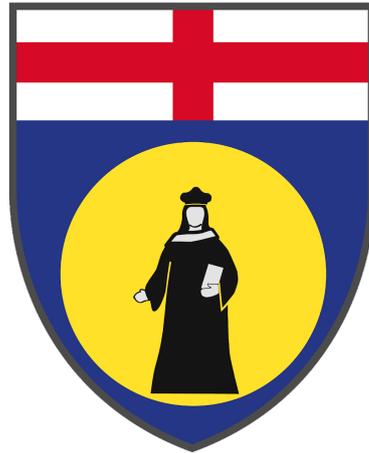


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA**

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



**ODONTOIATRIA DIGITALE SU DENTE  
NATURALE NELLA PRATICA  
QUOTIDIANA**

**Relatori:**

*Prof. Stefano Benedicenti*

*Prof. ac Paolo Nicoli*

**Candidato:**

*Sara Parato*

*Anno accademico 2021-2022*

# Indice

Indice	2
Riassunto	5
Introduzione	7
Preparazioni in odontoiatria	7
Principi fondamentali per la preparazione protesica	8
Criteri generali per il recupero funzionale ed estetico dell'elemento danneggiato	11
Preparazioni parziali	12
Scelta tra tecnica diretta o tecnica indiretta	13
Ricostruzione diretta	18
Ricostruzione indiretta	20
Indicazioni di scelta tra diretta o indiretta	23
Preparazione della cavità per ricostruzioni indirette	24
INLAY	31
ONLAY	33
OVERLAY	34
Scelta del materiale da restauro	35
Scanner intraorale	41
Che cos'è uno scanner intraorale?	43
Vantaggi e svantaggi delle impronte ottiche	49

Accuratezza delle impronte ottiche a confronto con le impronte convenzionali	54
Differenze tra i sistemi di impronta ottica disponibili in commercio	56
Applicazioni cliniche di IOS	59
<b>CAD-CAM</b>	<b>62</b>
Potenzialità evolutiva dei sistemi CAD/CAM	65
Panoramica sul CAD/CAM dentale	68
Acquisizione delle informazioni digitali	69
Il CAD/CAM in studio	71
Il CAD/CAM in laboratorio	73
La lavorazione in outsourcing	77
L'introduzione di nuovi materiali	79
Applicazioni e vantaggi del CAD/CAM	83
Procedimento aperto vs procedimento chiuso	92
CAD/CAM diretto, semi diretto o indiretto	93
Beneficio ecologico	93
<b>Fresatore CNC</b>	<b>94</b>
Vantaggi del sistema CNC	97
Macchina 5 assi CNC, caratteristiche e funzionamento	98
<b>Flusso di lavoro</b>	<b>100</b>
Prima fase: l'acquisizione dei dati	100
Seconda fase: CAD	103
Terza fase: CAM	104
Quarta fase: macchina CNC	105

Revisione della letteratura	107
Adattamento marginale e interno di restauri inlay/onlay CAD-CAM:	107
Una revisione sistematica degli studi in vitro	107
Case series	118
Caso clinico 1	119
Caso clinico 2	129
Caso clinico 3	136
Conclusioni	144
Ringraziamenti	145
Bibliografia	146

# Riassunto

Trovandosi di fronte a una cavità estesa anche sulle cuspidi o particolarmente profonda, un odontoiatra può decidere se optare per un restauro diretto alla poltrona utilizzando materiali compositi di ultima generazione o scegliere di far creare un intarsio dal tecnico in laboratorio o di crearlo in autonomia in studio per mezzo di fresatori chair-side.

La letteratura fornisce dati che non supportano la scelta di un restauro diretto nel caso di coperture cuspidali o cavità profonde perché il composito fotopolimerizzato va incontro a una contrazione direttamente proporzionale alla massa che potrebbe determinare un distacco dai margini e dalle pareti della preparazione, inoltre non presenta caratteristiche meccaniche adatte a sopportare carichi occlusali nel tempo. Pertanto sarebbe preferibile in tal caso procedere alla creazione di un intarsio. Il processo analogico che consente la realizzazione del manufatto prevede: preparazione del dente, presa d'impronta di precisione in silicone o polietere in studio, sviluppo del modello in gesso in laboratorio, creazione dell'intarsio, prova di occlusione in articolatore, consegna e cementazione dell'intarsio in studio.

Oggi abbiamo strumenti digitali in continua evoluzione che dopo anni di perfezionamento consentono di creare il manufatto protesico attraverso un flusso parzialmente o interamente digitale. Nel caso in cui si segua un flusso parzialmente digitale, l'impronta viene presa con metodo analogico con materiale di precisione in studio, in laboratorio viene sviluppato il modello in gesso e quest'ultimo viene sottoposto a scansione attraverso uno scanner in laboratorio, successivamente si segue il processo di digitalizzazione attraverso un software CAD e infine si procede alla realizzazione del manufatto grazie al processo CAM.

In un flusso di lavoro interamente digitale l'impronta può essere presa attraverso la scansione del cavo orale con scanner intraorale, il modello può essere esclusivamente digitale e attraverso il software può essere creato un prototipo di altissima precisione marginale, in articolazione con l'antagonista, ed infine l'intarsio può essere fresato o stampato attraverso macchine a controllo numerico. Questo processo CAD-CAM può essere eseguito dal tecnico in laboratorio o anche dal dentista in studio.

Questo elaborato propone l'introduzione dei concetti alla base dell'intarsio, presenta lo stato attuale della letteratura scientifica riguardo gli strumenti digitali in commercio e passa in rassegna le tappe di un flusso digitale. Infine è riportato un case series di alcuni intarsi realizzati dalla candidata proprio attraverso il flusso interamente digitale.

# Introduzione

## Preparazioni in odontoiatria

Secondo Umberto Campaner<sup>1</sup>, preparare un dente a scopo protesico significa asportare tessuti biologici che dovranno essere successivamente reintegrati con un manufatto. I tessuti dentali, infatti, non hanno possibilità di rigenerazione e quindi una volta che essi sono persi per carie, trauma o usura possono essere ripristinati nella forma e nella funzione solo utilizzando dei materiali da restauro. La preparazione dentale è dunque un atto irreversibile, che come tale va ponderato. Una profonda conoscenza e comprensione dei vari criteri da rispettare costituisce un requisito essenziale per lo sviluppo di una preparazione dentaria soddisfacente e competente. La realizzazione di una preparazione ottimale deve trovare un compromesso tra le esigenze biologiche, gli aspetti meccanici e le considerazioni di carattere estetico. Si ricordano questi principi in modo sintetico, essendo fondamentali per realizzare una protesi, essi rappresentano il punto di partenza che può condizionare la scelta delle modalità di cementazione.

# Principi fondamentali per la preparazione protesica

## Principi BIOLOGICI:

- Rispetto della vitalità pulpare (laddove si eseguono preparazioni su denti vitali)
  - La maggior conservazione possibile di tessuto coronale ha indubbiamente dei vantaggi biologici, meccanici, estetici e psicologici<sup>2</sup>. La tecnica di preparazione per corone a giacca, permetteva la ritenzione della corona e contestualmente il mantenimento della vitalità pulpare.
  - Temperature troppo elevate, irritazioni chimiche o microorganismi possono causare una pulpite irreversibile, in modo particolare se agiscono su tubuli dentinali appena sezionati.
  - Pacal Magne nel proprio testo<sup>3</sup> suggerisce una ibridazione immediata della dentina appena preparata mediante applicazione di bonding, al fine di creare un'immediata sigillatura dei tubuli dentinali.
  - La vitalità pulpare viene mantenuta anche attraverso un corretto uso delle frese abrasive diamantate o in carburo di tungsteno.
- Rispetto dei tessuti dei denti adiacenti
  - Gli strati lesi dello smalto sono più inclini alla ritenzione di placca e conseguentemente più suscettibili alla carie.
  - Si può far passare una fresa diamantata sottile e rastremata attraverso l'area di contatto interprossimale, lasciando un leggero "labbro" o "pinna" di smalto da far saltare con strumenti manuali, senza dare luogo ad un'eccessiva riduzione del dente e senza che sia necessario angolare lo strumento rotante secondo direzioni indesiderabili.
  - Si possono utilizzare delle matrici o delle sottili lamine in acciaio bloccate da cunei di legno da applicare sulle superfici interprossimali dei denti adiacenti per ricoprirle e proteggerle .

- Rispetto dei tessuti parodontali superficiali e profondi
  - Molti studi hanno sostenuto l'uso di linee di finitura sopragengivali o iuxta-gengivali, ogni volta che fosse possibile, per assicurare il mantenimento della salute parodontale.
  - Schätzle e collaboratori, hanno sostenuto che i margini sottogengivali sono problematici e dovrebbero essere evitati quando possibile<sup>4</sup>.
  - Un margine sottogengivale dà spesso luogo a una risposta infiammatoria gengivale<sup>5</sup>, che può andare da una lieve infiammazione subclinica a un'infiammazione con segni più marcati come gonfiore, arrossamento, dolore, sanguinamento, tessuti fragili e a volte anche perdita di tessuto osseo.

## Principi MECCANICI:

Devono garantire con la forma geometrica del moncone la ritenzione, la stabilità, la resistenza e la chiusura marginale delle strutture protesiche.

- Ritenzione è la capacità di resistere alla rimozione secondo l'asse di inserimento del restauro singolo o multiplo (carichi verticali).<sup>6</sup>
- Stabilità è la capacità di prevenire il dislocamento dovuto ai carichi orizzontali od obliqui della masticazione.
- Resistenza è riferito allo spessore che i materiali da restauro devono avere per ridurre il rischio di rotture influenzando quindi la riduzione assiale e occlusale dell'elemento preparato.
- Precisione di chiusura marginale è il sigillo tra il restauro protesico e il limite apicale dell'elemento preparato (sia esso una linea o un'area di finitura).

## Principi ESTETICI:

Rappresentano il particolare compromesso tra le esigenze funzionali, le possibilità offerte dai differenti materiali nonché il rispetto delle aspettative del paziente

- La comunicazione con il paziente è fondamentale per far comprendere quali opzioni terapeutiche siano possibili, ma è altrettanto utile al professionista per sapere quali siano le aspettative del paziente. Questo percorso è facilitato dall'odontoiatria digitale che permette di iniziare da una veloce previsualizzazione da condividere con il paziente stesso.
- Il flusso digitale permette poi tra i diversi passaggi di realizzare un mockup con cui il paziente può verificare che il risultato estetico sia confacente alle aspettative e chiedere eventualmente delle piccole modifiche prima di arrivare alla produzione del manufatto definitivo.

## Criteri generali per il recupero funzionale ed estetico dell'elemento danneggiato

La cementazione è la creazione di un legame stabile e duraturo tra il dente e il manufatto, è fondamentale conoscere tutti i substrati che devono essere interconnessi e quali prodotti hanno la capacità di legarli in modo pressoché indissolubile nell'assoluto rispetto biologico. Si devono comprendere le caratteristiche meccaniche e fisiche nonché la precisa struttura sia dell'elemento dentale sia del manufatto protesico e in ultima analisi, ma basilare per raggiungere lo scopo prefissato, devono essere analizzati attentamente la composizione e la reazione essenzialmente chimica di ogni singolo prodotto utilizzato per generare la cementazione adesiva. A tutto ciò si aggiungono la posizione e l'estensione del manufatto protesico, a seconda dell'estensione infatti le preparazioni per protesi fissa si distinguono in preparazione di una parte della porzione coronale dell'elemento dentale (inlay, onlay, overlay) oppure preparazione dell'intera porzione coronale (corona, ponte).

## Preparazioni parziali

Le preparazioni parziali sono quelle che permettono la restitutio ad integrum di un elemento dentale limitando l'area di intervento allo stretto necessario e alla ricostruzione di una sola parte dell'elemento.

Tra le preparazioni parziali si annoverano:

- **INLAY:** indica che la cavità rimane confinata in una zona molto limitata e che la porzione di elemento dentale rimanente conserva la struttura cuspidale naturale.
- **ONLAY:** indica che la cavità si estende a una o più cuspidi; in questo caso la ricostruzione dovrà comprendere le strutture cuspidali mancanti.
- **OVERLAY:** indica che la preparazione è estesa a tutta l'area oclusale senza però interessare le facce mesiali, palato-linguale, distali e vestibolari nella loro completa estensione.
- **FACCETTA:** è caratterizzata da una struttura sottile che ricopre la faccia vestibolare degli elementi dentali, in particolare nel gruppo frontale.
- **ENDOCROWN:** è rappresentata da una ricostruzione parziale monolitica che sostituisce la componente coronale distrutta.

Detto ciò si pone il dilemma di come realizzare la restitutio ad integrum, due sono le strade possibili: ricostruzioni dirette in composito oppure manufatti realizzati in laboratorio, ricostruzioni indirette.

## Scelta tra tecnica diretta o tecnica indiretta

Secondo Sandro Pradella<sup>7</sup>, valutando la letteratura in proposito, il primo criterio che viene valutato nella scelta tra restaurare una cavità con tecnica diretta o con tecnica indiretta è l'ampiezza della cavità<sup>8</sup>. Inoltre a sfavore della tecnica diretta ci sono dei dati che evidenziano una minima contrazione post polimerizzazione da sommare a quella del 2 - 3% che si ha durante la polimerizzazione dei vari strati<sup>9</sup>. Si può tranquillamente ovviare alla prima contrazione facendo l'ultima polimerizzazione coprendo tutto il restauro con gel di glicerina che favorisce la chiusura dei legami superficiali, riducendo così la contrazione da post polimerizzazione<sup>10</sup>.

La seconda contrazione è una caratteristica propria dei materiali compositi ed è presente sia che vengano utilizzati con tecnica diretta che con tecnica indiretta; la percentuale può variare in più o in meno a seconda della tipologia dei materiali usati e del loro punto di gel: un composito con un punto di gel anticipato indurrà maggiore stress, che si ripercuoterà direttamente sui margini della cavità<sup>11</sup>.

La tendenza attuale delle aziende produttrici è quella di fornire compositi con minore contrazione volumetrica, maggiore resistenza superficiale e caratteristiche ottiche simili a quelle dei tessuti naturali del dente.

I criteri di scelta clinici sono anche accompagnati da altri elementi di giudizio che possono derivare non solo dalla conoscenza della letteratura. Pallesen, in un lavoro retrospettivo a 11 anni del 2003<sup>12</sup>, ha verificato la sostanziale sovrapposizione dei risultati a lungo termine tra restauri estesi realizzati con tecnica diretta rispetto a quelli realizzati con tecnica indiretta: non esistono quindi evidenze eclatanti sulla migliore qualità degli uni rispetto agli altri.

Di diverso parere è Krejci<sup>13</sup>, il quale, nel 1998, afferma che la durata nel tempo delle ricostruzioni indirette in composito può apparire migliore

rispetto a quella ottenuta con tecniche dirette, grazie al fatto che la realizzazione in laboratorio determina una maggiore chiusura dei legami in seguito all'utilizzo per l'ultimo indurimento di speciali forni che hanno un'alta potenza luminosa abbinata al calore e al vuoto per ottenere una specie di tempra superficiale del composito<sup>14</sup>. Questi studi hanno però il difetto di basare le loro conclusioni su risultati derivanti dall'utilizzo di materiali, sia per i restauri diretti che per quelli indiretti, che allo stato attuale sono obsoleti o addirittura non più in commercio da tanto tempo.

Un dato incontrovertibile è che le migliori caratteristiche per resistenza superficiale e durata nel tempo si ottengono senza dubbio con i materiali ceramici<sup>15</sup>.

A margine di queste indicazioni derivanti da studi longitudinali possiamo però anche ricondurre l'analisi sul caso singolo o sull'insieme delle cavità contigue da restaurare.

Tra gli elementi che possono far propendere per l'esecuzione di un restauro indiretto possiamo selezionare nell'ordine:

- ampiezza delle cavità;
- cuspidi non sostenute;
- assenza delle creste marginali;
- ricostruzione post-trattamento endodontico;
- livello di impegno funzionale del dente da trattare
- capacità dell'operatore;
- estetica;
- contiguità dei restauri.

**Ampiezza delle cavità.** Quando l'ampiezza della cavità arriva a interessare una o più cuspidi, di solito si applica una tecnica indiretta perché si ritiene che solo con questa tecnica si possa ottenere un risultato finale ottimale<sup>16</sup>.

**Cuspidi non sostenute.** È stato da più parti dimostrato che le cuspidi non sostenute da almeno 2 mm di dentina sono molto più fragili. Questo criterio deve in modo particolare essere applicato a quelle cuspidi che sono maggiormente impegnate dal punto di vista funzionale, ma, contrariamente al pensiero comune che siano le cuspidi di centrica le più importanti, secondo lo schema della "Bussola occlusale di POLZ"<sup>17</sup>, le cuspidi più impegnate dal punto di vista funzionale sono quelle di taglio dove avviene l'85% degli atti masticatori, per esemplificare le disto-linguali dei molari inferiori e le mesio-vestibolari dei molari superiori, dando così una spiegazione all'evidenza clinica che sono le cuspidi più soggette a fratture, confermato anche dalla bibliografia<sup>18</sup>.

**Assenza delle creste marginali.** Questa situazione clinica rende più flessibili le pareti vestibolari e/o linguali/palatali sia dei molari che dei premolari a causa della perdita di connessione con la cuspidi controlaterale. È chiaro che questa condizione è molto aggravata quando entrambe le creste marginali sono coinvolte o, addirittura, mancanti<sup>19</sup>.

**Ricostruzione post-trattamento endodontico.** Un tempo questa condizione dell'elemento dentale forniva un'indicazione assoluta alla ricostruzione indiretta con ricoprimento cuspidale; allo stato attuale delle cose non vi è sempre l'indicazione a ricorrere a questa metodologia di ricostruzione. Infatti, i nuovi materiali e le corrette tecniche adesive permettono di stabilire delle connessioni con i tessuti duri dentali che, fino a poco tempo fa, non erano possibili, utilizzando materiali per il restauro quali l'amalgama d'argento, l'oro o i cementi vetroionomerici<sup>20</sup>.

**Livello di impegno funzionale del dente da trattare.** Alcuni elementi dentali – per posizione in arcata, come il canino, o per morfologia del

tavolato occlusale, come i molari – ricevono durante l'atto masticatorio sollecitazioni enormemente maggiori rispetto ad altri. Conseguentemente, sebbene siano dotati di radici che li rendono più idonei a questo compito, una maggiore attenzione deve essere loro riservata nelle metodiche ricostruttive, preferibilmente indirette, al fine di verificare a priori, fuori dalla cavità orale, gli eventuali carichi in posizione centrica e in lateralità.

**Capacità dell'operatore.** L'impiego di tecniche dirette comporta una competenza non comune, finalizzata a ottenere un risultato ottimale dal punto di vista del colore, della forma e della funzione. Pertanto, nei casi in cui le difficoltà siano elevate, come ad esempio nelle ricostruzioni cuspidali o nel ripristino di margini cervicali particolarmente complessi, sarà preferibile optare per una metodica indiretta.

**Estetica.** La necessità di ottenere un risultato estetico elevato è di riscontro comune nella pratica quotidiana; in aggiunta, quando si propone questa tipologia di restauro i pazienti si aspettano un risultato finale perfetto, sotto tutti i punti di vista. È evidente che confezionare in laboratorio un manufatto ineccepibile sia molto più semplice e riproducibile.

**Contiguità dei restauri.** È facilmente intuibile come nel caso di restauri contigui la necessità di ottenere dei punti di contatto idonei, sia come forma che come forza, sia più semplice da raggiungere con una tecnica indiretta, in quanto, con la tecnica diretta bisogna essere perfettamente in grado di riprodurre questa parte così importante con l'utilizzo delle matrici e dei sistemi di espansione degli spazi interprossimali. Questo è difficile non tanto per la riproduzione della forma, che attualmente viene facilitata dall'utilizzo delle matrici sezionali, ma soprattutto per la realizzazione del punto di contatto che deve essere performante come tra i denti naturali. Il

contemporaneo utilizzo delle matrici e dei sistemi di espansione, come ad esempio cunei di legno, anellini espansori ecc., richiede una notevole abilità dell'operatore e padronanza della tecnica.

# Ricostruzione diretta

## Vantaggi

La ricostruzione diretta, grazie all'introduzione dei sistemi adesivi, richiede la sola rimozione del tessuto cariato senza la necessità di creare cavità ritentive, questa è la modalità di intervento più conservativa quindi più ampiamente rispondente al concetto di minimal invasion.

La ricostruzione diretta richiede un numero ridotto di sedute.

- Prima seduta:
  - asportazione del tessuto cariato;
  - preparazione della cavità;
  - posizionamento della diga in gomma;
  - applicazione del sistema adesivo, stratificazione e polimerizzazione del materiale composito e rifinitura.
- Seconda seduta:
  - controllo e lucidatura.

La ricostruzione diretta in composito ha in linea di principio un costo per il paziente relativamente basso e permette riparazioni o rifacimenti parziali o totali.

## Svantaggi

La ricostruzione diretta presenta un grosso limite: la difficoltà di controllo della contrazione da polimerizzazione. Questa cambia da materiale a materiale in funzione del rapporto quantitativo fra riempitivo e matrice organica nonché dal livello di polimerizzazione che si ottiene con l'esposizione alla luce. Maggiore è la potenza della lampada fotopolimerizzatrice, maggiore è la profondità di attivazione della reazione e più alto risulta essere il livello di polimerizzazione ottenuto alla poltrona. Attenzione però, la lunghezza d'onda di emissione della lampada deve essere in linea con quella richiesta dal principale attivatore contenuto nel materiale

composito. Quindi potenza e lunghezza d'onda risultano parametri fondamentali.

Non bisogna dimenticare che la completa conversione del materiale composito avviene nelle 24-48 ore successive alla seduta.

Nonostante la ricerca abbia portato alla produzione di sistemi adesivi e materiali compositi sempre più performanti, sussistono ancora delle problematiche: la possibile formazione di gap, le discolorazioni marginali, l'insorgenza di fratture o di carie secondarie nonché un limite nella durata delle ricostruzioni soprattutto se realizzate in zone sottoposte a carichi masticatori<sup>21</sup>.

La ricostruzione diretta è operatore dipendente.

## Ricostruzione indiretta

La ricostruzione indiretta prevede che l'operatore asporti la porzione di tessuto danneggiato dell'elemento dentale nonché tutto il tessuto dentale non sostenuto, preparando una cavità in cui poter inserire un manufatto di alta precisione. Mediante impronta (analogica o digitale), forma e dimensione della preparazione vengono inviate al laboratorio che realizzerà il manufatto. Quest'ultimo, dopo adeguata prova, sarà cementato nella cavità preparata.

### Vantaggi

La ricostruzione indiretta è una procedura minimamente invasiva<sup>22</sup>. La ricostruzione indiretta prevede che la porzione di elemento dentale mancante preparata sia sostituita da un manufatto che viene realizzato fuori dal cavo orale semplificandone la preparazione. Questo garantisce la precisione del manufatto in ogni sua parte<sup>23</sup>.

Permette di scegliere essenzialmente tra due materiali: disilicato di litio o composito. Il primo è molto performante in termini di resistenza all'usura, ma risulta essere più fragile pur nel rispetto degli spessori minimi che sono comunque maggiori di quelli richiesti dal composito.

