

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA**  
**SCUOLA DI SCIENZE MEDICHE E FARMACEUTICHE**



Corso di laurea magistrale in Odontoiatria e Protesi Dentaria

**Marginal gap of second class restorations with VPT  
materials. A profilometric study**

Relatore

Chia.mo Prof. **Stefano Benedicenti**

Candidato

**Francesca Lorita Vizza**

Correlatore

Prof. ac **Angelo Itri**

Anno Accademico: 2019/2020

*A Francesca, Lucrezia, Patrizia e Alessandra*

# INDICE

## 1. INTRODUZIONE: VPT (definizione e generalità della metodica)

- a. incappucciamento indiretto (approccio one stage e two stages)*
- b. incappucciamento diretto*
- c. pulpotomia parziale*
- d. pulpotomia totale*
- e. ponte dentinale*

## 2. MARGINAL GAP E MICROLEAKAGE

## 3. MATERIALI PER LA VPT

- a. Idrossido di Calcio*
- b. MTA*
- c. Dycal Ivory*
- d. Calcicur*
- e. Calcimol*
- f. TheraCal*
- g. Pro Root MTA*

## 4. MATERIALI UTILIZZATI NEL PRESENTE STUDIO

- a. Geristore*
- b. Biodentine*
- c. iBond Universal*
- d. V<sub>2</sub> Clearfill*

## 5. MATERIALI E METODI

- a. Denti campione*
- b. Trattamento dei dati personali*
- c. Preparazione di cavità*
- d. Materiali da restauro*
- e. Misurazioni morfologiche*
- f. Analisi dei dati grezzi e definizione operativa di gap*
- g. Analisi statistiche*

## 6. RISULTATI

## 7. DISCUSSIONE

## 8. CONCLUSIONI

## 9. BIBLIOGRAFIA

## 10. RINGRAZIAMENTI

## 1. INTRODUZIONE

La Vital Pulp Therapy (VPT) è una modalità di trattamento biologica e ultraconservativa che ha la finalità di preservare la vitalità e le funzioni della polpa rimanente, coronale o radicolare, nel caso in cui un processo carioso, un evento traumatico oppure una causa iatrogena abbiano distrutto gran parte del dente residuo (Akhalaghi N; Itri 2017)<sup>1,2</sup>. È fondamentale utilizzare un materiale appropriato posto a ricopertura della porzione pulpare esposta che deve essere biocompatibile, non citotossico e antibatterico (Modena, 2000)<sup>3</sup>. Le procedure della VPT comportano la rimozione di sostanze irritanti locali e il posizionamento di un materiale protettivo direttamente o indirettamente sulla polpa (Hargreaves e coll. 2011)<sup>4</sup>.

Dalla letteratura si può evincere che il successo della VPT dipenda fortemente da alcuni fattori quali (S. Mowad, 2014)<sup>5</sup>.

- Quantità di polpa rimanente esente da infiammazione che permetta la guarigione
- Controllo dell'emorragia
- Applicazione di un materiale biocompatibile che stimoli la formazione del cosiddetto ponte dentinale
- Presenza di un sigillo marginale adeguato alla non penetrazione batterica.

Altri fattori possono influire sul successo della VPT, in particolar modo è stata dimostrata la necessità di un adeguato apporto sanguigno per il mantenimento della vitalità della polpa (Ricketts, 2001)<sup>6</sup>. Inoltre, la presenza di un parodonto sano è altrettanto necessaria per il successo di questo trattamento e i denti con malattia parodontale da moderata a severa non sono candidati idonei per il trattamento (Stanley HR, 1989)<sup>7</sup>.

In letteratura è stato riportato che l'emostasi sia un fattore predisponente all'ottenimento del successo della VPT (Matsuo, 1996)<sup>8</sup>. Varie sono le opzioni per ottenere l'emostasi, ad esempio applicare una pressione meccanica attraverso un pellet di cotone sterile che può essere bagnato con acqua sterile o soluzione salina. A tal proposito, alcuni studi affermano che i protocolli di disinfezione siano un fattore chiave per la riuscita di una VPT (Whiterspoon DE J Endod. 2004)<sup>9</sup>. L'ipoclorito di sodio (NaOCl) è stato suggerito come agente in grado di

controllare l'emorragia, rimuovere i trucioli di coagulo e di dentina, disinfettare l'interfaccia della cavità e coadiuvare nella formazione del ponte dentinale (Costa Ca 2000)<sup>10</sup>.

Molti autori concordano nell'indicare i seguenti criteri clinici e radiografici per validare il successo del trattamento (Aguilar e coll. 2011; Hargreaves e coll. 2011; Bergenholtz e coll. 2004; Ward 2002; Dammaschke e coll. 2010)<sup>11,12,13,14,15</sup>

- Mantenimento della vitalità della polpa
- Formazione di uno strato di dentina di riparazione
- Stato infiammatorio della polpa contenuto
- Assenza di segni e sintomi clinici post operatori di sensibilità termica o periapicale (o entrambe), come dolore o gonfiore
- Assenza di evidenza radiografica di riassorbimento radicolare interno o esterno
- Radiotrasparenza periapicale e/o inter radicolare
- Sviluppo continuo delle radici e apicogenesi dei denti con radici non completamente formate (Hargreaves e coll. 2011; (Cohenca 2013)<sup>16</sup>

Classicamente esistono vari tipi di procedure assimilabili alla VPT (Castagnola 2010)<sup>17</sup>, ovvero l'incappucciamento indiretto, incappucciamento diretto, pulpotomia parziale e pulpotomia totale.

- a. Incappucciamento indiretto
- b. Incappucciamento diretto
- c. Pulpotomia parziale
- d. Pulpotomia totale

**a. INCAPPUCCIAMENTO INDIRETTO:** si prevede in carie profonde e penetranti quando sussiste il rischio di esporre la polpa. Parte del tessuto cariato viene lasciato in situ e la maggior parte degli autori conviene nel ritenere valido uno spessore di dentina compreso tra 0,5 e 1 mm. Dal momento che la valutazione clinica di questo spessore è difficoltosa, è necessario l'esame radiografico (Mirti, Poggio 2013)<sup>18</sup>. I batteri rimanenti sono inglobati dal materiale da incappucciamento e di conseguenza inattivati (Asgary, 2013)<sup>19</sup>. Questo trattamento ha lo scopo di proteggere gli odontoblasti primari e promuovere la formazione di una dentina di reazione a livello della giunzione pulpo dentinale (Tziafas, 2004)<sup>20</sup>.

Il materiale da incappucciamento induce una severa reazione infiammatoria iniziale per poi portare alla formazione di uno strato odontoblastico, ovvero una zona ricca di fibroblasti e una polpa centrale che presenti le sue caratteristiche fisiologiche. Non vi è perdita di odontoblasti, inoltre in ambiente alcalino queste cellule iniziano a produrre matrice dentinale che si mineralizza grazie al flusso di ioni Ca provenienti dall'otturazione soprastante (Tuculina, 2013)<sup>21</sup>.

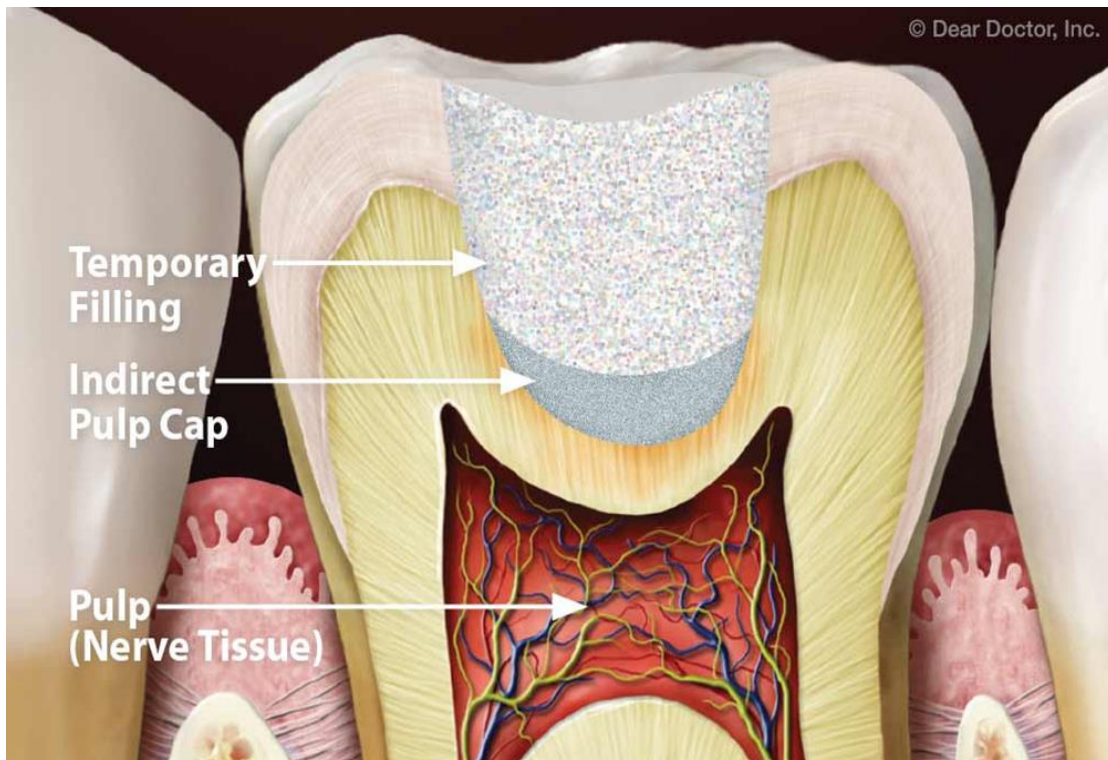
Questa metodica viene eseguita in due fasi: 1) rimozione e apposizione del materiale; 2) rimozione del materiale e della rimanente parte di tessuto cariato. Durante la seconda seduta, la rimozione della dentina carciata deve essere effettuata con cautela per evitare l'esposizione della polpa. La dentina carciata lasciata in situ, infatti, può essere diventata più dura, ma il suo spessore rimane comunque invariato (Hayoshi, 2011)<sup>22</sup>. A tal proposito è consigliabile effettuare la rimozione del tessuto infiltrato e decalcificato utilizzando un escavatore manuale che consenta una maggiore sensibilità e quindi un minor pericolo di scoprire la polpa accidentalmente.

Il dente può essere restaurato durante la prima seduta (approccio one stage), oppure riaperto e completato sei mesi dopo (approccio two stages) (Società Europea Endodonzia, 2006)

APPROCCIO TWO STAGES: tutta la dentina viene rimossa a livello delle pareti fino alla giunzione amelo- cementizia della cavità. Uno strato di dentina carciata, solitamente discromica, può essere lasciata sul tetto della cavità pulpare, in quanto la sua rimozione provocherebbe una possibile esposizione della polpa (Carotte e coll, 2009)<sup>23</sup>. Successivamente, viene utilizzato un materiale provvisorio per il restauro, come ossido di zinco o cemento vetroionomerico. Di vitale importanza risulta essere l'isolamento ottenuto con il restauro provvisorio, in quanto isola la carie rimanente dai batteri della cavità orale (Gary Alex, 2018)<sup>24</sup>. Il materiale provvisorio arresta la progressione della carie ed è la fase più importante al fine di garantire la vitalità pulpare (Kuhn e coll 2016)<sup>25</sup>. Dopo qualche mese, viene rimossa l'otturazione provvisoria ed eseguito il restauro definitivo (Gary, 2018)<sup>26</sup>. Benché l'approccio two stages sia comparabile all'incappucciamento diretto classico, molti odontoiatri preferiscono rimuovere tutta la carie anche se vi è il rischio di avere esposizione pulpare (Weber e coll, 2011)<sup>27</sup>.

