



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA

Corso di Laurea in Odontoiatria e Protesi Dentaria

Presidente: Prof. Maurizio Procaccini

**Valutazione in vitro di esattezza e
precisione di differenti scanner
intraorali**

Relatore: Chiar.mo
Prof. Giorgio Giulio Lorenzo Rappelli

Correlatore: Chiar.mo
Prof. Lorenzo Scalise

Tesi di Laurea di:
Federico Coli

A.A. 2019/2020

INDICE

-INTRODUZIONE	3
1 L'IMPRONTA ODONTOIATRICA	5
1.1 Impronta tradizionale	6
1.2 I materiali da impronta	9
1.2.1 Rigidi	10
1.2.1.1 Gesso dentale	10
1.2.1.2 Pasta all'ossido di zinco ed eugenolo	11
1.2.1.3 Resina calcinabile	11
1.2.2 Elastici idrocolloidi	12
1.2.2.1 Alginati	13
1.2.3 Elastici elastomeri.....	14
1.2.3.1 Polisolfuri	14
1.2.3.2 Polieteri	15
1.2.3.3 Siliconi	16
1.3 Impronta digitale	18
2 IL WORKFLOW DIGITALE	20
2.1 Step del workflow digitale	20
2.1.1 Acquisizione	21
2.1.2 Elaborazione	21
2.1.3 Produzione	22
2.1.4 Applicazione clinica	23
2.2 Vantaggi e svantaggi del workflow digitale	24
2.2.1 Vantaggi	24
2.2.2 Svantaggi	26
2.3 Digital smile design	26
3 GLI SCANNER INTRAORALI	28
3.1 Scanner 3D.....	28
3.2 Nuvola di punti	29
3.3 Tecnologia di scansione	30
3.4 Caratteristiche degli scanner intraorali	33
3.5 File	34

3.6 Precisione ed esattezza degli scanner odontoiatrici	36
3.7 Strategie di scansione e flow.....	38
4 CONTRIBUTO SPERIMENTALE	41
4.1 Obiettivo.....	41
4.2 Materiali e metodi	41
4.3 Risultati.....	54
4.4 Discussione	59
4.5 Conclusioni	63
Bibliografia	65

-INTRODUZIONE

Il processo di riabilitazione consta di diversi passaggi e della collaborazione di diversi professionisti con la conseguente necessità di comunicare in modo chiaro ed in tempi veloci.

Questo processo di scambio di informazioni inizia attraverso l'utilizzo di impronte dentali che possono essere eseguite attraverso l'utilizzo di materiali da impronta più o meno precisi, fedeli e costosi in base alle necessità.

Con il termine protesi si indica un dispositivo o un apparato artificiale rivolto a sostituire un organo (o parte di esso) o un segmento corporeo con l'intento di supplire, almeno potenzialmente, alle sue funzioni ⁽¹⁾.

I dispositivi protesici sono da sempre una parte essenziale nel processo di riabilitazione odontoiatrica.

Nell'era digitale, anche l'odontoiatria si è adattata portando con sé consistenti cambiamenti per quanto riguarda il flusso di lavoro. Si sono sviluppati sistemi digitali in grado di velocizzare il tempo speso alla poltrona, avere maggior confort e velocizzare lo scambio di informazioni ed il loro utilizzo tra i professionisti operanti nel campo della salute orale.

Ad oggi per rendere tutto il processo digitalizzato è necessario avere a disposizione un sistema di scansione 3D, che tramuterà le informazioni visive in un modello computerizzato analogo e fedele all'oggetto di interesse.

Il processo potrà poi continuare con la progettazione, la modellazione e lo sviluppo della protesi sempre in via digitale.

È chiaro come il momento chiave di tutto il processo sia la presa di un'impronta 3D più fedele e precisa possibile, che altrimenti provocherebbe una serie di inevitabili errori nelle fasi successive del processo che verrebbero poi a rendere inutilizzabile o inadeguato il dispositivo protesico.

1 L'IMPRONTA ODONTOIATRICA

L'impronta dentale è lo strumento che permette di trasferire l'anatomia e la morfologia della cavità orale del paziente in tutta la sua interezza: tessuti molli, elementi dentali, elementi protesici, posizione e inclinazione di eventuali impianti dentali.

L'impronta può servire a:

- studiare il caso;
- progettare e sviluppare una protesi fissa sia a supporto dentale che implantare, nonché protesi mobili totali o parziali;
- progettare e sviluppare di apparecchi ortodontici;
- fabbricare una guida chirurgica, e tutto quello che per la sua fabbricazione necessita di un odontotecnico.

La fase della presa dell'impronta, nel processo di sviluppo di un dispositivo protesico, essendo il primo step riveste un ruolo chiave. La sua precisione e accuratezza influenzeranno in modo sostanziale quella che sarà la qualità finale del dispositivo protesico.

L'impronta dentale svolge anche un ruolo importante a livello medico-legale, infatti ricordiamo l'importanza di conservare i modelli master, in una gipsoteca. L'elevata precisione e fedeltà hanno permesso negli anni all'impronta odontoiatrica di acquisire importanza nel campo dell'odontoiatria forense. L'odontoiatria forense prevede l'elaborazione, la revisione e la valutazione di caratteristiche dentali con lo scopo di produrre dati scientifici e oggettivi nei processi legali. Le impronte dentali possono identificare un individuo o offrire le informazioni necessarie alle autorità per stabilire negligenza, frode o abuso. Tradizionalmente l'odontoiatria forense si fondava sul paragonare le impronte e radiografie dentali post-mortem e quelle ante-mortem (del vivente) valutando la presenza di otturazioni dentali, trattamenti endodontici, corone o ponti, la presenza di malocclusioni

o fratture dentali per determinare se potessero corrispondere allo stesso individuo ⁽²⁾.

1.1 L'IMPRONTA TRADIZIONALE

L'impronta tradizionale è la riproduzione, più o meno fedele, in base alle necessità, della morfologia del cavo orale del paziente. Per ottenerla è necessario l'utilizzo del portaimpronta, del materiale da impronta e del suo sviluppo da parte di un odontotecnico mediante l'uso di gesso o resina.

I portaimpronta esistono in commercio di diverse forme e dimensioni per soddisfare la maggior parte dei campi di utilizzo. La forma deve essere adeguata all'anatomia del paziente e all'utilizzo che ne dovremo effettuare.

Alcuni portaimpronta permettono di rilevare in modo parziale entrambe le arcate in un'unica applicazione (Figura 1), altri invece rilevano arcate complete (Figura 2), edentule e non. Sono disponibili in metallo, in plastica, riutilizzabili e monouso. Inoltre, è possibile la creazione di portaimpronta individuali che permettono una maggiore precisione (Figura 3).



Figura 1: Portaimpronta per tecnica a doppia arcata monouso.



Figura 2: Portaimpronta mascellare riutilizzabile.

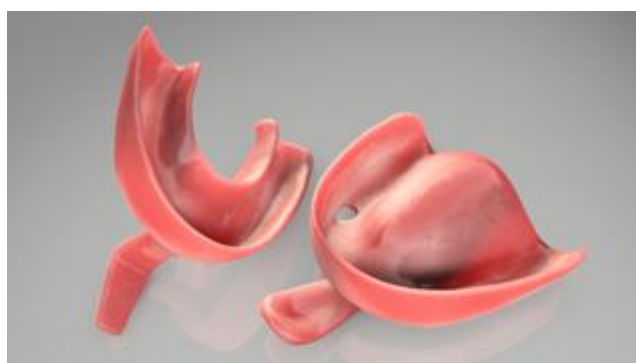


Figura 3: Portaimpronta individuale

Questi debbono essere realizzati da un tecnico in seguito alla presa di una impronta preliminare con un portaimpronta del commercio. Il portaimpronta verrà utilizzato in associazione con un materiale da impronta che potrà essere più o meno preciso a seconda della precisione richiesta dal processo.

Materiali come l'alginato sono più economici ma anche meno precisi, mentre materiali come i polieteri e polivinilsilossani sono più precisi, ma anche più costosi.

Le fasi della presa dell'impronta tradizionale prevedono una miscelazione del materiale, che potrà essere eseguita manualmente (Figura 4) o tramite l'utilizzo di miscelatori automatici (figura 5).



Figura 4: Miscelazione del materiale manuale



Figura 5: Miscelatore automatico, in foto Pentamix 3M

Arrivati alla giusta consistenza e tempo di miscelazione, sempre rispettando il tempo di lavoro, esso verrà posto all'interno del portaimpronte che verrà posto a sua volta nella bocca del paziente, fino a che non termini il tempo di presa e ci restituisca il negativo dell'arcata dentale.

Questa procedura richiede il rispetto di tempistiche ben delineate dal produttore del materiale utilizzato.

Il paziente dovrà rimanere fermo durante il tempo di presa.

L'impronta verrà poi inviata al laboratorio dove procederanno al suo sviluppo con gesso o resina, restituendo il modello esatto della bocca del paziente (Figura 6).

Tutto il processo di lavoro richiede un alto grado di standardizzazione per eliminare gli errori che mettono in pericolo l'accuratezza del risultato definitivo.

Punti critici sono la presa dell'impronta, il suo mantenimento, il trasporto al



Figura 6 Modelli sviluppati in gesso

laboratorio, lo sviluppo, la conservazione ed il corretto utilizzo dei materiali durante tutti i passaggi.

Fonti di errori sono:

- scelta e preparazione sbagliata del portaimpronte;
- limitazioni dovute all'idrofobicità e alla scorrevolezza del materiale;
- possibili strappi e deformazioni del materiale durante la rimozione;
- procedure improprie e timing sbagliato nel maneggiamento dell'impronta.

Errori sono possibili anche nella fase di sviluppo in relazione alla stabilità dimensionale, alle variazioni di temperatura, alla bagnabilità superficiale ed alle procedure di disinfezione ⁽³⁾.

Questo processo inoltre comporta diversi disagi per il paziente soprattutto in quelli con forte riflesso del vomito ^{(4) (5) (6) (7)}.

1.2 I MATERIALI DA IMPRONTA

Premesso che la finalità di ciascuna impronta è variabile, a seconda che si voglia ottenere una esatta rilevazione delle strutture dentali o una rilevazione principalmente delle mucose e funzionale, è perciò impossibile utilizzare un unico materiale per tutti i tipi di impronta. In ogni caso, i requisiti ideali di un materiale dovrebbero essere l'atossicità, la capacità di non essere irritante per i tessuti e, possibilmente, l'avere un sapore e un colore gradevoli. Inoltre, deve essere preciso, avere un adeguata consistenza, adeguate proprietà elastiche, in modo da non subire deformazioni nel disinserimento, e una buona resistenza. Dovrebbe essere stabile dimensionalmente, avere buona idrofilia e bagnabilità, essere economico, mantenere a lungo queste caratteristiche durante lo stoccaggio ed avere la possibilità di essere disinfettati senza variare le loro caratteristiche ⁽⁸⁾.

I materiali da impronta possono essere classificati in base alle loro caratteristiche di elasticità in:

1.2.1 RIGIDI

Sono materiali caduti in disuso con l'avvento dei materiali elastici. Essi non permettono la presa dell'impronta in zone di sottosquadro. Questi materiali, data la loro rigidità, andavano incontro a fratture nei punti critici come sottosquadri o margine della preparazione.

Attualmente trovano riscontro quasi unicamente in ribasature di protesi mobili, e impronte di canali radicolari ⁽⁸⁾.

1.2.1.1 GESSO DENTALE

Il gesso viene suddiviso secondo le specifiche ADA in: gesso tenero per impronte tipo I, gesso tenero per modelli tipo II, gesso duro tipo III, gesso extra dura tipo IV.

Tipo I

Chimicamente questo è un solfato di calcio biidrato, mescolando la polvere con l'acqua si ottiene una reazione chimica che porta alla solidificazione della polvere ossia alla presa del gesso.

Vengono aggiunte altre sostanze quali solfato di potassio, cloruro di potassio, nitrato di potassio, che ne limitano le espansioni durante la presa, e sostanze come carbonato di sodio, bicarbonato di sodio e carbonato di potassio che regolano il tempo di presa in modo da consentire il rilievo delle impronte. Altri additivi sono rappresentati da sostanze coloranti e aromatizzanti.

Tipo II

Viene comunemente utilizzato nei modelli di studio e per il montaggio in articolatore.

Tipo III

È impiegato nelle muffole per la costruzione di protesi totali e nell'utilizzo di modelli molto resistente all'abrasione, alla compressione, come quelli ortodontici.

Tipo IV

È impiegato per la costruzione di modelli con particolare resistenza all'abrasione, alla compressione come quelli utilizzati in protesi fissa con monconi sfilabili.

Il rapporto acqua polvere è generalmente indicato dal produttore così come il suo tempo di miscelazione.

1.2.1.2 PASTA ALL'OSSIDO DI ZINCO ED EUGENOLO

Questo materiale può essere impiegato per cementazione provvisori, per impacchi chirurgici parodontali e per registrazioni occlusali.

Lo scarso uso del materiale come materiale da impronta è dovuto all'elevato potere irritante dell'eugenolo sulle mucose.

1.2.1.3 RESINA CALCINABILE

Sono utilizzate principalmente nelle tecniche volte a rivelare e l'impronta dei canali radicolari per le ricostruzioni e corono radicolari appunto appartengono alla famiglia dei polimetilmetacrilati (PMMA).

Le principali caratteristiche sono una buona fluidità e una discreta rigidità e durezza, ed una contrazione durante la polimerizzazione pari allo 0.5%. Una sua caratteristica è essere appunto calcinabile: portato alla temperatura di fusione non lascia alcun residuo.

Materiale da impronta	Vantaggi	Svantaggi	Impiego
Gesso da impronta 	Preciso Non comprime Rimane rigido	Non è elastico Si rompe in presenza di sottosquadri Secca la bocca del paziente	Impronte di posizione (di elementi da saldare, transfer per overdenture ecc.)
Masse termoplastiche 	Precise Stabili Possono essere galvanizzate meglio di altri materiali	Rigide Fragili Possono scottare il paziente	Impronte con anello di rame Bordi periferici dei portaimpronte individuali per protesi mobile
Paste all'ossido di zinco-eugenolo 	Precise Stabili	Fragili	Ribasatura di protesi mobili

(9)

1.2.2 ELASTICI IDROCOLLOIDI

Al contrario dei materiali rigidi, i materiali elastici permettono la presa dell'impronta anche in zone con sottosquadri.