I restauri in ceramica mostrano una discrepanza marginale significativamente maggiore rispetto a quelli in composito<sup>24</sup>. Quest'ultimo utilizzato in laboratorio offre caratteristiche simili, ma non sovrapponibili; due fattori permettono di raggiungere caratteristiche fisiche di alto il livello che ne permettono l'applicazione in questo tipo di situazioni:

- Possibilità di fotopolimerizzare il manufatto in ogni suo punto che garantisce un livello di conversione molto più alto di quello ottenuto alla poltrona aumentandone le caratteristiche fisiche, ma soprattutto permettendo che la contrazione da polimerizzazione si sviluppi al di fuori

del cavo orale senza generare tensioni e gap marginali.

- Possibilità di utilizzare lampade fotopolimerizzatrici ad alta potenza che, oltre all'energia luminosa emessa nella corretta lunghezza d'onda, producono calore favorendo la polimerizzazione.

Rispetto alle ceramiche il composito richiede spessori inferiori a favore della "minimal invasion", presenta un modulo elastico molto vicino a quello della dentina, è meno fragile, limita la necessità di trattamenti endodontici e permette riparazioni o rifacimenti nel tempo<sup>25</sup>.

La ricostruzione indiretta garantisce la possibilità di correzione prima della cementazione e di riparazione nel tempo quando realizzata con materiale composito.

Per quanto attiene alla sopravvivenza delle ricostruzioni indirette abbiamo testimonianza da parte di numerosi autori, tra questi spicca il recente lavoro longitudinale a 12 anni su 113 restauri indiretti in composito di G. Derchi, V. Marchio, V. Lanteri, M. Ozcan, A. Barone<sup>26</sup> che riporta un valore pari all'88% di restauri in buone condizioni.

Si consideri che la moderna odontoiatria offre la possibilità di ottenere manufatti con tecnica cad-cam sia con materiali ceramici sia con compositi a garanzia di massima precisione.

### Svantaggi

La ricostruzione indiretta necessita di tempi operativi più lunghi:

- preparazione della cavità e impronta se non si è reso necessario un build-up, nel caso in cui fosse necessario si richiede una seduta in più per la presa d'impronta a polimerizzazione completata
- realizzazione del manufatto;

- seduta di prova del manufatto;
- seduta di cementazione;
- seduta di controllo.

La ricostruzione indiretta ha costi più elevati.

## Indicazioni di scelta tra diretta o indiretta

Le preparazioni parziali per ricostruzione indiretta rappresentano una preziosa alternativa alle ricostruzioni dirette in composito, ma soprattutto una modalità ricostruttiva per cavità estese. La valutazione che il professionista deve fare nella proposta è l'estensione e la profondità della cavità preparata nei diatorici.

A tal proposito la letteratura ci fornisce importanti indicazioni.

È ormai accettato il concetto che le ricostruzioni dirette in composito su elementi diatorici dovrebbero essere limitate alle piccole e medie cavità nelle aree intracoronali<sup>27</sup>. Il risultato di un trial clinico randomizzato sulla ricostruzione cuspidale in composito, analizzando l'efficacia e il tempo di realizzazione, concludono che nel breve tempo richiesto, sia le ricostruzioni dirette sia le indirette in composito sono adeguate alla restituzione della morfologia e della funzione di premolari con cavità di II classe con perdita di una cuspid<sup>28</sup>.

La letteratura concorda oggi sul fatto che le ricostruzioni indirette a copertura cuspidale di cavità mesio-occluso-distali nel tempo risultano essere più resistenti alle fratture rispetto alle ricostruzioni dirette<sup>29</sup>.

I restauri indiretti hanno dimostrato un ben più alto successo (97,4%) dopo 3 anni. Sia il formato delle restaurazioni sia il tipo di dente non hanno interessato significativamente il risultato clinico delle stesse<sup>30</sup>.

I restauri indiretti in composito, mostrano un minor attecchimento di placca rispetto ai restauri diretti<sup>31</sup>.

## Preparazione della cavità per ricostruzioni indirette

Come già detto l'analisi dello stato dell'elemento da riabilitare determina la scelta fra un inlay, un onlay o un overlay.

Bottacchiari<sup>32</sup> suggerisce di decidere quale tipo di ricostruzione sia realizzabile solo dopo la rimozione completa del tessuto danneggiato previo esecuzione di un'attenta valutazione della quantità e qualità della struttura residua del dente.

- INLAY: in mancanza di una o due creste marginali, in presenza di uno spessore amelo-dentinale sufficiente a sostenere le cuspidi, si prepara una cavità di II classe MO/OD/ MOD senza ricopertura cuspidale.
- ONLAY: in mancanza di una o più creste marginali, in presenza di uno spessore amelo-dentinale inferiore a 1,5/2 mm (dente vitale) e di 3 mm (dente trattato endodonticamente), si predispone una ricopertura totale della cuspidi in oggetto.
- OVERLAY: in mancanza di una o più creste marginali nonché di 2 o più cuspidi non sostenute da smalto e in presenza di un dente trattato endodonticamente, si predispone una ricopertura totale di tutte le cuspidi.

Una ricostruzione indiretta parziale permette:

- un approccio conservativo;
- non necessita la ricerca di una forma ritentiva;
- la sola rimozione del tessuto danneggiato;
- la conservazione dello smalto periferico.

Percorriamo in modo sintetico ciò che la letteratura<sup>33</sup> indica essere l'analisi biomeccanico-strutturale della sostanza sana residua dell'elemento da valutare per raggiungere un risultato di alto profilo nella ricostruzione parziale:

- profondità e ampiezza dell'istmo (dentina interassiale);
- assenza o presenza della camera pulpare (tetto della camera pulpare);
- integrità o meno delle creste marginali;
- spessore amelo-dentinale cuspidale.

Gli stessi autori suddividono gli elementi sopra citati in base alla loro posizione definendo centrali la dentina interassiale e il tetto della camera pulpare e periferici, le creste marginali e il residuo cuspidale.

**Dentina interassiale.** È la continuazione cervico-occlusale del tetto della camera pulpare. È presente nei denti vitali; unisce la parete vestibolare a quella linguale. Rappresenta l'elemento strutturale più importante in quanto la sua presenza rappresenta una riduzione del rischio che le altre strutture residue possano incorrere in fratture<sup>34</sup>. Valutando la dentina interassiale residua si ricordi che una maggior profondità porta a un maggiore indebolimento strutturale rispetto a una maggior ampiezza<sup>35</sup>.

- Non è importante la larghezza ma il controllo della profondità.
- Aumentando di 2 volte la profondità dell'istmo si aumenta di 8 volte la deflessione cuspidale.
- La dentina interassiale viene totalmente persa nel dente trattato endodonticamente.

**Tetto della camera pulpare.** È sempre presente nei denti vitali, viene a mancare negli elementi trattati endodonticamente. Già nel 1989 Reeh e collaboratori<sup>36</sup> stabiliscono che un dente devitale che presenti la sola apertura della camera pulpare e che abbia quindi conservato le creste marginali (perdita di resistenza del 5%), è più resistente di un dente vitale che abbia perso una o entrambe le creste marginali (perdita di resistenza rispettivamente del 35% e del 55%).

- La sua mancanza se non è associata alla perdita di una o entrambe le creste marginali, non interferisce nella qualità biomeccanico-strutturale.
- Il mantenimento di una cresta marginale, per la conservazione di una certa quota di dentina interassiale, aumenta la resistenza del restauro.
- L'entità della deformazione cuspidale è dipendente dalla profondità e dallo spessore della base del residuo cuspidale.

**Creste marginali.** Si è già descritto cosa possa determinare la presenza o l'assenza delle creste marginali, aggiungiamo quanto dimostrano Mondelli e Larson<sup>37</sup> riportando che l'assenza della cresta marginale, se presente nella sua interezza l'istmo occlusale, non porta indebolimento della struttura residua. Viceversa, come abbiamo detto in precedenza, l'assenza della sola dentina interassiale riduce drasticamente la resistenza della struttura. È conseguenza di tutto ciò che in assenza di cresta marginale e di dentina interassiale l'indebolimento della struttura è particolarmente elevato.

La perdita di una cresta marginale si traduce nella presenza di un box con tre valori dimensionali da controllare: profondità occluso-cervicale, profondità mesio-distale e ampiezza vestibolo-linguale. Per quanto già sappiamo i primi due parametri incidono sulla quantità di dentina interassiale residua, quindi a valori maggiori corrispondono indebolimenti più importanti della struttura<sup>38</sup>.

**Spessore cuspidale.** La dimensione dello spessore residuo cuspidale risulta essere dipendente dalla cresta marginale adiacente e assolutamente indipendente dalla cuspidale adiacente<sup>39</sup>. Questa verifica diviene fondamentale per stabilire se conservare o abbattere una cuspidale in fase di preparazione della cavità. Hood<sup>40</sup> fornisce una valutazione numerica che rappresenta sicuramente un valido aiuto. Fermo restando che più aumenta la profondità della base della struttura residua cuspidale, più deve crescere il

suo spessore per mantenere costante la deflessione, si tenga come riferimento uno spessore di 2 mm in un dente vitale e di 3 mm per un dente devitale.

**Build-up.** Qualora l'elemento dentale si presenti particolarmente distrutto o la preparazione non permetta di rispettare in parte i criteri descritti precedentemente, si rende necessario ricostruire le porzioni di dente mancanti prima di poter procedere alla rilevazione di impronta per la realizzazione del manufatto.

Oltre ciò per poter facilitare la realizzazione del manufatto e il suo posizionamento nella cavità quest'ultima deve presentare superfici lisce e continue. Tali interventi prendono il nome di build-up, generalmente prodotto con materiali compositi flow in cavità di media estensione per rendere più efficace il gradiente di elasticità riducendo del 20-50% lo stress da contrazione da polimerizzazione<sup>41</sup>. In grandi cavità si utilizzano una base di composito flow e una ricostruzione con un microibrido per rendere uniforme la cavità, ma soprattutto per garantire che il manufatto abbia spessori inferiori ai 3 mm per permettere in fase di cementazione la polimerizzazione del cemento stesso<sup>42</sup>.

La scelta di utilizzo della tecnica di build-up prende spunto dalla valutazione delle situazioni pulpare, occlusale e parodontale considerando che:

- realizzare un build-up significa ricostruire e quindi essere conservativi della porzione di dente residua;
- con un build-up si protegge la dentina. Infatti, in prima seduta è possibile sigillare la dentina appena preparata come indicato da P. Magne<sup>43</sup>. L'ibridazione dentinale protegge da infiltrazioni batteriche e riduce la sensibilità dentinale a favore di un maggior comfort del paziente. Il posizionamento di materiale composito utilizzato per il build-up ha in

questo senso la funzione di creare un'ulteriore barriera protettiva della dentina;

- la realizzazione di un build-up, come sopra descritto, risulta essere di conseguenza protettiva della polpa;
- la realizzazione di un build-up permette di valutare e controllare in ogni punto gli spazi a disposizione del manufatto. Nel rispetto degli spessori minimi necessari al materiale prescelto per la ricostruzione questi dovranno presentarsi il più uniformi possibile.

Dopo aver appreso i concetti principali in modo discorsivo è doveroso trasformarli in numeri. Seguiamo l'esperienza di S. Bottacchiari<sup>44</sup> che perfeziona, motiva e rende clinicamente evidenti i suggerimenti contenuti nel testo redatto da H.T. Schillinburg già nel 1976 e aggiornato con ulteriori 3 edizioni fino al 2012.

La profondità della preparazione deve essere di almeno 1,5 mm in modo da garantire uno spessore del manufatto sufficientemente resistente ai carichi masticatori. Tale misura è indicativa e richiede di essere rivista in funzione del materiale con cui sarà realizzato il manufatto, nel rispetto dello spessore di dentina assiale disponibile. Si ricordi sempre che l'aumento della profondità porta a un incremento proporzionale alla deflessione cuspidale: raddoppiare il valore equivale a moltiplicare di otto volte la deflessione. Allo stesso modo l'istmo dovrà essere largo almeno 2 mm.

La preparazione per una ricostruzione indiretta prevede che le pareti e il fondo della cavità siano lisce per permettere un'adeguata rilevazione di impronta e una corretta inserzione del manufatto. Per le stesse ragioni le pareti verticali dovranno essere divergenti in senso apico-coronale con inclinazione compresa tra i 10° e i 15° mentre l'angolo del margine cervicale deve essere di 90°.

Al termine della preparazione si devono controllare i margini, devono essere netti ed è fondamentale la rimozione dei prismi di smalto non sostenuti in ogni parte della preparazione.

Quando sia necessaria una ricopertura cuspidale, la preparazione prevede un taglio netto privo di forme ritentive che segue l'inclinazione cuspidale con l'asportazione di almeno 2 mm per le cuspidi di taglio e 1,5 mm per quelle di stampo.

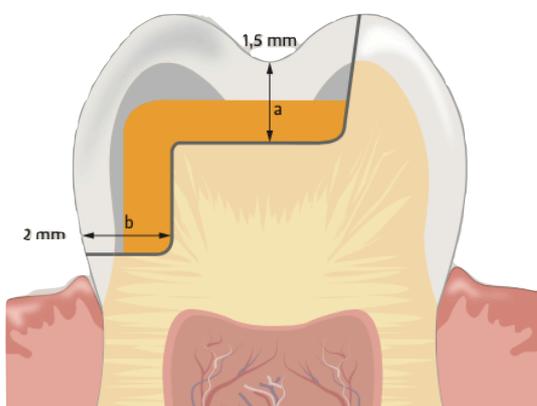


Foto 1.1 Valori minimi della preparazione per ricostruzioni indirette

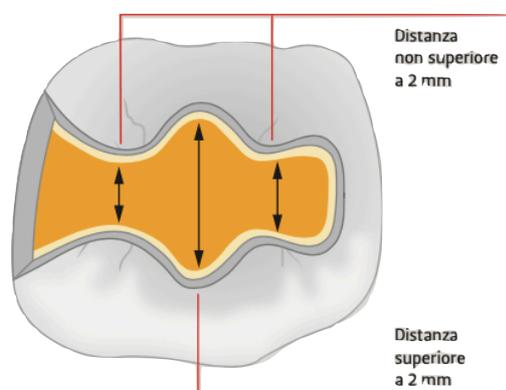


Foto 1.2 Valori minimi e massimi della preparazione per ricostruzione indiretta.

Abbiamo considerato le preparazioni per elementi in cui il danno invade la porzione coronale, nel caso in cui quest'ultimo si estenda al terzo medio e cervicale si rende necessario il cerchiaggio delle cuspidi nonché la rilocazione del margine cervicale con una riduzione della distanza occluso-assiale. Ridotte le cuspidi, rimosso tutto il tessuto compromesso e verificato

che non ci siano prismi smaltei non sostenuti, si realizza un bild-up allo scopo di ottenere un'anatomia adatta al restauro parziale indiretto.

Come detto nei casi in cui un margine della preparazione si trovi in posizione sotto-gengivale, una delle possibilità è la ricollocazione sopra-gengivale del margine stesso. Questo si ottiene tramite l'applicazione di appropriati incrementi di composito sul margine esistente<sup>45</sup>. Seconda alternativa, in base ai fattori diagnostici esistenti, è l'apicalizzazione dei tessuti duri e molli con l'esposizione del margine dentinale.

## INLAY

La prima parte da creare sono i box interprossimali che prevedono per prima cosa la rimozione del punto di contatto. Si usa una fresa conica di piccolo diametro e si parte dalla superficie vestibolare per poi arrivare alla superficie palatale o linguale lasciando una piccola porzione di smalto mesiale o distale che si farà poi saltare con uno scalpello o un tagliasmalto; tutto questo per non ledere lo smalto del dente adiacente a quello da preparare.



Realizzazione dell'istmo di collegamento tra i due box. Deve avere una profondità di

almeno 2 mm rispetto alla profondità del solco centrale, ma si deve porre attenzione a non abbassarlo troppo per non entrare in camera pulpare (non deve essere all'altezza del pavimento del gradino dei box interprossimali). L'istmo deve avere come minimo una larghezza di  $1/3$  della distanza tra la sommità delle cuspidi.

Il posizionamento del gradino cervicale dei box interprossimali si determina alla fine della rimozione del processo carioso o dei restauri precedenti, prevedendo in caso di notevole estensione dei precedenti, la rilocazione del margine<sup>46</sup> da eseguirsi durante la fase del build-up.

Le dimensioni del box devono essere di almeno 4 mm in senso vestibolo-palatale-linguale, 4 mm in senso cervico-incisale, e di almeno 1,5 mm di profondità a livello cervicale.

La rifinitura finale va fatta con frese diamantate a grana fine, di forma conica, di largo diametro con la testa piatta e l'angolo arrotondato in modo da conferire la giusta conicità (circa  $4/6$  gradi) alle pareti dell'intarsio, senza sottosquadri e la presenza di un pavimento piatto su cui alloggerà la base del nostro intarsio. Per i margini, questa fase viene sicuramente facilitata

dall'utilizzo di inserti diamantati da montare su manipoli a ultrasuoni. Questi, avendo una superficie non diamantata da appoggiare al dente vicino, ci consentono di finalizzare la cavità in modo molto semplice e sicuro prevenendo danni allo smalto dei denti adiacenti, cosa che abitualmente capita quando si utilizzano gli strumenti rotanti in special modo quando la distanza tra un dente e l'altro è molto ridotta; solitamente sono uno per il box mesiale e uno per il box distale.

## ONLAY

Gli onlay prevedono il coinvolgimento nella preparazione di una o due cuspidi che vengono abbattute perché non adeguatamente sostenute.

Le fasi di impostazione sono uguali a quelle per l'inlay, ma alla fine, dopo l'abbattimento della o delle cuspidi, si può realizzare vestibolarmente o lingualmente una spalla che viene posizionata solitamente allo stesso livello del gradino cervicale mesiale o distale, ma non è errato nemmeno posizionarla a un livello più incisale.

Il problema che si evidenzierà dopo la cementazione è la non completa integrazione cromatica che si nota nel passaggio tra la porzione residua di dente e il manufatto. La rifinitura della cavità avviene con le stesse modalità e strumenti descritti per le cavità da inlay.



## OVERLAY

Gli overlay prevedono il ricoprimento di tutte o quasi le cuspidi; questa evenienza si rende necessaria quando vi siano denti particolarmente distrutti, ma che mantengano una loro integrità nella zona cervicale subequatoriale, evenienza che consente il posizionamento della spalla circolare tutta allo stesso livello oppure nella zona mesiale e distale, la realizzazione dei box, con un gradino più basso. La presenza di questi ultimi o il permanere di una cuspidi consente in fase di cementazione un più rapido e sicuro posizionamento a fine corsa dell'overlay.

Nella preparazione dell'overlay la partenza deve essere dal solco centrale con una fresa a palla di diametro noto di 2 mm che deve essere affondata per l'intera dimensione; poi partendo da questo punto si asporteranno le porzioni occlusali delle creste triangolari che terminano nel solco centrale tenendo la fresa inclinata come lo sono le creste triangolari prima della loro asportazione, e le asporteremo della stessa quantità del solco centrale. Con questo metodo ci garantiremo di avere asportato la quantità corretta di dente, o build-up, per ottenere un manufatto con gli spessori corretti a livello occlusale. Dopo questa fase si procede alla realizzazione della spalla circolare, con o senza box come sopra descritto. Si finalizza il tutto con una fresa diamantata a grana fine della stessa forma di quella che abbiamo usato per impostare la spalla, avendo cura di rifinire anche la superficie occlusale. I solchi del dente preparato devono avere lo stesso andamento di quando la superficie occlusale non era preparata e, soprattutto, la sommità delle cuspidi preparate deve essere perpendicolarmente al di sotto di quelle non preparate, il tutto per dare una forma tale da garantire l'uniformità di spessore del manufatto soprastante che verrà fissato in seguito.

## Scelta del materiale da restauro

Terminata la fase preliminare di valutazione del dente residuo, è bene fare una valutazione generale su quelli che sono gli elementi determinanti la buona riuscita di un restauro indiretto, primo tra tutti il materiale con cui costruire il manufatto in laboratorio. Per lungo tempo si è discusso su quale fosse il miglior materiale con cui realizzare gli intarsi; vari autori hanno prodotto lavori scientifici<sup>47</sup> che corroborassero la scelta dell'uno o dell'altro. Allo stato attuale delle cose, è bene fare alcune ulteriori considerazioni. La scelta del materiale da restauro va fatta pensando alla salvaguardia nel tempo dello strato adesivo (strato ibrido) che, come dimostrato da varie ricerche<sup>48</sup>, potrebbe venire compromesso se il materiale è troppo rigido, come descritto da Lutz e Krejci nel 1998<sup>49</sup> che affermano: "Un inlay/onlay in ceramica assorbe poco lo stress occlusale. Di conseguenza gli stress meccanici vengono trasferiti alla interfaccia adesiva e si possono osservare fratture dello smalto lungo i margini dei restauri, in maggior numero se il restauro è in ceramica".

Altri autori, come Magne e Belser nel 2003<sup>50</sup>, sostengono che questo avviene quando il restauro è troppo elastico: "L'entità delle tensioni di interfaccia a livello dentinale aumentano con l'aumentare della flessibilità dei materiali da restauro. I denti restaurati con composito (di vecchia concezione) evidenziano un aumento della flessibilità coronale, mentre quelli restaurati con ceramica evidenziano un aumento della rigidità".

I materiali attualmente disponibili hanno subito un'evoluzione positiva in merito alla durezza superficiale, in quanto i compositi nanoriempiti presentano una durezza Vickers superficiale che è di circa 150 N/mm<sup>2</sup>, rispetto ai 40-50 N/mm<sup>2</sup> dei precedenti, e una drastica riduzione dell'elasticità.

Le nuove ceramiche hanno diminuito il loro grado di durezza superficiale passando dagli iniziali 700 N/mm<sup>2</sup> agli attuali 540 N/mm<sup>2</sup> e contemporanea riduzione della rigidità.

La scelta del materiale più adatto per la realizzazione dell'intarsio viene frequentemente condizionata dal singolo professionista, che seguendo abitudini consolidate decide per l'uno o per l'altro materiale, scegliendo a volte anche quello più di moda in quel momento.

La scelta ragionata deve basarsi sulle effettive caratteristiche fisico-meccaniche del materiale e sulle possibilità di verificarne la precisione, l'occlusione, la funzione e il colore, per ottenere un risultato duraturo nel tempo, dal punto di vista sia estetico che funzionale. Facendo un esempio pratico la decisione di utilizzare una ceramica che possa essere provata prima della cementazione rispetto a una che si debba fissare definitivamente prima di fare qualsiasi modifica, fa già propendere per la prima. Alla luce di queste premesse, nella tabella <sup>151</sup> sono elencati i vantaggi e gli svantaggi dei materiali con cui è possibile realizzare l'intarsio.