APPROCCIO ONE STAGE: la maggior parte della dentina carciata viene rimossa al primo appuntamento e viene posizionato il materiale da incappucciamento di modo che esso non

sia a diretto contatto con la polpa e il restauro definitivo è eseguito durante lo stesso appuntamento (Gary Alex, 2018)<sup>28</sup>. Si rimuove la dentina infetta, mentre si lascia in situ la dentina affetta, ovvero la dentina demineralizzata che mantiene l'architettura del collagene, libera da batteri e con potenziale di rimineralizzazione (Ma Comb 2000, Janhari M 2010)<sup>29,30</sup>. Molti dentisti sottolineano la difficoltà di ottenere adesione sulla dentina cariata, in quanto la dentina affetta presenta comunque differenze morfologiche, chimiche e fisiche rispetto alla dentina sana. Nei mesi successivi si effettuano periodicamente i test elettrici, termici e radiografici. A distanza di sei mesi, se si osserva la deposizione di dentina di reazione, si può procedere all'asportazione dell'intera otturazione provvisoria e della dentina rammollita (Moltz, 2007)<sup>31</sup>. L'ultima esposizione viene eseguita con cautela, utilizzando un escavatore. In fine, si procede all'esecuzione dell'otturazione definitiva, isolando il fondo cavitario come se si trattasse di una cavità profonda.



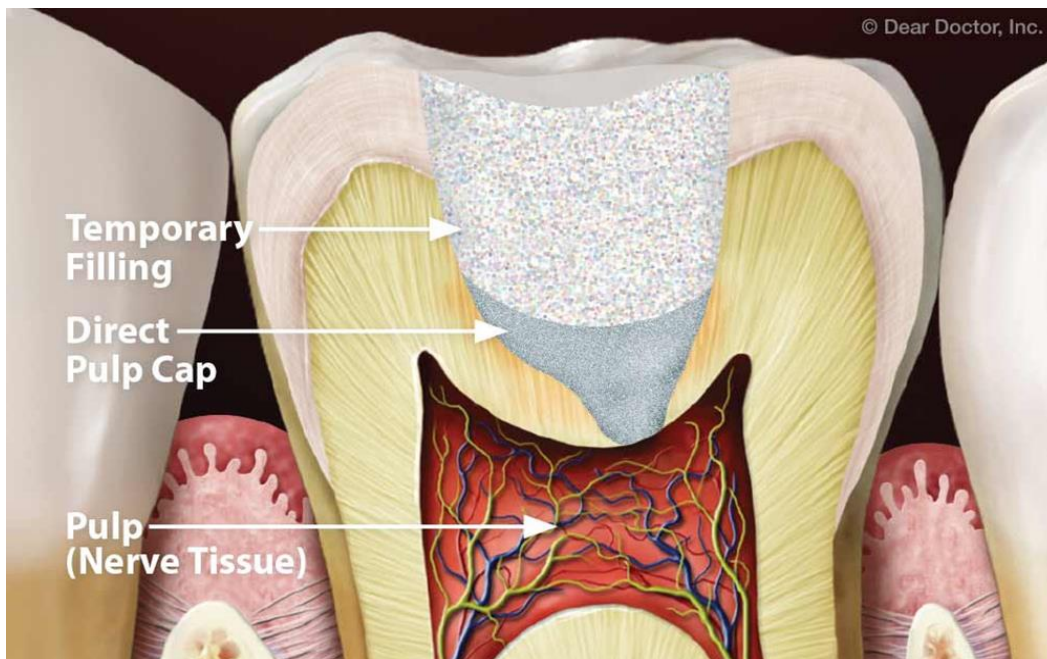
**b. INCAPPUCCIAMENTO DIRETTO:** prevede la ricopertura della polpa esposta con un materiale da incappucciamento, previa rimozione della carie e successiva ricostruzione della corona con materiale in composito (Perrini 2010)<sup>32</sup>. La polpa dentale, se esposta a uno stimolo patogeno limitato nel tempo e di lieve entità, è in grado di rispondere positivamente con processi difensivi di riparazione che portano alla formazione di dentina terziaria (anche detta di reazione) dotata di maggiore capacità protettive (de Souza 2001)<sup>33</sup>. I fattori prognostici di successo sono:

- giovane età del paziente (meglio se l'apice radicolare non è ancora completamente formato);
- ridotta dimensione, sia in estensione che in profondità, dell'esposizione pulpare
- assenza di dentina cariata;
- polpa totalmente asintomatica fino al momento dell'esposizione accidentale (polpa clinicamente sana);
- assente o modestissima emorragia (Poggio 2014, Akhlagi 2015)<sup>34,35</sup>

Le cause di esposizione pulpare possono essere: carie profonda, traumi o cause meccaniche, ovvero l'esposizione accidentale.

L'obiettivo dell'incappucciamento della polpa è l'induzione e il successivo differenziamento di cellule simil odontoblastiche e di conseguenza di dentina terziaria nell'area di esposizione con una riorganizzazione dell'architettura tissutale (Poggio 2014, Akhlagi 2015)<sup>36,37</sup>. Quando gli odontoblasti vengono distrutti nel sito di esposizione della polpa, si instaura un processo infiammatorio che rende necessario reclutare e differenziare cellule progenitrici e staminali in cellule simil odontoblastiche (Bègue-Kirn C 1994)<sup>38</sup>. Materiali da incappucciamento come l'idrossido di calcio e MTA inducono la formazione di dentina di riparazione mediante il rilascio di fattori di crescita della matrice della dentina stessa.



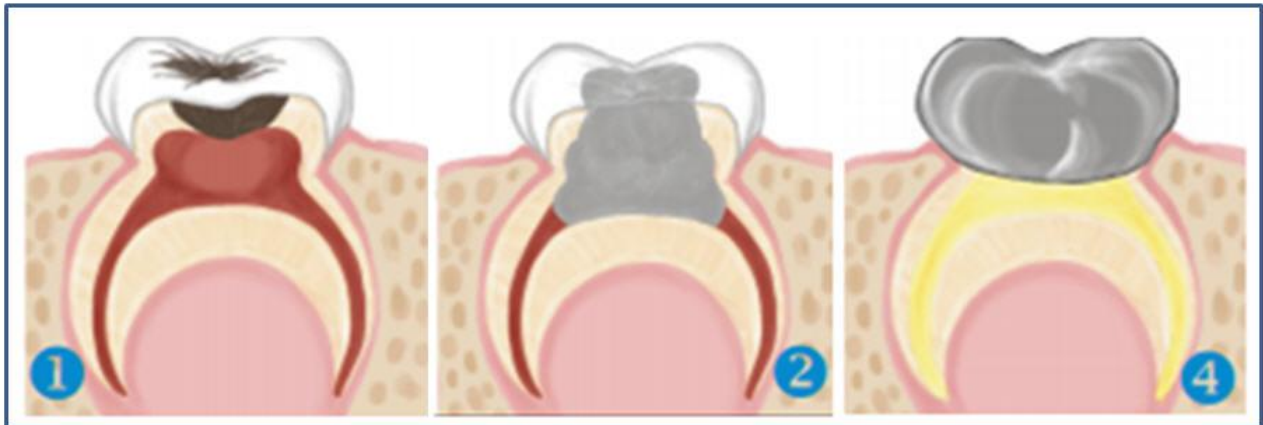


**c. PULPOTOMIA PARZIALE:** procedura dove una parte di tessuto pulpare e/o dentale infetti sono rimossi e la restante parte della polpa coronale viene ricoperta dal biomateriale scelto che provvederà a facilitare la formazione del ponte dentinale (Asgary, 2015)<sup>39</sup>. Questa procedura presenta alcuni vantaggi rispetto all'incappucciamento diretto della polpa, quali la rimozione del tessuto pulpare superficialmente infiammato e lo spazio per il materiale da medicazione che offre l'opportunità di sigillare la cavità- il tasso di successo riportato per la pulpotomia parziale è del 93-96 % (Kiatwateratema T, 2009)<sup>40</sup>.

Tuttoggi non c'è accordo sul trattamento migliore di denti vitali con polpa esposta; la pulpotomia parziale è il metodo più utilizzato per prevenire periodontiti apicali, in quanto è stato ampiamente dimostrato essere il metodo più affidabile. La percentuale in termini di sopravvivenza del dente trattato endodonticamente è sfavorevole se comparata a denti sani, soprattutto nei molari. Una possibile spiegazione potrebbe essere la perdita di funzionalità propriocettiva e sensibilità. Alla luce di questa ragione, dovrebbe essere sempre considerata la possibilità di mantenere la polpa vitale (Aguilar 2011)<sup>41</sup>.

**d. PULPOTOMIA TOTALE:** rimozione completa della polpa fino agli imbocchi canalari. È eseguita quando l'infiammazione della polpa è estesa ai livelli più profondi (Itri, 2017)<sup>42</sup>. La procedura clinica prevede un'iniziale anestesia con tecnica classica, successivamente si

passa all'isolamento del campo e all'eliminazione del tessuto carioso, con la preparazione di una cavità eseguita in maniera attenta e accurata per evitare di ledere la polpa. La preparazione va eseguita con fresa diamantata della dimensione corretta sotto irrigazione, possibilmente con soluzione fisiologica, con manipolo ad alta velocità in modo da avere un taglio netto ed evitare lacerazioni. Se il taglio avviene in polpa sana, il coagulo si formerà in maniera spontanea; nel caso di sanguinamento prolungato senza formazione del coagulo, invece, questo indica che la polpa è infiammata, motivo per il quale dovrà essere eseguito un taglio nella porzione più apicale. Una volta formato il coagulo, al di sopra si potrà applicare la medicazione (manuale di Endodonzia, E. Berruti, M. Gagliani). Questo approccio terapeutico è indicato allorquando si prevede che l'infiammazione della polpa si sia estesa a livelli profondi.



e. **PONTE DENTINALE:** scopo della VPT è quello di stimolare la formazione del ponte dentinale, ovvero di un deposito di dentina di riparazione e di altre sostanze calcificate che riveste il tessuto pulpare esposto (Medical Dictionary for the Health Professions and Nursing, 2012). Rappresenta una reazione tissutale che preserva la vitalità pulpare e protegge da anomali e continui stimoli fisici (caldo, freddo, percussione). Questa reazione è dovuta a una serie di reazioni infiammatorie che portano alla formazione di una dentina dura e calcificata (Itri 2017)<sup>43</sup>.