Gli idrocolloidi reversibili sono ormai in disuso. Gli idrocolloidi irreversibili sono invece largamente impiegati grazie alla loro economicità e facilità di impiego. La reazione di presa è una reazione chimica di precipitazione non reversibile.

Sono a loro volta suddivisi in: a presa rapida (1-2 minuti), a presa normale (2-5 minuti).

Sono forniti sotto forma di polvere che andrà miscelata con acqua ⁽⁸⁾.

Sono disponibili sotto forma di liquidi viscosi allo stato di sol, o sotto forma di sostanze semisolide di consistenza gelatinosa allo stato di gel.

Poiché i materiali da impronta colloidali sono solidi sospesi in un liquido sono idrofili: disperdendo della gelatina o agar in acqua le particelle attraggono molecole di acqua si gonfiano formando appunto un idrocolloide.

Il sol può essere trasformato in un materiale semisolido, conosciuto come gel o gelatina mediante un abbassamento della temperatura questa è nota come temperatura di gelificazione.

È paragonabile ad un processo di solidificazione ma a differenza per esempio del ghiaccio il ritorno allo stato di sol non avviene alla medesima temperatura alla quale era stata gelificato.

Deve essere portato prima la temperatura più alta detta temperatura di liquefazione per tornare a condizione di sol.

1.2.2.1 ALGINATI

Ottimi per impronte primarie di ordine protesico ortodontico di progettazione.

Sono sali dell'acido alginico un polisaccaride estratto dalle alghe brune. La reazione di presa è una reazione chimica di precipitazione non reversibile. La reazione chimica avviene in due tempi. Una prima fase detta di rallentamento ed una seconda fase detta di presa: questo perché la reazione sarebbe troppo rapida e perciò la si rallenta aggiungendo del fosfato trisodico nella polvere.

Gli alginati presenti in commercio possono essere divisi in due tipi:

Tipo I fast setting a presa rapida contempo un indurimento di 1 o 2 minuti.

Tipo II normal setting a presa normale con tempi di indurimento tra i 2 e i 5 minuti.

Per miscelare nelle giuste proporzioni polvere liquido occorre seguire le indicazioni del produttore dosandola con gli appositi misurini, l'acqua deve essere a temperatura ambiente in quanto l'acqua calda accelera notevolmente la reazione di presa.

Una volta rimossa l'impronta, va lavata, disinfettata e ricoperta con un panno o un batuffolo di cotone o un fazzoletto bagnato per prevenire la evaporazione e la sineresi.

Inoltre, va colata nel più breve tempo possibile e conservata in un ambiente saturo d'acqua.

È importante ricordare che maggiore sarà la temperatura minore sarà il tempo di presa.

Idrocolloidi Reversibili (agar) 	Precisi Non comprimono	Possono scottare il paziente Delicati Notevolmente instabili	Impronte di protesi fissa senza sottosquadri notevoli
Idrocolloidi Irreversibili (alginato) 	Economici Non comprimono	Notevolmente instabili Poco precisi se non sono colati immediatamente	Prima impronta Ortodonzia Seconda impronta in protesi mobile Come pasta base di supporto agli agar

(9)

1.2.3 ELASTICI ELASTOMERI

Sono definiti come “prodotti sintetici ad alto peso molecolare dotati di elevate caratteristiche elastiche”. Sono conosciuti anche come “gomme sintetiche” e disponibili in diverse viscosità: molto alta (putty), alta (heavy), media (regular), bassa (light), molto bassa (very low).

Si induriscono mediante reazione di polimerizzazione.

1.2.3.1 POLISOLFURI

Sono forniti in pasta base e pasta reagente con polimerizzazione per condensazione.

La pasta base contiene un mercaptano polifunzionale o polimero polisolfuro e altri componenti come il solfato di calcio e l'ossido di zinco e il

biossido di titanio. Il catalizzatore contiene il biossido di piombo per allungare la catena polimerica, per ossidazione dei gruppi terminali e determinare il cross linking.

In alternativa al biossido di piombo può essere utilizzato il t-butilene.

La reazione di polimerizzazione è esotermica, l'umidità e la temperatura influenzano notevolmente il corso della reazione.

La miscela è composta dalle 2 paste in parti uguali che vengono poste su un cartoncino plastificato o una piastra di vetro e miscelate con una spatola di metallo.

Tra i vantaggi ricordiamo: ottima definizione dei dettagli, il tempo di miscelazione contenuto tra i 45 e i 60 secondi, un tempo di lavorazione sufficiente compreso tra i 4 e 8 minuti ed un buon tempo di presa, una buona stabilità dimensionale, e in quanto materiale idrofobi non sono interessati dal fenomeno della sineresi o dell'imbibizione.

Tra gli svantaggi ricordiamo la perdita di precisione se l'impronta viene colata dopo le 24 ore a causa di una polimerizzazione prolungata nel tempo.

La possibilità di deformazioni se avvengono stiramenti durante la disinserzione, la loro appiccicosità, il loro sapore sgradevole e il lungo tempo di indurimento, inoltre macchia indelebilmente i tessuti del vestiario e inoltre sono descritti anche casi di irritazione della mucosa.

1.2.3.2 POLIETERI

Possono essere ad attivazione chimica con pasta base e catalizzatore oppure a polimerizzazione fisica fotoattivabili. Sono estremamente precisi, dal momento che la loro polimerizzazione è per addizione e, quindi, senza l'eliminazione di alcuna molecola. Hanno un'ottima riproduzione dei particolari; in ambiente non eccessivamente umido hanno inoltre un'ottima stabilità dimensionale.

I polieteri assorbono elevate quantità di acqua quando ne vengono a contatto e ne rilasciano altrettanto facilmente in ambienti molto asciutti.

Questo problema si acuisce quando si utilizza il diluente che essendo molto idrofilo può causare una notevole imbibizione dell'impronta a contatto con la saliva ed un rilascio d'acqua per evaporazione fuori dalla bocca. Tutto ciò potrebbe alterare notevolmente la stabilità dimensionale di questo materiale.

Questi materiali vanno impiegati in porta impronte individuali in resina e con un adesivo apposito per aumentare l'adesione. L'impronta da rilevare deve essere mantenuta nel cavo orale per quattro minuti circa, sciacquata sotto acqua fredda e conservata ben asciutto in un ambiente non umido.

Tra i vantaggi ricordiamo un eccellente stabilità dimensionale, la loro idrofilia, l'ottima precisione nella registrazione dei dettagli ed una buona resistenza alla deformazione. Inoltre, con questi materiali è possibile duplicare modelli. Sono inodori, insapori e non macchiano i tessuti, hanno una buona fluidità e tissotropia.

Tra gli svantaggi vanno ricordate la scarsa economicità e l'eccessiva durezza.

1.2.3.3 SILICONI

A reazione per condensazione o per addizione, sotto forma di pasta base e pasta reagente.

Reazione per condensazione

Sono costituiti da una molecola base che è un polimero siliconico il dimetilsilossano che con l'aggiunta di ossidi metallici e polvere di silice li rende pastosi reagiscono per mezzo di un attivatore liquido o in pasta costituito principalmente da octoano di stagno. Durante la reazione liberano sostanze volatili (l'alcool). Le loro modalità di impiego prevedono un breve tempo di miscelazione circa 45 secondi e un contenuto tempo di lavorazione circa 3 o 4 minuti.

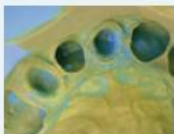
Tra i vantaggi vi è la capacità di superare i forti sottosquadri senza subire deformazioni permanenti, l'economicità, la versatilità, la notevole memoria elastica, la resistenza allo strappo e la loro idrofobia.

Tra gli svantaggi dobbiamo ricordare che in punti in cui esistono tracce di saliva e di sangue la riproduzione dei dettagli non sarà fedelissima.

Reazione per addizione

Il tempo di lavoro oscilla tra i 2 e i 4 minuti mentre il tempo di presa tra i tre 3 e i 7 minuti.

Vengono utilizzati specificatamente per la protesi fissa tradizionale o nella relativa rilevazione di impronte per protesi su impianti. Il recupero elastico è il migliore tra tutti gli elastomeri e hanno un'ottima stabilità dimensionale ⁽⁸⁾.

Gomme al polisolfuro 	Precise Stabili Non comprimono i tessuti	Polimerizzazione lenta Scarso recupero elastico in fase di polimerizzazione	Seconda impronta di protesi mobili
Siliconi per condensazione 	Di facile impiego Molto resistenti	Meno stabili degli altri elastomeri Difficile stabilire con esattezza le proporzioni tra le masse	Impronte di protesi fissa come supporto per altre masse Impronte di ortodonzia Utilizzo in laboratorio
Siliconi per addizione (polivinilsilossani) 	Idrofili Precisi Resistenti Stabili Estrema versatilità di impiego		Impronte di precisione Tecnica della doppia impronta
Polieteri 	Molto idrofili Precisi Elastici Stabili	Incompatibili con le resine epossidiche	Impronte di precisione Tecniche monofase

(9)

1.3 L'IMPRONTA DIGITALE

L'impronta digitale è l'evoluzione tecnologica dell'impronta classica. L'introduzione dell'odontoiatria digitale risale al 1980, rappresentando un grande progresso ed una tendenza importante soprattutto per l'odontoiatria protesica ⁽¹⁰⁾.

Al momento sono disponibili principalmente 3 metodologie per produrre modelli digitali 3D:

1. Scansione laser dei modelli in gesso ottenuti mediante impronta tradizionale (Figura 7).
2. Cone-beam computed tomography (CBCT) di modelli in gesso (Figura 8).
3. Scansioni intraorali dirette delle arcate dentali mediante l'uso di scanner intraorali (Figura 9) ⁽¹¹⁾ ⁽¹²⁾.

Ogni qualvolta che si procederà con una scansione, si verrà a creare un file 3D visualizzabile e modificabile istantaneamente al computer (Figura 10).

Questo può essere utilizzato per stilare un piano di trattamento adeguato.

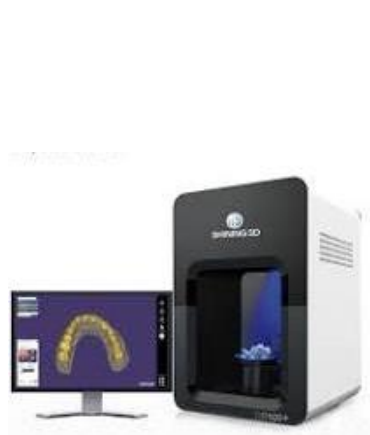


Figura 7 scanner da laboratorio



Figura 8 CBCT



Figura 9 Scanner intraorale

Le impronte digitali stanno diventando sempre più popolari grazie ai molti vantaggi che presentano, tra cui la velocizzazione dei tempi di consegna, la riduzione del numero di impronte e il miglioramento del workflow ⁽¹³⁾.

Inoltre, effettuando le impronte partendo da uno scanner intraorale, avremo l'eliminazione degli step tradizionali di presa dell'impronta, riducendo potenziali inaccuratezze dovute a



contrazione/espansione o deformazione dei materiali

Figura 10 Modello digitale

⁽¹⁴⁾ ⁽¹⁵⁾ e deformità dovute a morsi profondi o sottosquadri in bracket ortodontici ⁽¹⁶⁾.

Risulta facilitato anche il trasferimento dei dati digitali all'odontotecnico che determinano una riduzione dei costi per il tecnico, l'odontoiatra e il paziente ⁽¹³⁾ ⁽¹⁷⁾.

Migliora anche il confort del paziente, specialmente in soggetti con accentuato riflesso del vomito, dato che la scansione può anche essere interrotta per permettere una pausa al paziente ⁽¹⁷⁾. Viene ridotto il tempo alla poltrona, in quanto l'impronta è più veloce e più efficiente ⁽¹⁴⁾ ⁽¹⁵⁾. Inoltre, il rischio che il morso in cera venga distorto viene eliminato perché la registrazione del morso viene effettuata in occlusione centrica ⁽¹⁶⁾.

I modelli digitali possono così migliorare il flusso di lavoro odontoiatrico, assicurando un alto grado di standardizzazione ⁽¹⁴⁾.

2 IL WORKFLOW DIGITALE

2.1 STEP DEL WORKFLOW DIGITALE

I campi di utilizzo del workflow digitale sono ormai senza limiti.

Mentre i primi scanner e i primi workflow venivano utilizzati prettamente per piccole ricostruzioni di protesi fissa, ora il flusso di lavoro digitale svolge un ruolo sempre più importante nell'odontoiatria contemporanea ^{(18) (19)}.

Il flusso di lavoro digitale può essere diviso schematicamente in quattro fasi: acquisizione, elaborazione, produzione e applicazione clinica. (Figura 11)



Figura 11: Workflow digitale

2.1.1 ACQUISIZIONE

La prima fase è quella dell'acquisizione dei dati: il passaggio, cioè, dal reale al virtuale.

Per la virtualizzazione di parti anatomiche è necessario impiegare potenti scanner 3D intraorali.

Se si esegue un flusso di lavoro interamente digitale, si procede a scansione delle arcate del paziente con scanner intraorale, altrimenti, come già accennato in precedenza, è possibile acquisire, tramite scanner da laboratorio, l'anatomia delle arcate dentali utilizzando un modello in gesso, precedentemente acquisito tramite tecnica tradizionale che prevede l'utilizzo di portaimpronta e materiali da impronta.

Laddove necessario, per esempio nel caso di pazienti che dovranno ricevere impianti dentali, si procederà ad esame radiografico 3D attraverso cone beam computed tomography (CBCT).

Tale fase di acquisizione viene completata dalle fotografie intraorali con macchina fotografica digitale e, laddove possibile, da scansione del viso del paziente tramite scanner facciale.

Questi ultimi apparecchi sono ancora poco diffusi in odontoiatria, ma diverranno presto di uso comune per lo smile design 3D.

2.1.2 ELABORAZIONE

La seconda fase di lavoro è interamente virtuale e prevede l'elaborazione dei dati acquisiti attraverso software di computer assisted design (CAD).

La fase di elaborazione o processazione delle immagini prevede la sovrapposizione delle informazioni sui tessuti dento-gengivali raccolte con scanner intraorale alle informazioni sull'anatomia ossea raccolte con CBCT, al rendering 3D del viso del paziente.