<b>Materiale</b>	<b>Modulo di Young</b>	<b>Durezza superficiale</b>	<b>Tenacità</b>	<b>Prova in cavità</b>	<b>Prova in occlusione</b>
<b>Composito</b>	120 MPa	40-150 N/mm <sup>2</sup>	0,9	Sì	No
<b>Ceramica feldspatica</b>	90 MPa	660 N/mm <sup>2</sup>	1,3	No	No
<b>Ceramica rinforzata con leucite</b>	140 MPa	700 N/mm <sup>2</sup>	3,2	Sì	No
<b>Disilicato di litio</b>	420 MPa	590+/-50 N/mm <sup>2</sup>	3,9	Sì	Sì

Tabella 1 - Vantaggi e svantaggi dei materiali per intarsio

**Composito.** Facendo preparare l'intarsio dal tecnico sul modello in gesso con composito da fotopolimerizzare, i modelli master dovrebbero essere realizzati con gesso extra duro di classe IV, in quanto risulta essere perfettamente isolabile e consente, alla fine della lavorazione, un facile distacco del manufatto. Le fasi di realizzazione prevedono la spaziatura con lacche di spessore noto (50 micron), poi si inizia a posizionare sulla

preparazione uno strato di composito flow che garantisce una perfetta adesione al fondo di cavità, ma che non deve essere messo sul bordo di chiusura. Dopo la polimerizzazione si procede a incrementare con strati successivi prima di dentina, poi di smalti e infine gli effetti.

A ogni incremento si deve polimerizzare per far sì che gli strati più interni non si spostino e solo alla fine si ricopre il tutto con del gel di glicerina e si fa una polimerizzazione cosiddetta di tempera in quanto il manufatto viene posizionato all'interno di speciali fornelli che hanno una potenza radiante molto alta accompagnata anche da una componente di calore che favorisce la chiusura dei legami. Finita questa fase si passa alla fase di adattamento, che deve portare al risultato di un intarsio che chiuda perfettamente su tutto il perimetro, poi si conclude con la lucidatura di tutte le superfici eseguita a banco con degli speciali gommini che usati in successione dapprima lisciano, poi lucidano e infine brillantano. Questi due delicatissimi passaggi, solitamente vengono fatti con l'ausilio dello stereo microscopio per far sì che con la prima fase si raggiunga un'ottima chiusura che non deve essere persa con la seconda.

**Ceramiche feldspatiche.** Altro non sono che le comuni ceramiche per la tecnica metallo-ceramica. Questi materiali sono considerati ad oggi i più performanti dal punto di vista del risultato estetico, per meglio dire i più mimetici, ma per quanto riguarda il grado di resistenza alla flessione (modulo di Young) sono in assoluto i peggiori. Infatti si fermano a un valore di soli 90 MPa.

Per la realizzazione a mano di intarsi con le ceramiche feldspatiche, vi è la necessità della duplicazione dei monconi con materiale refrattario. Questi duplicati devono poter prendere il posto dei monconi nel modello maestro e, su questi duplicati, vengono stratificate con la medesima procedura, le stesse masse utilizzate per la metallo-ceramica. Questa metodica è molto

difficile e richiede tecnici molto esperti in quanto l'intarsio o l'onlay non si possono staccare dal moncone di refrattario fino alla fine della stratificazione e della cottura in forno; ma richiede anche clinici molto capaci, perché si trovano nell'impossibilità, vista la grande fragilità dei manufatti, di eseguire qualsiasi tipo di controllo prima della cementazione definitiva che conferisce agli intarsi una buona robustezza finale tale da consentire ritocchi, funzionalizzazioni e lucidatura.

**Ceramiche rinforzate con leucite.** L'odontotecnico Svizzero Arnold Wohlwend ha creato la sistematica per pressare questo tipo di ceramica, fornita sotto forma di cilindretti presinterizzati di diversi colori e trasparenze, all'interno di un cilindro da fusione simile a quelli per le fusioni del metallo. In pratica per la prima volta nella storia dell'odontoiatria per realizzare una ceramica integrale si utilizza una tecnica di fusione a cera persa e non più quella su moncone di refrattario o, come in passato, su foglia di platino. Questa metodica viene messa sul mercato dentale italiano nel 1991 ed evidenzia immediatamente alcuni grandi vantaggi:

- questo materiale privo di metallo di supporto ha un effetto camaleontico straordinario, in special modo sui monconi dei denti vitali;
- la resistenza alla flessione è di 140 MPa contro i 90 MPa di quella feldspatica;
- si può provare in cavità prima della cementazione, ma non si può provare in occlusione;
- il tecnico modella in cera i manufatti da realizzare e la precisione marginale di questa ceramica pressofusa è direttamente proporzionale alla precisione che il tecnico ha ottenuto con la cera;
- si possono anche realizzare intarsi o corone complete da ultimare con una colorazione superficiale. Questa possibilità ha il grossissimo vantaggio di eliminare completamente l'incognita della contrazione da cottura delle

ceramiche che vengono stratificate, diminuendo così le difficoltà per ottenere forme dentali corrette e in particolare a livello occlusale diventa molto semplice creare dei corretti piani di masticazione e ottenere dei punti di contatto nelle posizioni desiderate. Tutto ciò grazie al fatto che qualsiasi forma venga data, mediante la modellazione, alla cera, verrà esattamente riprodotta in ceramica.

Unico svantaggio che presenta questo materiale è la possibilità di realizzare solo elementi singoli.

**Ceramiche a base di disilicato di litio.** Questa tipologia di materiale viene introdotta sul mercato alla fine del 1998. Presenta tutte le caratteristiche di base che abbiamo prima descritto per la categoria precedente, ma con in più quasi un raddoppio della resistenza alla flessione, passando da un valore di 140 MPa, a 320 MPa, consentendo così l'introduzione come indicazione della possibilità di realizzare piccoli ponti con un elemento sospeso di 9 mm di lunghezza massima e non più solo elementi singoli come nella precedente categoria. Grosso svantaggio iniziale di questo prodotto era l'alta opacità per cui per renderlo estetico doveva essere stratificato con delle masse ceramiche dedicate che durante la cottura in forno si contraevano come qualsiasi altra massa per la tecnica della metallo-ceramica. Lo sforzo del produttore dal 1998 a oggi è stato quello di far evolvere il materiale verso una riduzione dell'opacità iniziale per creare dei grezzi sempre più traslucidi con diversi gradi di opacità e di ottenere anche un incremento della resistenza alla flessione da 320 a 420 e la tenacità è triplicata arrivando a 3,9. Con queste ultime tipologie di grezzi più traslucidi si è ripresentata la possibilità di creare dei manufatti monolitici in disilicato di litio che vengono individualizzati mediante colorazione superficiale. Secondo gli ultimi studi pubblicati dalla dottoressa Guess e collaboratori<sup>52</sup>, questa metodica consente di ottenere corone, intarsi

e overlay con una resistenza al chipping quattro volte superiore alla ceramica stratificata su strutture in zirconia. È evidente che non esiste un materiale la cui scelta sia da prediligere in assoluto, tuttavia, riassumendo quanto sopra descritto, una scelta più moderna potrebbe indirizzare il clinico verso l'impiego di materiali ceramici di ultima generazione, non stratificati ma caratterizzati in superficie, soprattutto se le dimensioni del restauro e il suo coinvolgimento occlusale dovessero essere importanti.

# Scanner intraorale

Secondo Dr. Francesco Mangano<sup>53</sup>, negli ultimi anni, le tecnologie digitali vanno diffondendosi sempre più negli studi odontoiatrici, determinando una radicale trasformazione dei flussi di lavoro. L'introduzione di tutta una serie di dispositivi per l'acquisizione delle immagini e di software per l'elaborazione e la processazione delle stesse modifica radicalmente l'approccio al paziente e la pianificazione del trattamento.

Al tempo stesso, software di computer assisted manufacturing e macchine utensili come fresatori e stampanti 3D permettono di realizzare fisicamente per l'impiego clinico restauri protesici (abutments e corone, ponti, arcate complete su denti naturali ed impianti), dime per il posizionamento guidato degli impianti, blocchi sintetici personalizzati per la rigenerazione ossea, e dispositivi ortodontici.

La rivoluzione digitale apre la strada verso il paziente virtuale, e quindi alla possibilità di rappresentare tutti i tessuti del paziente (osso, denti, gengive, viso) in un unico modello 3D, sul quale è possibile eseguire una serie di pianificazioni e modellazioni di natura chirurgica, protesica ed ortodontica; a partire da ciò, è possibile realizzare fisicamente i dispositivi necessari all'uso clinico, nelle varie branche dell'odontoiatria.

In questo contesto si inseriscono gli scanner intraorali, potenti dispositivi per la rilevazione dell'impronta ottica. La convenzionale rilevazione fisica dell'impronta con cucchiai portaimpronta e materiali (alginati, siliconi, polieteri) rappresenta un momento di stress e disagio per il paziente; ciò particolarmente nel caso di pazienti sensibili, con riflesso faringeo accentuato. La rilevazione convenzionale dell'impronta rappresenta un momento delicato anche per il clinico, soprattutto nel caso di impronte tecnicamente complesse (per esempio per la costruzione di arcate fisse su impianti). La rilevazione dell'impronta con scanner intraorale, attraverso un

fascio luminoso risolve tutti questi problemi: è infatti ben tollerata dal paziente, dal momento che non necessita l'impiego di materiali convenzionali, ed è tecnicamente più semplice per il professionista.

L'impiego di uno scanner intraorale permette di verificare immediatamente la qualità dell'impronta; si ottengono modelli virtuali dei pazienti, che possono essere salvati nel proprio computer o su una memoria esterna, senza passare attraverso la colatura fisica dell'impronta e quindi il modello fisico in gesso. Ciò permette di risparmiare tempo e spazio, di inviare i modelli al proprio laboratorio per posta elettronica, azzerando tempi ed costi di spedizione. A fronte dell'investimento fatto, perciò, il professionista può risparmiare ogni anno sull'acquisto dei materiali da impronta, sulla fabbricazione dei cucchiai individuali, sulla colatura e la spedizione dei modelli in gesso; può inoltre conservare i modelli virtuali dei propri pazienti senza dover dedicar loro uno spazio all'interno dello studio. Non ultimo, il professionista può disporre di un potente strumento di marketing, per una comunicazione più efficace con il paziente.



## Che cos'è uno scanner intraorale?

Lo scanner intraorale è uno scanner 3D, ovvero un sistema di misurazione tridimensionale utilizzato per catturare oggetti del mondo reale, in modo che possano essere analizzati nel mondo digitale. Nello specifico, lo scanner intraorale è un apparecchio che raccoglie informazioni sulla forma e le dimensioni delle arcate dentarie (o sulla posizione di impianti dentari) attraverso la sola emissione di un fascio luminoso. Esso infatti proietta un fascio o griglia luminosa (luce strutturata o raggio laser) sulla superficie dei denti (o degli scan-bodies implantari), e cattura, attraverso telecamere ad alta risoluzione, la distorsione che tale fascio subisce quando colpisce queste strutture. Le informazioni raccolte da queste telecamere vengono processate da un potente software, che ricostruisce in maniera accurata il modello 3D delle strutture desiderate.

In particolare, dalla genesi di una "nuvola di punti" si passa alla creazione di una mesh poligonale, rappresentazione fisica dell'oggetto scansionato; la scansione è poi rielaborata per ottenere il modello 3D definitivo. Tecnicamente, lo scanner intraorale è perciò classificato come uno scanner 3D attivo, poiché emette una fonte luminosa e rielabora la distorsione subita dalla stessa ad opera delle superfici dell'oggetto, per creare un modello 3D virtuale dello stesso.

Ad oggi, i campi d'applicazione dello scanner intraorale sono diversi: può essere utilizzato per ottenere modelli virtuali delle arcate del paziente (modelli studio o ortodontici), è impiegato in protesi per la rilevazione dell'impronta necessaria alla modellazione e realizzazione di tutta una serie di restauri protesici (corone singole, protesi fisse parziali e, in alcuni casi, arcate fisse complete), ma trova impiego anche in ambito chirurgico (integrato nelle procedure di acquisizione in chirurgia guidata) e ortodontico. La vastità dei campi d'applicazione e gli indubbi vantaggi derivanti dall'impiego degli scanner intraorali, ha determinato negli ultimi anni un grandissimo interesse

per queste macchine; conseguentemente, l'industria propone ogni anno nuovi devices sempre più performanti.

Gli aspetti più rilevanti che il professionista dovrebbe considerare prima dell'acquisto di uno scanner intraorale sono rappresentati da:

- accuratezza matematica dei modelli 3D derivati dalla scansione intraorale: verità, precisione e risoluzione dello scanner;
- operatività clinica: necessità o meno di opacizzazione, velocità di acquisizione, possibilità di acquisire modelli a colori, dimensioni delle punte;
- tipologia di sistema: libertà o meno di esportazione di file .STL;
- costi di acquisto e di gestione.

L'accuratezza delle matematiche è il primo elemento. L'accuratezza è la combinazione di due elementi, parimenti importanti e complementari come la verità ("trueness") e la precisione ("precision"). Per **verità ("trueness")** si intende quanto la media delle nostre misurazioni si avvicini alla realtà: dal punto di vista matematico, infatti, una misura è tanto più vera quanto più la media delle misure si approssima al valore vero della grandezza. Uno scanner intraorale dovrebbe perciò essere in grado di rilevare ogni dettaglio dell'impronta e permettere l'elaborazione di un modello 3D virtuale il più possibile simile al reale, e che poco o nulla si discosti dalla realtà. Per poter rilevare la verità di un modello 3D derivato da scansione intraorale, è necessario disporre di un modello di riferimento con errore tendente allo zero, ottenuto con tastatore industriale (coordinate measuring machine - CMM o braccio articolato) o con potente scanner desktop certificato.

La sovrapposizione tramite specifici software dei modelli ottenuti da scansione intraorale al modello di riferimento (tastato o acquisito con macchina desktop) permette di valutare l'effettiva verità dello scanner intraorale. La verità da sola non è però sufficiente: essa deve essere

accompagnata dalla precisione. Per **precisione** si intende la capacità dello scanner di garantire un risultato ripetibile, quando impiegato in diverse misurazioni dello stesso oggetto. La costante ripetibilità del risultato è di grande importanza: diverse misurazioni dello stesso oggetto devono necessariamente essere sovrapponibili, e discostarsi tra loro in maniera minima. Per poter misurare la precisione di uno scanner intraorale, non occorre disporre di un modello di riferimento superiore: è sufficiente sovrapporre le diverse scansioni intraorali tra loro, e valutare di quanto esse si discostino, all'interno di software dedicati.

È facile intuire come verità e precisione rappresentino, insieme, le principali caratteristiche che uno scanner intraorale debba possedere. Teoricamente, uno scanner potrebbe essere molto vero e poco preciso, oppure molto preciso ma poco vero: in entrambi i casi, questo andrebbe ad influire negativamente sulla qualità dell'impronta, con conseguenze sull'intero flusso di lavoro, soprattutto in protesi dove la qualità della chiusura marginale rappresenta un obiettivo fondamentale. In ogni caso, è importante ricordare come l'accuratezza di uno scanner dipenda in buona parte dal software di elaborazione in dotazione, che svolge il compito più difficile, "costruendo" il modello virtuale.

Anche la **risoluzione** di acquisizione, cioè la minima differenza che uno strumento è in grado di misurare (sensibilità dello strumento) riveste una certa importanza; essa dipende tuttavia dalle telecamere in dotazione agli scanner, che sono generalmente molto potenti.

In merito all'**operatività clinica**, uno degli aspetti discriminanti tra i diversi scanner intraorali è rappresentato dalla necessità o meno di dover ricorrere ad opacizzazione. La necessità di ricorrere ad **opacizzazione** è tipica degli scanner intraorali di prima generazione; gli scanner introdotti più recentemente permettono infatti di rilevare un'impronta ottica senza bisogno di opacizzare. Tecnicamente, uno scanner che permette di lavorare senza

opacizzazione sarebbe da preferire: infatti l'impiego di spray ed opacizzanti può rappresentare un disagio per il paziente. Inoltre, stendere uno strato uniforme di polvere è complesso: una tecnica di opacizzazione non corretta può risultare in strati di polvere di diverso spessore in vari punti del dente, con il rischio di introdurre errori che possono ridurre la qualità della scansione. In alcuni casi, però (ad esempio nel caso di restauri metallici) l'opacizzazione può essere utile per ridurre l'errore derivante dalla presenza di superfici riflettenti.

La **velocità** di scansione rappresenta un ulteriore elemento di rilievo. Lo scanner deve essere efficiente e non deve fermarsi durante la scansione, che ne risulterebbe eccessivamente rallentata, specie laddove vi sia la necessità di scansionare un'intera arcata. Esistono delle differenze nella velocità d'uso dei diversi scanner intraorali oggi disponibili: tuttavia, la letteratura non ha chiarito quale macchina possa essere più efficiente, e la velocità di esecuzione della scansione dipende in parte dall'esperienza del clinico. La possibilità di acquisire **modelli a colori** rappresenta certamente un vantaggio per il clinico, soprattutto a livello di comunicazione e marketing con il paziente; tuttavia, in alcune specifiche applicazioni, la presenza del colore può aiutare anche clinicamente (per esempio, in protesi fissa su denti naturali, nell'individuazione di una linea di margine difficile da delineare). Va detto comunque che l'informazione del colore è legata al file proprietario derivato dalla scansione intraorale, mentre i file .STL sui quali lavorano i principali software di CAD protesico non hanno l'informazione relativa al colore. Infatti, il colore è in molti casi semplicemente aggiunto al modello 3D che deriva dalla scansione, sovrapponendo allo stesso informazioni ottenute scattando fotografie ad alta definizione.

Le **dimensioni della punta** giocano un ruolo di minore importanza: dalle punte molto voluminose tipiche degli scanner di prima generazione, si è passati oggi a punte molto più piccole, compatibili con la scansione di

secondi e terzi molari superiori e/o inferiori. Inoltre, molti scanner dispongono di punte di diverse dimensioni, interscambiabili, ed utilizzabili in differenti contesti clinici. Questo è certamente un vantaggio per gli aspetti legati alla disinfezione e sterilizzazione.

Uno scanner intraorale dovrebbe idealmente avere come output, oltre al file proprietario legalmente valido, un file **.STL** in grado cioè di essere immediatamente aperto ed utilizzato da qualunque software di CAD. Alcuni scanner prevedono questo tipo di impostazione "aperta". Ciò permette la collaborazione con diversi laboratori, che non dovranno necessariamente dotarsi di un software di CAD specifico per poter lavorare; il modellato in CAD potrà essere fresato da qualsiasi fresatore, senza alcuna limitazione. Si parla in questo caso di "sistema aperto". Il vantaggio dei sistemi di questo tipo è senz'altro la versatilità, insieme ad un potenziale abbattimento dei costi (non vi è la necessità di comprare specifiche licenze CAD, né di sbloccare i files attraverso pagamento); tuttavia, un certo grado di esperienza può essere richiesto, soprattutto all'inizio, per poter interfacciare diversi software e macchinari. Questo problema non si presenta nel caso di scanner intraorali inseriti all'interno di un "sistema chiuso". Questi scanner hanno come unico output dei file proprietari dell'azienda, che possono essere aperti e processati solamente dai CAD della stessa. L'impossibilità di disporre liberamente del file STL originario, o la necessità di dover ricorrere a pagamento di fee per farlo, rappresentano certamente dei limiti di questi scanner.

Tuttavia, l'inserimento all'interno di un sistema integrato può favorire il flusso di lavoro, soprattutto per gli utenti meno esperti. Inoltre, alcuni sistemi offrono un flusso di lavoro completo, dalla scansione alla fresatura passando dalla progettazione CAD, e prevedono soluzioni chairside integrate. Un sistema integrato permette di utilizzare, in tutte le fasi del workflow, il file

proprietario certificato con tutte le informazioni aggiuntive (per esempio, il colore).

Infine, uno scanner dovrebbe avere un **costo** d'acquisto accessibile, e dei costi di gestione limitati. Oggi, il costo d'acquisto di una macchina di questo tipo può essere pienamente giustificato dall'ampio utilizzo della stessa nelle diverse branche di una professione odontoiatrica che è sempre più "digital"; le politiche di ammortamento sugli acquisti promosse dai governi negli ultimi anni possono rappresentare un ulteriore incentivo all'acquisto di tali macchinari. I costi di gestione annuale, però, con la richiesta di pagamento di specifici fees (ad esempio, per l'aggiornamento del software dello scanner) rappresentano spesso un motivo di disagio per il clinico, che è costretto ad un costante esborso per poter impiegare un device acquistato a prezzo pieno. E' importante che il clinico sia correttamente informato anche su tali condizioni economiche e contrattuali, prima di acquistare uno scanner.

## Vantaggi e svantaggi delle impronte ottiche

I vantaggi e gli svantaggi delle impronte ottiche rispetto alle impronte fisiche convenzionali (cioè impronte realizzate con portaimpronte e materiali) sono presentati di seguito:

- **Meno disagio per il paziente**

La capacità di acquisire direttamente tutte le informazioni sull'arcata dentale del paziente e, di conseguenza i loro modelli 3D, senza utilizzare impronte fisiche convenzionali, è uno dei vantaggi delle impronte ottiche<sup>54</sup>. Infatti, le impronte fisiche convenzionali possono causare momentanei disagi al paziente per i disagi e le difficoltà derivanti dai materiali posizionati sui portaimpronte (generici o individualizzati). Alcuni pazienti (ad es. pazienti con forte riflesso del vomito o bambini) sembrano non tollerare la procedura classica<sup>55</sup>. Per questi pazienti, la sostituzione dei materiali da impronta convenzionali con la luce è un vantaggio. L'impronta ottica riduce significativamente il disagio del paziente rispetto all'impronta fisica tradizionale<sup>56</sup>. In effetti, elimina la necessità di materiali e portaimpronte, che spesso non sono graditi al paziente. I pazienti tendono a preferire le impronte ottiche piuttosto che le impronte convenzionali, come riportato dalla letteratura.

- **Efficienza temporale**

Diversi studi hanno dimostrato che le impronte ottiche sono efficienti in termini di tempo, in quanto consentono di ridurre i tempi di lavoro (e quindi i costi) rispetto alle impronte convenzionali<sup>57</sup>. Nonostante i recenti progressi tecnologici in IOS, con gli ultimi dispositivi introdotti sul mercato che consentono l'acquisizione di una scansione dell'intera arcata in meno di 3 minuti, non sembra che le principali differenze nell'efficienza del tempo derivino dall'atto di presa dell'impronta (una scansione dell'arcata completa può richiedere 3-5 minuti, simile a quello richiesto per le impronte convenzionali), ma piuttosto dal tempo risparmiato in seguito, durante tutti i

passaggi successivi. Infatti, con le impronte ottiche, non è necessario colare modelli in gesso, è possibile inviare via e-mail i modelli virtuali 3D (file proprietari o .STL) del paziente direttamente al laboratorio odontotecnico senza la necessità di consegnare nulla tramite corriere o posta ordinaria. Ciò consente di risparmiare una notevole quantità di tempo e denaro durante l'anno lavorativo. Per le cliniche odontoiatriche attrezzate per la progettazione e la produzione di restauri protesici alla poltrona, i file acquisiti durante le impronte ottiche possono essere importati in un software CAD (Computer Assisted Design); una volta che il progetto di restauro è completato, i file possono essere trasferiti al software di produzione assistita da computer (CAM) e inseriti nella fresatrice. I restauri (in diversi materiali) così ottenuti saranno caratterizzati e pronti per l'applicazione clinica.

