038/s41432-023-00905-4>
- Sethumadhavan, J., Siddiqui, M. F., Gholap, P., Jadhav, S. M., Vilasrao Kadam, N., & More, S. (s.d.). Smart Biomaterials Shaping the Future of Dentistry: A Comprehensive Review. *Cureus*, 18(1), e101904. <https://doi.org/10.7759/cureus.101904>
- Shah, D. N. (2021, gennaio 1). *The Biomimetic Restorative Approach*. Dental Update. <https://www.dental-update.co.uk/content/restorative-dentistry/the-biomimetic-restorative-approach>
- Sofan, E., Sofan, A., Palaia, G., Tenore, G., Romeo, U., & Migliau, G. (2017). Classification review of dental adhesive systems: From the IV generation to the universal type. *Annali Di Stomatologia*, 8(1), 1–17. <https://doi.org/10.11138/ads/2017.8.1.001>
- Thomas, P. A., Krishnamoorthi, D., Mohan, J., Raju, R., Rajajayam, S., & Venkatesan, S. (2022). Digital Smile Design. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 14(Suppl 1), S43–S49. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_164_22
- Tzimas, K., Pappa, E., Fostiropoulou, M., Papazoglou, E., & Rahiotis, C. (2025). Highly Filled Flowable Composite Resins as Sole Restorative Materials: A Systematic Review. *Materials*, 18(14), 3370. <https://doi.org/10.3390/ma18143370>
- Van Ende, A., De Munck, J., Lise, D. P., & Van Meerbeek, B. (2017). Bulk-Fill Composites: A Review of the Current Literature. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 19(2), 95–109. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a38141>
- Vanini, L. (1996). Light and color in anterior composite restorations. *Practical Periodontics and Aesthetic Dentistry: PPAD*, 8(7), 673–682; quiz 684.
- Vargas, M. A., & Margeas, R. (2025). A Twist on Injection Molding: Injecting Conventional Resin Composites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 37(1), 7–13. <https://doi.org/10.1111/jerd.13410>
- Veloso, S. R. M., Lemos, C. A. A., de Moraes, S. L. D., do Egito Vasconcelos, B. C., Pellizzer, E. P., & de Melo Monteiro, G. Q. (2019). Clinical performance of bulk-fill and conventional resin composite restorations in posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Investigations*, 23(1), 221–233. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2429-7>
- Veneziani, M. (2017). Posterior indirect adhesive [SEP]restorations: Updated indications [SEP]and the Morphology Driven [SEP]Preparation Technique. *The International Journal of Esthetic Dentistry*, 12(2), 204–230.
- Weng, Y., Howard, L., Guo, X., Chong, V. J., Gregory, R. L., & Xie, D. (2012). A novel antibacterial resin composite for improved dental restoratives. *Journal of Materials Science. Materials in Medicine*, 23(6), 1553–1561. <https://doi.org/10.1007/s10856-012-4629-z>

Wheeler's Dental Anatomy, Physiology and Occlusion. (2019).
<https://shop.elsevier.com/books/wheelers-dental-anatomy-physiology-and-occlusion/nelson/978-0-323-63878-4>

Woelfel's Dental Anatomy | *R2 Digital Library*. (s.d.). Recuperato 6 giugno 2026, da
<https://www.r2library.com/Resource/Title/1284218244>

Zhang, J., Yang, Y., Chen, Y., Chen, X., Li, A., Wang, J., Shen, D., & Zheng, S. (2024). A review of new generation of dental restorative resin composites with antibacterial, remineralizing and self-healing capabilities. *Discover Nano*, 19(1), 189.
<https://doi.org/10.1186/s11671-024-04151-0>