Si procederà poi alla pianificazione dell'intervento chirurgico in software di CAD chirurgico, decidendo posizione, profondità e inclinazione degli impianti, e disegno della dima per la chirurgia guidata.

Nel caso invece di corona o ponte, tali restauri saranno modellati all'interno di software di CAD protesico, partendo dalla scansione intraorale dei monconi del paziente, opportunamente preparati (Figura 12).



Figura 12: Elaborazione mediante software CAD

2.1.3 PRODUZIONE

La terza fase è quella della produzione.

Si passa, pertanto, dal virtuale al reale, fabbricando fisicamente quanto progettato in precedenza.

In questa fase entrano in gioco macchinari come fresatori e stampanti 3D sia da laboratorio che chair-side (Figura 13).



Figura 13: Produzione mediante fresatore

I fresatori sono impiegati per la produzione di corone, ponti, restauri protesici fissi su denti naturali e impianti; le stampanti 3D sono più comunemente utilizzate per produrre modelli delle arcate o dime chirurgiche.

La fase produttiva è gestita da software di computer assisted manufacturing (CAM) che indicano alle macchine le strategie per ottimizzare la produzione dell'oggetto desiderato.

2.1.4 APPLICAZIONE CLINICA

La quarta e ultima fase, infine, è quella dell'applicazione clinica.

L'odontoiatra applica il restauro protesico o procede all'intervento di chirurgia guidata utilizzando la dima chirurgica stampata o fresata, in diversi materiali (Figura 14) ⁽²⁰⁾.

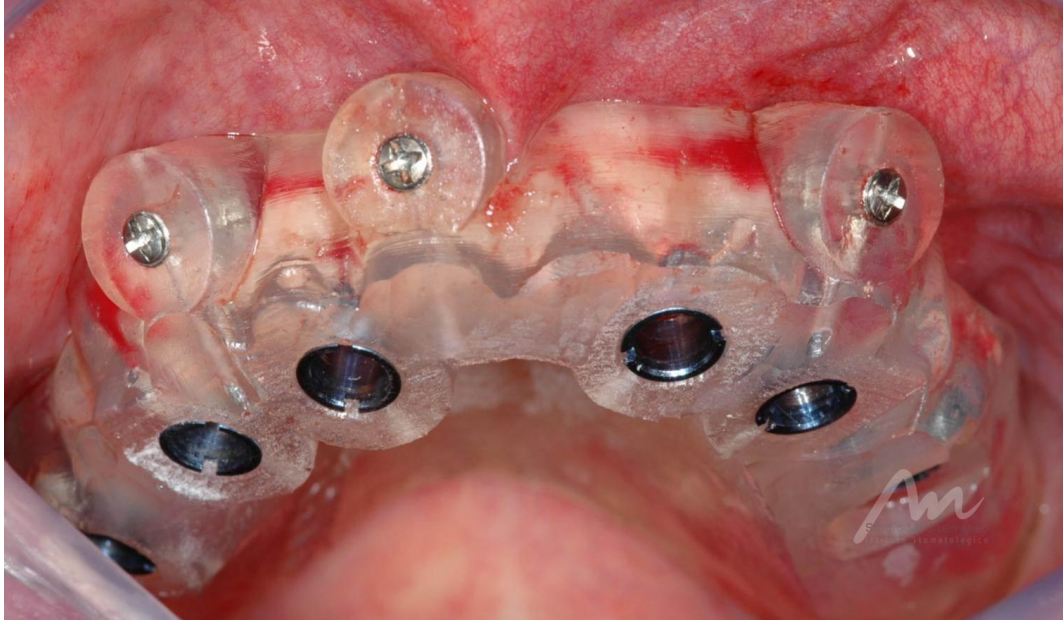


Figura 14: Applicazione clinica di dima per chirurgia guidata

2.2 VANTAGGI E SVANTAGGI DEL WORKFLOW DIGITALE

L'adozione di un workflow digitale sia totale che parziale, comporta la presenza di molti vantaggi ma anche di qualche svantaggio non trascurabile.

Più il workflow sarà totalmente digitale più il numero di vantaggi e svantaggi sarà maggiore, altrimenti in base alle porzioni di workflow eseguite analogicamente avremo parziali e diversi vantaggi e svantaggi.

2.2.1 VANTAGGI

- **Maggior confort per il paziente:** l'abilità di catturare direttamente tutte le informazioni delle arcate dentali del paziente e conseguentemente i suoi modelli 3D senza usare un'impronta fisica tradizionale ^{(21) (22) (23) (24)}.

L'impronta fisica può causare discomfort momentaneo come già accennato precedentemente a causa della consistenza e della presenza di materiale estraneo nella cavità orale ^{(7) (21) (22) (23)}.

Infatti viene eliminata la necessità di un materiale da impronta e sostituita con una sorgente luminosa. ^{(6) (7) (25) (26) (27) (28) (29)}.

- **Riduzione dei tempi:** diversi studi hanno dimostrato che l'utilizzo di impronte digitali è in grado di ridurre il tempo di lavoro e conseguentemente riduzione dei costi, se comparato all'utilizzo di impronte tradizionali ^{(26) (30) (31)}.

L'acquisizione di un'impronta digitale richiede all'incirca 3 minuti, che all'incirca corrisponde con il tempo di presa di un'impronta tradizionale.

Il risparmio di tempo in realtà si ha nella fase successiva data la assenza di necessità di sviluppare l'impronta essendo essa già pronta all'uso ed inviabile istantaneamente al tecnico ^{(4) (32) (33)}.

Inoltre, per i clinici che hanno a disposizione fresatori chair-side, il manufatto protesico può essere effettuato in tempo reale ⁽²⁸⁾.

- **Eliminazione modelli in gesso e loro stoccaggio:** la gipsoteca diventa virtuale e immutabile nel tempo, con risparmio di costi e spazio ⁽³⁴⁾.

- **Semplificazione delle procedure per il clinico:** soprattutto nei casi difficili, in presenza di impianti multipli o grandi sottosquadri, inoltre se l'impronta non è soddisfacente può essere controllata e riacquisita istantaneamente ^{(35) (36)}.

- **Miglioramento della comunicazione con l'odontotecnico:** perché può visionare l'impronta in tempo reale, dato che può essere inviata via e-mail e se non pienamente soddisfatto può richiedere all'odontoiatra di eseguirne un'altra nello stesso appuntamento ⁽³⁷⁾.

- **Miglior comunicazione con i pazienti:** può essere usato anche come ottimo strumento di marketing, il paziente si sente più coinvolto nel piano di trattamento, semplifica la comunicazione ed inoltre i pazienti dimostrano attenzione nei confronti della tecnologia menzionandola con amici e parenti. Diventa così un vero e proprio metodo di marketing ^{(4) (22)}.

2.2.2 SVANTAGGI

- **Curva di apprendimento:** è necessaria per prendere pratica con la tecnologia, soggetti con più affinità alla tecnologia troveranno sicuramente meno difficoltà ⁽³⁸⁾.
- **Difficoltà nel rilevare margini di preparazioni profonde o in caso di sanguinamento:** a differenza dei normali materiali da impronta dove possiamo discostare la gengiva dalla preparazione, lo scanner intraorale non permette di fare ciò, è difficile per la luce arrivare in margini subgengivali, problemi simili si verificano in caso di sanguinamento ^{(4) (39)}.
- **Costi di acquisto e mantenimento:** è importante prestare attenzione alla policy del produttore. È importante informarsi oltre che i per il costo di acquisto anche dei costi annuali e del costo degli aggiornamenti, inoltre è importante informarsi sul tipo di file che vengono utilizzati, se sono file proprietari o file aperti in modo da poter essere utilizzati e scambiati con qualsiasi metodica ^{(4) (39)}.

2.3 DIGITAL SMILE DESIGN

Più semplicemente progettazione virtuale del sorriso, è un ausilio che permette di semplificare il workflow ma soprattutto la comunicazione con il paziente.

Il paziente potrà essere parte integrante ed esporre le sue opinioni riguardo alla forma ed estetica che assumerà il suo viso ed il suo sorriso al termine del piano di trattamento.

Il Digital Smile Design sfrutta l'interpolazione di fotografie del paziente in diverse posizioni, tra cui posizione di riposo, sorriso e sorriso forzato sia in visione frontale che laterale, per previsualizzare il risultato finale.

Grazie all'utilizzo di reperi ben noti al software, che dovranno essere accostati al paziente, permetterà di modellare virtualmente il profilo degli elementi dentali del paziente.

Questo processo grazie alle più recenti tecnologie può essere utilizzato non più solo in 2D ma anche in 3D, accoppiandolo con tecniche di radiologia 3D.

In seguito ad un approfondito analisi estetica del caso sarà utile per progettare e previsualizzare il risultato. Esso faciliterà la comunicazione non solo con il paziente ma anche tra i professionisti.



Figura 15 Digital Smile Design

3 GLI SCANNER INTRAORALI

3.1 SCANNER 3D

Gli scanner intraorali sono sempre più presenti nella pratica clinica. A partire dai primi prototipi creati negli anni 80, si sono evoluti continuamente fino a diventare sempre più precisi, affidabili e con un più largo campo di utilizzo.

Lo scanner è composto da un “manipolo” in grado, partendo da un oggetto fisico, di ottenere una rappresentazione tridimensionale dello stesso (Figura 15).



Figura 15: Manipolo di uno scanner odontoiatrico

All'interno del manipolo saranno presenti, qualsiasi tecnologia esso utilizzi, un sensore ed un processore con un suo software dedicato.

La qualità dell'immagine che ne deriva è dovuta all'insieme delle due componenti, software e sensore.

Lo scanner 3D proietta sulla superficie dell'oggetto da analizzare una fonte luminosa (luce strutturata o laser). Tramite la presenza di una o più telecamere queste misureranno la deformazione della fonte luminosa causata dall'oggetto in esame, e tramite un potente software di

elaborazione è in grado di ricreare delle coordinate tridimensionali e unirle a per formare un modello.

Nonostante la complessità di questi apparecchi, rilevare un'impronta ottica è piuttosto semplice: è sufficiente introdurre la punta dello scanner all'interno del cavo orale e muoverla seguendo una appropriata tecnica di scansione. Successivamente, a denti chiusi si rileverà anche la masticazione.

3.2 NUVOLA DI PUNTI

Una nuvola di punti (point cloud) è un insieme di punti caratterizzati dalla loro posizione in un sistema di coordinate e da eventuali valori di intensità (colore, profondità, ecc.) ad essi associati. Queste vengono utilizzate come rappresentazione di strutture tridimensionali di oggetti sotto forma virtuale.

Le nuvole di punti possono essere acquisite mediante l'utilizzo di scanner 3D o di sensori 3D. Esse hanno diversi scopi:

- la creazione di modelli CAD tridimensionali;
- la misura di precisione;
- il controllo qualità dei prodotti.

Possono trovare impiego nell'industria per verificare se i pezzi realizzati soddisfano le specifiche e le tolleranze di progetto, oppure in campo medico nella diagnostica per immagini, per progettazione di manufatti. Spesso le nuvole di punti non sono adatte ad essere utilizzate direttamente, ma servono da punto di partenza per la creazione di superfici come le mesh poligonali utilizzate in computer grafica e nella modellazione CAD.

In letteratura esistono diverse tecniche per formare una superficie 3D a partire da una nuvola di punti. Tra le più note ci sono la triangolazione di Delaunay, che costruisce una griglia di triangoli che hanno i punti della nuvola come vertici oppure tecniche che seguono un approccio volumetrico come quella dei marching cubes ⁽⁴⁰⁾.

3.3 TECNOLOGIA DI SCANSIONE

Sotto il nome di scanner 3D si celano in realtà diversi sistemi che permettono attraverso un'interpolazione software di ricreare un file virtuale 3D dell'oggetto in questione.

Le tipologie principali di laser 3D basatesi su diversi principi fisici le possiamo così suddividere in:

- **Triangolazione laser:** il laser emette una linea o un singolo punto di raggio laser.

Questo viene a contatto con la superficie dell'oggetto in analisi che deformerà la sua traiettoria.

Un sensore tramite misurazione della modificazione della traiettoria e dalla triangolazione trigonometrica potrà distinguere lo specifico angolo di deviazione.

L'angolo di deviazione è direttamente correlato alla distanza dell'oggetto dal sensore e dallo scanner. Quando sarà presente un numero sufficiente di dati, il software, sarà in grado di ricreare in 3D la forma superficiale dell'oggetto scansionato.

Questa tipologia di scanner sono economici e abbastanza accurati, ma risentono molto delle proprietà di superficie dell'oggetto, in particolare in oggetti con elevate trasparenze ed elevata lucidità, spesso richiedono l'utilizzo di polveri opacizzanti.

- **Fotogrammetria:** questa tecnica consiste semplicemente nella misurazione di diverse fotografie dello stesso soggetto statico da diverse posizioni.

Le misurazioni richiedono i dati fotografici come la distorsione dell'obiettivo, la lunghezza focale ecc.

Un potente algoritmo poi interpolerà tutte le foto riconoscendo gli stessi pixel riferiti allo stesso punto fisico per comporre l'immagine in 3D.

Questa tecnica è molto precisa e veloce, ma la sua precisione e accuratezza dipendono direttamente dalla qualità delle fotografie.

- **Luce strutturata:** questa tipologia si basa sulla triangolazione trigonometrica di una sorgente non laser.

La luce utilizzata può essere bianca o blu e può essere generata da uno o più proiettori, può essere sotto forma di una serie di raggi luce o una matrice di punti random.

Il sistema analizza il bordo di ogni linea e ne calcola la distanza dallo scanner per poi ricostruire l'immagine via software.

Chiaramente questa tipologia di scanner risente delle condizioni di illuminazione esterne e di materiali con differenti proprietà ottiche, queste verranno compensate via software.

- **3D basato su contatti (tastatore):** nota come digitalizzazione fisica.

Utilizza dei sensori tattili che fisicamente andranno a toccare l'oggetto in questione.

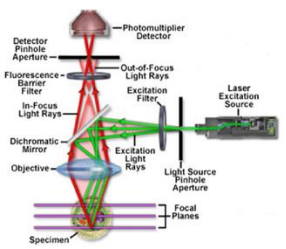
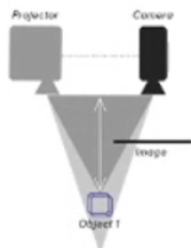
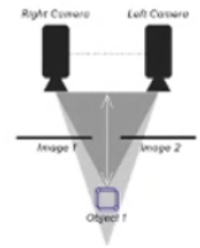
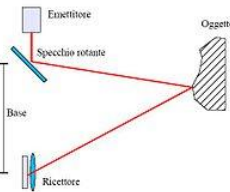
I sensori solitamente sono collegati ad un braccio snodato robotico che registrerà le posizioni in tutti i punti di sondaggio.