- **Procedure semplificate per il clinico**

Un altro vantaggio conferito dall'uso dell'impronta ottica è clinico<sup>58</sup>. Infatti, una volta completata la curva di apprendimento<sup>59</sup>, l'uso di IOS può conferire ulteriori vantaggi clinici, semplificando la presa d'impronta in casi complessi, ad esempio in presenza di impianti multipli o severi sottosquadri che possono rendere il presa di un'impronta convenzionale difficile e insidiosa. Inoltre, se il clinico non è soddisfatto di alcuni dettagli dell'impronta ottica registrata, può cancellarli e riprendere l'impronta senza dover ripetere l'intera procedura; questo aspetto fa risparmiare tempo.

- **Niente più modelli in gesso**

Per il clinico, l'impronta ottica consente di saltare un passaggio altrimenti inevitabile (l'impronta convenzionale si basa sul rilevamento di impronte fisiche e la successiva colata di modelli in gesso) con un effetto di risparmio di tempo. L'eliminazione dei materiali da impronta convenzionali si traduce in un risparmio diretto per il medico, con costi ridotti dei materiali di consumo.

- **Migliore comunicazione con l'odontotecnico**

Con IOS, il medico e l'odontotecnico possono valutare la qualità dell'impronta in tempo reale. Infatti, subito dopo l'esecuzione della scansione, il dentista può inviarla via e-mail al laboratorio e il tecnico può controllarla accuratamente. Se l'odontotecnico non è convinto della qualità dell'impronta ottica ricevuta, può richiedere immediatamente al medico di farne un'altra senza alcuna perdita di tempo e senza dover chiamare il paziente per un secondo appuntamento. Questo aspetto semplifica e rafforza la comunicazione tra dentista e odontotecnico.

- **Migliore comunicazione con i pazienti**

L'impronta ottica è un potente strumento per la comunicazione con i pazienti e il marketing. Infatti, con le impronte ottiche, i pazienti si sentono più coinvolti nel loro trattamento ed è possibile stabilire con loro una comunicazione più efficace; questo coinvolgimento emotivo può avere un impatto positivo sul trattamento complessivo, ad esempio migliorando la compliance del paziente all'igiene orale. Inoltre, i pazienti sono interessati alla tecnologia e ne parlano ai loro conoscenti e amici, aumentando la loro considerazione sui centri dentistici dotati di queste moderne tecnologie. Indirettamente, IOS è diventato uno strumento pubblicitario e di marketing molto potente.

- **Curva di apprendimento**

Esiste una curva di apprendimento per l'adozione di IOS nella clinica odontoiatrica e questo aspetto deve essere considerato con attenzione<sup>60</sup>. I soggetti con una maggiore affinità per il mondo della tecnologia e dell'informatica (es. giovani dentisti) troveranno molto facile adottare IOS nel loro studio. I medici più anziani con meno esperienza e passione per le innovazioni tecnologiche potrebbero trovare l'utilizzo dei dispositivi e del relativo software più complesso. Infine, va tenuto presente che non è ancora chiaro se una strategia di scansione sia migliore dell'altra, poiché i produttori forniscono poche informazioni sulle loro strategie di scansione. Questo è un

aspetto che sarà sicuramente approfondito nei prossimi anni, in quanto è possibile che macchine diverse, utilizzando strategie di scansione diverse, producano risultati diversi.

- **Difficoltà a rilevare le linee marginali profonde dei denti preparati**

Uno dei problemi più frequenti riscontrati con IOS e con le impronte ottiche è la difficoltà a rilevare le linee marginali profonde sui denti preparati o in caso di sanguinamento. In alcuni casi, infatti, e soprattutto nelle aree estetiche dove è importante che il clinico ponga i margini protesici sottogengivale, può essere più difficile per la luce rilevare correttamente l'intera linea di rifinitura. Infatti, a differenza dei materiali da impronta convenzionali, la luce non può staccare fisicamente la gengiva e quindi non può registrare aree "non visibili". Problemi simili possono verificarsi anche in caso di sanguinamento, poiché il sangue può oscurare i margini protesici.

Nonostante ciò, con la giusta attenzione e velocità (il solco gengivale tende a chiudersi subito dopo la rimozione del filo di retrazione) e le strategie appropriate per evidenziare la linea di preparazione (inserimento di un filo di retrazione singolo o doppio), ed evitare il sanguinamento (ottima igiene orale e provvisori con corretto profilo di emergenza), è possibile per il clinico rilevare una buona impronta ottica anche in contesti difficili. Di recente, alcuni gli autori hanno suggerito di combinare strategie, ovvero in parte utilizzando materiali da impronta convenzionali. Oltre a ciò, una buona impronta ottica è il risultato di molti fattori, ovvero la qualità della preparazione protesica, il rispetto da parte del paziente dell'igiene orale e la bontà dei restauri provvisori; come con le impronte convenzionali, i tessuti molli sani sono essenziali per una buona impronta ottica<sup>61</sup>. Queste considerazioni sono tutte valide per i denti naturali, ma non per gli impianti dentali, dove l'uso di scanbody (accompagnati in modo accurato con calcoli CAD) risolve qualsiasi problema.

- **Costi di acquisto e di gestione**

A seconda del modello, il costo di acquisto di un IOS può variare tra 15.000 e 35.000 euro. Negli ultimi anni i produttori hanno immesso sul mercato molti nuovi modelli e la crescita dell'offerta dovrebbe essere accompagnata da una riduzione dei costi di acquisto. Indipendentemente da ciò, il costo di acquisto di una IOS di fascia alta di ultima generazione dovrebbe essere ammortizzato nel corso dell'anno integrando il dispositivo nel flusso di lavoro clinico attraverso le varie discipline dentali (protesi, ortodonzia, chirurgia implantare). Un aspetto importante da considerare sono i costi di gestione aggiuntivi legati agli aggiornamenti del software di ricostruzione. Diverse aziende manifatturiere hanno politiche diverse al riguardo ed è importante che il medico sia pienamente informato dei costi e delle commissioni di gestione annuali, ove presenti, prima di acquistare un IOS. Infine, nel caso di sistemi "chiusi", o con IOS che producono solo formati di file proprietari, potrebbe essere richiesto un canone annuale o mensile per "sbloccare" i file e renderli utilizzabili da qualsiasi software CAD o qualsiasi laboratorio. Ancora una volta, il medico dovrebbe essere adeguatamente informato su questi costi di gestione aggiuntivi.

## Accuratezza delle impronte ottiche a confronto con le impronte convenzionali

La caratteristica principale che un IOS dovrebbe avere è la precisione: uno scanner dovrebbe essere in grado di rilevare un'impronta accurata. In metrica e ingegneria, l'**accuratezza** è definita come la "vicinanza di accordo tra un valore di quantità misurato e un valore di quantità reale di un misurando". In definitiva, l'accuratezza è la somma di veridicità e precisione. La **veridicità**, solitamente espressa in termini di bias, è la "vicinanza di accordo tra l'aspettativa del risultato di un test o di un risultato di misurazione e un valore reale". La **precisione** è definita come la "vicinanza di accordo tra indicazioni o valori di quantità misurati ottenuti replicando misurazioni sugli stessi oggetti in condizioni specificate". Idealmente, un IOS dovrebbe avere un'elevata accuratezza (dovrebbe essere in grado di corrispondere il più fedelmente possibile alla realtà). Un IOS dovrebbe quindi essere il più fedele possibile, cioè essere in grado di rilevare qualsiasi dettaglio dell'impronta e consentire la creazione di un Modello 3D il più simile possibile al modello reale e che poco o nulla devia dalla realtà. L'unico mezzo per calcolare la veridicità di un IOS è sovrapporre le sue scansioni con una scansione di riferimento ottenuta con una potente macchina industriale (scanner ottico industriale, braccio articolato, macchina di misura a coordinate). Dopo la sovrapposizione di queste immagini/modelli, è possibile utilizzare potenti software di reverse engineering per generare mappe colorimetriche visualizzando le distanze/differenze tra le superfici dell'IOS e il modello di riferimento a livello micrometrico<sup>62</sup>. La precisione può essere calcolata più facilmente, semplicemente sovrapponendo diverse scansioni/modelli presi con lo stesso IOS in tempi diversi e valutando nuovamente le distanze/differenze a livello micrometrico. Tecnicamente, un IOS potrebbe avere un'elevata accuratezza ma una bassa precisione o viceversa. In

entrambi i casi, le impronte ottiche sarebbero insoddisfacenti: ciò influenzerebbe negativamente l'intero flusso di lavoro protesico, dove la riduzione del gap marginale è il compito principale del protesista. Accuratezza e precisione dipendono principalmente dal software di acquisizione/elaborazione dello scanner, che svolge il compito più difficile: "costruire" i modelli virtuali 3D. Importante è anche la risoluzione di acquisizione, cioè la minima differenza che uno strumento è in grado di misurare (cioè la sensibilità dello strumento); tuttavia, dipende dalle fotocamere all'interno dello scanner, che sono generalmente molto potenti.

Ad oggi, la letteratura scientifica considera l'accuratezza delle impronte ottiche clinicamente soddisfacente e simile a quella delle impronte convenzionali nel caso di restauri di denti singoli e protesi parziali fisse fino a 4-5 elementi. Infatti, la veridicità e la precisione ottenute con le impronte ottiche per questi tipi di restauri di breve durata sono paragonabili a quelle ottenute con le impronte convenzionali. Tuttavia, le impronte ottiche non sembrano avere la stessa precisione delle impronte convenzionali nel caso di restauri a lunga durata come protesi fisse parziali con più di 5 elementi o protesi ad arcata completa su denti naturali o impianti. L'errore generato durante la scansione intraorale dell'intera arcata dentale non appare compatibile con la realizzazione di restauri a lunga durata, per i quali sono ancora indicate le impronte convenzionali<sup>63</sup>.

Tuttavia, gli scanner di ultima generazione sono caratterizzati da errori molto bassi nelle impronte di arcata completa, e in questo senso i dati in letteratura devono essere interpretati criticamente, poiché la preparazione e la pubblicazione di un articolo scientifico richiede generalmente tempo, mentre i produttori rilasciano molto frequentemente nuovi potenti software.

## Differenze tra i sistemi di impronta ottica disponibili in commercio

Ad oggi, solo pochi studi hanno confrontato l'esattezza e la precisione di diversi IOS<sup>64</sup>. Quasi tutti gli studi in vitro sono basati su modelli, poiché attualmente non è possibile calcolare l'esattezza di IOS in vivo; inoltre, questi studi hanno disegni sperimentali abbastanza diversi. Alcuni si sono concentrati sull'accuratezza dell'IOS nei modelli dentati, mentre altri hanno valutato l'accuratezza dell'IOS in implantologia orale. Indipendentemente da ciò, il risultato di questi studi è che IOS diversi hanno una precisione diversa; pertanto, alcuni dispositivi sembrano avere più indicazioni per l'uso clinico (per la realizzazione di impronte per la realizzazione di restauri di lunga durata) mentre altri sembrano avere applicazioni cliniche più limitate (per la realizzazione di restauri singoli o di breve durata). È molto difficile confrontare i risultati (in termini di veridicità e precisione) di questi studi, poiché gli scanner hanno diverse tecnologie di acquisizione delle immagini e possono quindi richiedere diverse tecniche di scansione; sfortunatamente, si sa poco dell'influenza della tecnica di scansione sui risultati finali e la letteratura scientifica dovrebbe affrontare questo argomento nei prossimi anni.

Verità e precisione, tuttavia, non sono gli unici elementi che possono differenziare i dispositivi attualmente disponibili in commercio<sup>65</sup>. Tutta una serie di elementi (necessità di opacizzazione con polvere, velocità di scansione, dimensione della punta, capacità di rilevare impronte a colori) differenziano la IOS in termini di utilizzo clinico. In particolare, i sistemi di scansione possono differire in base alla possibilità che sia presente un'interfaccia gratuita con tutti i software CAD disponibili (sistemi aperti o chiusi) e ai costi di acquisto/gestione.

La necessità di polvere e opacizzazione è tipica degli IOS di prima generazione; i dispositivi di più recente introduzione possono rilevare

impronte ottiche senza utilizzare polvere. Tecnicamente, dovrebbe essere preferito uno scanner che consenta al medico di lavorare senza opacizzazione; infatti la polvere può rappresentare un inconveniente per il paziente. Inoltre, l'applicazione di uno strato uniforme di polvere è complessa. Una tecnica di opacizzazione inappropriata può comportare strati di diverso spessore in vari punti dei denti, con il rischio di errori che riducono la qualità complessiva della scansione.

La velocità di scansione è certamente una questione di grande importanza per un IOS. IOS hanno velocità di scansione differenti e i dispositivi di ultima generazione sono generalmente più veloci di quelli più vecchi. Tuttavia, la letteratura non ha chiarito quale dispositivo possa essere più efficiente: la velocità di scansione infatti non dipende solo dal dispositivo, ma in gran parte dall'esperienza del clinico.

Anche la dimensione della punta gioca un ruolo, specialmente nel caso del secondo e terzo molare (cioè le regioni posteriori della mascella/mandibola). Sarebbe preferibile uno scanner con punta di dimensioni contenute per il comfort del paziente durante la scansione; tuttavia, anche gli scanner con punte più voluminose consentono una scansione eccellente nelle aree posteriori.

La possibilità di ottenere modelli 3D a colori delle arcate dentarie rappresenta una delle ultime innovazioni nel campo della scansione ottica. In genere, il colore viene semplicemente aggiunto ai modelli 3D derivati dalla scansione, sovrapponendoli a fotografie ad alta risoluzione. L'informazione sul colore è significativa soprattutto nella comunicazione con il paziente ed è possibile che in futuro IOS includa funzioni che ora sono prerogativa dei colorimetri digitali.

Infine, un IOS dovrebbe essere in grado di adattarsi a un flusso di lavoro "aperto" e dovrebbe avere un prezzo di acquisto e gestione accessibile. Idealmente, un IOS dovrebbe avere due output: un file proprietario con

valore legale e un file in formato aperto (ad es. STL,. OBJ,. PLY). I file in formato aperto possono essere immediatamente aperti e utilizzati da tutti i sistemi protesici CAD. In tali casi, la letteratura fa generalmente riferimento a un «sistema aperto». Il vantaggio di questi sistemi è la versatilità, unita ad una potenziale riduzione dei costi (non è necessario acquistare licenze CAD specifiche o pagare per sbloccare i file); tuttavia, potrebbe essere richiesta una certa esperienza, inizialmente, per interfacciare i diversi software e le fresatrici. Questo problema non si pone nel caso di IOS all'interno di un "sistema chiuso". Tali scanner hanno come output solo il file proprietario di riferimento (chiuso), che può essere aperto ed elaborato solo da un software CAD della stessa azienda produttrice. L'impossibilità di disporre liberamente. I file STL, ovvero la necessità di pagare delle tasse per sbloccarli, rappresentano sicuramente i limiti principali dei sistemi chiusi. Tuttavia, l'inclusione all'interno di un sistema integrato può favorire il flusso di lavoro, soprattutto nel caso di utenti meno esperti. Inoltre, alcuni sistemi chiusi offrono un flusso di lavoro digitale completo e completamente integrato, dalla scansione alla fresatura, e forniscono soluzioni alla poltrona. Infine, la conversione di file (ad es. la conversione di file proprietari in formati aperti) può comportare una perdita di qualità e informazioni.

## Applicazioni cliniche di IOS

Gli IOS sono di grande utilità e trovano applicazione in vari campi dell'odontoiatria, per la diagnosi e per la realizzazione di restauri o dispositivi personalizzati in protesi, chirurgia e ortodonzia. Gli IOS vengono infatti utilizzati per acquisire modelli 3D a scopo diagnostico; questi modelli possono essere utili per comunicare con il paziente<sup>66</sup>.

Diagnosi e comunicazione non sono però gli unici campi di applicazione di IOS. Nelle protesi, gli IOS vengono utilizzati per realizzare impronte di preparazioni di denti naturali<sup>67</sup> per la realizzazione di un'ampia gamma di restauri protesici: inlay/onlay in resina, cappette in zirconia, corone singole in disilicato di litio, zirconia, metallo-ceramica e ceramica integrale nonché strutture e protesi parziali fisse. Diversi studi<sup>68</sup> e revisioni della letteratura<sup>69</sup> hanno dimostrato che lo spazio marginale delle corone singole in ceramica ottenute da scansioni intraorali è clinicamente accettabile e simile a quello delle corone prodotte da impronte convenzionali. Le stesse considerazioni possono essere estese a restauri di breve durata come protesi parziali fisse da tre a cinque elementi, considerando ovviamente le differenze derivanti dalle diverse precisioni delle varie IOS. Ad oggi, la letteratura non supporta l'uso della IOS nelle impronte dell'arcata completa: diversi studi e revisioni della letteratura hanno dimostrato che l'accuratezza della IOS non è ancora sufficiente in casi clinici così difficili.

In protesica, IOS può essere utilizzato con successo per acquisire la posizione 3D degli impianti dentali e per realizzare restauri supportati da impianti. La posizione 3D degli impianti catturati con l'IOS viene inviata al software CAD, dove gli scanbody sono accoppiati con una libreria implantare, ed è possibile disegnare i restauri protesici desiderati in pochi minuti; questo restauro può quindi essere realizzato fisicamente fresando attraverso una potente macchina CAM utilizzando materiali ceramici<sup>70</sup>. Attualmente, corone singole supportate da impianti, ponti e barre possono

essere realizzate con successo da impronte ottiche. Simile a quanto riscontrato in letteratura per i denti naturali, l'unico apparente limite all'uso dell'IOS in protesi implantare è quello dei restauri a campata lunga su più impianti (quali ponti a campata lunga e arcate complete fisse supportati da più di quattro impianti): almeno, questo è quanto emerge dalle revisioni più importanti<sup>71</sup> e da diversi studi in vitro sulla veridicità e precisione, che indicano che le impressioni convenzionali sono la migliore soluzione per queste difficili situazioni cliniche.

Al momento, solo pochi studi hanno affrontato l'uso della IOS per la realizzazione di protesi rimovibili parzialmente e completamente<sup>72</sup>; in particolare, quest'ultima applicazione presenta ancora alcune problematiche dovute all'assenza di punti di riferimento e all'impossibilità di registrare la dinamica dei tessuti molli. Tuttavia, IOS può essere utilizzato con successo per applicazioni di progettazione del sorriso digitale e fabbricazione di scheletrati, in casi complessi<sup>73</sup>.

La scansione del modello dentogengivale può essere sovrapposta anche ai file della tomografia computerizzata a fascio conico (CBCT), tramite un software specifico per creare un modello virtuale del paziente. Questo modello viene utilizzato per pianificare il posizionamento degli impianti e per disegnare uno o più dime chirurgiche utili per posizionare gli impianti in maniera guidata<sup>74</sup>. L'uso dello IOS in questo senso ha soppiantato la vecchia tecnica della doppia scansione con sola CBCT, che si basava sulle scansioni radiologiche del paziente e dei modelli in gesso dei pazienti. Infatti, la risoluzione di scansione di CBCT è inferiore a quella di IOS; l'utilizzo di IOS consente quindi di rilevare con maggiore precisione tutti i dettagli delle superfici occlusali. Questo può fare la differenza, ad esempio, nella preparazione di dime chirurgiche supportate dai denti.

Infine, l'IOS rappresenta uno strumento molto utile in ortodonzia per la diagnosi e la pianificazione del trattamento. Infatti, le impronte ottiche

possono essere utilizzate come punto di partenza per la realizzazione di tutta una serie di dispositivi ortodontici personalizzati, tra i quali vanno citati gli allineatori. Nei prossimi anni sarà probabile che quasi tutti gli apparecchi ortodontici saranno progettati da una scansione intraorale, quindi saranno del tutto 'custom' e adattati alle specifiche esigenze cliniche del paziente<sup>75</sup>.

<b>Campo odontoiatrico</b>	<b>Indicazioni</b>	<b>Controindicazioni</b>	
<b>Protesi</b>	Inlay/onlay in resina	Protesi parziali fisse (+5 elementi) o full arch	
	Cappette in zirconia	Protesi parziale fissa o full arch su impianti	
	Corone singole in disilicato di litio, zirconia e ceramica integrale	Protesi totale mobile	
	Strutture e protesi parziali fisse in zirconia (4-5 elementi)		
	Corone singole su impianti		
	Protesi parziali fisse		
	Digital Smile Design		
	Scheletrati		
<b>Implantologia</b>	Chirurgia guidata implantare		
<b>Ortodonzia</b>	Diagnosi e piano di trattamento		
	Allineatori		
	Dispositivi ortodontici personalizzati		

Indicazioni cliniche e controindicazioni più importanti sull'uso di IOS

# CAD-CAM

Il procedimento CAD/CAM (Computer Assisted Design / Computer Assisted Manufacturing) è un insieme di mezzi tecnologici coordinati (CAD, CAM) che consente l'acquisizione in forma digitale dei dati clinici analogici e della modellizzazione virtuale (CAD), quindi la realizzazione materiale (CAM) di un dispositivo medicale su misura.

Dopo oltre due decenni dalla sua introduzione, il periodo pionieristico delle lavorazioni protesiche assistite dal computer è volto al termine. Oggi i sistemi di lavorazione digitale sono una realtà affidabile, capace di produrre protesi di alto livello qualitativo strutturale. La comunità scientifica mondiale ha raccolto con grande interesse e crescente entusiasmo la sfida lanciata dalle nuove tecnologie e dei nuovi materiali a esse associate in ambito protesico, e non c'è sfera odontoiatrica specialistica che non ne sia stata permeata. In questo articolo<sup>76</sup> viene analizzato lo stato attuale dei sistemi CAD/CAM rivolgendo l'attenzione alle prestazioni offerte dai più recenti software di computer grafica e ai nuovi materiali per la fabbricazione di protesi fisse, ceramici e metallici. Il flusso di lavoro tradizionale del laboratorio odontotecnico viene esaminato e confrontato con le più moderne applicazioni operative del lavoro industriale. Viene fornita anche una panoramica conclusiva sulle prospettive future di questi sistemi operativi sia in ambito protesico che negli altri settori dell'odontoiatria.

L'odontoiatria protesica si pone come obiettivo primario il recupero della funzione orale dei pazienti e il mantenimento del loro stato di salute offrendo restauri come intarsi, corone, protesi parziali o totali fisse e rimovibili. A differenza della maggior parte degli articoli prodotti industrialmente, i dispositivi riabilitativi protesici sono necessariamente prodotti su misura, realizzati per il singolo paziente e per la specifica situazione riabilitativa.

Nel tempo, sia i materiali sia le tecnologie per la fabbricazione dei dispositivi protesici hanno subito una notevole evoluzione. I manufatti protesici hanno visto l'impiego della microfusione delle leghe auree con tecnica della cera persa, la formazione plastica delle resine acriliche e la sinterizzazione delle polveri ceramiche. Queste tecniche di lavoro hanno richiesto anni per affermarsi e svilupparsi e oggi sono considerate procedure di lavoro convenzionali in ambito odontotecnico.