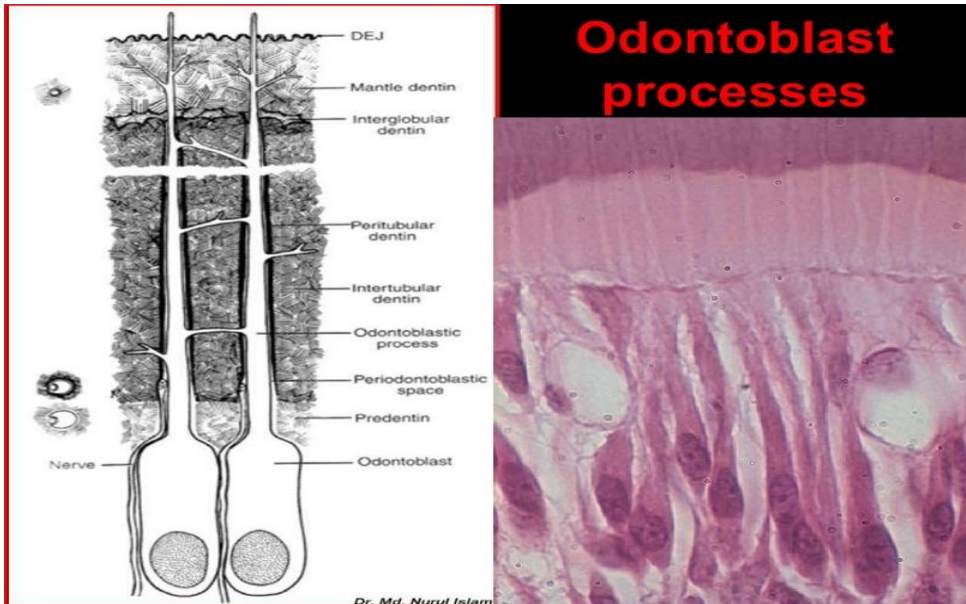
All'aumentare del processo infiammatorio, gli odontoblasti vanno incontro a necrosi, mentre le cellule pulpari si differenziano in una nuova generazione di cellule simil odontoblastiche (odontoblastic like cells), passando da una dentina terziaria a una riparativa (Smith, 2002)<sup>44</sup>. La dentinogenesi e il materiale da incappucciamento determinano la formazione di un ponte dentinale (Mjor, 1983)<sup>45</sup>.

A seguito di carie profonda o esposizione rapida della polpa, sono state identificate due tipologie di dentina. Nei denti con polpa esposta a causa di una carie profonda gli odontoblasti e le cellule dello strato di Hoel sub odontoblastiche sono implicate nella formazione di dentina di reazione, e l'incappucciamento indiretto va a determinare la formazione proprio di questa dentina (Herman, 1930)<sup>46</sup>. L'incappucciamento diretto, invece, porta alla formazione di una dentina riparatrice con formazione di un ponte dentinale che chiude l'intera esposizione della polpa (Herman 1930)<sup>47</sup>. Questa dentina, formatasi come reazione a un danno tissutale, è depositata all'interfaccia polpa/dentina e mostra un'organizzazione tubulare simile alla normale dentina. I meccanismi non sono del tutto noti, sebbene si riscontrino una serie di fattori di crescita che possono far presupporre la loro importanza nei processi riparativi.

La polpa, sia nella dentatura decidua che in quella permanente, è ricca di cellule staminali (Huang e coll, 2009)<sup>48</sup>. In caso di stimoli traumatici o di infezioni pulpari vengono rilasciati fattori di crescita che inducono la proliferazione di queste cellule staminali, la loro migrazione e differenziazione per generare un tessuto pulpo dentinale (Huang e coll, 2009)<sup>49</sup>. Dopo essere migrate nel sito opportuno, esse si differenziano in cellule simil odontoblastiche e durante la differenziazione producono markers molecolari, come la nestina e la sialproteina dentinale, note per essere implicate nel processo di mineralizzazione.

Nella pratica clinica, la formazione del ponte dentinale è valutata mediante analisi radiografica, dove la camera pulpare appare ridotta dopo tre/sei mesi dalla terapia con VPT

(Itri, 2017)<sup>50</sup>. La formazione del ponte dentinale è di 90 giorni (Horsted e coll, 1981)<sup>51</sup>. La formazione di dentina solitamente inizia entro trenta giorni dall'incappucciamento della polpa. Può esserci un ritardo nell'insorgenza della formazione della dentina se gli odontoblasti della polpa sono stati danneggiati durante la preparazione della cavità ed è in gran parte completato dopo 130 giorni (Hargreaves K. 2011)<sup>52</sup>.



## 1. MARGINAL GAP E MICROLEAKAGE

Dalla letteratura emerge come il microleakage secondario dovuto ad assente o insufficiente sigillo marginale sia uno dei fattori più importanti di insuccesso del trattamento (Ramezani F, Aryanezhad S, 2017)<sup>53</sup>. Uno dei fattori chiave per la riuscita della VPT è sicuramente l'ottenimento di un buon sigillo marginale tra le pareti della cavità e il materiale da incappucciamento usato. Il marginal gap, ovvero l'entità dell'interfaccia tra materiale e parete cavitaria, porta alla formazione di microleakage (o infiltrazione marginale), definito come il passaggio di batteri, fluidi e sostanze ioniche al di sotto del restauro. Questa entità è un problema intrinseco dei materiali da restauro diretti e non è rilevabile da un'analisi a raggi X. Alcuni lavori hanno valutato il microleakage con materiali bioattivi per VPT solo su denti decidui, tuttavia sussistono differenze istologiche tra i denti permanenti e quelli decidui.

Il microleakage è associato alla presenza del cosiddetto gap all'interfaccia tra il materiale da restauro e la porzione residua della cavità dentale a seguito della preparazione (Cervino

et al. 2017; Gamarra et al. 2018)<sup>54</sup>. Questo gap determina l'adesione di microrganismi e conseguentemente il loro accumulo, portando al deposito di placca e tartaro nel lungo tempo. Il gap marginale può portare al microleakage, consentendo la colonizzazione del biofilm batterico a livello della cavità, con formazione di carie secondarie ed infine contaminazione della polpa dentale con fallimento della VPT. (Deranel et al. 1981; Nabil 2017; Nasser et Arabia 2016; Ray et Trope 1995)<sup>55,56,57,58</sup>.

È pertanto necessario caratterizzare il marginal gap in modo da essere in grado di valutare quali materiali e/o tecniche consentano di raggiungere i migliori risultati, ovvero l'assenza di gap, o quanto meno minimizzarlo. Alcuni autori hanno cercato di valutare il gap in maniera indiretta per quanto riguarda il microleakage che ne deriva, sottolineando che questo sia l'aspetto maggiormente rilevante durante la pratica clinica.

La definizione di questo gap dovrebbe essere eseguita secondo un'analisi geometrica diretta dell'interfaccia restauro /dente, fornendo uno strumento riproducibile e universale per valutare il gap. Tuttavia, laddove questo gap sia valutato qualitativamente dall'odontoiatra secondo l'esperienza clinica, non è irrilevante definirlo accuratamente in termini di parametri di morfologia 3D. L'informazione diretta 3D del gap, impossibile da ottenere con un semplice microscopio, è invece ottenibile con un profilometro. Fino a una decina di anni fa, erano disponibili solamente i profilometri a stilo, in cui una punta di una sonda era posta a contatto con la superficie del campione a un dato carico verticale e la scansione avveniva lungo una linea. Riunendo più scansioni 1D in una singola mappa di altezze 2D si poteva ottenere un'immagine 3D della superficie analizzata. Ciononostante, il contatto tra la punta dello stilo e la superficie è soggetto a diverse modificazioni, e la risoluzione è determinata dalla dimensione della punta, tipicamente al di sopra di 1 µm di diametro.

### **3.MATERIALI UTILIZZATI NELLA VPT**

Diversi sono i materiali che possono essere utilizzati per eseguire una VPT, ciascuno darà luogo a un diverso tipo di sigillo marginale, influenzato dalle caratteristiche chimico fisiche del materiale stesso e dalle tecniche di adesione scelte.

Clinicamente, il rischio di ottenere microleakage durante una VPT di classe II sotto il margine gengivale è molto comune a causa della difficoltà della procedura stessa. Un bio-materiale

adatto deve garantire un sigillo completo per evitare processi cariosi secondari. (Demarco 2005, Ray et Trope 1995, Cervino et al. 2017; Gamarra et al. 2018)<sup>59,60,61,62</sup>

In passato, il materiale gold standard per raggiungere il successo della VPT era il diidrossido di calcio, sebbene di difficile gestione durante la pratica clinica. Negli ultimi anni, diversi materiali sono stati introdotti in commercio per incrementare la vitalità delle cellule della polpa e della dentina, ma queste presentavano performaces meccaniche inferiori (un esempio è MTA, Mineral Trioxide Aggregate).

### **a. IDROSSIDO DI CALCIO**



L'Idrossido di Calcio è stato per lungo tempo il materiale d'elezione per l'incappucciamento della polpa e la pulpotomia. Le soluzioni a base di questo materiale sono state largamente utilizzate per la loro capacità di stimolare la formazione di dentina di reazione e per la possibilità che forniscono di proteggere la polpa dagli stimoli termici (Foreman PC 1990, E. Stanley HR 1997)<sup>63,64</sup>

L'idrossido di Calcio ha attività antibatterica (Brannstrom 1979)<sup>65</sup> e sembra essere clinicamente efficace, sebbene il meccanismo d'azione non sia ancora conosciuto (Krell K.V 1985)<sup>66</sup>. Di per certo, gli ioni Calcio liberati nella zona dell'esposizione pulpare dalla sospensione di idrossido di Calcio non sono coinvolti nella formazione del ponte dentinale. Grazie all'utilizzo di isotopi radioattivi è stato dimostrato che gli ioni Calcio presenti nel ponte dentinale non derivano per l'appunto dall'idrossido di Calcio applicato, ma dalla circolazione sistemica e dai vasi pulpari (Fisher F.J 1979)<sup>67</sup>. Tuttavia, il ruolo dell'idrossido di Calcio potrebbe essere quello di indurre una necrosi coagulativa.

È un materiale solubile nei fluidi corporei e nelle sostanze acide e presenta caratteristiche fisiche deficitarie (Stanley HR 1997)<sup>68</sup>.

## **b. MTA**



La ricerca di un materiale biocompatibile ha portato allo sviluppo del Mineral Trioxide Aggregate come materiale per il riempimento radicolare e incappucciamento diretto. Esso, infatti, se applicato per l'incappucciamento della polpa induce la produzione di dentina di riparazione che porta alla creazione di un *ponte dentinale* entro due mesi senza segni di infiammazione. È un cemento endodontico estremamente biocompatibile, capace di stimolare la guarigione e l'osteogenesi ed è idrofilo. Consiste in una polvere di fini triossidi (ossido tricalcico, ossido di silicio e ossido di bismuto) e altre particelle idrofile (silicato tricalcico) responsabili delle proprietà chimiche e fisiche di questo aggregato che indurisce in presenza di umidità. L'idratazione della polvere risulta nella formazione di un gel colloidale con pH 12,5. L'MTA si differenzia grazie alle sue proprietà antibatteriche, al suo adattamento marginale, alle sue capacità sigillanti e alla sua natura idrofila.