Questa tecnologia permette la scansione di oggetti trasparenti ed è ha elevatissima precisione ma anche costi molto elevati.

- **Impulsi laser confocale:** Questi scanner emettono milioni di impulsi laser e misurano il tempo che intercorre tra la loro emissione e il loro ritorno al detettore.

Ogni impulso misura un solo punto e per questo, questi laser dovranno ruotare attorno all'oggetto in questione tramite specchi o fisicamente.

Possiamo quindi schematicamente suddividere gli scanner attualmente sul mercato in base alla loro tecnologia di acquisizione, ricordando brevemente le loro caratteristiche, alcuni di essi utilizzano 2 tecnologie contemporaneamente.

Impulsi laser confocale 	Luce strutturata 	Fotogrammetria 	Triangolazione laser 
Ottime prestazioni	Basso costo Leggero Compatto	Compatto Materiali traslucenti	Economici Compatti
Prezzo elevato Manipolo ingombrante	Materiali traslucenti. Condizionato dalla luce esterna.	Elaborazione software complessa.	Necessita opacizzante
Trios Primescan iTero	Carestream Omnicam Planmeca Vatech Dental Wings 3Di los	Condor 3Di los	3M

3.4 CARATTERISTICHE DEGLI SCANNER INTRAORALI

Possiamo effettuare una prima suddivisione in:

- **scanner che necessitano di pretrattamento con polveri/spray opacizzanti.** Questo è tipico degli scanner di prima generazione e di quelli più datati ⁽⁴¹⁾.

- **scanner che non necessitano di opacizzazione.**

Quasi la totalità di nuovi sistemi di scansione fa parte di questa categoria. Questi permettono di scannerizzare direttamente senza la necessità di effettuare pretrattamenti di alcun tipo sulla superficie da scansionare

Quest'ultimi sono da preferire, dal momento che l'impiego di polveri e spray opacizzanti sono un disagio per il paziente ed il clinico, dato che stendere uno strato di polvere uniforme risulta complesso ed è inoltre una possibile fonte di errore che andrà a ridurre la qualità della scansione e del manufatto finale ^{(26) (42) (43)}.

- **Sono disponibili scanner in grado di offrire impronte a colori.**

Di questa categoria fanno parte soprattutto gli scanner di ultima generazione essendo una delle più recenti novità.

Il colore viene semplicemente aggiunto tramite l'utilizzo di fotografie ad alta risoluzione che vengono unite al modello tridimensionale.

Le informazioni relative al colore hanno un ruolo importante nel migliorare la comunicazione con il paziente.

Al momento rivestono minor importanza clinica e fino a quando non verranno implementati con dei colorimetri digitali che potranno ulteriormente migliorare la qualità ⁽⁴¹⁾.

Un'altra suddivisione può essere effettuata tra scanner facenti parte di un sistema chiuso o aperto.

- **Sistema chiuso:**

sono scanner che hanno come output solamente un file proprietario dell'azienda produttrice, questi potranno essere processati da software CAD specifici e facenti parte della stessa azienda.

L'impossibilità di disporre liberamente del file STL originario, o la necessità di dover ricorrere a pagamento di una quota monetaria 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 nel caso di utenti meno esperti in materia digitale. Inoltre, alcuni sistemi offrono un flusso di lavoro completo, dalla scansione alla fresatura passando dalla progettazione computer assisted design (CAD), e prevedono soluzioni chairside ^{(21) (41) (44)}.

- **Sistema aperto:**

prevedono come output oltre ad un file proprietario con validità medico legale, un file STL in grado di essere letto ed utilizzato dalla maggior parte di software CAD permettendo la collaborazione con diversi laboratori che non saranno costretti a dotarsi di un software specifico per ogni scanner.

Ciò permette la collaborazione con diversi laboratori, che non dovranno necessariamente dotarsi di un software di CAD specifico per quello scanner per poter lavorare; il restauro modellato in CAD potrà essere fresato da qualsiasi fresatore, senza alcuna limitazione.

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). ^{(20) (41) (43)}.

3.5 FILE

I file che si verranno a produrre a seguito della scansione della sua processazione software saranno un file proprietario del sistema, se previsto, e un file open source.

La tipologia di file open source maggiormente che si vengono a creare sono di tre tipi: file Standard Triangulation Language (.STL); Polygon File Format (.PLY); Object (.OBJ).

STL: presenta due versioni: binario o ASCII.

Nato per i software di stereolitografia CAD. È utilizzato nella prototipazione rapida (*rapid prototyping*) attraverso software CAD.

Un file STL rappresenta un solido la cui superficie è stata discretizzata in triangoli. Esso consiste delle coordinate X, Y e Z ripetute per ciascuno dei tre vertici di ciascun triangolo, con un vettore per descrivere l'orientazione della normale alla superficie.

Il formato STL presenta dei vantaggi quali la semplicità, in quanto risulta molto facile da generare e da processare, mentre a suo sfavore presenta una geometria approssimata e la sua struttura dati, che pur risultando semplice, può presentare la ripetizione dello stesso vertice più volte.

I file in formato STL possono essere visualizzati o corretti con strumenti open source.

È uno dei principali formati usati, ma non permette informazioni colorimetriche ⁽⁴⁵⁾.

PLY: esiste in due versioni, ASCII e in codice binario. È uno dei file principali utilizzati dagli scanner 3D industriali.

Il formato supporta una descrizione relativamente semplice di ogni singolo oggetto come una lista di poligoni nominali piatti.

Può includere una varietà di informazioni vasta tra i quali: colore e trasparenza, texture superficiale, angoli.

Permette di avere informazioni superficiali diverse per i due lati dei poligoni ⁽⁴⁶⁾.

OBJ (o .OBJ) è un formato di file per definire geometrie 3D sviluppato dalla Wavefront Technologies per il software Advanced Visualizer.

È un formato aperto che è stato adottato da tantissimi applicativi per la grafica 3D per l'interscambio di dati con altri programmi.

È un formato semplice, con un data-format che rappresenta solamente la geometria 3D, ossia la posizione di ogni vertice, la posizione di ogni coordinata UV per le texture, le normali e le facce che compongono il modello.

I vertici sono memorizzati di default in un ordine antiorario rendendo la dichiarazione esplicita delle normali non necessario.

Le coordinate di un OBJ non hanno unità di misura, ma informazioni sulla scala del modello possono essere contenute in una linea di codice commentata ⁽⁴⁷⁾.

È la tipologia di file maggiormente utilizzata dalle stampanti 3D.

3.6 PRECISIONE ED ESATTEZZA DEGLI SCANNER ODONTOIATRICI

Per far sì che le nostre riabilitazioni protesiche siano funzionali e predicibili, così come le guide per chirurgia guidata permettano l'esecuzione di un intervento sicuro, è necessario che gli scanner dispongano di elevata accuratezza e precisione. Se questi non lo fossero, ci ritroveremmo con delle protesi incongrue, che potrebbero aver bisogno di qualche ritocco manuale o ben peggio che siano inutilizzabili.

Per quanto riguarda la creazione di dime chirurgiche, anche queste richiedono la presenza di bassi margini di errore, per evitare complicanze intra o post-operatorie.

L'accuratezza degli scanner intraorali si può misurare attraverso due unità di misura: esattezza e precisione.

Esattezza: in metrologia, è la differenza tra il valore misurato e il valore presunto vero di una grandezza (il valore centrale della fascia dei valori misurati), lo stesso che è errore assoluto massimo ⁽⁴⁸⁾.

In altri termini, quanto la media delle nostre misurazioni si avvicini alla realtà: infatti una misura è tanto più accurata quanto più la media delle misure si approssima al valore vero della grandezza.

Uno scanner intraorale dovrebbe perciò essere il più possibile esatto, essere cioè in grado di rilevare ogni dettaglio dell'impronta e permettere l'elaborazione di un modello 3D virtuale il più possibile simile al reale.

Precisione: indica quanto vicini o quanto ripetibili siano i risultati.

Uno strumento di misura preciso darà quasi lo stesso risultato ogni volta che viene utilizzato. In altre parole, la precisione di uno strumento è una misura dell'affidabilità e della coerenza ⁽⁴⁹⁾. Nel nostro caso è la capacità di uno scanner di garantire un risultato ripetibile quando impiegato in diverse misurazioni dello stesso oggetto.

La costante ripetibilità del risultato è di fondamentale importanza: diverse misurazioni dello stesso oggetto devono necessariamente essere sovrapponibili, e discostarsi tra loro in maniera minima.

È di importanza cruciale che gli scanner intraorali risultino ad elevata esattezza ed elevata precisione.

Se dovesse venire a mancare anche solo uno dei due valori ci ritroveremo con dei risultati insoddisfacenti e non riproducibili (Figura 15).

Un crescente numero di ricerche scientifiche si sono susseguite in questi ultimi anni per determinare la precisione e l'esattezza degli scanner intraorali nei vari utilizzi possibili, e cercando di standardizzare quali possano essere le migliori tecniche di scansione al fine di ridurre i possibili errori che porterebbero ad una riduzione della qualità del manufatto finale.

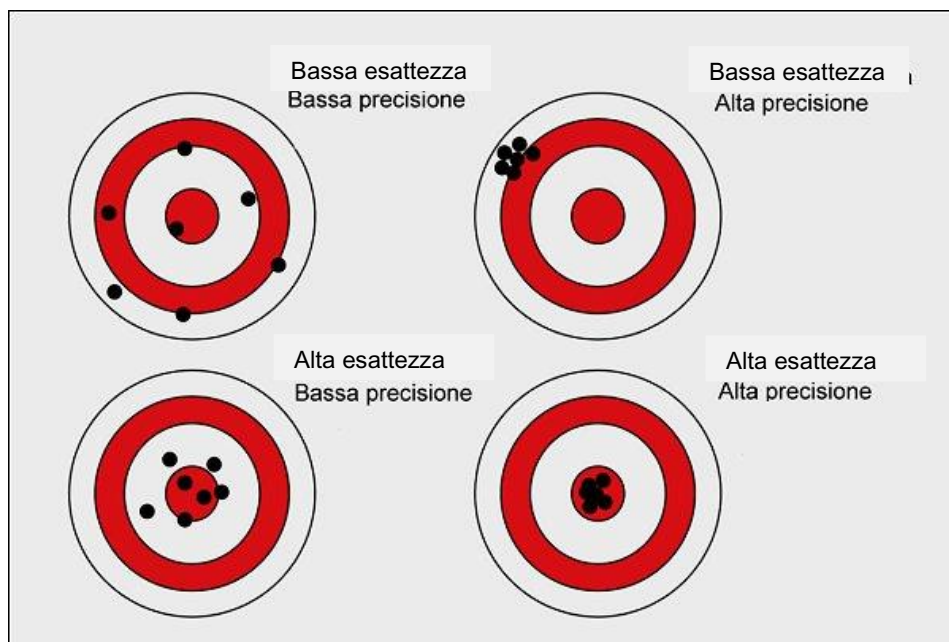


Figura 15: rappresentazione di esattezza e precisione

3.7 STRATEGIA E FLOW DI SCANSIONE

Si sta indagando se differenti strategie di scansione possano influenzare la precisione e l'accuratezza. Uno studio di Muller et al. trova che differenti strategie di scansione risultano in differenze di precisione statisticamente significanti.

Sono stati messi a confronto 3 diversi pattern di scansione ed emerse che: l'accuratezza non variava al variare del pattern di scansione; mentre la precisione sì.

Il pattern di scansione migliore per quanto riguarda la precisione risulta in un singolo passaggio occluso-palatale seguito da una scansione univa del versante buccale (Figura 16)

(50).

Gimenez et al. trovarono differenze comparando scansioni effettuate da utenti esperti ed inesperti in scansioni di modelli implantari (51).

Le proprietà dei materiali e le tecnologie di scansione possono modificare l'accuratezza; Nedelcu

e Persson trovarono differenze consistenti in scansioni senza opacizzazione (52).

Inoltre Li et al. hanno dimostrato come un incrementata traslucenza negli oggetti scansionati risulti in una minor accuratezza (53).

Numerosi sono gli studi per verificare accuratezza e precisione degli scanner intraorali in vitro. Sono stati effettuati con una grande quantità di materiali, dal gesso, il poliuretano, metallo. Tutti questi materiali differiscono per proprietà dalla naturale traslucenza degli elementi dentali e possono semplificare di troppo la realtà clinica degli scanner che non prevedono opacizzanti o al contrario dare uno svantaggio agli stessi quando scansionano in metallo (54).

Secondo lo studio in vivo condotto da Nedelcu et al., confrontando uno scanner intraorale ad uno scanner industriale, si conclude che esiste una differenza di precisione e esattezza tra scanner di differenti aziende, ed essi possono sostituire le impronte tradizionali per restauri non superiori a 10 elementi dentali, 5 bilateralmente la linea mediana, senza la presenza di lunghe selle edentule.

Mehl et al. indicano come per piccoli segmenti come sestanti, la strategia di scansione non influenzi la precisione e l'esattezza, quello di avere minime



Figura 16 Pattern di scansione migliore secondo Muller et al.

discrepanze tra i vari scanner i vari pattern di scansione confrontando 3 sistemi di scansione e 5 differenti strategie di scansione ⁽⁵⁵⁾.

Al contrario secondo Mennito et al. effettuando studi confrontando 6 scanner intraorali con 5 differenti strategie di scansione lo scan pattern influenza la precisione e l'esattezza quando sono scansionate grandi aree ad esempio arcate complete ⁽⁵⁶⁾.

Per quanto riguarda scansioni a sestanti secondo Mennito et al., la strategia di scansione non affligge significativamente l'esattezza e la precisione del risultato ⁽⁵⁶⁾.

Al contrario Priscilla Medina et al. indicano che l'esattezza e la precisione non variano al variare della strategia di scansione per quanto riguarda lunghe selle edentule per la maggior parte degli scanner intraorali ⁽⁵⁷⁾.