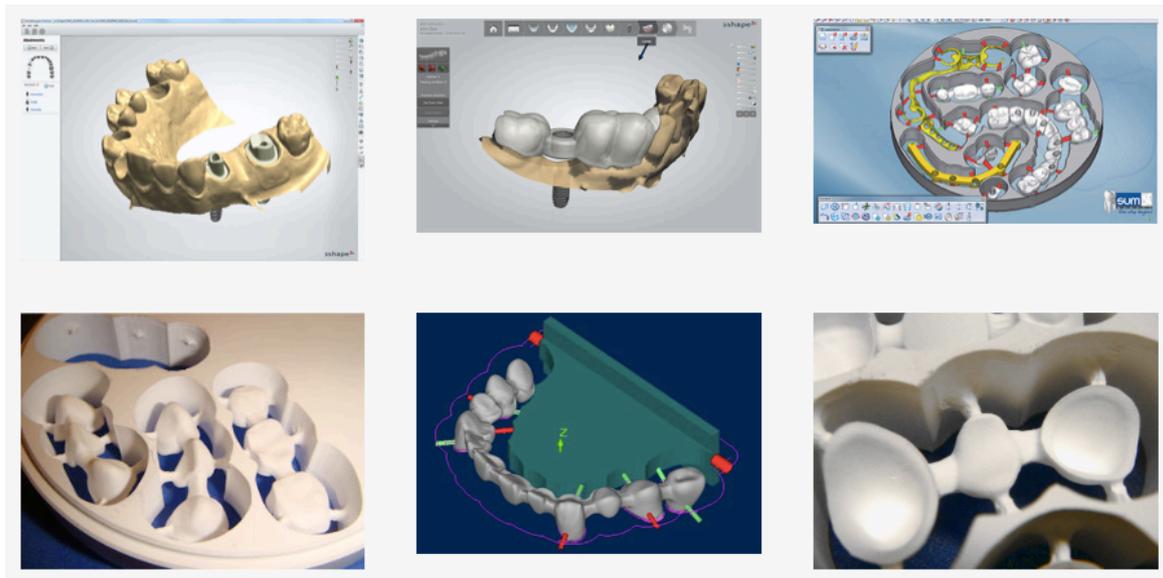
Senza dubbio, le procedure formative tradizionali consentono la fabbricazione di presidi protesici di alta qualità, ma solo attraverso un'elevata professionalità individuale e una stretta collaborazione tra odontoiatra e odontotecnico. Una condizione questa che mette in luce come la qualità del risultato riabilitativo sia strettamente relazionata alle capacità e all'esperienza dei singoli operatori nonché all'imprescindibile interscambio comunicativo<sup>77</sup>. La crescente domanda di dispositivi riabilitativi protesici, sicuri ed esteticamente gradevoli, ha indotto la ricerca e lo sviluppo industriale a orientarsi verso nuovi materiali dotati di tenacia notevole. Leghe ad alta resistenza e materiali ceramici avanzati di ultima generazione sono stati introdotti come elementi primari per la realizzazione di presidi protesici<sup>78</sup>. Dal momento però che questi materiali non possono essere gestiti con i tradizionali processi di lavorazione odontotecnica, nuove sofisticate tecnologie di elaborazione e appropriati sistemi di prototipazione rapida sono stati messi a punto e proposti alla moderna odontoiatria<sup>79</sup>.

La soluzione a questa necessità produttiva è rappresentata dall'introduzione di sistemi tecnologici di progettazione e produzione assistiti dal computer (CAD/CAM).

In relazione al rapido progresso tecnologico dei processi assistiti dal computer, avvenuto in vari settori industriali a partire dagli anni settanta dello scorso secolo, la ricerca e lo sviluppo dei sistemi CAD/CAM dentali è stata

attivamente perseguita in tutto il mondo solo con un decennio di ritardo rispetto al suo esordio<sup>80</sup>.

In questa disamina si riassume lo stato attuale delle conoscenze sul tema, con focus sulla produzione di protesi fisse. Per concludere, verranno discusse le prospettive future applicabili al CAD/CAM odontoiatrico.



## Potenzialità evolutiva dei sistemi CAD/CAM

L'approccio pionieristico negli anni ottanta alla progettazione ed elaborazione di dispositivi protesici con tecnologia CAD/CAM è apparso immediatamente fiducioso. Tuttavia, la ricerca ha trovato lungo il suo percorso diversi ostacoli da affrontare prima della messa a punto di tecnologie in grado di garantire la realizzazione di dispositivi protesici individuali di qualità elevata con standard produttivi efficaci e riproducibili.

Il primo ostacolo non poteva che essere di carattere gestionale. Infatti, volendo mettere a confronto i sistemi produttivi tradizionali e quelli che prevedono l'utilizzo di tecnologia CAD/CAM viene spontaneo riflettere sugli elementi organizzativi e decisionali essenziali per l'approntamento dei dispositivi protesici su misura, vale a dire: l'impegno economico; il tempo di realizzazione; la difficoltà operativa; la qualità del risultato<sup>81</sup>.

Per potersi affermare la nuova procedura operativa doveva essere di livello paragonabile ai sistemi convenzionali o, meglio ancora, risultare superiore. In altre parole, affinché la nuova tecnologia potesse essere in grado di affiancare o sostituire le procedure tradizionali di lavorazione avrebbe dovuto soddisfare requisiti di economicità, fluidità operativa, semplicità gestionale e qualità elevata dei prodotti, con benefici sia per il laboratorio odontotecnico sia per la pratica clinica<sup>82</sup>.

Il secondo importante ostacolo tecnologico da affrontare riguardava l'acquisizione di una precisa e dettagliata morfologia dell'area orale necessitante di restauro protesico, comprensiva degli elementi pilastro, dei denti adiacenti e degli antagonisti. Ovviamente, al pari di un modello di lavoro convenzionale, queste informazioni volumetriche dovevano essere digitalizzate con precisione, prima di procedere alla progettazione di corone o protesi parziali fisse<sup>83</sup>. Ineludibile è stata la necessità di realizzare il progetto protesico su una riproduzione tridimensionale della situazione orale,

perfettamente congrua alla realtà clinica degli elementi pilastro e ai rapporti con la dentatura residua prossima e opposta. Agli albori dell'applicazione della tecnologia CAD/CAM dentale risultava però alquanto difficoltoso individuare con precisione i margini di finitura delle preparazioni protesiche, facendo impiego degli scanner digitali di prima generazione. Solo pochi anni più tardi l'iperbole tecnologica ha proiettato nel settore odontoprotesico digitalizzatori altamente prestanti<sup>84</sup>. L'acquisizione precisa e rapida di morfologie ha raggiunto livelli sorprendenti e ancora oggi continua a progredire.

Il terzo impedimento nell'affermazione dei sistemi di lavoro virtuali risiedeva nella necessità di poter rappresentare numericamente la forma delle corone e delle protesi parziali fisse. Le equazioni funzionali applicate alla realizzazione dei prodotti industriali dovevano essere modificate, integrate ed espanse per poter soddisfare la moltitudine di forme e di situazioni da riprodurre<sup>85</sup>. Inoltre, di fronte all'evidenza che i restauri protesici hanno necessità di complementare la morfologia dei denti pilastro, armonizzarsi con gli elementi più prossimi e confrontarsi con quelli dell'arcata opposta, era obbligatorio uno slancio evolutivo verso lo sviluppo di software CAD dedicati, altamente sofisticati.

Il quarto importante confronto faceva capo alla necessità di garantire un'accurata lavorazione, come la fresatura di spigoli e margini sottili, imprescindibile per consentire l'ottenimento di protesi fisse di qualità. Trasformare il disegno tridimensionale in un pezzo assolutamente fedele non poteva che risultare difficoltoso, soprattutto se era previsto l'impiego di materiali ceramici che per quanto altamente resistenti sono fragili. Anche in questo caso lo sviluppo industriale ha dovuto mettere a punto macchinari di lavorazione precisi e stabili, controllati da software sofisticati in grado di gestire le complesse e delicate operazioni di fresatura dei materiali<sup>86</sup>.

Il bisogno di garantire fedeltà nella produzione dei pezzi ha peraltro creato una bipartizione nel concetto di lavorazione CAM. Originariamente, infatti, l'orientamento operativo prevedeva l'impiego di macchinari di dimensioni contenute che potevano essere installati nel laboratorio odontotecnico o addirittura in studio. La tendenza si è spostata, in un secondo tempo, verso la lavorazione industriale dei pezzi progettati in laboratorio. Questo percorso, che prende il nome di approvvigionamento dall'esterno, in gergo anglofono outsourcing, introduce anche la nuova dimensione di supercontrollo della produzione, sia all'ingresso del ciclo produttivo sia in uscita. Il progetto virtuale della protesi fissa viene, infatti, verificato prima di essere inserito nel canale di produzione e una volta completato il pezzo, tecnici specializzati ne verificano la qualità con analisi microscopiche<sup>87</sup>.

## Panoramica sul CAD/CAM dentale

Secondo lo schema tradizionale di realizzazione dei restauri protesici in lega: alla preparazione dei denti pilastro segue la presa dell'impronta, lo sviluppo del modello, quindi la ceratura e infine la fusione<sup>88</sup>. Per converso, quando questo lavoro è svolto direttamente in studio, con l'ausilio di tecnologia assistita dal computer, gli elementi pilastro sono digitalizzati direttamente all'interno della cavità orale, invece di ricorrere alla presa dell'impronta. I restauri vengono progettati su un monitor, utilizzando un software di disegno tridimensionale, dove il restauro ha modo di essere progettato in forma di una ceratura virtuale. L'elaborato digitale viene poi trasformato nel restauro effettivo per mezzo di un sistema di fresatura, a partire da un blocco di materiale idoneo<sup>89</sup>.

Una volta avviata la sequenza, i restauri possono essere progettati sul monitor e fabbricati da diverse macchine da lavorazione. Il laboratorio odontotecnico può mettere in atto l'intero processo produttivo se oltre al software di design dispone anche di fresatori CAM. I sistemi CAD/CAM che operano a distanza attraverso Internet hanno raccolto una grande attenzione, in luogo anche della possibilità di produrre strutture protesiche ad alta resistenza impiegando materiali ceramici avanzati e biologiche senza importanti investimenti tecnologici a carico del laboratorio odontotecnico. Chiaramente la fase di digitalizzazione e la progettazione della struttura protesica avvengono nei laboratori satellite distribuiti ovunque, mentre la trasformazione dell'elaborato digitale si compie in un centro di fresatura. Le strutture protesiche prodotte in modo industriale vengono poi consegnate al laboratorio satellite per completare l'estetica dei restauri, attraverso la stratificazione di porcellana o materiali compositi.

## Acquisizione delle informazioni digitali

Con il termine digitalizzazione si intende il rilevamento della morfologia tridimensionale di un solido e la sua trasformazione in dati numerici sensibili di elaborazione grafica. Un gran numero dei sistemi CAD/CAM odontoiatrici utilizzano il modello maestro come punto di partenza. La superficie del modello viene misurata e acquisita in forma numerica, utilizzando diversi strumenti di digitalizzazione, definiti scanner. Due approcci diversi, entrambi estremamente precisi, si confrontano a questo scopo. L'operazione di digitalizzazione può avvenire con l'impiego di sonde da contatto che scorrono sulle superfici del solido oppure attraverso processi di rilevazione ottica che registrano la riflessione di fasci luminosi diretti sulla superficie da acquisire. In entrambi i casi sia il movimento della sonda sia la variazione del fascio luminoso vengono registrati e trasdotti in informazioni numeriche che permettono la ricostruzione del solido in forma di un modello virtuale gestibile dal computer.

L'acquisizione dei dati mediante digitalizzatori a contatto è attuata tramite pantografi con un braccio snodato la cui punta, scorrendo sulla superficie dell'oggetto da scansionare trasmette le coordinate geometriche dei punti toccati al calcolatore. Questi sistemi sono molto precisi, ma la scansione richiede parecchio tempo affinché l'intera superficie del modello in gesso possa venir acquisita.

I sistemi ottico-topometrici, vale a dire gli strumenti di acquisizione/misurazione di un oggetto che sfruttano il comportamento della luce, sono decisamente più veloci rispetto a quelli che prevedono una misurazione da contatto. La scansione tridimensionale è attuata per mezzo di particolari rilievi fotografici, dove sensori ottici misurano i riflessi di luce generati da un raggio laser o da una fonte di luce bianca che in relazione alle caratteristiche

di rilevamento rimbalza o si deforma sulla superficie dell'oggetto. La proiezione del fascio luminoso può essere per punti, linee o griglie<sup>90</sup>.

La topometria ottica si basa su due tecniche di rilevamento combinate: la triangolazione, che consente la misura della posizione di un punto; e il tempo di ritorno delle onde elettromagnetiche che ne determina la distanza dalla fonte luminosa. Una serie di rilievi fotografici da diverse angolazioni permette l'acquisizione anche di aree in sottosquadro. Il sistema produce una nuvola di punti tra loro interconnessi che vengono matematizzati e ricostruiti dal software gestionale in forma di una griglia<sup>91</sup>. L'oggetto prende così una forma virtuale, ma cosa importante può essere manipolato con diversi livelli di editing. Questo significa che avendo una struttura a griglia riproducibile, il programma gestionale costruisce un modello virtuale panoramico con definizione limitata, all'interno del quale vengono inserite regioni con dettaglio estremo, che si incastrano sulla precedente griglia senza possibilità di errore. Velocità, precisione e alta definizione sono gli attributi principali dei nuovi sistemi di rilevamento ottico-topometrico.

## Il CAD/CAM in studio

L'introduzione del CAD/CAM all'interno dello studio si deve al dottor. Mörmann che ha messo a punto il sistema Cerec® capace di realizzare restauri in ceramica, quali intarsi, in breve tempo. Tuttavia, inizialmente la superficie occlusale del restauro doveva essere scolpita tramite turbina. Inoltre, la finitura marginale degli intarsi nelle prime versioni non risultava pienamente soddisfacente a causa dei limiti di precisione della digitalizzazione. Questa difficoltà di precisione è stata superata mediante la cementazione degli intarsi con materiali compositi in modo da colmare il gap perimetrale.

Negli anni a seguire, il sistema è stato continuamente migliorato nella tecnologia hardware e nel software. Numerose recensioni sono state pubblicate su questo sistema, a dimostrazione del raggiungimento di risultati soddisfacenti a lungo termine<sup>92</sup>.

Recenti integrazioni del sistema permettono di fabbricare non solo gli originali intarsi, ma anche corone, cappe e frameworks per protesi parziali fisse, con le entrambe le versioni dedicate sia allo studio che al laboratorio.

La digitalizzazione intraorale, come alternativa alla tradizionale tecnica di impronta, ha stimolato alcune aziende produttrici (Lava® Chairside e Cadent® iTero) a intraprendere questo itinerario innovativo malgrado la complessità e gli ostacoli che la tecnica di rilevazione digitale incontra in ogni fase del suo percorso.

Alcuni sistemi di rilevazione ottica richiedono che le superfici delle preparazioni vengano cosparse con uno spray opacizzante per evitare fenomeni di riflessione anomala durante la rilevazione, generati dalla presenza di fluidi o da superfici lucide. Altri sistemi abbisognano di un programma di editing post-scansione per ripulire e trasformare l'acquisizione, in un file ad alta risoluzione per la realizzazione del successivo disegno CAD. Inoltre la quantità, la posizione e il grado di rifinitura degli

elementi pilastro, sono variabili che aumentano sensibilmente la complessità di rilevazione e quindi di produzione di framework soddisfacenti in termini di precisione. Nonostante l'idea di avere un prodotto realizzato direttamente nello studio odontoiatrico si sia fatta breccia in virtù delle potenzialità delle procedure di lavoro digitale, è vero anche che la necessità di ottenere standard produttivi di qualità richiede un'ineludibile abilità progettuale. Il design virtuale è sicuramente uno strumento straordinario che invoglia il suo utilizzo anche da parte dei professionisti in studio. Nonostante si possa fare affidamento su database di morfologie coronali, messe a disposizione dai software più complessi e aggiornati, quest'approccio non consente di sostituire l'abilità progettuale dell'odontotecnico nel conseguimento di una soluzione protesica efficace. La valutazione dei volumi e degli spessori dei frame-work oppure il disegno dei connettori, in relazione alle caratteristiche fisico-meccaniche del materiale da utilizzare, sono solo alcuni aspetti che evidenziano la necessità di un'esperienza progettuale e inducono a non sopravvalutare efficacia della sola operatività digitale.



## Il CAD/CAM in laboratorio

Intorno alla metà degli anni ottanta la tecnologia CAD/CAM trovava applicazione in diverse operazioni finalizzate alla realizzazione di componenti di protesi parziali e totali rimovibili. L'avanguardia digitale del periodo verteva sull'impiego di macchinari a controllo numerico e sistemi di lavorazione in elettroerosione<sup>93</sup>. L'asportazione per scariche elettriche si è dimostrata un eccellente metodo per molte applicazioni industriali, ma per le esigenze protesiche risultava poco efficace, poiché richiede molto tempo per la produzione dei pezzi e può essere impiegata solo su materiali conduttori, nello specifico le leghe<sup>94</sup>. Oltremodo, la domanda di protesi rimovibili negli ultimi anni si è ridotta sensibilmente, sia a fronte dei risultati ottenuti dalla prevenzione della carie e della malattia parodontale<sup>95</sup> sia per la possibilità di sostituire i denti mancanti con impianti<sup>96</sup>. Contemporaneamente, invece, si è espansa la richiesta di soluzioni protesiche sempre più estetiche, con conseguente bisogno di materiali ceramici innovativi che, per antonomasia, sono isolanti elettrici e non possono essere lavorati con elettroerosione. Dagli anni novanta lo sviluppo delle tecnologie CAD/CAM ha dovuto necessariamente subire una netta deviazione, con orientamento verso la realizzazione di protesi fisse. Allora, erano già presenti diversi sistemi ben sviluppati o in fase di sviluppo. Ciò nonostante, i processori e i programmi di computer grafica di quegli anni trovavano difficoltà a riprodurre e gestire i dati digitalizzati in tre dimensioni. Progettare il nucleo di una corona singola attraverso un'operazione di ceratura virtuale a monitor richiedeva notevole abilità e un grande dispendio di tempo<sup>97</sup>.

L'accelerazione iperbolica del progresso informatico, negli ultimi anni, ha reso possibile la messa a punto di software complessi, sostenuti da processori potenti, in grado di creare automaticamente la morfologia delle corone, in contrapposizione alla loro realizzazione mediante processi di computer grafica gestiti ancora manualmente.

L'affiancamento ai più moderni sistemi CAD/CAM anche dell'ingegneria assistita dal computer, alla quale corrisponde l'acronimo anglofono CAE, ha reso possibile anche una valutazione della meccanica strutturale delle protesi fisse in relazione alle caratteristiche dei materiali utilizzati e finalizzare una struttura dalle proprietà meccaniche predefinite<sup>98</sup>.

I primi sistemi CAD/CAM da laboratorio prevedevano allora tre elementi: la strumentazione di misura; cioè lo scanner che acquisiva le informazioni analogiche e le convertiva in dati digitali; il macchinario di fresatura, in genere piuttosto ingombrante; nonché una postazione di computer, anch'essa di notevoli dimensioni, per realizzare il centro di elaborazione grafica. L'adozione di impianti così grandi nei tradizionali laboratori odontotecnici ha trovato limitazioni a causa dei notevoli investimenti richiesti per l'acquisto dell'attrezzatura tecnologica e per le esigenze di spazio che richiedevano.

Bisogna tenere conto che nonostante il vantaggio produttivo derivante dall'utilizzo della tecnologia CAD/CAM dentale, tema particolarmente caldeggiato dai produttori, gli elementi essenziali di riconoscimento dei benefici tecnici quali: l'adattamento dei restauri oppure le reali possibilità applicative dei sistemi non erano ancora suffragati da un'evidenza scientifica, tantomeno esistevano pubblicazioni specifiche che potessero far luce sull'argomento.

Solo in seguito a questo malaccorto approccio sono state stabilite le nuove strategie di sviluppo che hanno dato vita all'approntamento dei più moderni, piccoli e versatili sistemi CAD/CAM<sup>99</sup>; le caratteristiche dei quali possono essere riassunte nei seguenti punti:

- macchinari compatti e integrati installabili in normali laboratori;
- sistemi gestiti da PC anziché da postazioni di lavoro costose e ingombranti;
- apparecchiature semplici e ad alte prestazioni;

- automazione della produzione;
- realizzazione di protesi di qualità utilizzando sia leghe sia materiali ceramici avanzati.

La produzione autonoma, con l'utilizzo di fresatori CAM di dimensioni medio-piccole, riesce a soddisfare solo parzialmente l'ampia gamma di lavorazioni richieste. Innegabile è il vantaggio di produrre pezzi in tempi brevi direttamente in laboratorio, ma a ciò si contrappongono difficoltà operative importanti. La qualità della fresatura è, infatti, intimamente associata alla stabilità del macchinario CAM e alla durezza del materiale. Facendo un'analisi sommaria si potrebbe sostenere che un materiale come la zirconia pre-sinterizzata, sia più facilmente lavorabile rispetto a una lega di cobalto-cromo, per la marcata differenza di durezza dei due materiali. Almeno in teoria questa questione potrebbe essere gestita utilizzando la produzione interna per le lavorazioni dei materiali più friabili, delegando la trasformazione dei materiali duri a strutture industriali esterne. Ma anche la fresatura di materiali teneri come la zirconia pre-sinterizzata, nasconde insidie legate alla natura del materiale stesso, ancora privo in questa fase, delle sue eccellenti proprietà meccaniche. Tutti i prodotti ceramici sono per natura fragili e propensi a scheggiature durante la fresatura; la loro accurata lavorazione richiede quindi utensili rotanti appropriati che lavorano in pressoché totale assenza di vibrazioni. Un fresatore CAM stabile genera superfici estremamente levigate, anche in presenza di spessori ridotti riducendo drasticamente le fasi e i tempi di rifinitura post-sintering del pezzo, che oltremodo risultano inopportune per la natura strutturale del materiale policristallino.

Un altro importante aspetto che andrebbe considerato è la fase di sinterizzazione. Nel laboratorio odontotecnico, sempre a proposito della zirconia, la manutenzione dei macchinari per la sinterizzazione è una procedura di difficile gestione. In caso di non perfetta efficienza del

macchinario, la curva termica potrebbe risultare alterata da una potenziale errata variazione di temperatura durante il ciclo di sinterizzazione, con conseguente compromissione della qualità strutturale finale. Non si esclude tuttavia, la possibilità di una produzione interna al laboratorio odontotecnico, con l'impiego di protocolli e risorse tecnologiche, che tengano conto e gestiscano al meglio anche queste variabili. Rimane quindi del tutto individuale la scelta di avvalersi un percorso operativo interno al solo laboratorio oppure rivolgersi per l'approvvigionamento delle strutture protesiche, a centri di produzione esterna, dove il management produttivo è una strada ben tracciata con chiara comprensione degli obiettivi qualitativi da conseguire.