Molti autori si sono chiesti se la tecnica endodontica utilizzata (ortograda o retrograda) potesse influenzare il sigillo marginale dato dall'MTA. Ebbene, non sono stati riscontrati gap di volume significativi all'interfaccia tra materiale e dentina, né nell'applicazione ortograda che in quella retrograda. Tuttavia, è stato osservato che la mordenzatura con EDTA al 17% incrementava l'adattamento MTA- dentina (Khalid Al Fouzian et al)<sup>69</sup>.

Diversi studi hanno messo a confronto le capacità di un dare sigillo marginale delle resine fluide bulk fill e dell'MTA, come quello condotto dal Dott. Scotti et al. pubblicato nel 2014. Si tratta di uno studio in vitro su 48 molari non cariati (estratti per problemi parodontali, sottoposti a scaling e root planing con dispositivo ultrasonico per eliminare residui di tessuto organico) e preparati a livello della giunzione amelo cementizia, successivamente divisi

casualmente in tre gruppi, le cui cavità sono state riempite con Venus Diamond, Venus Diamond Flow e Surefil SDR. I campioni sono stati ulteriormente suddivisi in due gruppi: il primo è stato immerso in una soluzione di blu di metilene per 30 minuti a 25 gradi, l'altro è stato invecchiato artificialmente e poi trattato con blu di metilene. Come adesivo è stato utilizzato un etch and rinse system a tre step. Tutti e tre i gruppi hanno subito una polimerizzazione per 20 secondi con luce LED.

I campioni sono stati sezionati al centro della cavità e osservati allo stereo microscopio. Sono stati valutati i valori medi della penetrazione del colorante, espressa come percentuale di penetrazione del colorante all'interfaccia composito-substrato. Da questo studio è emerso che sicuramente l'MTA mostra un miglior adattamento marginale allo smalto rispetto ai materiali bulk fill, ma l'effetto significativo sulla quantità di infiltrazione del colorante era esercitato prevalentemente dal substrato e dall'invecchiamento artificiale, non dal materiale endodontico scelto.

### **c. DYCAL IVORY**



Composizione pasta base:

- Butilengliocoledisilicato <50%
- Tungstato di Calcio <20%
- Ossido di Zinco <15%

Composizione pasta catalizzatrice:

- Idrossido di calcio <55%
- Ossido di Zinco <15%



- Diossido di Titanio <10%

È un cemento a base di idrossido di Calcio, radiopaco e non solubile in acqua. Viene commercializzato come un sistema auto polimerizzante pasta-pasta. La reazione di presa avviene miscelando uguali parti di pasta base (ha un colore più scuro) e di pasta catalizzatrice, fino ad ottenere un composto di colore uniforme.

Le indicazioni per questo materiale sono: l'incappucciamento diretto della polpa a seguito di pulpotomia, incappucciamento indiretto della polpa nei casi di carie profonda, come liner protettivo al di sotto di materiali da restauro od otturazione, cementi o altri sottofondi.

### **f. CALCICUR**



Composizione chimica:

- Diidrossido di Calcio
- Altri eccipienti

Calcur è un materiale costituito da una pasta di idrossido di Calcio su base acquosa. È radiopaco, auto indurente e pronto all'uso. È completamente miscibile in acqua e di colore bianco, con un odore caratteristico. L'elevato valore di pH (12,5) gli conferirebbe anche effetto antimicrobico. Viene commercializzato in confezioni contenenti una siringa da 2,5 g e le cannule per la sua applicazione.

Le sue indicazioni cliniche comprendono:

- ✓ Incappucciamento diretto della polpa dopo pulpotomia
- ✓ Incappucciamento indiretto della polpa nei casi di carie profonda
- ✓ Rivestimento della cavità come protezione nei confronti dell'acidità dei cementi
- ✓ Otturazione provvisoria del canale radicolare

- ✓ Disinfezione del canale radicolare

### **g. CALCIMOL**



Composizione chimica:

- Uretanodimetacrilato 20-25%
- Diidrossido di Calcio 2,5-5%
- 2-dimetilaminoetil metacrilato <2,5%
- Altri eccipienti

Calcimol LC è un materiale mono componente, radiopaco e foto polimerizzante a base di idrossido di Calcio. È un preparato di colore bianco, consistenza pastosa e odore caratteristico. Non è miscibile in acqua e vien commercializzato in confezioni contenenti due siringhe da 2 ml con le rispettive cannule di applicazione.

Tra le indicazioni di Calcimol si trovano:

- ✓ Incappucciamento indiretto della polpa
- ✓ Come sottofondo per tutti i materiali da otturazione

### **h. TheraCal**



Composizione chimica:

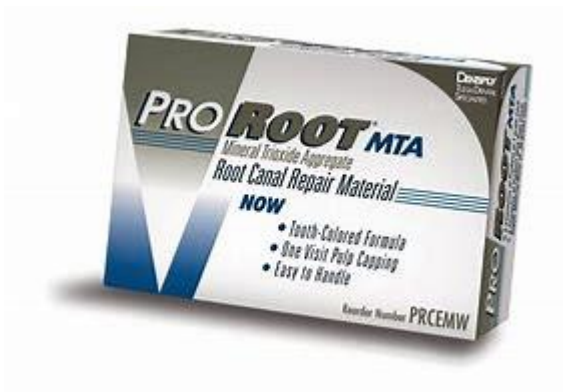
- Cemento Portland di tipo 3 <60%
- Polietilene glicole dimetacrilato <50%
- Zirconato di Bario <10%

TheraCal LC è un protettore/foderante foto polimerizzante a base di silicato di Calcio con modificazione resinosa, ideato per proteggere il sistema pulpo -dentinale. Si presenta di colore grigio, di consistenza pastosa, con un odore simile al silicato acrilico. È completamente miscibile in acqua e ha un valore di pH pari a 10. Viene commercializzato in confezioni che possono contenere o una singola siringa da 1 g oppure quattro siringhe da 1 g ciascuna.

Le indicazioni del TheraCal sono:

- ✓ Incappucciamento diretto della polpa a seguito della pulpotomia
- ✓ Incappucciamento indiretto della polpa nei casi di carie profonda
- ✓ Liner protettivo al di sotto di materiali da restauro, da otturazione o cementi.

***i. PRO ROOT MTA***



Composizione chimica:

- Cemento Portland 75%
- Silicato tricalcico
- Ossido di Bismuto 20%
- Silicato dicalcico
- Alluminato tricalcico
- Ferrito Alluminato Tetracalcico
- Solfato diidrato di Calcio 5%

Il ProRoot MTA è un materiale utilizzato nel caso di perforazioni radicolari o di incappucciamenti pulpari. È una polvere costituita da finissime particelle idrofile che si addensano in presenza di acqua. L'idratazione della polvere crea un gel colloide che si solidifica formando una forte barriera impermeabile.

Ha la caratteristica particolare di indurire in ambiente umido, pertanto la presenza di sangue o saliva non ne altera le caratteristiche fisiche.

Le analisi spettrometriche realizzate su questo materiale hanno chiarito che i componenti più rappresentati del materiale sono gli ioni Calcio e ioni Fosforo, mentre la radiopacità fondamentale per questo tipo di materiale, è data dall'ossido di Bismuto. Al momento della manipolazione presenta un pH di 10,5 che si innalza a 12 all'incirca dopo tre ore. Macroscopicamente il materiale appare sabbioso e di colore grigio/bianco. Caratteristiche sfavorevoli sono un tempo di indurimento molto elevato (sopra le due ore) e una bassa resistenza alla compressione.

Tra le indicazioni si annoverano:

- ✓ Sigillatura delle perforazioni radicolari

- ✓ Come tampone apicale nelle apecificazioni
- ✓ Incappucciamento della polpa
- ✓ Chirurgia periapicale

#### **4.MATERIALI UTILIZZATI NEL PRESENTE STUDIO:**

Lo scopo di questo studio è stato quello di valutare il marginal gap formatosi dopo la realizzazione di un restauro diretto di seconda classe in aree critiche del dente, utilizzando quattro specifici materiali da restauro: Biodentine, Geristore e due tipologie differenti di composito, uno self-etching mentre l'altro utilizzato con le tecniche di adesione a tre steps.

##### **a. GERISTORE**



è un composito ibrido, poliacido e idrofilico, composto da una resina a base di bario e fluorosilicato e una matrice organica contenente il fotoiniziatore. Esso, infatti, è una resina vetroionomerica modificata che combina le proprietà delle resine ibride a base di Bis- GMA modificato e dei cementi vetroionomerici. I vantaggi riportati dall'utilizzo di questo tipo di materiale sono un'adesione aumentata sulla superficie del dente, in quanto non necessita di sistemi adesivi; adesione anche in presenza di sangue e di saliva; insolubilità nei fluidi orali, bassa contrazione da polimerizzazione, basso coefficiente di espansione termica, radiopacità, rilascio di fluoro, non necessita della preparazione di cavità ritentive e biocompatibilità, può essere di fatti applicato direttamente sui tessuti molli in quanto il pH neutro lo rende istologicamente compatibile.

È ideale per restauri subgingivali (ad esempio carie radicolari e riassorbimenti), fratture, perforazioni radicolari, trattamento delle biforcazioni e incappucciamento della polpa esposta.

Gli studi hanno evidenziato che il Geristore è biocompatibile e presenta successi clinici se utilizzato in difetti subgingivali. Altri studi in vitro indicano che comparato al MTA e ai cementi vetroionomerici, esso è meno citotossico nei confronti dei fibroblasti gengivali. In uno studio in vitro del 2018, Pondey e Dixit sottolineano come non ci sia alcuna differenza statisticamente significativa di microleakage tra Geristore e MTA.

### ***b. BIODENTINE***



È un cemento bioattivo con proprietà meccaniche simili a quelle della dentina. È un materiale a base di silicato di calcio, le cui applicazioni cliniche sono varie, quali: perforazioni delle radici, apicizzazioni, riassorbimenti, otturazioni retrograde, procedure di incappucciamento della polpa e sostituzione della dentina.

Composizione chimica:

- carbonato di Ca (10-25%),
- silicato tricalcico,
- soluzione acquosa di cloruro di Ca ed eccipienti.

Molti studi condotti in vivo e in vitro hanno dimostrato che le interazioni della Biodentine con i tessuti sia duri che molli garantisce un sigillo ermetico, proteggendo la polpa dall'infiltrazione batterica. Inoltre, è stato dimostrato che la Biodentine fornisce una

ritenzione micromeccanica in quanto si infiltra nei tubuli dentinali. Questo significa che la dentina non necessita di essere precedentemente condizionata. Inoltre, stimola la produzione di dentina terziaria con la formazione del ponte dentinale che proteggono ulteriormente la polpa. Questi due effetti combinati potrebbero essere i responsabili, almeno in parte, dell'assenza di ipersensibilità e dolore post-operatorio.