Nella fabbricazione di protesi totali rimovibili da uno studio di Lo russo L. et al. la differenza di misurazione tra impronta tradizionale ed impronta digitale non è statisticamente e clinicamente significanti per la fabbricazione di protesi totali mobili, in quanto la differenza di misurazioni ricade nel range della resilienza della mucosa ⁽⁵⁸⁾.

4 CONTRIBUTO SPERIMENTALE

4.1 OBIETTIVO

Sappiamo come l'esattezza e la precisione degli scanner intraorali siano un fattore determinante nel valutare la qualità del manufatto finale.

Essendo tra le prime fasi nel workflow ad essi è richiesta una elevata esattezza e precisione, ricordando che un errore nelle fasi iniziali di progettazione e studio, non potrà che portare ad un errore diagnostico e protesico del manufatto.

Questo studio ha l'obiettivo di confrontare la precisione ed esattezza di diversi scanner intraorali in scansioni di arcate intere mascellari in vitro.

La comparazione si soffermerà sull'utilizzo di differenti scanner intraorali, con differenti configurazioni riguardanti software e hardware.

Comparare le diverse tecnologie e tecniche di scansione, ed eventualmente proporre una tecnica standardizzata.

Verificare se le tecniche con ritaglio siano effettivamente superiori rispetto alle tecniche a scansione continua.

Capire quali siano i limiti attuali degli scanner intraorali in studio.

4.2 MATERIALI E METODI

Sono stati costruiti e utilizzati dei modelli di arcate complete, sia superiore che inferiore, in resina epossidica, un materiale stabile e opaco, con buone performance meccaniche e buona resistenza chimica.

Nell'arcata superiore scansionata sono presenti le seguenti preparazioni protesiche:

- Il primo molare mascellare di sinistra è stato preparato per ricevere un inlay.

- L'incisivo centrale mascellare di sinistra è stato preparato per accogliere una faccetta.
- Il primo molare mascellare di destra è stato preparato per accogliere una corona protesica con margine di preparazione a chamfer.

Mentre nell'arcata inferiore non è presente alcuna preparazione.

Sono stati utilizzati i seguenti scanner:

- Primescan, DentsplySirona (Figura 17)
- Omnicam, DentsplySirona (Figura 17)



Figura 17 Omnicam e Primescan

Sono state utilizzate otto differenti strategie di scansione per ogni scanner intraorale:

1. **Carestream 1:** prevede un passaggio dello scanner da oclusale con un angolo di 90° partendo da un elemento terminale, il ritorno verrà effettuato sul versante palatale/linguale con un'inclinazione rispetto l'asse dentale di 45° , e di nuovo si procederà verso il lato controlaterale attraverso la scansione della superficie vestibolare mantenendo sempre un'inclinazione di 45° . È consigliabile inclinare la telecamera nelle aree interprossimali in modo da assecondarne le forme.
2. **Carestream 2:** eseguire la scansione della faccia oclusale partendo da un elemento terminale e mantenendo un angolo di 90° con il piano oclusale, effettuare il ritorno dalla faccia palatale /linguale mantenendo un'inclinazione di 15° , completare la

scansione con la faccia vestibolare mantenendo un'inclinazione di 15°.

3. **Itero:** (Fig 18) scansionare la faccia occlusale a partire da un elemento terminale, continuare con la scansione completa della faccia linguale/palatale, ruotare vestibolarmente e scannerizzare dall'elemento terminale fino alla linea mediana, ripetere la scansione vestibolare dall'emiarcata controlaterale, finire la scansione effettuando un roll-over per emiarcata a livello del canino e dell'incisivo centrale, partendo da linguale/palatale e terminando vestibolare.

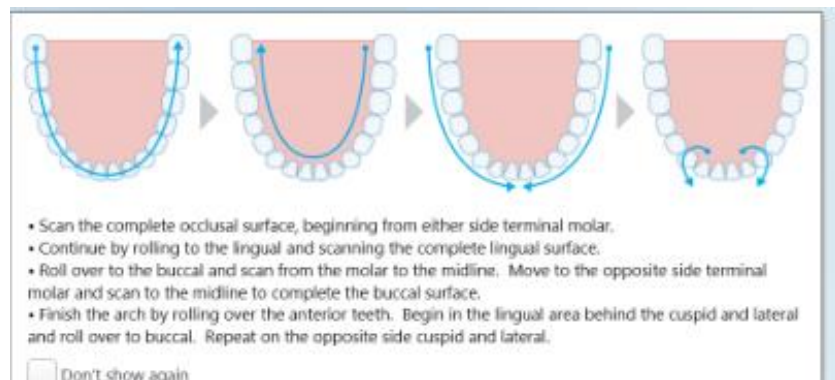


Figura 18

4. **Trios:** (Fig 19) iniziare la scansione sulla faccia occlusale del primo molare, quindi continuare fino all'emiarcata controlaterale, prestando attenzione nella scansione degli incisivi dove è preferibile effettuare delle piccole oscillazioni muovendosi lentamente. Continuare la scansione ruotandosi di 45-90° verso il

lato linguale e scansionare tutta l'arcata, ripetere l'operazione per il lato vestibolare.



Figura 19

5. **Invisalign:** la scansione inizia dall'elemento distale di destra e prosegue dal lato palatale/linguale fino alla linea mediana, riiniziando dall'elemento più distale si scansiona la faccia occlusale sempre fino alla linea mediana. Si ripete la stessa operazione per il lato vestibolare. Si effettua un roll on a livello premolare. Si ripete l'operazione per l'arcata controlaterale.
6. **Sirona:** (Fig 20) la scansione inizia sul versante linguale/palatale a livello della linea mediana, procede verso l'elemento terminale destro, ruota sul versante vestibolare e termina a livello della linea mediana vestibolarmente. La scansione viene ripetuta per l'emiarcata rimanente. Viene effettuato un terzo passaggio a livello occlusale a partire dal primo premolare di destra fino al primo premolare sinistro.

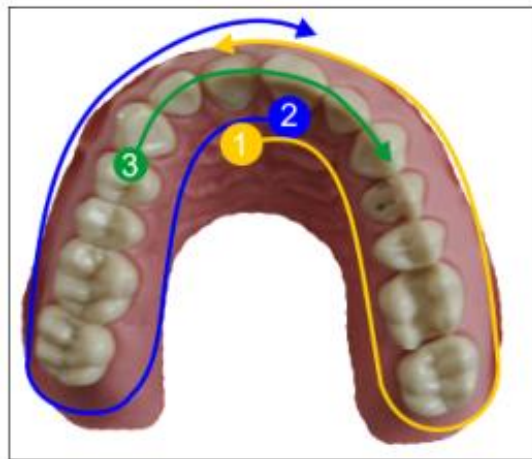


Figura 20

7. **Sirona alternativa:** (Fig 21) la scansione inizia dalla superficie distale dell'elemento terminale e procede lingualmente/palatalmente fino all'elemento controlaterale terminale, si procederà a scansionare la superficie occlusale con un unico movimento ritornando al punto di partenza, si passerà poi alla faccia vestibolare percorrendo tutta l'arcata.

ocedura 2

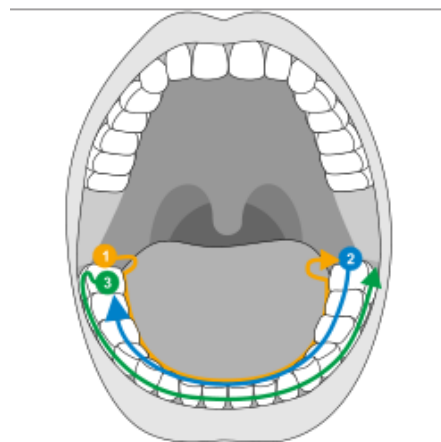


Figura 21

8. **Sirona 5 interruzioni:** (Fig 22)
- Iniziare in direzione occlusale sull'ultimo elemento del lato destro,effettuare la ripresa in direzione occlusale, inclinare la telecamera a 45° in direzione palatale/linguale e spostarla da distale a mesiale.
 - Ruotare la telecamera di 45° in direzione palatale/linguale e spostarla in direzione distale.

- Ruotare la telecamera di 90° sulla superficie occlusale e spostarla in direzione mesiale.
- Ruotare la telecamera a 45° in direzione buccale e spostarla nuovamente in direzione distale.
- A questo punto ruotare ancora la telecamera di altri 45° in direzione buccale fino a farle raggiungere un'inclinazione complessiva di 90° e spostarla nuovamente in direzione mesiale.
- (Fig 23) iniziare con la ripresa sulla superficie occlusale di un premolare di cui è stata eseguita una ripresa e condurre la telecamera a livello palatale con inclinazione di max 90° spostandola dalla zona mesiale alla superficie linguale degli incisivi e dunque in direzione distale sull'ultimo dente.
- Quindi inclinare leggermente la telecamera di 45° in direzione palatale, dalla zona distale venga ricondotta in direzione mesiale sugli incisivi.
- Quando la telecamera ha raggiunto l'area degli incisivi, spostarla inclinata di 45° sul lato buccale e, mantenendo l'inclinazione, condurla lungo quest'ultimo con spostamento da mesiale a distale.
- Quando la telecamera ha raggiunto la zona distale, inclinarla di altri 45° (per un'inclinazione complessiva di 90°) in direzione buccale e condurla nuovamente da distale a mesiale.
- Quando la telecamera ha raggiunto l'area degli incisivi, inclinarla in vista occlusale e condurla in direzione mesiale sulle superfici occlusali fino al molare distale posteriore.

Esecuzione del processo di scansione

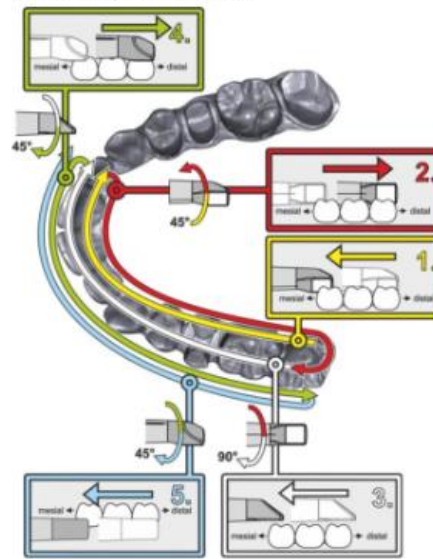


Figura 22

giornata con un unico scanner

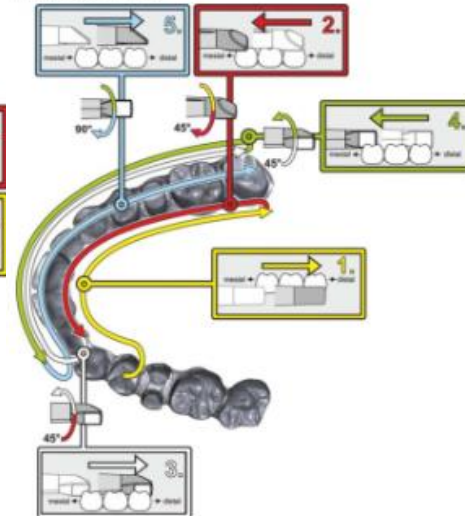


Figura 23

Le scansioni di riferimento sono state acquisite con uno scanner da banco ad alta risoluzione al cui interno è stato posizionato il modellino precedentemente scannerizzato con scanner intraorali:

- inEos x5 (DentSply Sirona). (Fig 24)



Figura 24

Le scansioni digitali, derivamenti da tutti gli scanner, una per ogni diversa tecnica, sono state importate in un unico PC.

Sono state analizzate e comparate mediante l'utilizzo di un software denominato "GOM Inspect Software per l'analisi di dati di misura 3D" versione PRO.

GOM Inspect, di proprietà della Zeiss Company, è un software per l'analisi di dati di misura 3D ottenuti dalla proiezione di frange o dagli scanner laser, macchine di misura a coordinate (CMM) e altri sistemi di misura. Il software viene utilizzato nelle fasi di sviluppo prodotto, controllo qualità e produzione.

A partire dalle nuvole di punti 3D vengono calcolate le mesh 3D di pezzi e componenti per la visualizzazione, la simulazione, la ricostruzione di superfici e il confronto nominale/effettivo.

Il software permette all'utente di visualizzare in tempo reale l'anteprima di ogni fase di elaborazione.

Il software GOM 3D prevede diverse opzioni per l'allineamento. Queste includono allineamento RPS, allineamento gerarchico basato su elementi geometrici, allineamento in un sistema di coordinate locali, allineamento tramite punti di riferimento nonché vari metodi best-fit quali best-fit globale o locale.

Le mesh possono essere verificate confrontando le superfici direttamente con un set di dati CAD, è possibile implementare l'analisi 3D delle superfici e un'analisi 2D delle sezioni o dei punti.

La scansione di riferimento (Fig 25) è stata importata nel software suddetto, a seguire sono state caricate singolarmente tutte le scansioni in esame.

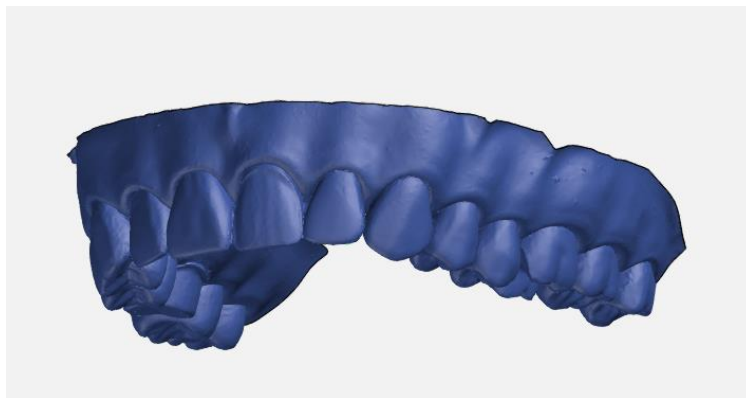


Figura 25

Per ogni scansione è stato eseguito un best fit preliminare, permettendo di orientare e avvicinare le due scansioni (Fig 26).