## La lavorazione in outsourcing

Il termine outsourcing significa approvvigionamento dall'esterno e indica nello specifico la produzione industriale di pezzi disegnati in laboratori satellite, che ordinano la lavorazione delle protesi a centri di formatura industriali. La lavorazione in outsourcing ha richiesto lo sviluppo di una rete di interscambio di informazioni su scala globale, con connessioni tra singoli laboratori e centri di produzione<sup>100</sup>.

Acquisiti i dati tridimensionali del modello in gesso mediante uno scanner installato nel laboratorio odontotecnico e convertiti in un simulacro virtuale di alta precisione, mediante un software di design, viene sviluppata la modellazione tridimensionale del restauro completo. Quest'operazione viene eseguita con l'ausilio di un database contenente morfologie di corone che possono essere selezionate e introdotte nella ceratura, nonché adattate nella forma alla situazione specifica del modellato virtuale. I software più virtuosi permettono di ottenere dei modellati con morfologie del tutto equiparabili alla ceratura tradizionale, con tempi esecutivi decisamente contenuti. Dalla ceratura completa, in modo del tutto automatico viene ottenuto il framework, con volumi strutturali correlati alle caratteristiche meccaniche del materiale selezionato per la fabbricazione, lega o ceramico. Ancora il progetto può essere modificato in base a esigenze operative soggettive, ma sempre sotto un supercontrollo automatizzato che giudica, in tempo reale, l'operato del designer e suggerisce le necessarie modifiche, qualora la morfologia del lavoro non sia congruente con i parametri strutturali dei materiali. Realizzato il pezzo tridimensionale, il file dello stesso viene inviato tramite Internet al centro di elaborazione. Un sistema di accettazione sottopone il progetto a un'ulteriore verifica di fattibilità che, se confermata, apre le porte alla produzione. Utilizzando macchinari completamente automatizzati ed estremamente stabili, operanti a controllo numerico computerizzato, il centro di elaborazione scolpisce fedelmente il progetto

virtuale nel pezzo vero e proprio, del materiale prescelto. Una volta completata la formatura il pezzo è sottoposto a ulteriore verifica microscopica che ne conferma la buona realizzazione, secondo ben codificati parametri di qualità<sup>101</sup>.

Solo dopo il superamento di questo esame il framework può intraprendere la strada verso il laboratorio satellite di partenza che ne ha ordinato la realizzazione, dove il pezzo industriale viene sottoposto a rivestimento estetico, mediante stratificazione della porcellana.

## L'introduzione di nuovi materiali

Una svolta importante in ambito delle lavorazioni odontoiatriche con CAD/CAM è stato l'avvento dei composti ceramici avanzati e delle biogelhe al titanio e al cobalto-cromo.

Per quanto concerne i **materiali ceramici avanzati**, quattro caratteristiche fondamentali hanno conferito a questi composti l'ingresso e l'affermazione in ambito protesico: la biocompatibilità, la resistenza, la trasparenza, l'economicità. Tali ceramiche si sono dimostrate validi sostituti delle leghe, anche per i restauri protesici nei settori posteriori<sup>102</sup>. Le eccellenti proprietà meccaniche, in particolare la resistenza alla flessione e alla rottura, hanno sancito il successo di composti come il disilicato di litio (Empress II®), l'allumina vetroinfiltrata (InCeram Alumina®), l'allumina vetroinfiltrata tenacizzata con zirconia (In-Ceram® Zirconia), l'allumina a elevata purezza densamente sinterizzata (Procera®) e la zirconia tetragonale policristallina stabilizzata con ittria (Cercon®, DCSPrecident®, Lava®, Cara System® Heraeus)<sup>103</sup>.

Poiché la fabbricazione di strutture protesiche in ceramica ad alta resistenza è un'operazione delicata, è necessario adottare macchinari affidabili e stabili per concretizzarne la realizzazione. La tecnologia convenzionale del laboratorio odontotecnico non è, infatti, in grado di produrre prodotti eccellenti su vasta scala impiegando questi materiali. A fronte di questa limitazione operativa l'utilizzo ottimale e standardizzato di ceramici avanzati esige ineluttabilmente l'applicazione di nuove tecnologie CAD/CAM abbinate a sistemi produttivi industriali.

Tra i materiali ceramici avanzati di uso odontoiatrico sicuramente la **zirconia** tetragonale policristallina stabilizzata con ittria (Y-TZP) è quella che sta riscuotendo un maggiore interesse come materiale sostitutivo delle leghe, per la realizzazione di framework per protesi fisse. Infatti, la maggior

parte dei sistemi CAD/CAM presenti sul mercato mondiale non fanno mancare nella lista dei loro materiali da fresatura l'Y-TZP64-67.

La zirconia è un materiale eccezionale, da solo questo composto ceramico meriterebbe un'approfondita rassegna per comprenderne l'essenza delle sue qualità fisiche e meccaniche. Brevemente in questa disamina si vogliono evidenziare alcuni aspetti della lavorazione industriale e come questi possono influire sul risultato finale.

Esistono infatti due tipi di blocchi di zirconia per distinte applicazioni CAD/CAM. La prima prevede l'utilizzo di blocchi densi completamente sinterizzati; la seconda e più frequente, fa uso di blocchi pressati per la fresatura. In quest'ultimo caso una volta scolpito il framework, esso subisce un processo di sinterizzazione che lo porta ad essere il prodotto finale con adeguata resistenza. Dal punto di vista operativo, il primo sistema ha il vantaggio del rispetto dimensionale, in quanto il materiale essendo già sinterizzato non è soggetto a ulteriore contrazione volumetrica, ma per converso ha una lavorabilità estremamente difficoltosa, poiché la durezza della zirconia sinterizzata impone un'usura marcata agli utensili di lavorazione. Inoltre, la formazione di microfratture sul materiale sinterizzato prodotte dalla fresatura, rende il pezzo più facilmente soggetto a deterioramento meccanico<sup>104</sup>. La procedura che prevede l'utilizzo di zirconia non ancora sinterizzata ha il pregio di una più facile lavorabilità limitando l'usura degli strumenti o la frammentazione del materiale. Tenendo conto che in questo caso il pezzo fresato subisce una contrazione volumetrica durante il successivo processo di sinterizzazione, il software di gestione del sistema CAM rende possibile un automatico sovradimensionamento, in previsione del futuro calo dimensionale<sup>105</sup>.

Da sottolineare, comunque, che in fase progettuale il framework viene realizzato mantenendo una scala assolutamente normale, vale a dire un rapporto uno a uno. Solo successivamente una volta che il file giunge al

centro di fresatura il disegno in 3D viene magnificato, in modo da compensare la contrazione volumetrica che si verificherà durante la sinterizzazione finale della zirconia<sup>106</sup>. Alcuni sistemi di lavorazione di ultima generazione, come il Cara System® Heraeus garantiscono una riproducibilità del file tridimensionale, generato nel laboratorio odontotecnico, con uno scarto di precisione post-sintering che non supera il singolo micrometro, permettendo quindi finiture marginali e superficiali di altissimo livello qualitativo e garantendo il raggiungimento di una qualità di accoppiamento con il moncone di livello notevole. Anche nel caso di frameworks di grandi dimensioni la messa a punto di un compenso dimensionale estremamente calibrato, in associazione con un processo di sinterizzazione controllato e mantenendo l'intero pezzo connesso con parte della cialda di fresatura, rappresentano accorgimenti capaci di mantenere fedele in modo pressoché assoluto il livello qualitativo finale di un framework dell'estensione di un'arcata.

Esistono diverse lavorazioni che ancora necessitano di essere allestite in blocchi separati e successivamente congiunti mediante saldatura oppure pezzi specifici come abutment implantari, barre di ritenzione per protesi rimovibili. In questi casi la versatilità delle **leghe** offre uno spazio di manovra decisamente maggiore rispetto alla ceramica. Un pezzo ottenuto in ceramica non può essere infatti adattato nella forma, saldato o utilizzato per l'allestimento di una barra<sup>107</sup>.

Le leghe disponibili oggi per lavorazioni assistite dal computer sono principalmente quelle al **titanio** e al **cobalto-cromo**. In entrambi i casi i framework vengono ottenuti a partire da blocchi o cialde di materiali densi e omogenei che non subiscono modifiche di stato fisico, come avviene nella fusione mediante tecnica della cera persa, ma mantengono intatte le loro caratteristiche offrendo prestazioni, in termini di resistenza, di livello superiore alle leghe processate per fusione<sup>108</sup>. Entrambe le tipologie di

materiali rispondono a esigenze tecniche fondamentali quali: biocompatibilità, elevata resistenza, basso peso specifico, possibilità di essere rivestite con ceramiche<sup>109</sup>.

Nella realizzazione di corone e protesi fisse il processo di rivestimento estetico avviene per stratificazione delle masse di porcellana secondo le modalità consuete per la metallo-ceramica. Nel caso delle leghe al titanio devono essere adottate ceramiche apposite che tengono conto dello specifico coefficiente di dilatazione e contrazione della lega durante le cotture di rivestimento; invero, nel caso delle leghe al cobalto-cromo non è richiesto alcun adattamento procedurale per il loro rivestimento ceramico. Un attributo questo che offre ancora più versatilità a questi secondi materiali.

Rispetto alle tecniche classiche, il CAD/CAM offre una serie di materiali più diversificata per soddisfare tutti i tipi di riparazioni. I materiali utilizzati dipendono dal procedimento di fabbricazione adottato, per sottrazione o addizione, e sono principalmente dei materiali estetici; resine, ceramiche di ogni genere (feldspati, vetroceramiche, alluminose, cristalline a base d'allumina o di zirconio) e materiali ibridi.

Attualmente, il professionista dispone di blocchi di materiali a tinta piena ma anche di blocchi sfumati in una direzione (Empress CAD Multi...) o più direzioni (MkII Real Life) o anche a trasparenza variabile (Empress CAD e eMax CAD). I fabbricanti propongono inoltre blocchi di ceramiche cristalline tinte.

## Applicazioni e vantaggi del CAD/CAM

L'impiego della tecnologia CAD/CAM ha permesso di ottenere il miglioramento delle soluzioni terapeutiche esistenti, aprendo la strada a nuove soluzioni.

I settori di applicazione del CAD/CAM vanno dalle riparazioni odontoiatriche alle protesi, passando da implantologia, chirurgia orale ma anche ortodonzia.

Questa tecnica permette la realizzazione di riparazioni indirette (inlay, onlay), di protesi fisse singole e plurime, di inlay-core, di faccette, di protesi fisse sovraimplantari (incollate o avvitate) e anche di protesi provvisorie.

Può essere applicata anche nelle protesi amovibili e protesi amovibili su impianti.

Nella protesi aggiunta, i software dedicati sono in grado di concepire le basi delle protesi complete, i supporti metallici nelle protesi parziali e simulare l'occlusione del paziente su articolatore virtuale.

Viene inoltre utilizzata per la preparazione di protesi maxillo-facciali. Per ogni applicazione, le procedure di fabbricazione e i materiali sono diversi ma il flusso digitale resta praticamente lo stesso.

In implantologia, il CAD/CAM permette di fabbricare dei monconi dentali personalizzati, barre di impianto su misura e guide chirurgiche implantari per guidare i gesti chirurgici durante la posa degli impianti.

In ortodonzia, il CAD/CAM ha permesso lo sviluppo di un nuovo trattamento per la correzione delle malocclusioni tramite sistemi di allineamento invisibili che rappresentano un'alternativa al trattamento ortodontico convenzionale. Tra le soluzioni software sviluppate per l'ortodonzia tramite CAD/CAM si può citare Invisalign®. Questi software consentono di archiviare i modelli digitali ottenuti con impronta ottica, di pianificare i trattamenti realizzando dei set-up e di sfruttare i dati cefalometrici.

Questa tecnologia offre numerosi vantaggi non solo per il dentista, ma anche per il paziente e il tecnico.

Per il dentista

- Rapidità, riduzione dei tempi e praticità:

L'utilizzo delle impronte ottiche elimina alcune fasi del procedimento protesico, consentendo un'implementazione rapida ed efficace, con un notevole risparmio di tempo e un protocollo standardizzato con una necessità minima di ritoccare la riparazione garantendone l'affidabilità.

- Aumento di produttività e redditività:

Oltre alla produttività dello studio che risulta ottimizzata grazie alla riduzione dei tempi di fabbricazione, il numero di sedute viene ridotto a una seduta unica con il CAD/CAM diretto. Una garanzia di redditività per lo studio.

- Aumento di precisione, regolarità e tracciabilità:

Il protocollo razionale che offre il CAD/CAM, grazie alla riduzione delle fasi del procedimento protesico e quindi dei rischi di errori, migliora la precisione delle riparazioni. Di conseguenza, il digitale permette di assicurare la regolarità dei dispositivi medicali e di ottimizzarne la tracciabilità.

- Arsenale terapeutico arricchito:

Il dentista ha a disposizione nuovi materiali e procedimenti, tra gli altri, la stampa 3D, che gli consente la diversificazione degli atti compiuti e delle cure fornite ogni giorno. La padronanza della tecnica digitale comprende una fase di apprendimento con la manipolazione di nuovi materiali, la conoscenza delle loro proprietà specifiche, indicazioni e limiti, nonché dei nuovi strumenti di lavoro che vanno dalla telecamera intraorale o dallo scanner di impronta alla macchina a comando numerico (CNC) passando dai software CAD/CAM. È così possibile garantire la piena realizzazione del professionista nel lavoro quotidiano.

- Maggior appeal del nome:

L'ampia scelta di materiali e le nuove soluzioni terapeutiche offerte dal CAD/CAM consentono al dentista di distinguersi valorizzando il proprio lavoro e il livello tecnico del suo studio e di proporre ai suoi pazienti un'odontoiatria più moderna.

Per il tecnico

I vantaggi dello studio sono quelli del laboratorio. Il tecnico riceve immediatamente un'impronta digitale di notevole precisione, riducendo così le cause di errori dovute a volte a interpretazioni soggettive, con un aumento della rapidità di esecuzione e di produttività.

Per il paziente

- Trattamenti effettuati di migliore qualità:

Grazie alla tecnica CAD/CAM, i pazienti possono beneficiare oggi di riparazioni non solo di più alto livello estetico, biomimetiche e biocompatibili, ma anche più precise. La smaterializzazione delle attività in tutto il procedimento protesico impedisce l'accumularsi delle imprecisioni inerenti alle tecniche tradizionali. La disponibilità di nuovi materiali innovativi determina la necessità di elaborare rapidamente norme di sicurezza e qualità del prodotto finale che garantiscano la qualità irreprensibile delle riparazioni elaborate tramite CAD/CAM.

- Comfort del paziente:

L'eliminazione della fase di presa dell'impronta fisica, spesso considerata troppo aggressiva dai pazienti con la tecnica CAD/CAM, è notevolmente apprezzabile. L'uso di una sola anestesia invece di due, l'eliminazione del provvisorio sono vantaggi innegabili. Le sedute sono più brevi e confortevoli e il loro numero ridotto; grazie al CAD/CAM diretto, alcuni trattamenti possono essere eseguiti in una sola seduta, preparazione compresa.

- Costi ridotti

La riduzione dei tempi e la diminuzione delle risorse umane necessarie per fabbricare le riparazioni tramite CAD/CAM, insieme allo sviluppo del settore, si traducono in una diminuzione dei costi.

In tutta la storia dell'odontoiatria, il risultato protesico è stato sempre correlato ai materiali e alla loro tecnologia di trasformazione. Quando vengono introdotti **nuovi materiali** l'applicazione della tecnologia convenzionale è la prima verifica ai quali quest'ultimi sono sottoposti. Tuttavia, per le ceramiche ad alta resistenza è stato difficile utilizzare le tecnologie convenzionali dei laboratori odontotecnici e per affrontarne la trasformazione si è reso necessario impiegare sistemi di lavorazione automatizzati. Inoltre, la tecnologia CAD/CAM è stata ineludibile per calcolare e quindi compensare le modifiche dimensionali che avvengono con la sinterizzazione dei prodotti ceramici.

Anche per le biogelhe è possibile fare un discorso analogo, quest'ultime infatti sebbene possano essere trasformate con processi di fusione, la loro resa in termini di densità e omogeneità è decisamente superiore quando il pezzo viene elaborato direttamente per fresatura. Questo significa che la qualità del pezzo ottenuto per fresatura è senza dubbio superiore rispetto a quella una lega analoga formata per fusione.

Le convenzionali tecnologie di laboratorio odontotecnico richiedono tradizionalmente una manodopera altamente qualificata e un notevole impegno di tempo. Per converso, l'applicazione della tecnologia CAD/CAM ha come intento anche la **riduzione dei tempi esecutivi**. La semplificazione delle procedure operative e la possibilità di potersi avvalere di un data base di morfologie coronali, facilita le operazioni di progetto tridimensionale. Bisogna tenere presente che la curva di apprendimento della tecnica di lavorazione virtuale, presentata in genere come un percorso breve e semplice, trova conferma solo nella realizzazione di piccoli e semplici

frameworks, mentre per le ricostruzioni più complesse richiede tempo e applicazione. Oltre alla personale capacità operativa, i rallentamenti e le difficoltà sono talvolta correlati alla snellezza di elaborazione degli algoritmi dei software dedicati. La stabilità operativa e la semplicità di elaborazione dei software CAD sono alcuni degli aspetti più importanti del disegno virtuale, direttamente correlati alle performance operative.

La competizione commerciale in questo settore determina talvolta scelte temerarie con effetti importanti circa la stabilità e il buon funzionamento del software CAD. Anche il lancio di uno nuovo programma di aggiornamento, release operativa, può essere causa di difficoltà se non viene testato con cura prima della distribuzione. Ancora oggi, alcuni programmi vengono messi a punto solo in fase avanzata grazie ai molteplici feedback che giungono dagli utilizzatori. Fortunatamente non tutte le aziende adottano questa strategia di abbandono della sicurezza gestionale, fornendo prodotti lungamente testati e molto performanti, aspetto questo da non sottovalutare durante le fasi di analisi che precedono l'acquisto di un sistema.

Acquisita un certa dimestichezza con il sistema operativo il tempo complessivo di produzione risulta più breve se paragonato a quello di un processo di realizzazione di una corona in metallo-ceramica tradizionale. Inoltre, l'operatore partecipa direttamente alle procedure solo per un tempo limitato mentre una gran parte del processo avviene automaticamente. Inoltre, la lavorazione in outsourcing non richiede approvvigionamento e trasformazione di materiali, e ciò si traduce in una diminuzione di impegno e di tempo dedicato a queste mansioni.

Nelle procedure convenzionali di realizzazione dei manufatti in ceramica integrale, ai laboratori è richiesto un certo grado di competenza, sia in termini di riproduzione di un'estetica naturale sia per valutare la contrazione volumetrica che avviene con il processo di sinterizzazione ad alte

temperature. Dato il forte impegno di manodopera specialistica e competente la produttività risulta poco efficace e conseguentemente il costo totale dei restauri in ceramica integrale non può che essere elevato.

Parzialmente diversa è l'evidenza in cui i restauri in ceramica integrale sono fresati a partire da un blocco prefabbricato di materiale con caratteristiche predeterminate, utilizzando un sistema CAD/CAM. La produzione di protesi parziali in ceramica integrale a partire da un framework in zirconia prodotta in outsourcing è in grado di fornire prestazioni ancora più vantaggiose sia per lo studio odontoiatrico che per il laboratorio odontotecnico. L'investimento iniziale per il digitalizzatore e il software CAD, vengono gradualmente compensate nel tempo, grazie alla sensibile riduzione complessiva dei tempi di lavorazione, associata a una straordinaria qualità dei frameworks, che si contrappone però ai relativi costi in funzione alla loro complessità e al tipo di materiale. Il risparmio non è quindi determinato da un abbattimento complessivo dei costi, ma va ricercato nell'aumento della qualità strutturale, requisito indispensabile, per la riduzione dei rischi potenziali durante la fase di ceramizzazione. Anche la sensibile diminuzione dei tempi di allestimento dei frameworks, rispetto alla tecnica tradizionale, è comunque un dato certo e può venire impiegato per dedicarsi con maggiore attenzione alla cura del risultato estetico.

L'uso della tecnologia CAD/CAM non solo permette la formazione dei restauri protesici, ma consente anche il controllo della qualità degli stessi. Sin dall'inizio del processo produttivo la progettazione delle forme avviene in modo ottimale in base alle caratteristiche del materiale selezionato. Vengono oltremodo evitati gli effetti distorcenti tipici delle lavorazioni tradizionali dove i materiali, devono essere trasformati attraverso cambi di stato fisico della materia. Infine il percorso di lavoro industriale permette di ottenere una tipologia di risultato sempre riproducibile.

Un blocco prefabbricato di ceramica industriale, per esempio, possiede una qualità garantita già in partenza, i difetti interni nei prodotti fresati sono pressoché inesistenti. Al contrario l'impiego di polveri ceramiche convenzionali richiede un'abilità tecnica notevole e una cura procedurale impegnativa, per ridurre le porosità interne del manufatto ceramico finale. Ciò malgrado alcuni vizi occulti della struttura sono quasi del tutto ineliminabili. Da analisi frattografiche a elementi finiti emerge che tra le cause di fallimento di protesi parziali fisse metal-free, realizzate con metodi convenzionali, sono contemplate, nella maggior parte dei casi, deficit strutturali dei connettori, in quanto zone che facilitano la concentrazione degli stress meccanici<sup>110</sup>. Nel caso di lavorazioni con CAD/CAM, il calibro del connettore, viene prestabilito in funzione della lunghezza della travata e del materiale prescelto per la costruzione del framework. Non essendo possibile ridurre il calibro del connettore a piacimento, perché il sistema di correzione automatizzata lo impedisce, l'impiego del CAD garantisce una maggior sicurezza di resistenza meccanica riducendo il rischio di frattura della travata.

La necessità di rendere i trattamenti odontoiatrici più efficaci comporterà probabilmente sempre di più una contrazione dei tempi di trattamento, senza che questo comporti una diminuzione della qualità nel risultato riabilitativo funzionale ed estetico; anzi verrà richiesto che questi parametri siano addirittura implementati. In quest'ottica evolutiva non ci sono dubbi che le necessità porteranno all'introduzione e diffusione di sistemi CAD/CAM direttamente in ambito clinico. L'odontoiatria del futuro avrà probabilmente la necessità di offrire restauri protesici efficienti ed estetici in tempi brevi, forse addirittura in una sola seduta e probabilmente senza aumentarne i costi. La tecnologia CAD/CAM applicata direttamente in studio è presumibilmente la migliore candidata in termini di potenziale tecnologico per fornire questa tipologia di servizio. La ricerca e lo sviluppo industriale

stanno già mettendo a disposizione sistemi di scansione intraorale compatti e di alta precisione. Inoltre, i materiali che soddisfano al meglio le esigenze estetiche e che possiedono caratteristiche meccaniche eccellenti hanno modo di essere gestiti unicamente con questo tipo di tecnologia.

Considerando la durata media dei dispositivi riabilitativi, le innovazioni nei materiali e nelle tecnologie sono necessarie per soddisfare standard di prestazione rigorosi e garanzia di qualità. L'analisi strutturale durante il processo di progettazione CAD sarà sempre più un potente strumento che affianca il disegno dei framework in ceramica, nei quali la corretta progettazione dei connettori diminuisce decisamente il rischio di frattura durante la funzione.