Ancora più importante è che quando applicata, la Biodentine diminuisce la secrezione di TNF alpha (mediatore dell'infiammazione). Comparata all'idrossido di calcio (materiale utilizzato negli incappuccia menti), la Biodentine presenta una maggiore resistenza meccanica per via della sua composizione e della sua porosità. Comparata all'MTA, è più facile da maneggiare, ha molte più applicazioni (non solo endodontiche, ma anche in restaurativa e in pedodonzia), più facile da maneggiare e un tempo di presa più breve.

Pertanto, la Biodentine è biocompatibile, resistente e può avere diversi campi di applicazione clinica. Non richiede condizionamento di superficie e la sua superficie può essere trattata con differenti adesivi prima di applicare la resina composita. Queste caratteristiche la rendono un materiale ideale da utilizzare nell'incappucciamento diretto della polpa.

Nello studio in vitro di Ramezani F. emerge come la Biodentine mostri una penetrazione media di colorante inferiore rispetto a MTA (Ramezani F., Aryanezhad S. 2017)<sup>70</sup>, inoltre la formazione di un ponte di tessuto mineralizzato è stata maggiore nei campioni trattati con Biodentine rispetto a MTA (De Rossi A., Silva LA, 2014)<sup>71,72</sup>.

### ***c. i Bond Universal***



L'i Bond Universal è un adesivo mono componente costituito da una soluzione a base di acetone/acqua e monomeri di metacrilato foto attivi. La base di acetone non rilascia fluoro e consente l'adesione in campo umido. L'acetone agisce come veicolo per l'acqua permettendone una rapida evaporazione.

Evaporando, l'acqua si separa dal monomero e ne migliora l'efficacia adesiva. Questo effetto viene ottenuto grazie a una semplice asciugatura dopo la sua applicazione e rende il prodotto meno sensibile alla tecnica dell'operatore e garantisce la creazione di uno strato ibrido omogeneo. I diversi componenti interagiscono per permettere una buona penetrazione dell'adesivo nei tubuli dentinali. È compatibile con tutti i materiali sia auto che foto polimerizzanti e i duali (senza aver bisogno degli attivatori). Ha un tempo di polimerizzazione di 10 s circa e permette all'operatore di scegliere la tecnica di mordenzatura più adatta alla specifica situazione clinica: total etch; selective etch (mordenzatura selettiva dello smalto); self-etch.

Indicazioni:

- ✓ restauri diretti
- ✓ sigillature di aree ipersensibili
- ✓ chipping
- ✓ piccole carie localizzate sul margine del restauro

#### **d. CLEARFIL BOND V<sub>2</sub>**



È un adesivo biocompatibile, agisce in campo umido e non rilascia fluoro. È considerato come uno dei prodotti gold standard per gli adesivi di questa tipologia. La procedura d'uso dell'adesivo è semplice: dopo l'applicazione del primer (applicazione attiva per 20s), si procede all'evaporazione del suo solvente mediante getto d'aria delicato o indiretto (*gentle dry*). A seguire si applica il bond delicatamente mediante l'utilizzo di un micro brush senza assottigliare eccessivamente lo strato applicato e a questo punto si foto polimerizza. È caratterizzato da un buon grado di adesione alla dentina, offrendo così risultati duraturi nel tempo.



L'aggiunta di Clearfill DC Activator permette la polimerizzazione duale, consentendo il suo utilizzo anche nelle regioni dove la luce della lampada ha difficoltà ad arrivare. Ciò ne permette l'uso anche nella cementazione adesiva di perni endocanalari e quella di intarsi di notevoli spessori (>3mm). L'innovativa tecnologia di polimerizzazione ne aumenta la velocità di polimerizzazione e il grado di conversione, dando luogo in questo modo a una notevole adesione alla struttura dentale, fondamentale per un sigillo marginale ottimale e duraturo.

Indicazioni:

- ✓ Restauri diretti in composita foto polimerizzante
- ✓ Sigillo di cavità come pre trattamento per restauri indiretti
- ✓ Trattamento delle superfici radicolari esposte
- ✓ Trattamento dell'ipersensibilità dentinale
- ✓ Riparazione intra orale di restauri fratturati
- ✓ Cementazione di perni endocanalari
- ✓ Ricostruzione di monconi
- ✓ Cementazione di intarsi, corone, faccette

Scopo di questo lavoro è per l'appunto quello di valutare il marginal gap in cavità mesio-occlusali e disto-occlusali profonde, ovvero che si estendono oltre la linea amelo-cementizia da un punto di vista spaziale. Da ciò deriverà il valore di infiltrazione marginale e la conseguente probabilità di incorrere in carie secondarie e contaminazione della polpa trattata.

## **5.MATERIALI E METODI**

### ***a. DENTI CAMPIONE***

Tutte le procedure eseguite in questo studio che hanno coinvolto partecipanti umani sono state condotte rispettando gli standards etici del comitato di ricerca istituzionale e nazionale, e con la dichiarazione di Helsinki del 1964 e i successivi emendamenti o standards etici comparabili. Il lavoro è stato approvato dalla Commissione Etica del Dipartimento di Scienze Chirurgiche e Diagnostiche Integrate dell'Università di Genova.

Sono stati utilizzati cinque molari estratti da alcuni pazienti del Dott. Angelo Itri. Il criterio di inclusione prevedeva che l'estrazione fosse necessaria per ragioni cliniche. I soggetti che non hanno dato il loro consenso sono stati esclusi. La popolazione di studio è formata da quattro persone, senza distinzione di genere. Nella selezione, abbiamo evitato persone più anziane di 65 anni o più giovani di 18, così come donne incinte, in allattamento o che usassero contraccettivi ormonali e pazienti sottoposti a trattamenti farmaceutici importanti. Dopo l'estrazione, i denti sono stati immersi in ipoclorito di sodio per 60 minuti al fine di rimuovere dalla superficie residui biologici (eg legamento parodontale) e successivamente conservati in acqua deionizzata.

### ***b. TRATTAMENTO DEI DATI PERSONALI***

I pazienti che hanno preso parte allo studio hanno compilato il modulo di trattamento dei dati personali in accordo con le regole internazionali. I moduli riguardo il consenso informato sono stati compilati dai pazienti e il coinvolgimento dei tessuti nello studio è stato archiviato presso l'ufficio del Dott. Angelo Itri, rispettando le leggi sulla privacy e sono accessibili solamente dal personale medico dello studio dentistico. Né MS né l'IIT conoscono i soggetti dello studio, dal momento che i campioni sono stati loro consegnati in forma anonima, senza alcun modo di risalire al paziente di appartenenza. I dati non sono stati comunicati a terzi. I risultati del presente studio sono stati pubblicati in forma anonima, senza includere nessuna informazione personale dei pazienti.

### ***c. PREPARAZIONE DI CAVITÀ***

Dopo l'estrazione, la pulizia e la conservazione, sono stati preparati tutti i denti rimuovendo la parte superiore della cuspidale per ottenere un'altezza calibrata. Per fare ciò, è stata utilizzata una fresa cilindrica diamantata di 0,18 mm di diametro e 6 mm di lunghezza (cod. 6836.314.018-komet) montata su un manipolo ad alta velocità per ottenere una cavità di seconda classe standardizzata, una su ciascuna delle quattro pareti maggiori del molare. Le cavità si estendono longitudinalmente ~1mm al di sotto della linea amelo cementizia, in modo tale da poter valutare il marginal gap sia all'interfaccia smalto/restauro che a quella cemento/restauro

#### **d. MATERIALI DA RESTAURO**

Su ciascun dente, i materiali da restauro sono stati divisi in quattro gruppi. Biodentine (B), Geristore (G), sistema adesivo self-etch con composito senza pre trattamento con acido orto fosforico della dentina (SE) e sistema adesivo total-etch con restauro in composito come controllo (C).

Dettagli circa i materiali da restauro possono essere trovati nella tabella 1.

<b>Materiale</b>	<b>Tipo</b>	<b>Azienda produttrice</b>	<b>Procedura</b>
Biodentine (B)	Bio-silicato Cemento Portland	Septodont	Le capsule sono state inserite all'interno della cavità con un carver di plastica. La matrice è stata rimossa dopo circa 20 minuti e sono state completate le procedure di lucidatura e rifinitura

<p>Geristore (G)</p>	<p>Resina vetro ionomerica modificata</p>	<p>DenMat</p>	<p>Il materiale riempitivo è stato posizionato all'interno della cavità e, dopo 10 s, la polimerizzazione è stata completata con la lampada. Dopo aver rimosso la matrice, si sono eseguite rifinitura e lucidatura.</p>
<p>iBond Universal+Composito (SE)</p>	<p>Sistema adesivo self-etch a base acetonica</p>	<p>Kulzer</p>	<p>Dopo la preparazione di cavità, è stato utilizzato un bonding self-etch senza pre trattamento con acido fosforico e si è polimerizzato con lampada per 20s. La matrice è stata rimossa, si è rifinito e lucidato.</p>
<p>V<sub>2</sub>+Composito (C)</p>	<p>Sistema adesivo a base acquosa</p>	<p>Kuraray</p>	<p>La superficie dentinale è stata trattata con acido fosforico per 15 s e risciacquata per 30 s. La superficie è stata asciugata e in seguito è stato utilizzato un primer A+B seguendo le</p>

			indicazioni della casa produttrice. il Bond A è stato polimerizzato con lampada per 20s. la matrice è stata rimossa e si sono eseguite le procedure di rifinitura e lucidatura.
--	--	--	---

Tabella 1: materiali da restauro testati in questo studio

Tutti i processi di preparazione sono stati realizzati da FV utilizzando per i diversi materiali una tecnica uguale o equivalente, sempre rispettando le direzioni della casa produttrice di ciascun materiale. Al termine della fase di riempimento di cavità, tutti i campioni sono stati lucidati con un disco diamantato (Solfex Po-on XT) e puliti con un dispositivo a vapore (Evolution.Silfradent).

Dopo aver completato il restauro, il dente appariva come nello schema della Fig1. Osservando il dente dall'alto, i quattro restauri sono stato identificati con il codice del rispettivo materiale da restauro: Biodentine (B), Geristore (G), composito senza mordenzatura preliminare (SE) e composito di controllo (C), in senso orario, iniziando dalla lettera p scritta sul dente come punto di reperi per indicare la posizione palatale.

Prima della misurazione, i denti sono stati tenuti in un semplice contenitore a temperatura ambiente, evitando il contatto tra la superficie dei denti e altri oggetti. Al termine dello studio, i campioni sono stati smaltiti dall'IIT secondo le regole della legge per i materiali biologici di origine umana.