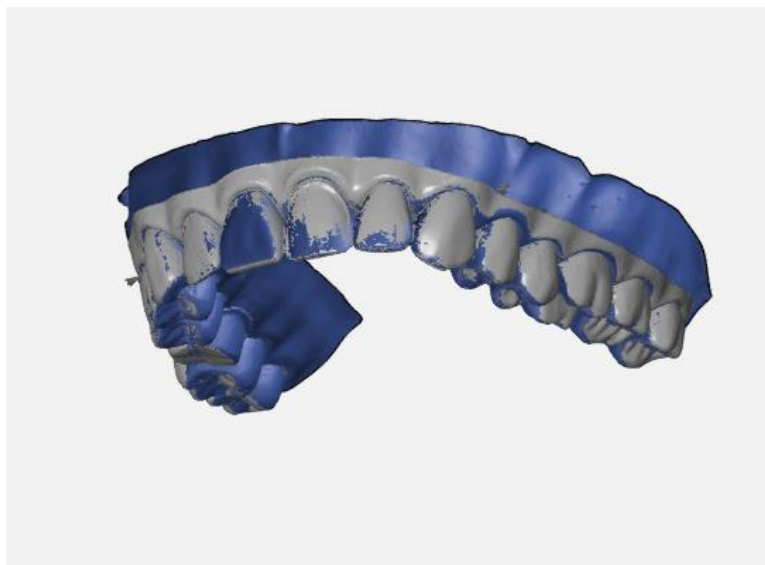


Figura 26

È stato poi accuratamente eseguito un ritaglio della sola area di interesse, eliminando per quanto possibile i tessuti a noi indesiderati come i tessuti molli non adiacenti agli elementi dentali, per poi poter effettuare un confronto più adeguato (Figura 27).



Figura 27

È stato eseguito un Best-Fit locale sulla sola area ritagliata, potendo ridurre così le possibili distorsioni date dalle aree esterne a quelle di nostro interesse.

È stato inoltre utilizzato il medesimo ritaglio per tutte le mesh, eliminando così la possibilità che le rilevazioni fossero falsate da delle zone di selezione diverse.

La procedura è stata ripetuta ripetendo i medesimi step per l'arcata inferiore.

Successivamente è stato eseguito un confronto di superfici rispetto al CAD, esprimendo così un primo riscontro visivo di quali zone fossero più o meno corrispondenti al riferimento (Fig 28).

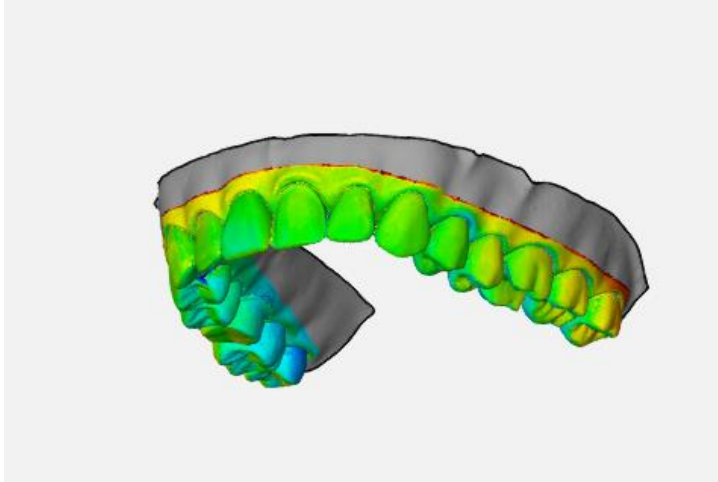


Fig 28

Sono state calcolate la deviazione sigma e la deviazione media tra le due superfici, per ogni scansione con ritaglio comprendente tutti gli elementi dell'arcata. (Fig 29)

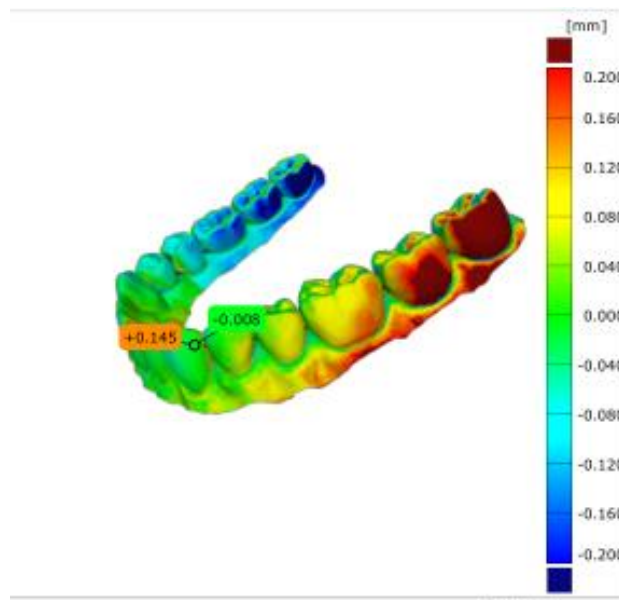


Figura 29

Sono stati effettuati inoltre dei ritagli singoli sugli elementi con preparazioni protesiche ossia:

- incisivo centrale superiore di sinistra (Fig 30)
- primo molare superiore di sinistra (Fig 31)
- primo molare superiore di destra (Fig 32)

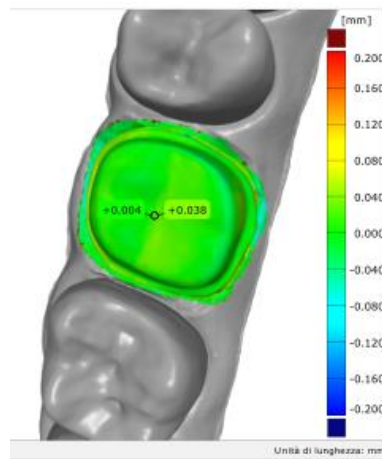


Figura 30

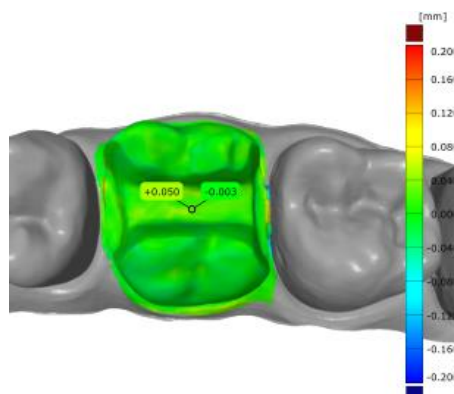


Figura 31

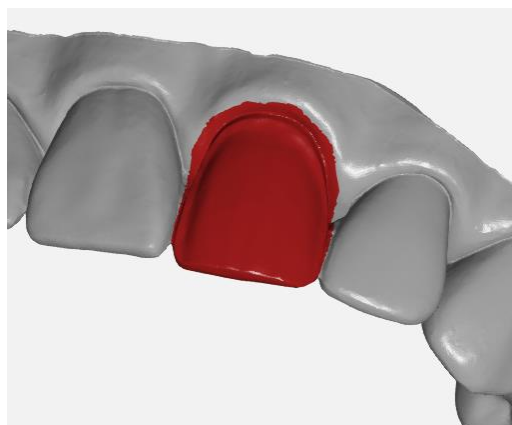


Figura 32

Si è proceduto con l'allineamento Best-Fit di un ritaglio singolo per volta, e alla loro misurazione di deviazione sigma e media.

Come per i ritagli dell'intera arcata, anche qui per eliminare le possibilità di distorsioni è stato utilizzato solo 1 ritaglio per elemento, che è poi stato riproposto su tutte le scansioni.

Gli accoppiamenti di scanner e tecnica di scansione delle scansioni mandibolari sono riportati in tabella 1.

Gli accoppiamenti di scanner e tecnica di scansione dell'arcata mascellare sono riportati in tabella 2.

Scanner	Software	Tecnica di scansione	Ritagli
Omnica	4.6.x	Sirona 5 interruzioni	no
Omnica	4.6.x	Sirona	no
Omnica	4.6.x	Carestream 1	no
Omnica	4.6.x	Carestream 2	no
Omnica	4.6.x	Itero	no
Omnica	4.6.x	Trios	no
Omnica	4.6.x	Sirona a distanza focale massima	no
Omnica	4.6.x	Sirona alternativa	no
Omnica	4.6.x	Invisalign	no
Primescan	4.6.x	Sirona	no

(Tab 1)

Scanner	Software	Tecnica	Ritagli
Omnica	4.6.x	Sirona	Si 16 21 26
Omnica	4.6.x	Sirona	sì 16
Omnica	4.6.x	Sirona alternativa	no
Omnica	4.6.x	Invisalign	no
Primescan	4.6.x	Sirona	Si 16
Primescan	4.6.x	Sirona	Si 16 21 26
Primescan	4.6.x	Sirona alternativa	no
Primescan	5.0.2	Sirona	no

(Tab 2)

4.3 RISULTATI

I risultati delle scansioni delle arcate complete sono riportati nella tabella 3 e grafico 1 (arcata inferiore) e nella tabella 4 e grafico 2 (arcata superiore). I dati sono espressi in media e deviazione standard.

Scanner	Tecnica di scansione	Ritagli	Media +- deviazione standard
Omnicam	Sirona 5 interruzioni	no	-0.007 ±0.147
Omnicam	Sirona	no	-0.006 ±0.119
Omnicam	Carestream 1	no	-0.006 ±0.135
Omnicam	Carestream 2	no	- 0.004±0.115
Omnicam	Itero	no	-0.003 ±0.112
Omnicam	Trios	no	-0.008 ±0.134
Omnicam	Sirona a distanza focale massima	no	+0.012 ±0.146
Omnicam	Sirona alternativa	no	-0.008 ±0.145
Omnicam	Invisalign	no	+0.009 ±0.142
Primescan	Sirona	no	-0.009 ±0.145

(Tab 3)

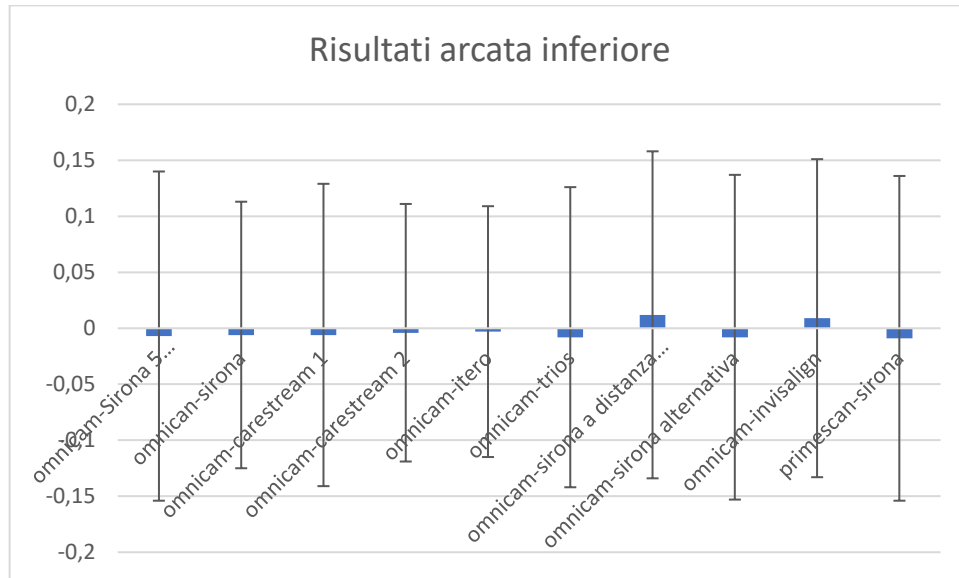


Grafico 1

Scanner	Tecnica	Ritagli	Media +- deviazione standard
Omnicam	Sirona	Si 16 21 26	+0.002 ±0.134
Omnicam	Sirona	si 16	+0.001 ±0.124
Omnicam	Sirona alternativa	no	+0.001 ±0.144
Omnicam	Invisalign	no	+0.008 ±0.153
Primescan	Sirona	Si 16	-0.002 ±0.106
Primescan	Sirona	Si 16 21 26	+0.006 ±0.168
Primescan	Sirona alternativa	no	+0.002 ±0.136
Primescan	Sirona	no	+0.005 ±0.106

(Tab 4)

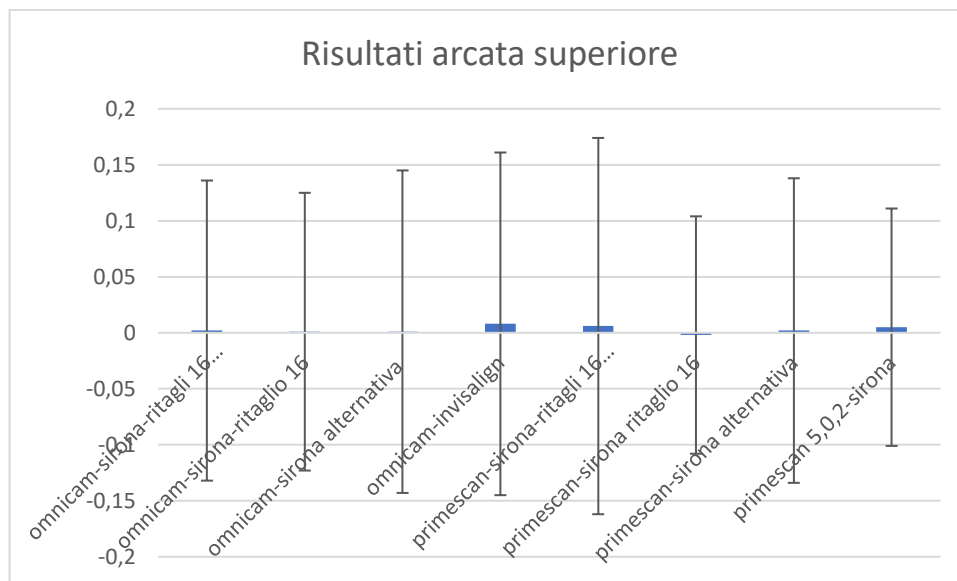


Grafico 2

I risultati delle scansioni dei ritagli con i relativi Best-Fit sono riportati nella tabella 5, tabella 6 e tabella 7. I dati sono espressi in media e deviazione standard.