Un'altro importante ausilio riguarda la simulazione della funzione masticatoria nella progettazione delle riabilitazioni. I dispositivi protesici dovrebbero essere progettati e fabbricati con un miglioramento della funzione dinamica, in relazione ai movimenti mandibolari. L'analisi dei movimenti della mandibola è una colonna portante della gnatologia e della chinesologia ed è un argomento da sempre intimamente correlato alla disciplina protesica.

Allo stato attuale dell'evoluzione tecnologica, la maggior parte dei software CAD permettono solo la riproduzione statica delle morfologie protesiche, per converso alcuni programmi stanno evolvendosi anche verso l'impiego di analisi vettoriali della dinamica masticatoria con possibilità di trasferimento alla progettazione del framework, dando vita alla produzione di morfologie occlusali direttamente correlate alla dinamica funzionale soggettiva con test virtuali dinamici. Anche l'analisi della deglutizione, della fonazione e delle parafunzioni potranno essere interfacciati con le nuove generazioni di programmi di progettazione CAD. Ancora, l'interfaccia tra la scansione intraorale e i file tipo DICOM, generati per le tomografie computerizzate, rendono performanti le analisi tra le strutture scheletriche e

la dentatura residua, per consentire piani di trattamento più corrispondenti ed efficaci ai dati di riferimento anatomico-strutturali.

Oltre al successo delle tecnologie digitali per la fabbricazione di protesi fisse su pilastri naturali, la tecnologia CAD/CAM ha già trovato applicazione anche nella realizzazione di abutment e sovrastrutture implantari. Nonostante ciò, questa tecnologia dovrebbe essere introdotta anche nella fabbricazione di protesi parziali rimovibili<sup>111</sup> e nell'allestimento dei dispositivi ortodontici sempre mantenendo requisiti di alta qualità in tutti i campi.

Inoltre, il CAD/CAM dentale dovrebbe essere disponibile anche in contesti educativi e come strumenti di formazione continua e per simulazioni di procedure protesiche e chirurgiche<sup>112</sup>.

Un altro aspetto non trascurabile riguarda la possibilità di utilizzare la tecnologia CAD/CAM per accumulare dati riguardanti la fabbricazione delle protesi e per documentarne il periodo di sopravvivenza funzionale. Questi dati una volta analizzati e processati statisticamente permetteranno di formulare linee guida protesiche basate sull'evidenza. Linee guida peraltro esistenti, ma ancora difficili da utilizzare poiché l'impiego della tecnologia produttiva convenzionale difficilmente consente di monitorare in modo accurato le procedure tecniche e il confronto qualitativo.

## Procedimento aperto vs procedimento chiuso

Questa nozione definisce la possibilità di intervenire in una fase del procedimento CAD/CAM.

- Sistema chiuso o procedimento CAD/CAM “chiuso”

In questo primo caso, tutti i componenti del procedimento sono imposti dal fabbricante. Dopo aver eseguito l’acquisizione, non è possibile alcuna uscita dal procedimento e quindi nessuna esportazione di dati, a parte la fabbricazione finale.

- Sistema aperto o procedimento CAD/CAM “aperto”

Il dentista può scegliere di acquistare le diverse fasi da fabbricanti diversi in base alle sue esigenze e caratteristiche specifiche di ogni componente. L’uscita dal procedimento è possibile dopo ogni fase, così come l’esportazione dei file. Questo tipo di sistema permette di modificare completamente una fase o solo alcuni parametri e accedere ai dati ottenuti.

È la “compatibilità” tra le varie fasi scelte del procedimento che determina la possibilità dei due sistemi digitali (software o hardware) di scambiare i dati senza modifica delle informazioni. Rappresenta quindi il requisito minimo per consentire l’integrazione di due sistemi digitali consecutivi in uno stesso flusso digitale, nonché un criterio importante nella scelta del procedimento CAD/CAM.

## CAD/CAM diretto, semi diretto o indiretto

L'evoluzione del CAD/CAM ci consente di distinguere tre metodi diversi:

- Il CAD/CAM diretto

Permette al professionista di realizzare una protesi in una sola seduta.

Tutte le fasi sono realizzate nello studio dentistico, l'impronta ottica intraorale viene elaborata sul posto fino alla preparazione della riparazione (inlay, onlay, faccetta ceramica, singola corona o ponte provvisorio).

- Il CAD/CAM semi-diretto

Richiede almeno un passaggio presso il laboratorio, l'acquisizione realizzata dal dentista può essere elaborata nello studio per eseguire il CAD o trasmessa a un laboratorio o centro di lavorazione in linea in tempo reale, consentendo così un'interazione immediata con il fabbricante per la preparazione dell'infrastruttura e dell'aspetto cosmetico.

- Il CAD/CAM indiretto

Il dentista realizza un'impronta classica chimico-manuale che trasmette al protesista o al centro di lavorazione. Tutte le fasi del procedimento digitale sono quindi esternalizzate.

Le tecniche semi-diretta e indiretta richiedono il coinvolgimento di laboratori o centri di lavorazione per l'elaborazione di protesi più complesse con materiali più difficili da lavorare nello studio dentistico.

## Beneficio ecologico

La riduzione dei volumi dei materiali utilizzati nella tecnica convenzionale e dei rifiuti, in particolare grazie alle impronte ottiche e alla fabbricazione additiva, ha un impatto positivo innegabile sull'ambiente.

# Fresatore CNC

La prima idea di macchina comandata da un programma di lavoro precompilato è storia recente risalendo attorno al 1950, ma in questo breve periodo di tempo si è assistito a una rapida e intensa evoluzione che ha interessato e coinvolto tutti i settori della produzione industriale, fino a toccare il settore dentale, prima con i servizi offerti da grossi centri di produzione, arrivando poi anche a creare un'offerta di prodotti adottabili direttamente dai laboratori odontotecnici<sup>113</sup>.

Uno dei primi concetti da introdurre, se non il più importante, è quello che sta alla base del funzionamento delle macchine di produzione (principalmente torni e macchine fresatrici) tramite asportazione di materiale, che partono cioè da un blocco di materiale più o meno grezzo e, tramite opportuni movimenti programmati e l'uso di utensili specifici, rimuovono il materiale in eccesso andando a restituire il pezzo lavorato nella sua forma definitiva: il materiale deve poter essere adeguatamente formato attraverso opportune lavorazioni di taglio o abrasione.

L'abrasione è la lavorazione con cui vengono affrontati i materiali ceramici (vetroceramica, disilicato di litio) e i materiali che contengono al loro interno materiale riempitivo inerte (compositi o resine con fibra di vetro), oppure i materiali metallici nel caso di lavorazioni particolari quali rettifiche o lappature per portare il pezzo entro rigidi parametri di tolleranza o di rugosità superficiale. Una lavorazione più efficiente e anche più diffusa è quella di taglio che può essere applicata su materiali che presentino un grado di deformabilità da medio a elevato, per esempio cere, resine non caricate o metalli, in quanto durante l'azione di taglio dell'utensile avviene un fenomeno di asportazione di materiale.

Un'ulteriore categoria di materiali frequentemente utilizzati in campo dentale è rappresentata dall'ossido di zirconio presinterizzato e affini.

Nel suo stato finale di sinterizzazione può essere lavorato, ma con molta difficoltà, solo attraverso abrasione, mentre nel suo stato di presinterizzazione con cui viene normalmente fornito non subisce un vero e proprio effetto di taglio perché è privo della capacità di deformazione plastica alle temperature di utilizzo; è più simile, volendo mantenere un esempio di tipo alimentare, a un cucchiaino che affonda in un blocco di zucchero. Le deboli forze che legano assieme i grani vengono rotte e portano al modellamento del grezzo, ma devono essere utilizzati utensili specifici in quanto si tratta di un materiale estremamente duro e abrasivo e per questo le lame dei taglienti vengono rivestite di uno strato di diamante per limitare il loro consumo e prolungarne la vita utile, oltre a dover resistere alle temperature che si sviluppano nella zona di taglio per l'attrito generato.

È stato finora analizzato cosa avviene all'interno di una macchina fresatrice durante il processo di lavorazione. Si procede ora a esaminare da quali componenti è formata, a cosa servono e come questi possono influenzare i risultati delle lavorazioni. Sinteticamente ogni macchina fresatrice è costituita da un **elettromandrino** rotante su cui vengono montati, manualmente o in automatico, gli utensili; un **sistema di bloccaggio** del materiale grezzo da lavorare; un complesso **sistema di movimentazione** del grezzo, della testa lavorante o di entrambi, che può comprendere meccanismi per eseguire spostamenti lineari e rotazioni attorno uno o più assi, a seconda della complessità della macchina e dei pezzi da lavorare; un **sistema elettronico di coordinamento** delle azioni, il **controllo numerico**, che deve interpretare ed eseguire il programma di lavoro elaborato dall'operatore, manualmente o tramite un apposito software CAM che avendo in memoria le caratteristiche specifiche della macchina, le informazioni sul materiale e la forma dettagliata del pezzo da realizzare elabora la sequenza di

movimenti necessari a liberare l'oggetto desiderato dal materiale in eccesso che lo "intrappola".

Come si può ottenere una precisione ripetibile all'interno di una macchina utensile? Fondamentalmente utilizzando una struttura rigida e poco sensibile alle deformazioni termiche, applicando sistemi di controllo delle movimentazioni lineari e rotative, e gestendo il grado di eccentricità di rotazione degli utensili. Una struttura rigida e indeformabile è tanto più importante quanto più elevati sono gli sforzi messi in atto per lavorare materiali resistenti come i metalli. I vari produttori utilizzano generalmente alluminio, per contenere il peso complessivo della macchina e facilitarne trasporto e installazione, oppure diversi di tipi di acciaio per garantire maggiore robustezza e affidabilità nel tempo<sup>114</sup>.

CNC è l'abbreviazione di Computerized Numerical Control e può essere tradotto come controllo numerico computerizzato<sup>115</sup>. Si tratta di un processo elettronico ideale per il controllo del moto nelle macchine utensili. Rispetto alle fresatrici convenzionali, il vantaggio principale è chiaramente il suo controllo computerizzato, ciò consente di realizzare forme e profili delicati e di alta precisione. Grazie alla moderna tecnologia di controllo, tutte le fasi di lavoro vengono eseguite automaticamente e senza errori, grazie a un software speciale, e allo stesso tempo si ottengono volumi elevati di produzione. Grazie al CNC i dati dal computer vengono trasmessi direttamente alla macchina utensile, il che rende la produzione molto più accurata. Questa caratteristica è particolarmente utile per i laboratori dentali in cui i pezzi devono essere realizzati con la massima precisione.

## Vantaggi del sistema CNC

- Risparmio di risorse: con l'aiuto del CNC, gli operatori della macchina hanno un lavoro meno gravoso, poiché l'uso del software CAD / CAM non richiede interventi di programmazione sulla macchina. Una volta che il programma è a posto, può essere utilizzato tutte le volte che si desidera, senza sforzo aggiuntivo. Inoltre, lo scarto di materiale è particolarmente basso grazie al lavoro di alta precisione che effettua una fresatrice CNC. In questo modo, un laboratorio odontotecnico può risparmiare sui costi e lavorare più efficientemente. Entrambi questi vantaggi aiutano a ridurre i costi di produzione.
- Diversificazione del prodotto: con il CNC non è un problema produrre nuovi prodotti, questo grazie alla grande flessibilità delle macchine a controllo numerico ma anche alla produzione meno complicata rispetto ai metodi convenzionali.
- Automatizzazione della produzione: le macchine CNC producono pezzi prevalentemente in autonomia, è sufficiente un semplice cambio di programma.

## Macchina 5 assi CNC, caratteristiche e funzionamento

Una macchina o fresa 5 assi è un centro di lavoro a controllo numerico che sfrutta una tecnologia elettronica ed informatica per eseguire in completa autonomia tutte le operazioni previste da un programma preimpostato dall'operatore<sup>116</sup>.

Ogni asse viene indicato con una lettera, nel dettaglio:

- asse X e Y, indicano le direzioni del pezzo rispetto al piano di lavoro;
- asse Z, indica il movimento verticale;
- Assi A e B, rappresentano l'asse diagonale rispetto ad un'area verticale.

L'operatore, al quale spetta il compito di monitorare il lavoro, si occupa inoltre di inserire le istruzioni all'interno della macchina utensile *traducendo* i codici G (linguaggio di programmazione) in codici NC.

Dopo il setup iniziale della macchina l'operatore deve solo monitorare che tutto vada come previsto, segnalando eventuali anomalie al responsabile di produzione ed eseguendo, ove necessario, operazioni di manutenzione ordinaria sulla macchina 5 assi.

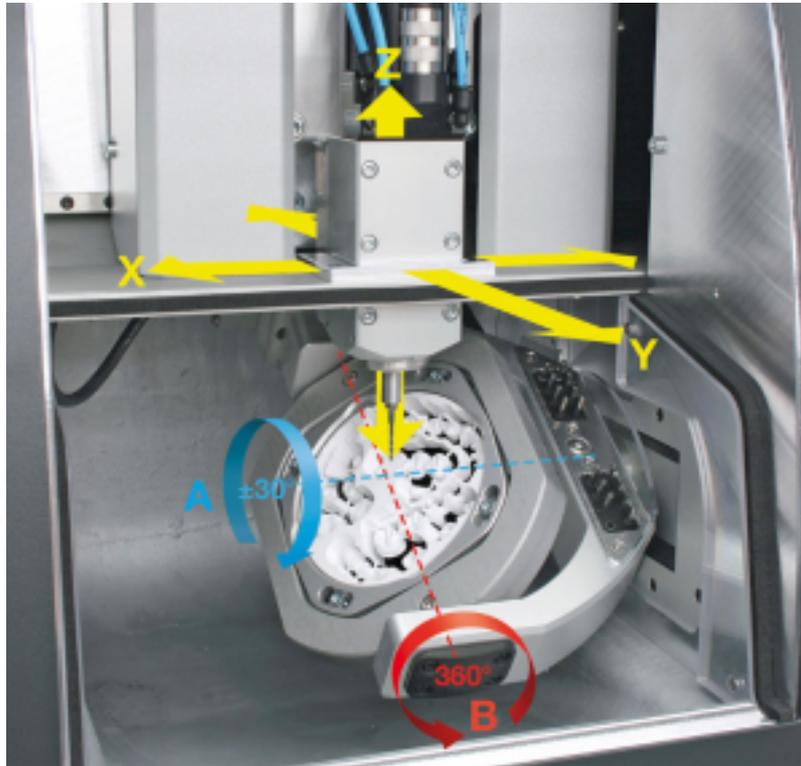
Rispetto alla fresatura meccanica tradizionale le macchine CNC 5 assi:

- eseguono tutte le operazioni programmate dopo un unico setup macchina;
- grazie ai 5 assi di moto e al magazzino utensili eseguono operazioni di foratura, alesatura, maschiatura, tornitura e barenatura (lavorazione meccanica con asportazione di truciolo).

Qual è il numero ideale di assi in un centro di lavoro?

In generale, gli esperti del settore affermano che maggiore è il numero di assi maggiore è la funzionalità offerta dal centro di lavoro a controllo numerico. Questo spiega l'incredibile diffusione delle macchine 5 assi CNC e, in generale, del centro di lavoro 5 assi che permette di:

- realizzare qualsiasi tipo di forma e dimensione;
- eseguire lavorazioni su angoli anche superiori ai 180°.



# Flusso di lavoro

## Prima fase: l'acquisizione dei dati

Così come il modello tradizionale permette all'odontotecnico di realizzare la protesi su un duplicato del paziente, anche nella tecnologia CAD ci si serve di modelli virtuali, ovvero riproduzioni digitali dell'anatomia del paziente. Per ottenere un modello tradizionale, abbiamo visto che la tecnica fondamentale è quella di rilevarne l'impronta nel cavo orale. Per ottenere un modello virtuale, sono invece possibili diverse soluzioni, spesso in combinazione tra loro, tra le quali le principali sono la scansione e l'acquisizione di dati DICOM.

La **scansione** è il metodo principale per la realizzazione dei modelli virtuali utilizzati nella tecnica CAD. Realizzata con scanner, molto diversi tra loro anche a livello di funzionamento, possiamo suddividerla in tre categorie principali:

- scansione **del cavo orale**. Gli scanner intraorali sono la nuova frontiera sulla quale si confrontano i produttori di tecnologie digitali destinate al dentale. Esistono infatti già oggi diversi tipi di scanner in grado di "leggere" la conformazione morfologica delle varie parti del cavo orale, ma al momento attuale il loro grado di precisione non ha ancora raggiunto la qualità necessaria per soppiantare completamente il tradizionale rilevamento dell'impronta. Infatti, alcuni problemi come la lettura della morfologia sottogengivale delle preparazioni e il superamento delle alterazioni morfologiche dovute alla presenza dei liquidi orali (sangue, saliva) devono ancora trovare una soluzione soddisfacente;
- scansione **dell'impronta**. In questo caso lo scanner "legge" l'impronta e realizza un modello virtuale nello stesso modo in cui lo farebbe il gesso, cioè riproducendo in positivo ciò che l'impronta ha "letto" in

negativo nel cavo orale. Questo sistema sta sviluppandosi velocemente anche perché permette agli operatori di saltare diverse fasi operative, soprattutto la colatura del modello, risparmiando non solo sui passaggi di lavoro e sui materiali, ma spesso evitando il tragitto studio-laboratorio nei casi in cui essi siano situati in luoghi diversi. L'impronta può infatti essere scansionata dal clinico e spedita immediatamente come file ad un centro di fresatura. Resta indispensabile che, soprattutto nei casi delle impronte per protesi fissa, l'impronta stessa risulti precisa e perfettamente detersa e asciutta, poiché in caso contrario il modello virtuale risulterebbe impreciso.

- scansione **del modello**. È la tecnica più tradizionale di acquisizione delle immagini. Con questo sistema ad entrare nello scanner è un modello (in gesso o altro materiale) ottenuto da un'impronta tradizionale. Il vantaggio, rispetto alle altre tecniche, è che il tecnico, disponendo di un modello reale, può intervenire prima della scansione per correggerne le imprecisioni. Inoltre, l'impiego di sistemi di scomposizione (monconi sfilabili, sistemi pindex ecc.), gli permette di procedere alla scansione anche di singole parti, che possono così essere rilevate con maggiore precisione dallo scanner. Per contro, il passaggio aggiuntivo (impronta - modello - modello virtuale) può anche essere esso stesso causa di imprecisioni, in funzione delle alterazioni volumetriche dei materiali coinvolti (contrazione del materiale da impronta, espansione del gesso).

Qualunque sia il tipo di scansione eseguita, il suo risultato è un modello virtuale, cioè un disegno in tre dimensioni che riproduce fedelmente ciò che è stato scansionato (cavo orale, impronta, modello ecc.).

Il funzionamento degli scanner, pur a fronte di tecnologie molto raffinate e frutto di ricerche di livello elevato, a livello teorico è piuttosto semplice: il pezzo da scansionare viene bombardato da tutti i lati con fasci luminosi e

ripreso con delle microtelecamere che registrano l'angolazione, la direzione e la distanza di ogni singolo rilevamento dal punto di trasmissione.

Poiché le scansioni sono numerosissime e rilevate su tutta la circonferenza del pezzo da scansionare, il risultato ottenuto è una nuvola di punti che riproduce la morfologia dell'oggetto scansionato.

A questo punto è necessario che la nube di punti si trasformi in una superficie. Per farlo, il software provvede quindi a collegare i singoli punti secondo una formula matematica, misurando le distanze che li dividono e ricostruendo un reticolo formato da una serie di minuscoli poligoni (generalmente, triangoli). Disponendo della serie di poligoni offerta dal wireframe, il software può calcolare l'area dei singoli triangoli e definirne il riempimento. Si è così ottenuta la figura solida che costituisce il modello virtuale (shade), la cui fedeltà della riproduzione dipenderà principalmente dalla dimensione e dal numero di triangoli e, quindi, dal numero di punti di riferimento inizialmente registrati dallo scanner. Quanto più precisa sarà la scansione, tanto più pesante risulterà il file di uscita. Attualmente, il tipo di file più utilizzato è il file STL (Standard Triangulation Language).

## Seconda fase: CAD

In questa fase, il lavoro viene svolto interamente al computer, definendo tipo, rapporti volumetrici, morfologia, dimensione delle connessioni ecc. tramite il programma CAD. È un procedimento di disegno virtuale che negli anni ha visto avvicinarsi software sempre più precisi e dalle possibilità sempre più ampie.

Le differenze tra i vari sistemi di elaborazione CAD sono notevoli, e il loro continuo sviluppo non permette di definirne caratteristiche comuni, poiché cambiano continuamente. Tuttavia, alcune funzioni possiamo ormai considerarle un requisito imprescindibile di ogni sistema:

**Archivio.** Ogni sistema dispone di un archivio dati della singola lavorazione svolta. Questo permette di ripetere un lavoro ottenendone sempre una copia perfetta e può risultare molto utile per i controlli a distanza, per le protesi ortodontiche e per eventuali controversie legali.

**Parametri personalizzati.** Tra i più importanti, si possono in genere personalizzare lo spessore della struttura di supporto, le dimensioni delle connessioni con gli elementi intermedi, il contorno cervicale, altezza e forma delle spalle a livello periferico, lo spessore da lasciare per il rivestimento estetico, definire l'asse di inserimento protesico, scaricare eventuali sottosquadri ecc.

**Modellazione.** Il cuore del software, che permette di intervenire sulle modellazioni eseguite dal computer modificandole con il mouse allo stesso modo di come si farebbe con cera e spatolino. Questa opportunità risulta molto utile per irrobustire le connessioni, creare battute in metallo in antagonismo, personalizzare l'estetica ecc.

**Librerie.** Ogni sistema di modellazione CAD dispone di librerie di elementi protesici. Una libreria è una raccolta di forme già disegnate e predefinite dallo sviluppatore e che possono essere utilizzate e modificate a piacimento. Oltre alle librerie morfologiche, che permettono di ottenere la

forma dei denti, sono oggi molto importanti le librerie degli abutment implantari, attraverso le quali si possono realizzare pilastri personalizzati e perfettamente paralleli tra loro, con il vantaggio di potersi servire di una lavorazione meccanica di precisione realizzata a freddo. Una volta terminata la progettazione CAD, il computer produce un file STL, che può essere utilizzato in vari modi.

## Terza fase: CAM

Il CAM (produzione assistita da computer) è un processo di realizzazione degli oggetti, quindi di materializzazione fisica di un oggetto virtuale, che consente la generazione di percorsi di lavorazione tramite un software dedicato, in grado di determinare le posizioni degli strumenti durante la fabbricazione.

## Quarta fase: macchina CNC

È l'ultimo componente del procedimento CAD/CAM dentale, da cui dipende la fabbricazione. Si tratta di una macchina utensile a controllo numerico.

Il procedimento di acquisizione si svolge nel modo seguente:

- Per sottrazione: in particolare lavorazione per fresatura.
- Per addizione: nota con il nome di stampa 3D. I principali procedimenti aggiuntivi di formatura sono: la stereolitografia (SLA), la modellazione a deposizione fusa (FDM, Fused Deposition Modeling), la micro fusione laser (SLM, Selective Laser Melting) e la sinterizzazione laser (SLS). Di questi procedimenti saranno approfonditi solo quelli di interesse per questo elaborato.