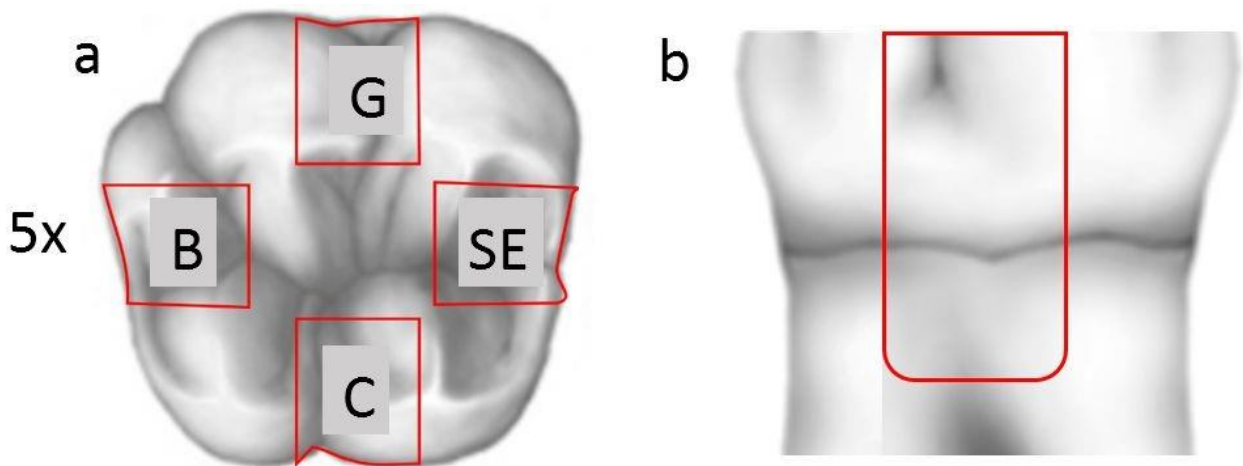


Fig.1

#### e. MISURE MORFOLOGICHE

Le mappe 3D dell'altezza relativa alle interfacce dente/restauro è stata condotta per mezzo del profilometro ottico Zeta-20 della Zeta instruments, un'azienda KLA (CA,US).

Lo strumento lavora basandosi sul principio confocale e la misurazione è stata eseguita con un obiettivo ottico (magnificazione 20X) e apertura numerica. In queste condizioni, abbiamo avuto una risoluzione laterale, limitata dalla diffrazione, di circa 400 nm e una risoluzione verticale di circa 500 nm, con un campo di osservazione di 664x498  $\mu\text{m}^2$ . Ogni singola mappa 3D è stata acquisita in circa 30s.

Lo schema di acquisizione è riportato nella Fig. 2, dove è mostrata un'immagine, a scopo illustrativo, del restauro a bassa risoluzione (ampio campo di osservazione) ottenuta con uno stereomicroscopio. Le linee tratteggiate in giallo e rosso identificano le posizioni approssimative delle interfacce tra il tessuto dentale – smalto e cemento- e il restauro, denominate rispettivamente er ed ec. La linea nera tratteggiata identifica la giunzione amelo cementizia (CEJ). Dal momento che il nostro interesse era di valutare il marginal gap si entrambe le interfacce- restauro/smalto (re) e restauro/cemento (rc), abbiamo acquisito l'immagine vicino alla linea amelo cementizia ideale, che era attraversata dal restauro. Per ciascun restauro, abbiamo acquisito quattro immagini, una per ciascun tipo di interfaccia.

La figura 2b mostra la visione dall'alto di una delle immagini 3D ottenute dal profilometro Zeta su ogni singolo restauro così come in Fig.2 a.

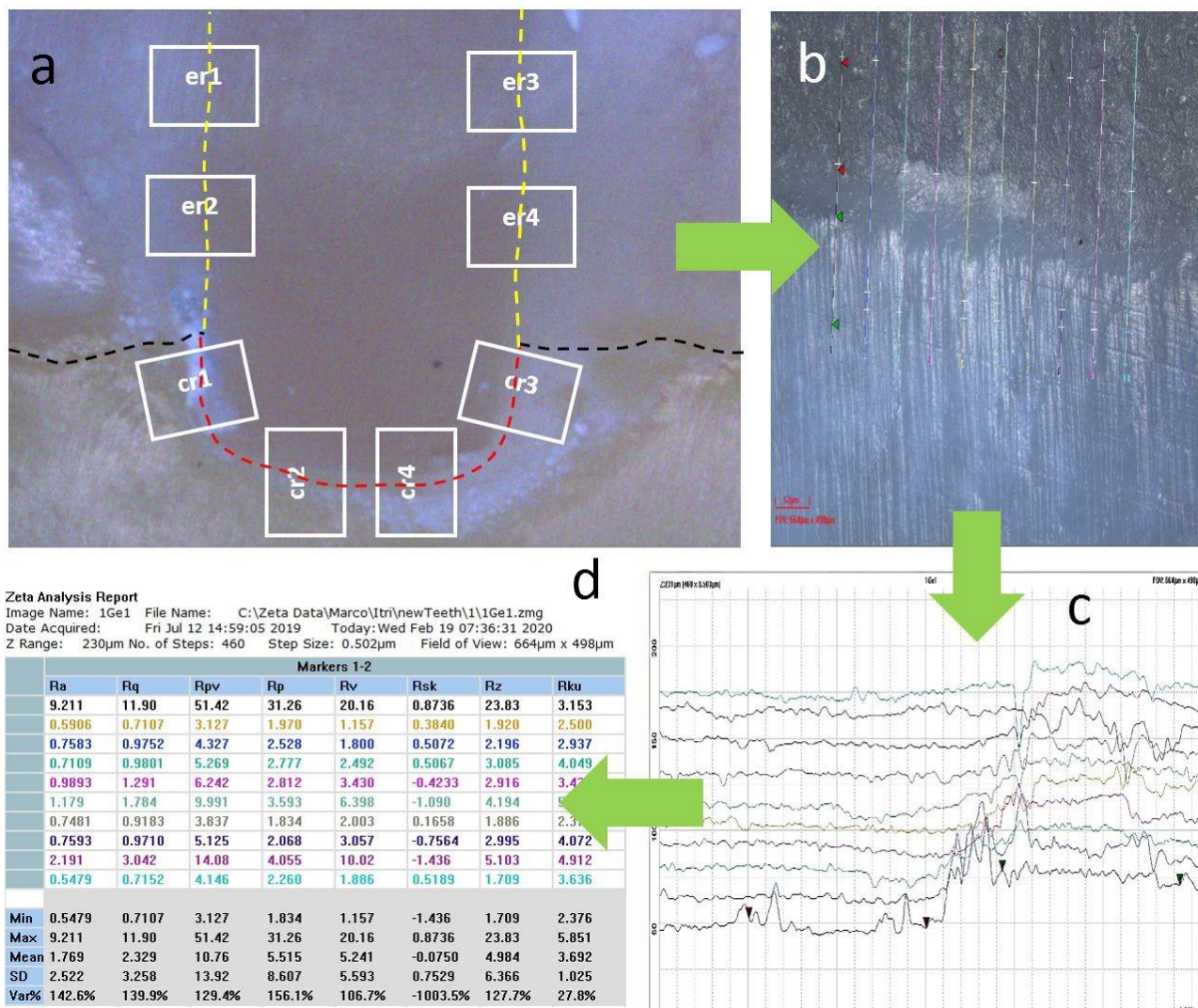


Fig.2

### f. ANALISI DEI DATI GREZZI E DEFINIZIONE OPERATIVA DI “GAP”

Abbiamo tracciato su ciascuna singola coppia di dente restauro, da ciascuna delle quattro immagini rappresentanti le due interfacce (er e cr), dieci sezioni trasversali attraverso la rispettiva interfaccia. Ogni profilo è lungo circa 300 µm; abbiamo presupposto che fosse di circa 100 µm su entrambi i lati dei rispettivi materiali (eg “e” sul lato sinistro e “r” sul lato destro, per l’immagine “er1” in Fig.1) e che la centrale di circa 100 µm fosse associata alla giunzione reale, dove ci si aspettava di trovare il gap. Abbiamo determinato il parametro 1D RMS di ruvidità superficiale (Rq) su entrambe le parti di 100 µm di lunghezza rappresentanti

ciascun materiale ai lati opposti del margine. Questi valori sono denominati con i rispettivi indici aggiuntivi che identificano l'interfaccia, nel caso in esame  $R_{qe}$  e  $R_{qr}$ .

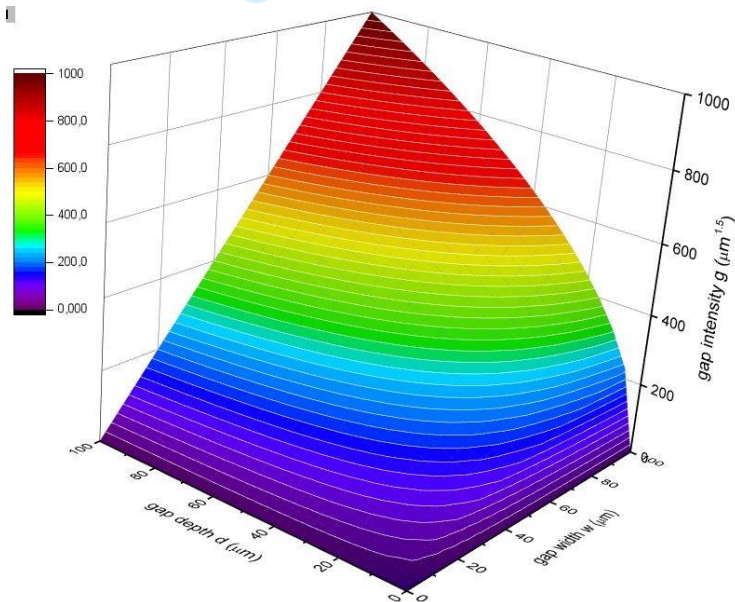
In questo caso non abbiamo considerato la possibile differenza tra i mezzi ai due livelli superiori dei lati opposti dell'interfaccia (i.e. il materiale da restauro può essere sopra o sotto esteso rispetto al dente), questo perché non possiamo conoscere la posizione esatta dei materiali in profondità al di sotto della superficie e in ogni caso, abbiamo preferito concentrarci sul concetto di "gap" come un vuoto localizzato di materiali, le cui depressioni favoriscono la colonizzazione batterica.

Dal momento che la suddetta ampiezza di parametri rappresenta la variazione nell'altezza relativa dovuta solamente alla ruvidità di superficie del campione, ovviamente non si riscontrerebbe un gap reale associato alla rispettiva interfaccia ( $e_r$ ) se tutte le depressioni rimanessero all'interno di una data differenza da questo limite. In realtà, abbiamo presupposto una definizione di gap che si verifica quando l'altezza della depressione a livello del bordo dell'interfaccia supera di cinque volte  $R_q$  su entrambi i lati dell'interfaccia. Ad esempio, nel caso mostrato nella Fig.2, la sezione trasversale n 1 mostra un gap poiché  $R_{q1r}$  su entrambi i lati è  $R_{q1r} = 5.12 \mu\text{m}$  e  $R_{q1e} = 2,36 \mu\text{m}$ , pertanto la soglia minima l'altezza del margine della depressione per poter essere definita realmente gap è stata presupposta essere  $5 \times 5.12 \mu\text{m} = 25.6 \mu\text{m}$ , e la depressione massima effettivamente visibile al margine- i.e. dentro la regione di transizione tra le due superfici- misurava circa  $38 \mu\text{m}$ .

Al contrario, per il profilo n 5 in Fig.2 questo valore era  $R_{q2e} = 0.92 \mu\text{m}$ ,  $R_{q2r} = 5.06 \mu\text{m}$ , e la depressione al margine era circa  $22 \mu\text{m} < 5 \times 5.06 \mu\text{m} = 25.3 \mu\text{m}$ .