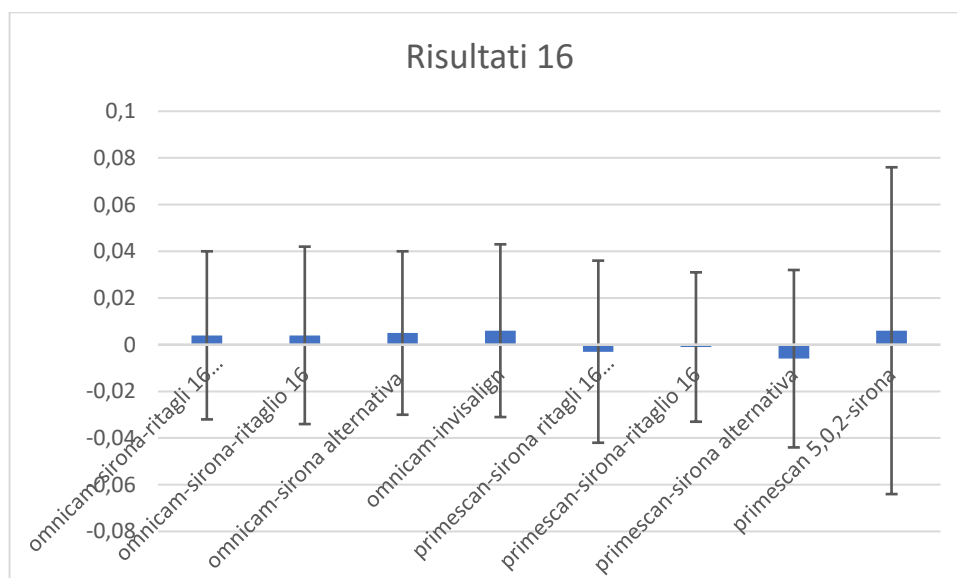


Tabella 5

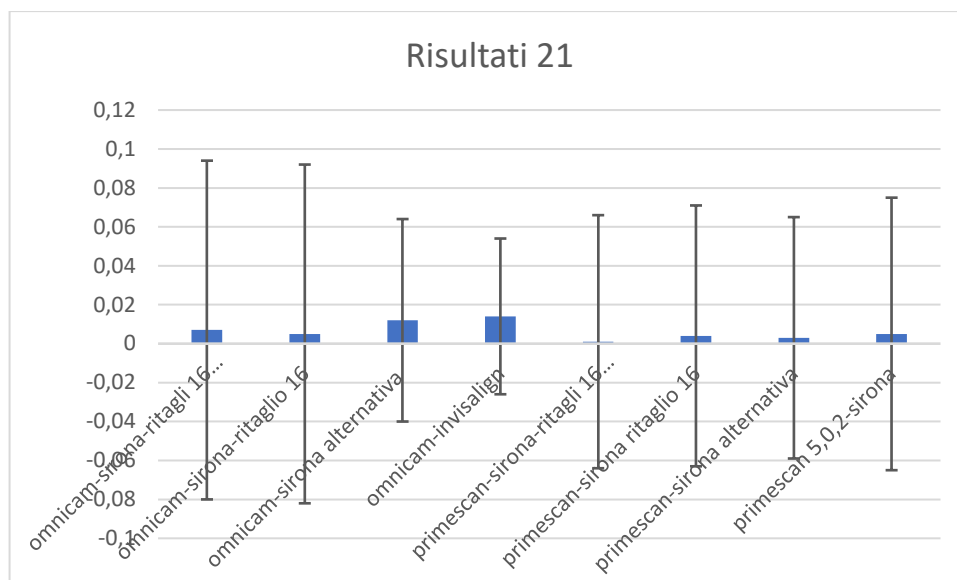


Tabella 6

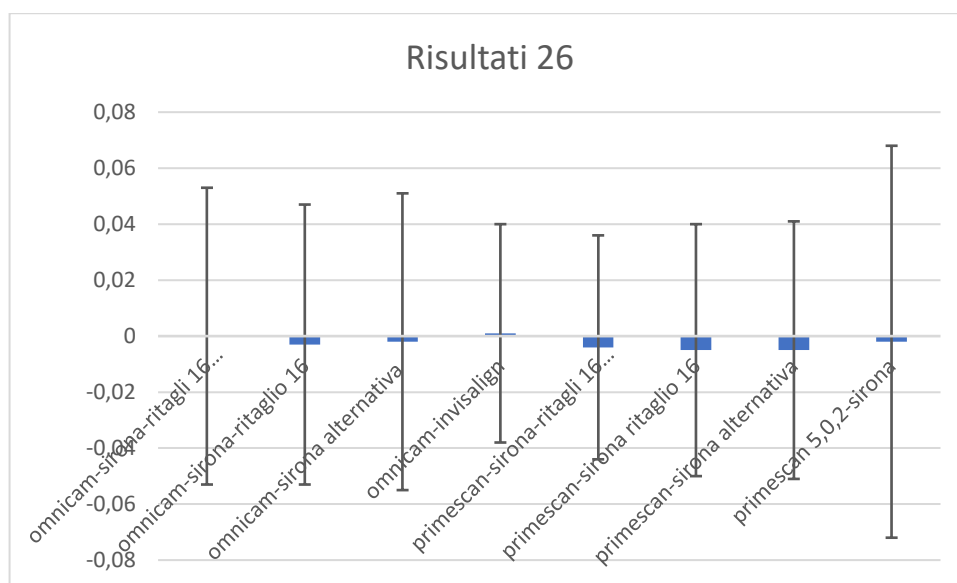


Tabella 7

I risultati di media dell'arcata inferiore riportano valori che variano in un range che va da un minimo di -0.003 μm (Omnicam tecnica iter), fino a 0.012 μm (Omnicam-Sirona distanza focale massima).

La deviazione standard dell'arcata inferiore varia da $\pm 0.012 \mu\text{m}$ (Omnicam Itero) mentre il limite superiore è di $\pm 0.147 \mu\text{m}$ (Omnicam-Sirona 5 interruzioni).

Per quel che concerne le scansioni dell'arcata superiore i valori di media da $0.001 \mu\text{m}$ (Omnicam-Sirona alternativa) a $0.008 \mu\text{m}$ (Omnicam Invisalign); i valori di deviazione standard variano da $\pm 0.106 \mu\text{m}$ (Primescan 5.0.2, e Primescan-Sirona ritaglio 16), con picco fino a $0.168 \mu\text{m}$ (Primescan-Sirona ritaglio 2).

I risultati espressi in media e deviazione standard della preparazione per la corona protesica sull'elemento 16 vanno da $-0.001 \mu\text{m} \pm 0.032 \mu\text{m}$ (Primescan ritaglio 16) fino a $0.006 \mu\text{m} \pm 0.070 \mu\text{m}$ (Primescan 5.0.2-sirona).

I risultati espressi in media e deviazione standard della preparazione per l'inlay sull'elemento 26 variano da $-0.001 \mu\text{m} \pm 0.032 \mu\text{m}$ (Primescan-Sirona ritaglio 16) a $-0.002 \mu\text{m} \pm 0.053 \mu\text{m}$ (Omnicam Sirona alternativa).

I risultati espressi in media e deviazione standard della preparazione per la faccetta sull'elemento 21 variano da $+0.014 \mu\text{m} \pm 0.040 \mu\text{m}$ (Omnicam Invisalign) a $0.007 \mu\text{m} \pm 0.087 \mu\text{m}$ (Omnicam Sirona 3 ritagli).

4.4 DISCUSSIONE

In questo studio, l'accuratezza e la precisione di due scanner sono stati sottoposti a test in vitro utilizzando due modelli in resina epossidica.

Uno di questi prevedeva degli elementi dentali sani, l'altro prevedeva la presenza di 3 diverse preparazioni protesiche.

Sono stati utilizzati 10 differenti setup per studiare l'arcata inferiore e 8 differenti setup per quella superiore.

I setup dell'arcata inferiore prevedevano 9 diversi flow di scansione suggeriti da diversi produttori di scanner intraorali che sono stati eseguiti con lo scanner Omnicam sempre con la stessa versione software, ed 1 scansione eseguita con uno scanner di nuova generazione Primescan.

Le scansioni effettuate con l'Omnicam riportano una variabilità di deviazione standard fino a $\pm 35 \mu\text{m}$ al variare della tecnica di scansione.

La scansione effettuata con lo scanner Primescan riporta valori comparabili ai peggiori tra quelli effettuati con lo scanner Omnicam.

Non sembra essere influente l'utilizzo di uno specifico sensore, e quindi di hardware, ma è ancora oggetto di discussione^{(59) (13)}.

Il risultato migliore si è ottenuto con l'utilizzo di Omnicam associato alla tecnica di scansione Itero che riporta valori di deviazione di $-0.003 \mu\text{m}$ $\pm 0.112 \mu\text{m}$, prevede una strategia dove nei primi passaggi si va a rilevare senza interruzioni tutta l'arcata.

In letteratura si riportano differenti risultati al variare della strategia di scansione.

I vantaggi si riscontrano nelle strategie con scansioni iniziali di tipo lineare, senza interruzioni, che vanno ad impressionare tutta l'arcata in un solo passaggio, questa soluzione sembra migliorare la scansione di tutti gli scanner. Questo è spiegabile perché si va a generare un framework multidimensionale dell'intera arcata nella scansione iniziale, eliminando il rischio di un susseguirsi di errori crescenti dovuti ad un non perfetto accoppiamento delle sezioni scansionate^{(59) (13)}.

Dai nostri risultati sembra che l'esattezza e la precisione della scansione dell'arcata inferiore, senza elementi con preparazioni protesiche, vari al variare della tecnica di scansione. Ma non al variare dell'hardware utilizzato.

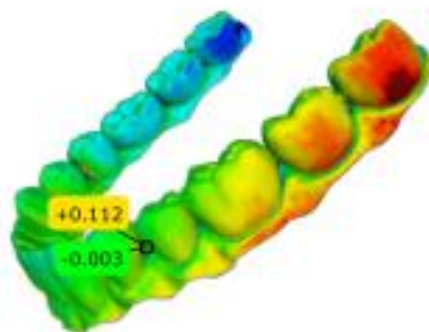


Figura 33

È stata riscontrata in tutte le scansioni dell'arcata inferiore la tendenza dei settori diatorici a vestibolarizzarsi, aumentando la deviazione superficiale procedendo in senso mesio distale (fig 33).

Questa deformazione sistematica, che risulta particolarmente evidente nei segmenti più distali dell'arcata, è già stata evidenziata in letteratura ⁽¹³⁾ ⁽⁶⁰⁾ ⁽⁶¹⁾.

I setup dell'arcata superiore sia completa che con i ritagli degli elementi di interesse prevedevano 4 scansioni effettuate con Omnicam con un'unica versione software, procedendo ad effettuare dei ritagli; 4 scansioni sono state effettuate con Primescan di cui 3 con una versione software precedente, variando il numero e la scelta dei ritagli, mentre 1 è stata effettuata con l'ultimo aggiornamento software 5.0.2 in modalità scansione continua, quindi senza ritagli.

Le scansioni dell'arcata completa hanno riportato una variabilità di deviazione standard di $\pm 62 \mu\text{m}$, le scansioni di entrambi gli scanner sono risultate con valori simili e sovrapponibili.

In tutte le scansioni abbiamo riscontrato, come nell'arcata inferiore, una vestibolarizzazione degli elementi diatorici che va ad accentuarsi in senso mesio distale (Fig 34). Come già riportato in letteratura ⁽¹³⁾ ⁽⁶⁰⁾ ⁽⁶¹⁾.

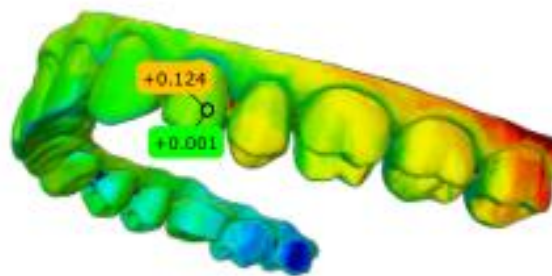


Figura 34

Per quanto riguarda i confronti di superficie delle sole preparazioni protesiche suddividendole per tipo di preparazione abbiamo riscontrato:

Le scansioni della preparazione a chamfer sull'elemento 16 rientrano tutte al di sotto del limite di 50 μm tranne la scansione effettuata da Primescan con software aggiornato 5.0.2.

Le scansioni dell'elemento con preparazione inlay non rientrano nel limite dei 50 μm le scansioni effettuate con "Omniscam continua 2" e "Omniscam superiore 3 ritagli" entrambe con valori di $\pm 0.53 \mu\text{m}$.

Le scansioni della preparazione per la faccetta sono risultate più difficoltose e sono risultate sufficienti solo la scansione "Omniscam orto" e "Primescan ritaglio 16", le altre hanno riportato tutte valori maggiori di deviazione standard a 50 μm .

Tutte le preparazioni riportano deviazioni al di sotto di 100 μm e come riportato da diversi studi sono da considerarsi comunque accettabili clinicamente ⁽¹⁰⁾.

Limiti dello studio:

Possiamo trovare i limiti di questo studio dovuti all'esiguo numero di scansioni effettuate che potrebbero aver influito sui risultati.

Inoltre, l'esecuzione di una singola scansione per ogni accoppiamento scanner-strategia di scansione potrebbe aver portato a dei risultati non sempre affidabili e ripetibili, sarebbe opportuno ripetere diverse scansioni utilizzando sempre lo stesso accoppiamento e utilizzare la media di queste come risultato.

La mancanza di un ambiente con condizioni di luce standardizzata potrebbe aver influito sui risultati, sarebbe meglio condurre i test in un ambiente a luminosità controllata e costante.

Sono stati utilizzati degli scanner già in utilizzo clinico, per questo sarebbe stato meglio procedere ad una calibrazione di questi prima di iniziare lo studio, in modo da riportarli alle condizioni custom di fabbrica.

Il modellino in resina epossidica utilizzato non rispecchia le proprietà ottiche (colore, opalescenza, traslucenza) degli elementi dentali, questo potrebbe aver influito sul risultato finale.

La mancanza di un supporto fisso su cui fissare il modellino e quindi la necessità di mantenerlo in posizione manualmente, con la possibilità di

ruotarlo a favore di luce e comunque a favore di scanner, potrebbe aver influito sui risultati.

4.5 CONCLUSIONE

Possiamo concludere che:

- Le scansioni di arcate totali, presentano una maggior discrepanza nei settori posteriori, benché nei settori anteriori, e più in generale in arcate corte, ci sia una elevata esattezza e precisione nella ricostruzione 3D dell'impronta.
- Non è presente una variabilità significativa tra le diverse versioni software e i diversi hardware posti in esame, così come non c'è una differenza significativa tra scansioni con ritagli o senza.
- È presente una differenza per quanto riguarda la tecnica di scansione, dove la tecnica itero, ma in generale le tecniche che prevedono una scansione iniziale dell'arcata completa, hanno riportato risultati con esattezza e precisione più elevate.
- Per quanto concerne l'utilizzo delle impronte per la costruzione di manufatti protesici e quindi prendendo in considerazione solo i ritagli degli elementi protesici, la rilevazione di impronte per corone con margine a chamfer e inlay risultano essere esatte e precise per permetterci di avere risultati clinicamente accettabili.
- Le preparazioni per faccette risultano meno esatte e meno precise rispetto le altre preparazioni protesiche, ma possono essere utilizzate per ottenere risultati clinicamente accettabili.
- Non sono state riscontrate differenze significative nella riproduzione delle preparazioni confrontando scansioni con ritagli o senza.