### **Fresatura CAM**

È il più diffuso sistema di realizzazione delle protesi progettate con tecnica CAD. Con questa tecnica, il file STL viene inviato ad un software di fresatura che lo "traduce" in una serie di movimenti impartiti ad un fresatore che ha un supporto sul quale alloggia un blocco del materiale prescelto per la realizzazione del dispositivo protesico.

Supporto e fresatore possono muoversi secondo vari assi di movimento. Il loro movimento combinato permette di ottenere tutte le forme progettate a livello CAD, asportando materiale dal blocchetto fissato sul supporto. Si tratta quindi di una prototipazione per sottrazione.

I fresatori hanno in genere una struttura molto solida, poiché durante la lavorazione devono assorbire senza oscillazioni le notevoli vibrazioni generate dalla testa motorizzata. Quando si procede a lavorazioni su materiali duri, con numero di giri elevato della fresa (decine di migliaia al minuto), si impiegano liquidi lubrificanti per ridurre l'attrito e il surriscaldamento di fresa e pezzo fresato.

Una volta terminata la lavorazione (da eseguirsi su entrambi i lati del blocchetto), il lavoro viene controllato, eventualmente rifinito, quindi, se il processo di lavoro lo prevede, colorato e infine sinterizzato in un apposito sinterizzatore, nel quale il materiale assume tutte le caratteristiche fisiche definitive. Poiché durante la sinterizzazione si ha una forte contrazione del materiale (che può arrivare fino al 25%), durante la fresatura il software modifica i dati STL provenienti dal sistema CAD in modo da realizzare una struttura sovradimensionata a seconda del materiale utilizzato. Le due variazioni dimensionali si compensano a vicenda e il lavoro finito risulta quindi delle dimensioni definite in fase di progettazione.

### **Stereolitografia per fotopolimerizzazione**

Si parte sempre da un disegno scomposto in moltissimi strati. Ognuno di questi strati rappresenta il percorso compiuto da un raggio luminoso (in genere, un laser) sulla superficie di un materiale allo stato liquido (per esempio, una resina). La zona colpita dalla luce si indurisce, mentre il resto del materiale rimane liquido. Si passa quindi allo strato successivo: la zona indurita scende di livello e il raggio colpisce nuovamente il materiale liquido, indurendolo solo in alcuni punti. Al termine dei numerosissimi passaggi, l'oggetto solido viene estratto dal bagno di materiale liquido e, a seconda dei casi, ulteriormente rifinito, polimerizzato, sinterizzato ecc.

# Revisione della letteratura

## Adattamento marginale e interno di restauri inlay/onlay CAD-CAM:

### Una revisione sistematica degli studi in vitro<sup>117</sup>

La progettazione assistita da computer e la produzione assistita da computer (CAD-CAM) e gli scanner digitali intraorali sono diventati popolari come alternative ai metodi convenzionali di impronta e fusione, in particolare con l'introduzione di una nuova gamma di strumenti di digitalizzazione e scanner. Il processo di fabbricazione comprende la scansione del dente o dell'abutment, la progettazione della protesi e la fresatura del restauro in un centro di fresatura centralizzato o con un processo di laboratorio o in studio. Il potenziale per CAD-CAM di migliorare l'accuratezza della protesi si basa sull'omissione di diverse fasi di fabbricazione e offrire risultati simili o migliori rispetto ai metodi convenzionali.

I restauri inlay/onlay rappresentano un approccio più conservativo rispetto alle corone a copertura completa e possono essere realizzati con una minima se non inesistente preparazione grazie ai progressi nella qualità delle procedure di cementazione. Inoltre, la contrazione da polimerizzazione per restauri indiretti in resina composita è limitato allo spazio del cemento. Le prestazioni del CAD-CAM inlay/onlay è soddisfacente con una percentuale di successo dell'88,7% per la ceramica in un periodo di 10 anni e dell'84,78% per le resine composite in un periodo di 5 anni.

I materiali attuali utilizzati per i restauri inlay/onlay sono i blocchetti in vetroceramica e i blocchetti in resina composita. Le vetroceramiche comprendono porcellana feldspatica (Mark II; VITA Zahnfabrik), ceramica rinforzata con leucite (Empress CAD; Ivoclar Vivadent AG, Initial LRF Block; GC Dental Products), disilicato di litio (e.max CAD; Ivoclar Vivadent AG) e

zirconia -blocchi in vetroceramica rinforzata con monosilicato di litio (Suprinity; VITA Zahnfabrik, Celtra Duo; Dentsply Sirona). La tecnologia CAD-CAM ha consentito l'uso di nuovi blocchi in resina composita con riempitivi dispersi (Lava Ultimate; 3M ESPE, CERASMART; GC Dental Products) e un materiale reticolare in ceramica infiltrato con polimeri (Enamic; VITA Zahnfabrik). Questi nuovi materiali vengono polimerizzati ad alta pressione e ad alta temperatura. Pertanto, questo processo produce proprietà meccaniche e biologiche più elevate rispetto alle resine composite polimerizzate convenzionalmente. Inoltre, questi nuovi blocchi di resina composita hanno una migliore resistenza alla frattura e lavorabilità grazie a un basso modulo elastico simile a quello della dentina.

Diversi fattori influenzano la longevità di un restauro indiretto, inclusa la qualità dell'adattamento marginale e interno. Uno scarso adattamento marginale può portare a microinfiltrazioni, scioglimento del cemento da cementazione, carie secondaria e infiammazione gengivale. Inoltre, uno scarso adattamento interno può aumentare lo spessore del cemento, alterando la ritenzione, compromettendo l'occlusione, riducendo la resistenza alla frattura dei restauri e determinando anche uno scarso adattamento marginale. L'adattamento marginale e interno è di particolare importanza per i restauri inlay/onlay, poiché i loro margini sono esposti a sollecitazioni meccaniche, fisiche e termiche.

Gli autori non sono a conoscenza di una revisione sistematica che descrive l'adattamento marginale e interno dei restauri inlay/onlay CAD-CAM. Pertanto, lo scopo di questo studio era di rivedere gli studi in vitro e in particolare quelli relativi alla tecnologia CAD-CAM che possono influenzare l'adattamento sia marginale che interno di questi restauri.

## Materiale e metodi

Il protocollo per questa revisione sistematica (CRD42017076069) è stato registrato nel registro prospettico internazionale delle revisioni sistematiche (<https://www.crd.york.ac.uk/PROSPERO/>). Questa revisione sistematica è stata eseguita secondo la dichiarazione PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). È stata eseguita una ricerca elettronica, utilizzando 3 database elettronici (PubMed/MEDLINE, Scopus e Web of Science) per gli studi pubblicati tra 1 gennaio 2007 e 20 settembre 2017. Per ogni database è stata predisposta una strategia di ricerca utilizzando 4 livelli: livello 1 considerando la qualità di adattamento, livello 2 considerando il tipo di materiale, livello 3 considerando la tecnologia CAD-CAM e livello 4 considerando il tipo di restauro. La strategia di ricerca includeva le seguenti intestazioni di soggetti medici (MeSH): 'Ceramic', 'Inlay\*' e le seguenti parole di testo: 'fit', 'gap', 'marginal', 'internal', 'adattamento', 'discrepancy', 'resin', 'composite', 'CAD', 'computer aided' e 'onlay'. I criteri di inclusione includevano articoli pubblicati in inglese riguardanti studi in vitro, con solo restauri inlay e/o onlay (corone a copertura parziale), e valutando l'adattamento marginale e/o interno in micrometri o in percentuale di margine continuo (%gap free) su denti naturali o artificiali. Sono stati esclusi blocchi CAD-CAM provvisori, monconi implantari, recensioni, abstract, comunicazioni brevi, libri e studi sugli animali. Inizialmente, 2 revisori indipendenti (AG, DS) hanno esaminato titoli e abstract. Dopo aver considerato i criteri di inclusione ed esclusione, i testi integrali sono stati selezionati sia per la lettura che per la selezione finale. Tutte le differenze nelle scelte tra i 2 autori sono state analizzate da un terzo revisore (HA) e l'accordo è stato stabilito attraverso la discussione. I fattori estratti dagli studi selezionati e successivamente analizzati sono stati, in ordine: autori e anni, sistemi CAD-CAM, parametri dello spazio virtuale, versioni di software, tipologie di blocco, tipologie di restauro, dimensioni del campione e procedure di invecchiamento, numero di punti di misura per

campione, adattamento marginale e/o interno registrato, procedure di cementazione e metodi di valutazione. A causa dell'alto grado di eterogeneità in termini di diversi studi e metodologie, una meta-analisi non era appropriata.

Due autori (AG, DS) hanno valutato indipendentemente il rischio di bias di ciascuno studio incluso utilizzando un adattamento dei metodi applicati in 2 precedenti revisioni sistematiche di studi in vitro. Le descrizioni dei seguenti parametri sono state utilizzate per valutare il rischio di ciascun articolo di bias (Tabella Supplementare 1, disponibile online):

randomizzazione dei denti per gruppi sperimentali, operatore cieco, numero di punti di misurazione per campione (>50, secondo Groten et al), presenza di un gruppo di controllo, analisi statistica effettuata, misurazione del gap da parte di un singolo operatore e parametro dello spazio di cementazione specificato. È stato assegnato un "sì" se il parametro era riportato nel testo e un "no" se l'informazione era assente. Il rischio di bias è stato classificato in base alla somma dei "sì" ricevuti come segue: da 1 a 3=alto, da 4 a 5=medio, da 6 a 7=basso rischio di bias.

## Risultati

La ricerca elettronica ha identificato 162 articoli, 31 di PubMed/MEDLINE, 53 di Scopus e 78 di database Web of Science. Dopo che gli articoli duplicati sono stati rimossi e considerati i criteri di inclusione ed esclusione, sono rimasti 23 articoli. I dettagli della strategia di ricerca sono presentati in un diagramma di flusso (Fig. 1). I parametri registrati per tutti gli studi inclusi sono descritti nella tabella supplementare 2, nella tabella supplementare 3 (disponibile online) e nella figura 2.

I valori per l'adattamento marginale degli studi selezionati erano compresi tra 36  $\mu\text{m}$  e 222,5  $\mu\text{m}$ , e i valori per l'adattamento interno erano compresi tra 23  $\mu\text{m}$  e 406,5  $\mu\text{m}$ . I valori dell'unità %gap-free per

l'adattamento marginale erano compresi tra 43% e 92% nella dentina e 51% e 98,4% nello smalto; i valori per l'adattamento interno variavano tra il 71% e l'89% nella dentina. L'adattamento marginale è stato calcolato tra il bordo del restauro e il margine della preparazione. Quando i campioni sono stati sezionati, è stato valutato il gap marginale e 2 studi hanno considerato anche la discrepanza marginale assoluta; pertanto, alcuni restauri possono essere sovraestesi o sottoestesi. La sovraestensione, che è la situazione meno favorevole, può portare all'accumulo di placca.

Nove articoli hanno valutato l'adattamento marginale e interno con diversi materiali da restauro e 5 articoli hanno mostrato che le prestazioni di un sistema CAD-CAM rispetto a l'adattamento marginale/interno è stato influenzato dal tipo di materiale da restauro. Per l'adattamento marginale, 3 studi non hanno riscontrato differenze tra un materiale a base di polimeri e un materiale in vetroceramica, mentre altri 3 hanno mostrato un adattamento significativamente migliore per i materiali a base di polimeri, più specificamente al margine cervicale. Per adattamento interno, 3 studi non hanno dimostrato differenze significative tra i 2 tipi di materiale, mentre 2 hanno mostrato un adattamento significativamente migliore per il materiale a base polimerica ma, per Bottino et al, solo sulla parete pulpare. Quando sono stati confrontati 2 blocchi a base di polimeri, 1 studio ha mostrato una differenza significativa per l'adattamento interno e 1 ha mostrato una differenza significativa sia per l'adattamento marginale che interno.

Due studi hanno riportato che una preparazione più ritentiva ha comportato un divario interno complessivo più elevato e un divario interno/marginale complessivo più elevato rispetto a una preparazione non ritentiva. Due studi hanno valutato l'adattamento marginale prima e dopo la cementazione e hanno concluso che il cemento resina con mordenzatura auto o totale e con mordenzatura totale solo aumentava le discrepanze

marginali. In questi 2 studi, l'adesivo non è stato fotopolimerizzato prima che i restauri fossero inseriti.

Nove studi hanno valutato la qualità dell'adattamento marginale in micrometri o in % del margine continuo dopo l'invecchiamento. Una significativa riduzione del margine continuo è apparsa dopo il carico termomeccanico (TML) in 6 studi, mentre 2 non hanno mostrato una differenza statisticamente significativa per l'adattamento marginale prima/dopo il TML e 1 ha rilevato che La TML può migliorare significativamente l'adattamento marginale.

Uno studio ha confrontato 4 fotocamere digitali (iTero, cara TRIOS, CEREC AC con Bluecam e Lava COS) e ha concluso che le differenze tra i sistemi di acquisizione erano statisticamente significative. iTero ha fornito il miglior adattamento per l'adattamento marginale e CEREC AC con Bluecam ha fornito il miglior adattamento per l'adattamento interno. La digitalizzazione diretta è stata preferita in 15 studi e la digitalizzazione indiretta è stata utilizzata in 8 studi.

Solo 1 studio ha esaminato l'adattamento indipendentemente dal fatto che la scansione ottica sia stata eseguita intraorale o extraorale da un moncone di gesso e non ha riscontrato differenze statisticamente significative tra le 2 tecniche. Uno studio ha dimostrato che una fresatrice a 5 assi forniva un migliore spazio marginale occlusale e un migliore spazio interno assiale divario rispetto a una fresatrice a 3 assi.

Il numero di punti di misurazione per provino, quando specificato, variava tra 634 e 60037 per l'adattamento marginale e 735 e 32024 per l'adattamento interno. Alcuni studi hanno fornito solo un valore medio di gap marginale/interno, mentre altri hanno fornito i valori medi corrispondenti di ciascuna regione, o al massimo i valori di ciascuna punto di riferimento selezionato.

Sette studi<sup>6</sup>, hanno mostrato che la regione misurata era statisticamente significativa in relazione all'adattamento marginale/interno. Questi studi hanno utilizzato un test ANOVA seguito da un test di Tukey eccetto 1 studio che utilizzava un test Dunnett T3. Per l'adattamento marginale, solo 1 studio ha fornito valori per l'area gengivale, assiale e oclusale in una misurazione diretta e ha mostrato che i divari più grandi sono stati ottenuti al margine gengivale. Per l'adattamento interno, Rippe et al hanno mostrato che i valori più alti di gap sono stati ottenuti sulla parete pulpare, indipendentemente dal tipo di materiale. Inoltre, 4 studi in cui sono stati registrati valori in ciascun punto di riferimento hanno mostrato che le lacune maggiori sono state ottenute sulla polpa e sulla parete angolare.

Tra i 23 studi selezionati, 3 hanno specificato il valore di "spazio di fissaggio" e 8 hanno specificato sia i valori di "spazio di fissaggio" che di "spazio adesivo" nel software. La scelta del valore di "spazio di cementazione" è stata impostata tra 30 e 140  $\mu\text{m}$  e il valore di "spazio adesivo" è stato impostato tra 20 e 50  $\mu\text{m}$ . Tutti gli studi hanno dimostrato che i valori di adattamento registrati non sono riusciti a riprodurre i parametri distanziatori prestabiliti, con una spaziatura più ampia mostrata dappertutto.

## Discussione

Non è stato raggiunto un consenso per un valore di discrepanza marginale clinicamente accettabile. Alcuni autori hanno suggerito che fosse inferiore a 100  $\mu\text{m}$  ma altri hanno ritenuto che un divario inferiore a 120  $\mu\text{m}$  è un valore di soglia adatto. La maggior parte degli studi ha riportato valori di gap marginale all'interno di questo intervallo (<120  $\mu\text{m}$ ). Per l'adattamento interno sono stati proposti valori compresi tra 70  $\mu\text{m}$  e 120  $\mu\text{m}$ . Gli studi hanno riportato che uno spazio interno compreso tra 50  $\mu\text{m}$  e 100  $\mu\text{m}$  potrebbe comportare le prestazioni più favorevoli del cemento resina.

Per valutare l'adattamento marginale/interno, è possibile eseguire un'analisi 2D, ma è possibile un numero limitato di punti di misurazione e sezioni. Pertanto, i risultati potrebbero non essere rappresentativi dell'intero adattamento del restauro. Analisi 3D come tomografia microcomputerizzata e il protocollo a scansione tripla possono essere utilizzati per valutare l'adattamento marginale e interno. Queste 2 tecniche forniscono misurazioni a più punti, che non possono essere ottenute con una misurazione 2D. Pertanto, possono essere considerati di alta validità e affidabilità. Uno studio recente ha mostrato che un protocollo a tripla scansione ha prodotto un adattamento marginale più piccolo rispetto al metodo di replica con una minore dispersione dei dati.

La gamma di materiale CAD-CAM da restauro può influenzare l'adattamento marginale e interno di un restauro. Questa revisione ha mostrato che le prestazioni di un sistema CAD-CAM rispetto a restauri inlay/onlay con adattamento interno/marginale sono influenzate dal tipo di materiale da restauro. È stato dimostrato che la bassa durezza e il modulo di elasticità determinano una maggiore rimozione di materiale durante la rettifica. Al contrario, altri studi hanno riportato che materiali meno fragili hanno una scheggiatura del bordo inferiore, una migliore lavorabilità, e un migliore adattamento. Il tipo di strumento di fresatura e il suo comportamento in base alla microstruttura e alla composizione del materiale dovrebbero essere ulteriormente studiati. Inoltre, la rimozione del materiale induce vibrazioni e carichi meccanici, che possono riflettersi sulle dimensioni della superficie e sulla forma del restauro .

Gli inlay/onlay hanno una geometria più complessa rispetto alle corone. Questo parametro è fondamentale per spiegare le variazioni di adattamento in alcune aree e tra una preparazione inlay/onlay non ritentiva e una ritentiva. Il tipo di dispositivo di fresatura potrebbe influenzare i risultati dell'adattamento, soprattutto se il restauro ha una forma complessa, regioni

di scanalature profonde e angoli interni. Quando 2 diverse unità di fresatura sono state confrontate con lo stesso sistema di scansione e software CAD, le unità di fresatura a 4 assi hanno presentato una precisione di adattamento inferiore rispetto alle unità a 5 assi, in particolare nel gap marginale occlusale e nel gap interno assiale. Con un la macchina a 5 assi, le pareti ripide, i piccoli angoli e i sottosquadri possono essere lavorati da diverse direzioni. Le dimensioni dello strumento rotante e la forma dell'unità di molaggio possono influenzare l'adattamento di un restauro.

La fresatura eccessiva di qualsiasi dettaglio della superficie inferiore al diametro dello strumento rotante di fresatura risulterà in un restauro meno accurato, soprattutto agli angoli della linea della preparazione. Quando si utilizzano forme complesse, è necessario utilizzare un diametro piccolo di 0,6 mm fresata, come per i restauri inlay/onlay.

La complessa geometria di un restauro inlay/onlay può anche influenzare l'accuratezza della scansione intraorale. Inoltre, la tecnologia utilizzata dallo scanner stesso può influenzare l'accuratezza del restauro, mentre pochi studi hanno mostrato differenze. Un altro parametro che influenza è l'impostazione dello spazio di cementazione nel software. Quasi il 50% degli studi selezionati non ha specificato il parametro dello spazio virtuale. È stato dimostrato che le impostazioni dello spazio del cemento hanno avuto un effetto statisticamente significativo sull'adattamento marginale dei restauri CAD-CAM, con il miglioramento dell'adattamento marginale, lo spazio del cemento è diminuito. Inoltre, studi sulle corone hanno anche dimostrato che la precisione marginale e interna non è riuscita a riprodurre i parametri distanziatori prestabiliti. A differenza della digitalizzazione diretta, la digitalizzazione indiretta necessita di un'impronta convenzionale con materiali elastomerici per produrre un calco in gesso. Questa metodologia può quindi portare a diverse potenziali fonti di errore a causa di deformazioni dimensionali lungo la catena del processo. Mentre Da Costa et al. non hanno

trovato una differenza statisticamente significativa per l'adattamento marginale degli onlay, studi sulle corone ha riferito che la digitalizzazione diretta ha dimostrato un migliore adattamento rispetto alla digitalizzazione indiretta.

Questa recensione ha dei limiti. L'elevata eterogeneità degli studi inclusi ha impedito l'analisi quantitativa dei dati. Alcuni parametri sono stati discussi sulla base di pochi studi o addirittura di uno, e sebbene siano stati inclusi 23 studi, solo uno presentava un basso rischio di bias secondo i criteri di valutazione della qualità dello studio utilizzati. Pertanto, tutte le conclusioni generali devono essere trattate con cautela.

Gli studi in vitro che valutano l'adattamento di inlay/onlay sono scarsi rispetto agli studi sulle corone. È necessario chiarire l'adattamento degli inlay/onlay in base al tipo di progetto di preparazione, al tipo di materiale, alla scelta dei parametri intrinseci per il processo CAD, al tipo e alla forma degli strumenti di fresatura e al comportamento del materiale durante la fresatura. Gli studi in vivo per inlay/onlay sono ancora meno e hanno utilizzato i criteri del servizio sanitario pubblico degli Stati Uniti per valutare la qualità dell'adattamento marginale. Inoltre, l'adattamento interno non è stato valutato. In vivo, è possibile utilizzare la tecnica della replica e recentemente è stata proposta un'acquisizione digitale 3D in 3 fasi per offrire una valutazione più completa dell'adattamento del restauro rispetto a una metodologia in 2 dimensioni.

## Conclusioni

Sulla base di questa revisione sistematica, sono state tratte le seguenti conclusioni:

1. La maggior parte degli studi ha riportato un intervallo clinicamente accettabile per l'adattamento marginale (<120  $\mu\text{m}$ )

2. Le prestazioni di un sistema CAD-CAM rispetto all'adattamento marginale/interno sono influenzate dal tipo di materiale da restauro.
3. Una preparazione della cavità non ritentiva ha mostrato un migliore adattamento rispetto a una preparazione ritentiva.
4. La maggior parte degli studi ha mostrato che la TML ha influenzato la qualità dell'adattamento marginale. La cementazione ha aumentato le discrepanze marginali.
5. Nessuna differenza statisticamente significativa è stata trovata per l'adattamento marginale degli onlay tra una scansione ottica intraorale ed extraorale utilizzando un moncone di gesso.
6. Le fresatrici a cinque assi hanno prodotto restauri con un adattamento migliore rispetto alle fresatrici a 3 assi.
7. L'adattamento di un restauro a copertura parziale dipendeva dalla tecnica di scansione digitale utilizzata.
8. La regione misurata era statisticamente significativa in relazione all'adattamento marginale/interno, con gap maggiori al margine gengivale e sulla polpa e sulla parete angolare.
9. Per la maggior parte degli studi, i valori di adattamento registrati non sono riusciti a riprodurre i parametri distanziatori prestabiliti nel software, con una spaziatura più ampia mostrata dappertutto.