Mentre la nostra soglia di altezza identifica un gap che si verifica e parzialmente quantifica il suo valore, non è comunque considerato sufficiente per descrivere sufficientemente il gap da un punto di vista quantitativo. Oltre alla direzione verticale, allo stesso modo deve essere considerata l'estensione planare perpendicolare al bordo dell'interfaccia. ovviamente, un gap è maggiormente rilevante e rappresenta un problema più serio quando si estende anche in direzione laterale; questo significa che un gap di e.g.  $30 \mu\text{m}$  di profondità e  $10 \mu\text{m}$  di larghezza è meno grave di un gap che misura sia in profondità che in larghezza  $30 \mu\text{m}$ . Pertanto, abbiamo deciso di considerare il prodotto della profondità  $d$  e della radice quadrata della profondità come un dato di "merito" per l'"intensità" del gap  $g$ , Fig. 3 (per considerazioni più approfondite, vedere il paragrafo Discussione)





**Fig.3** funzione analitica della profondità  $d$

e della larghezza  $w$  del gap, definito come  $g = sxw$  nel tentativo di descrivere l'intensità del gap marginale

### **g. ANALISI STATISTICHE**

Per ciascun tipo di interfaccia (er e cr) e per ciascun tipo di materiale da restauro (MTA, B, G, BA), sul valore  $g$  ottenuto come descritto nel paragrafo precedente, in un numero massimo  $N=10$  di profili/immagine (se il gap si verifica e pertanto è definito per tutti i profili)  $\times 4$  immagini/denti  $=200$ , è stato considerato rappresentativo, con un margine di errore che si estende di una deviazione standard al di sopra e al di sotto del valore medio. Le differenze tra i diversi valori medi sono state verificate per significanza statistica in accordo con ANOVA, con un confronto a coppie basato sul test di Tukey, e un livello di significatività  $\alpha = 0.05$ .

## 6. RISULTATI

Un singolo caso di dato grezzo è mostrato nella Fig.2 sotto forma di immagine, con la conseguente analisi di profili trasversali in termini di 1D. Talvolta, a seguito della lucidatura con gommini, residui di pasta abrasiva appaiono mescolati con il materiale abraso (smear layer). Questo materiale, che nasconde la vera superficie, è stato rimosso con un lavaggio di alcol e acqua deionizzata, in un bagno di sonicazione moderata per 30s per ciascun step, prima di essere asciugati con nitrogeno.

Su ciascuno dei profili come quelli mostrati in Fig.2 sono state condotte le analisi-come descritte precedentemente- per valutare l'esistenza di un gap lungo lo stesso profilo. In questo caso, per ciascun profilo che mostrava un gap, è stato calcolato un valore g come definito nel paragrafo f. i valori numerici sono riassunti nella tabella 2 e presentati sotto forma di grafico in Fig. 4

<b>Material:</b>	<b>B</b>		<b>G</b>		<b>C</b>		<b>SE</b>	
<b>Interface:</b>	<b>er</b>	<b>cr</b>	<b>er</b>	<b>cr</b>	<b>er</b>	<b>cr</b>	<b>er</b>	<b>cr</b>
<b>g (<math>\mu\text{m}^2</math>)</b>	86 $\pm$ 53	118 $\pm$ 40	152 $\pm$ 75	137 $\pm$ 56	71 $\pm$ 39	69 $\pm$ 38	38 $\pm$ 52	47 $\pm$ 36
<b>ng</b>	21	45	60	54	39	42	34	29

**Tabella 2:** risultati della presente analisi. Sono riportate la deviazione media e la deviazione standard (dopo il segno  $\pm$ ) dell'intensità dei gap per tutti i casi dei quattro materiali analizzati e le due interfacce. ng è il numero reale dei profili, tra i 200 considerati, che hanno mostrato un vero gap, per quelli che non hanno mostrato nessun gap, il valore g è stato considerato =0.

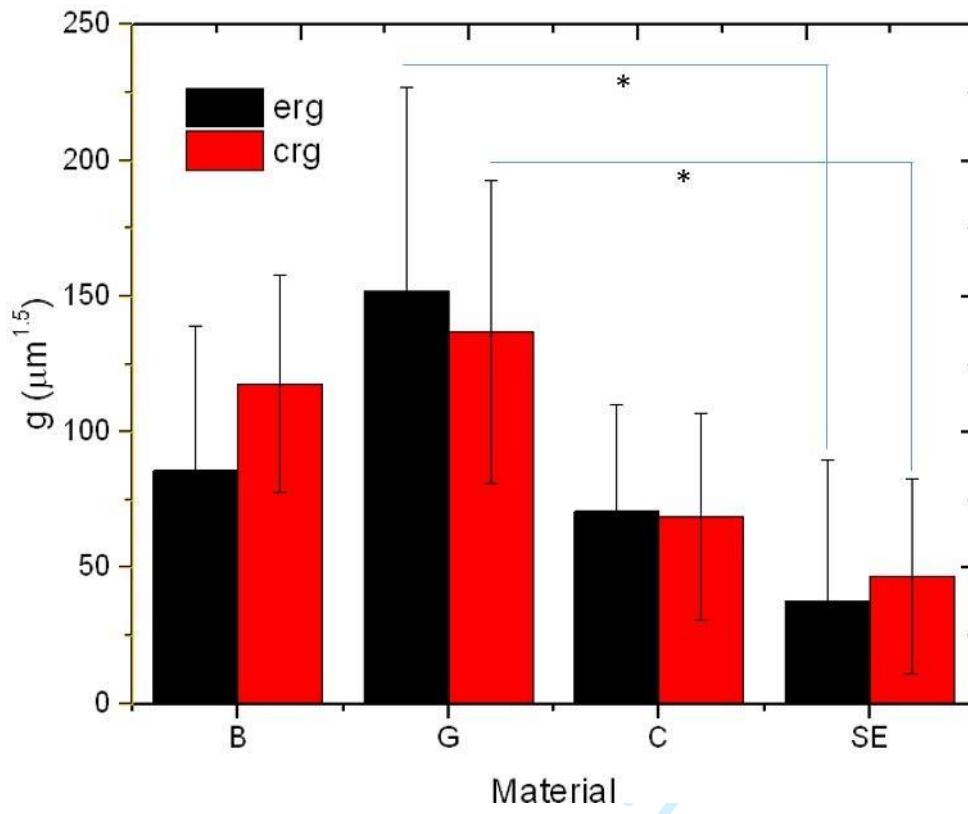


Fig.4

## 7. DISCUSSIONE

Per la realizzazione di questo studio è stato utilizzato il profilometro ottico, ma sono state condotte prove di misurazioni 3D attraverso il profilometro a stilo (o a contatto). Da un punto di vista tecnico, la scansione è talmente lenta da richiedere un'intera notte per singolo campione (sono necessarie all'incirca otto ore). Risulta evidente, dunque, che questo approccio non sia adatto a numero elevato di campioni e/o diverse aree dello stesso campione. Per queste ragioni si è preferito utilizzare il profilometro ottico, che consente una scansione più rapida senza danni al campione o alla punta oppure artefatti dell'immagine ottenuta.

Ad oggi, la maggior parte degli studi su questo argomento sono stati condotti utilizzando il SEM (Scanning Electron Microscopy) (Cervino et al, 2017; Gamarra et al. 2018)<sup>73</sup>. Questa tecnica, veloce e con un ampio range dinamico di risoluzione spaziale e di misura, consente tuttavia di valutare solamente parametri di struttura e morfologia, ovvero quelli correlati alle dimensioni laterali, spaziando tra le caratteristiche presenti in quella data area. Tuttavia, è altresì chiaramente importante valutare anche i parametri di estensione del gap, come l'altezza, o per meglio dire la profondità del gap.

Una delle più recenti tecniche 3D di microscopia diretta per lo studio della superficie dentale è l'Atomic Force Microscopy (AFM). Tuttavia, sebbene la risoluzione spaziale dell'AFM sia molto elevata, la definizione risulta essere piuttosto limitata. Pertanto, l'AFM è maggiormente utilizzata per ottenere informazioni dettagliate su superfici uniformi, con l'obiettivo di definire la rugosità di superficie. Allorquando, anche diminuendo la risoluzione al livello target ipotizzato, con l'AFM si acquisirebbe un'area di scansione massima di solo  $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ , con una risoluzione laterale simile al profilometro ottico (390 nm nel caso di  $256 \times 256$  pixels) e una migliore risoluzione verticale (circa 1 nm), ma con tempi di acquisizione della scansione di gran lunga maggiori. Inoltre, l'escursione verticale risulta piuttosto limitata, tipicamente di  $10 \mu\text{m}$ , mentre con il profilometro ottico è pressoché illimitata ( $>100 \mu\text{m}$ ). In aggiunta, il contatto fisico tra la punta e la superficie potrebbe risultare essere invasiva per entrambi i lati e impedire la misurazione in regioni più difficilmente accessibili.

Deve essere ricordato che abbiamo provato anche misurazioni 3D con il profilometro a stilo (o a contatto) che è più simile concettualmente all'AFM utilizzato in versione "contatto". In Fig.S2 si può osservare un'immagine 3D del margine di un restauro ottenuta scannerizzando una serie di profili lunghi 2 mm, a un intervallo di 5 µm, e riunendole in una singola mappa 2D di altezza, simile a lavori precedenti. In questo caso la risoluzione è stata asimmetrica lungo i due assi orizzontali (i.e. la dimensione dei pixel aveva un'alta aspect ratio, 5 µm/ 0.1 µm). I valori erano espressi come una percentuale del margine continuo sulla lunghezza totale del margine per i margini occlusali (buccale e linguale) e cervicali (distale e mesiale). La percentuale del margine non continuo prima dei cicli termici variava tra il 0.7% e il 7% per occlusale e 0% e 34% per cervicale, mostrando una differenza significativa dovuta alla tecnica di polimerizzazione. In aggiunta, il microleakage è stato valutato dopo aver immerso i campioni in una tintura ed esposti alla luce fluorescente per valutare il grado di penetrazione che è stata valutata qualitativamente. Tuttavia, la correlazione tra i due tipi di osservazione non è chiara.

Nella revisione di Nawafleh et al., sono stati presi in esame i diversi metodi di misura dell'adattamento marginale delle corone e delle protesi dentali fisse, nel periodo 1970-2011, per un totale di 183 papers. Da questa è emerso che nel 47, 5% dei casi sono stati utilizzati metodi di osservazione diretta, a seguire metodi di campionamento trasversale (23,5%) e infine l'utilizzo di impronte replica (20,2%). Gli autori hanno evidenziato come ulteriore fonte di variabilità il tipo di studio, se condotto in vivo o in vitro, e hanno evidenziato un incremento della validità per le misurazioni eseguite con diversi metodi combinati e confrontate tra loro (2.2% dei casi). La lunghezza osservata del marginal gap variava ampiamente tra i 7,5 e i 200 µm.