BIBLIOGRAFIA

1. *Dizionario medico*. Treccani. s.l. : Treccani, 2010.
2. *Forensic dentistry in human identification: A review of the literature*. Javier Ata-Ali, Fadi Ata-Ali. s.l. : J Clin Exp Dent., 2014. doi:10.4317/jced.51387.
3. *Digital versus conventional workflow for the fabrication of multiunit fixed prostheses: A systematic review and meta-analysis of vertical marginal fit in controlled in vitro studies*. Lucio Lo Russo, DDS, PhD, Giammarco Caradonna, DDS, Marco Biancardino, DDS, Alfredo De Lillo, DDS, Giuseppe Troiano, DDS, PhD, and Laura Guida, DDS. doi:10.1016/j.prosdent.2018.12.001, s.l. : THE JOURNAL OF PROSTHETIC DENTISTRY, 2019.
4. *Intraoral scanning systems - a current overview*. Zimmermann M, Mehl A, Mörmann WH, Reich S. s.l. : Int J Comput Dent., 2015;18(2):101-29.
5. *Orthodontic scanners: what's*. Martin CB, Chalmers EV, McIntyre GT, Cochrane H, Mossey PA. s.l. : J Orthod., 2015;42(2):136–143. doi: 10.1179/1465313315Y.0000000001..
6. *Gagging--a problem in prosthetic dentistry*. Means CR, Flenniken IE. s.l. : J Prosthet Dent., 1970;23(6):614–620. doi: 10.1016/0022-3913(70)90224-6..
7. *Vomiting during the taking of dental impressions. Two case reports of the use*. Muir JD, Calvert EJ. s.l. : Br Dent J. , 1988;165(4):139–141. doi: 10.1038/sj.bdj.4806525.
8. Italiane, Docenti di Materiali Dentari e Tecnologie Protesiche e di Laboratorio delle Università. *Materialie tecnologie odontostomatologiche*. s.l. : Ariesdue.
9. Andrea De Benedetto, Alfredo Buttieri, Luigi Galli. *Manuale di laboratorio odontotecnico vol 1*. s.l. : FRANCO LUCISANO EDITORE, 2018.
10. *Accuracy of 4 digital scanning systems on prepared teeth digitally isolated from a complete dental arch*. Priscilla Medina-Sotomayor, PhD, Agustín Pascual-Moscardo, DMD, and Isabel Camps A, DMD. s.l. : THE JOURNAL OF PROSTHETIC DENTISTRY, 2018. doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.08.020.
11. *Orthodontic measurements on digital study models compared with plaster models: a systematic review*. Fleming PS, Marinho V, Johal A. s.l. : Orthod Craniofac Res., 2011 Feb;14(1):1-16. doi: 10.1111/j.1601-6343.2010.01503.x.
12. *Evaluation of CBCT digital models and traditional models using the Little's Index*. Kau CH, Littlefield J, Rainy N, Nguyen JT, Creed B. s.l. : Angle Orthod. , 2010 May;80(3):435-9. . doi: 10.2319/083109-491.1.
13. *Accuracy of 3D digital modeling of dental arches*. Riccardo Favero, Andrea Volpato , Maurizio De Francesco , Adolfo Di Fiore , Riccardo Guazzo , Lorenzo Favero. s.l. : Dental

Press J Orthod., 2019 Jan-Feb;24(1):38.e1-7. DOI: <https://doi.org/10.1590/2177-6709.24.1.38.e1-7.onl>.

14. *Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes*. Lee SJ, Gallucci GO. s.l. : Clin Oral Implants Res. , 2013 Jan;24(1):111-5.

15. *Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing*. Guth JF, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D. s.l. : Clin Oral Investig., 2013 May;17(4):1201-8.

16. *Precision of intraoral digital dental impressions with iTero and extraoral digitization with the iTero and a model scanner*. Flugge TV, Schlager S, Nelson K, Nahles S, Metzger MC. s.l. : Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2013 Sept;144(3):471-8.

17. *Accuracy of digital and conventional impression techniques and workflow*. Seelbach P, Brueckel C, Wostmann B. s.l. : Clin Oral Investig., 2013 Sept;17(7):1759-64.

18. *Complete digital workflow for the production of implant-supported single-unit monolithic crowns*. Brägger, T. Joda and U. s.l. : Clinical Oral Implants Research, 2014. vol. 25, no. 11, pp. 1304–1306,.

19. *Software tools and surgical guides in dental-implant-guided surgery*. M. A. Mora, D. L. Chenin, and R. M. Arce. s.l. : Dental Clinics of North America, 2014. vol. 58, no. 3, pp. 597–626.

20. *Trueness and Precision of Four Intraoral Scanners in Oral Implantology: A Comparative in Vitro Study*. Mangano FG, Veronesi G, Hauschild U, Mijiritsky E, Mangano C. s.l. : PLoS One., 2016 Sep 29;11(9):e0163107. doi: 10.1371/journal.pone.0163107..

21. *Intraoral Digital Impression Technique: A Review*. Ting-Shu S, Jian S. s.l. : J Prosthodont., 2015;24(4):313–321. . doi: 10.1111/jopr.12218..

22. *Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study*. Imburgia M, Logozzo S, Hauschild U, Veronesi G, Mangano C, Mangano FG. s.l. : BMC Oral Health., 2017;17(1):92. doi: 10.1186/s12903-017-0383-4.

23. *Digital Versus Conventional Impressions in Fixed Prosthodontics: A Review*. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. s.l. : J Prosthodont , 2016 Aug 2. doi: 10.1111/jopr.12527..

24. *Digital versus conventional impressions for fixed prosthodontics: A systematic review and meta-analysis*. . Chochlidakis KM, Papaspyridakos P, Geminiani A, Chen CJ, Feng IJ, Ercoli C. s.l. : J Prosthet Dent., 2016. 116 (2): 184–190.e12..

25. *The use of acupuncture in controlling the gag reflex in patients requiring an upper alginate impression: an audit*. Rosted P, Bundgaard M, Fiske J, Pedersen AM. s.l. : Br Dent J. , 2006;201(11):721–725. doi: 10.1038/sj.bdj.4814305..

26. *Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes*. Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R, Bilir H. s.l. : BMC Oral Health., 2014;14:10. doi: 10.1186/1472-6831-14-10..

27. *Will digital impressions eliminate the current problems with conventional impressions?* GJ., Christensen GJ. s.l. : J Am Dent Assoc., 2008;139(6):761–763. . doi: 10.14219/jada.archive.2008.0258..
28. *Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: a randomized crossover trial.* Joda T, Brägger U. s.l. : Clin Oral Implants Res, 2016;27(12):e185–e189. doi: 10.1111/clr.12600.
29. *Clinical marginal fit of zirconia crowns and patients' preferences for impression techniques using intraoral digital scanner versus polyvinyl siloxane material.* Sakornwimon N, Leevailoj C. s.l. : J Prosthet Dent, 2017 Feb 17. pii: S0022–3913(16)30598–4. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.10.019. .
30. *Treatment comfort, time perception, and preference for conventional and digital impression techniques: A comparative study in young patients.* Burhardt L, Livas C, Kerdijk W, van der Meer WJ, Ren Y. s.l. : Am J Orthod Dentofac Orthop., 2016;150(2):261–267. . doi: 10.1016/j.ajodo.2015.12.027..
31. *Clinical use of a direct chairside oral scanner: an assessment of accuracy, time, and patient acceptance.* Grünheid T, McCarthy SD, Larson BE. s.l. : Am J Orthod Dentofac Orthop., 2014;146(5):673–682. . doi: 10.1016/j.ajodo.2014.07.023..
32. *Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes.* Lee SJ, Gallucci GO. s.l. : Clin Oral Implants Res., 2013;24(1):111–115. . doi: 10.1111/j.1600-0501.2012.02430.x..
33. *Impression-taking conventional methods remain steadfast as digital technology progresses.* G., Kugel. s.l. : Compend Contin Educ Dent., 2014;35(3):202–203.
34. *Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature.* Francesco Mangano, Andrea Gandolfi, Giuseppe Luongo, Silvia Logozzo. s.l. : BMC Oral Health, 2017 Dec 12. doi: 10.1186/s12903-017-0442-x.
35. *Digital impression-taking: Fundamentals and benefits in orthodontics.* G., Lecocq. s.l. : Int Orthod., 2016;14(2):184–194. .
36. *Comparison of digital intraoral scanner reproducibility and image trueness considering repetitive experience.* Lim JH, Park JM, Kim M, Heo SJ, Myung JY. s.l. : J Prosthet Dent. , 2017 Jul 7. pii:S0022–3913(17)30350–5. . doi: 10.1016/j.prosdent.2017.05.002. .
37. *Comparison of digital scanning and polyvinyl siloxane impression techniques by dental students: instructional efficiency and attitudes towards technology.* . Marti AM, Harris BT, Metz MJ, Morton D, Scarfe WC, Metz CJ, Lin WS. s.l. : Eur J Dent Educ. , 2017;21(3):200–205. doi: 10.1111/eje.12201..
38. *The Learning Curve.* Agnini A, Agnini A, Coachman C. The Digital Revolution:. s.l. : Quintessence Publishing, 2015.

39. *Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: a systematic review.* Aragón ML, Pontes LF, Bichara LM, Flores-Mir C, Normando D. s.l. : Eur J Orthod., 2016;38(4):429–434. doi: 10.1093/ejo/cjw033.
40. *Nuvola di Punti.* 2020, Vol. Wikipedia.
41. *Conoscere la nuova odontoiatria digitale: gli scanner intraorali.* Dr. Francesco Mangano, Ing. Massimo Bosetti. s.l. : Il Dentista Moderno.
42. *Influence of scanner, powder application, and adjustments on CAD-CAM crown misfit.* Prudente MS, Davi LR, Nabbout KO, Prado CJ, Pereira LM, Zancopé K, Neves FD. s.l. : J Prosthet Dent., 2017 Jul 7. pii: S0022–3913(17)30280–9. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.03.024..
43. *Chairside systems: a current review.* Zaruba M, Mehl A. s.l. : Int J Comput Dent., 2017. 20(2):123–149..
44. *Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry.* Logozzo S, Zanetti E, Franceschini G, Kilpelä A, Makynen A. s.l. : Optics and Lasers in Engineering, 2014. 54: 203-221.
45. *STL (formato di file).* s.l. : Wikipedia enciclopedia libera, 2020.
46. *PLY (file format).* s.l. : Wikipedia, 2020.
47. *Formato Wavefront .OBJ.* s.l. : Wikipedia, 2020.
48. *vocabolario.* s.l. : Treccani, 2020.
49. s.l. : Treccani dizionario, 2020.
50. *Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod scanner.* P. Muller, A. Ender, T. Joda, J. Katsoulis,. s.l. : Quintessence Int. 47 (4), 2016. 343–349..
51. *Accuracy of a digital impression system based on parallel confocal laser technology for implants with consideration of operator experience and implant angulation and depth .* B. Gimenez, M. Ozcan, F. Martinez-Rus, G. Pradies,. s.l. : Int. J. Oral Maxillofac. Implants 29 (4), 2014. 853–862..
52. *Scanning accuracy and precision in 4 intraoral scanners: an in vitro comparison based on 3-dimensional analysis.* R.G. Nedelcu, A.S. Persson,. s.l. : J. Prosthet. Dent 112 (6), 2014. 1461–1471..
53. *Influence of object translucency on the scanning accuracy of a powder-free intraoral scanner: a laboratory study,.* H. Li, P. Lyu, Y. Wang, Y. Sun. s.l. : J. Prosthet. Dent., 2016.
54. *Accuracy and precision of 3 intraoral scanners and accuracy of conventional impressions: A novel in vivo analysis method.* R. Nedelcu, P. Olsson , I. Nyström , J. Rydén , A. Thor. s.l. : Journal of Dentistry 69, 2018. 110-118.
55. *Influence of scanning strategies on the accuracy of digital intraoral scanning systems.* Ender A, Mehl A. s.l. : Int J Comput Dent, 2013. 16:11-21..

56. *Evaluation of the effect scan pattern has on the trueness and precision of six intraoral digital impression systems.* Mennito AS, Evans ZP, Ludlow ME, Renne WG. s.l. : J Esthet Restor Dent, 2018. 30:113-8. DOI: 10.1111/jerd.12371.
57. *Accuracy of four digital scanners according to scanning strategy in complete-arch impressions.* Priscilla Medina-Sotomayor, Agustín Pascual M., Isabel Camps A. s.l. : PLoS One., Published online 2018 Sep 13. doi: 10.1371/journal.pone.0202916.
58. *Three-dimensional differences between intraoral scans and conventional impressions of edentulous jaws: A clinical study.* Lucio Lo Russo, DDS, PhD, a Giammarco Caradonna, DDS, b Giuseppe Troiano, DDS, PhD, cAngelo Salamini, Eng, d Laura Guida, DDS, e and Domenico Ciavarella, DDS, PhD. s.l. : THE JOURNAL OF PROSTHETIC DENTISTRY, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.04.004>.
59. *Impact of digital intraoral scan strategies on the impression accuracy using the TRIOS Pod Scanner.* Philipp Muller, Andreas Ender, Tim Joda, Joannis Katsoulis. s.l. : Quintessenza international, 2016.
60. *Variation of orthodontic treatment decision-making based on dental model type: a systematic review.* al., Pacheco-Pereira C. et. s.l. : Angle orthodont., 2015.
61. *Complete-arch accuracy of intraoral scanners.* al, Joshua C. et. s.l. : The journal of prosthetic dent, 2018.
62. *Evaluation of the effect scan pattern has on the trueness and precision of six intraoral digital impression systems.* Anthony S. Mennito, Zachary P. Evans, Mark E. Ludlow , Walter G. Renne. s.l. : J Esthet Restor Dent, 2018 1–6. DOI: 10.1111/jerd.12371.