Più recentemente, Parameswari et al. hanno comparato l'adattamento marginale, così come la resistenza alla trazione, di corone metalliche cementate utilizzando diversi materiali. Il gap marginale tra il margine della corona e la finish line della preparazione sul dente è stata misurata tramite microscopio (travelling come posso tradurlo?) prima e dopo la cementazione. La differenza tra i due valori mostrava una discrepanza dovuta allo spessore del film del cemento utilizzato. Ovviamente non è stata riscontrata in modo chiaro nessuna correlazione negativa tra la resistenza alla trazione e la presenza del marginal gap.

Gamarra et al. hanno investigato, invece, la qualità dei margini di restauri in composito bulk-fill, realizzati con diverse tecniche di fotopolimerizzazione. Hanno utilizzato cavità di seconda classe, per un totale di 40 denti, distribuito in gruppi differenti in base a quattro

protocolli di polimerizzazione, con diversa irradiazione e tempi di esposizione. Le interfacce dente/restauro sono state analizzate con il SEM su impronte; sia le interfacce intatte che quelle invecchiate termicamente. Il microleakage è stato valutato con marcatori qualitativi (rank), sia all'interfaccia con lo smalto che quella con la dentina, in maniera simile al nostro lavoro per quanto riguarda la risoluzione (200X), seppur senza misurazione 3D. I valori sono espressi come una percentuale del margine continuo sulla lunghezza totale del margine occlusale (buccale e linguale) e cervicale (mesiale e distale). La percentuale del margine non continuo prima dei cicli termici variava tra 7% e 0,7% per l'occlusale, e 0% e 34% per il cervicale, mostrando una differenza significativa dovuta alla tecnica di polimerizzazione. In aggiunta, il microleakage è stato valutato, con uno score qualitativo, immergendo i campioni in colorante ed esponendoli alla luce fluorescente per misurare l'estensione della penetrazione del colorante. Tuttavia, la correlazione tra i due tipi di osservazione non è chiara.

Groten et al. hanno considerato il gap al margine delle corone in ceramica, valutandolo prima e dopo la cementazione con il SEM. Hanno utilizzato tre diverse definizioni di gap, tutte simili alla definizione fornita da Holmes et al. e le hanno misurate ogni 100 µm lungo l'interfaccia. Hanno iniziato con 230 misurazioni per ciascun dente, ritenendole rappresentative appieno della qualità dell'interfaccia, progressivamente diminuendo il numero e osservando a che punto emergesse una deviazione dei risultati apparenti. Al di sotto di 20 misurazioni, l'errore standard sembrava aumentare esponenzialmente, ben al di sopra del limite di tolleranza di  $\pm 0,5$  mm.

Cervino et al. hanno misurato il gap all'interfaccia endodontica. Più nello specifico, è stato utilizzato un cemento minerale di aggregato triossido per sigillare i canali dal momento che attualmente rappresenta il miglior materiale da sigillatura endodontica. Diversi sono stati i bondings e attraverso l'uso del SEM sono stati analizzati i micro-gaps al margine. Interessante notare che in questo studio gli autori hanno posto una soglia al di sotto della quale è stato ipotizzato non esserci nessun gap, che corrisponde a identificare regioni soglia con una gap planare di minimo 5 µm e una lunghezza di 20 µm. I gaps medi erano tra 13 e 6 µm.

Kim et al. hanno valutato i gaps, sia interni che marginali, di intarsi, concentrandosi sui cambiamenti verificatisi per le corone in metallo ceramica a seguito dei diversi stadi del processo, come la sinterizzazione selettiva con laser e la cottura della ceramica. Nel loro lavoro hanno utilizzato la tecnologia CAD/CAM permettendo una caratterizzazione 3D dei

gaps. Tuttavia, i gaps sono stati misurati tra la replica in silicone di un master in titanio e il modello stesso. Pertanto, le superfici 3D da comparare erano entrambe il risultato della scansione CAD/CAM dei rispettivi denti modello. In questo lavoro, il gap è definito come la distanza media nello spazio dell'intera superficie della discrepanza, sommando una nube di 67,491 punti distribuiti. I gaps così identificati erano interni alla superficie, differenti in tutti i punti dell'oggetto analizzato. La stessa valutazione è stata portata avanti con corone fabbricate dopo le impronte in silicone.

Con le nostre misurazioni, abbiamo cercato di valutare il gap interno, in assenza di un reale gap a livello del margine che circonda l'interfaccia. Tuttavia, in aggiunta alla distanza prevista o alla reale distanza (discrepanza marginale assoluta) che è possibile valutare dall'acquisizione della morfologia 3D dell'interfaccia, abbiamo stabilito la nostra definizione di gap. A dire il vero, quando si riflette sulla colonizzazione batterica, in aggiunta all'elevata frequenza di ruvidità a livello del gap, si presuppone che sia di critica importanza anche l'estensione verticale del gap, una misura della giunzione sopra o sotto esposta. Tuttavia, potrebbero non esserci delle sovra o sotto esposizioni nette, ma piuttosto un picco a livello del gap che influenzerà anche l'area complessiva disponibile all'adesione batterica, oltre che un'effettiva ruvidità (in questo caso sarebbe meglio definirla come una sorta di superficie ondulata o la forma stessa del margine). Fortunatamente è possibile valutare tutte queste quantità, e molte di più se necessario, quando si è in possesso di tutte le superfici 3D della regione dell'interfaccia, ottenute attraverso la mappatura 2D del profilometro.

Deve essere fatto notare che il nostro gap è definito come una depressione verticale negativa, pertanto non si rileva un gap quando il margine presenta una cresta elevata. Mentre questo può dar luogo all'accumulo e all'adesione batterica, con conseguente formazione di placca e carie, è stato ipotizzato che un'asperità sporgente al margine sia meno dannosa sul lungo termine e che sia destinata a diminuire dopo la normale abrasione durante la masticazione e lo spazzolamento dei denti, i quali non sono i casi delle regioni rientranti all'interfaccia.

D'altro canto, la nostra definizione di gap tiene conto anche dell'estensione laterale. Ovviamente, anche l'estensione (lunghezza) del gap lungo il bordo dell'interfaccia ha la sua importanza. Tuttavia, questa è intrinsecamente considerata quando si opera una media tra i differenti profili. Pertanto, potremmo considerare semplicemente il prodotto della profondità  $d$  e della larghezza  $w$  di entrambi i gap, generano una sorta di area trasversale del gap.

Ciononostante, la profondità rimane la quantità chiave e maggiormente importante, che però potrebbe essere tralasciata quando si considera solamente il prodotto  $dw$ .

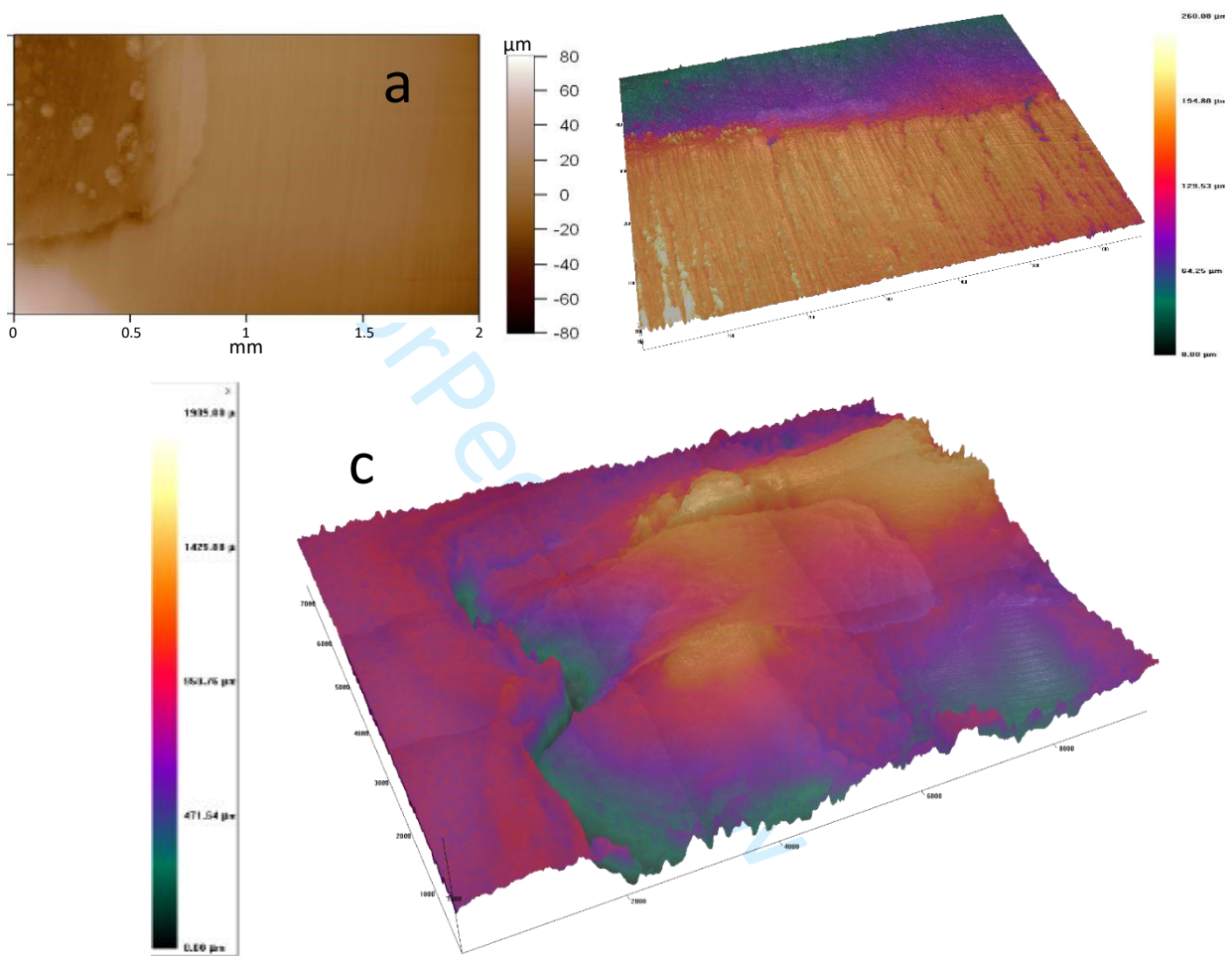
Pertanto, l'intensità del nostro gap è stata definita come  $g=d\sqrt{w}$ . In questo caso, un gap con  $d=30\ \mu\text{m}$  e  $w=10\ \mu\text{m}$  mostra un  $g=94,4\ \mu\text{m}^2$ , mentre un gap con  $d=10\ \mu\text{m}$  e un  $w=30\ \mu\text{m}$ ,  $g=54,8\ \mu\text{m}^2$ , poco più della metà del precedente. Se entrambe  $d$  e  $w$  avessero misurato  $30\ \mu\text{m}$ ,  $g$  sarebbe stato  $164,3\ \mu\text{m}^2$ , ovviamente maggiore di entrambi gli esempi precedenti.

Il diagramma di  $g$  come funzione di  $w$  e  $d$ , per range ragionevoli come  $d=0,100\ \mu\text{m}$  e  $w=0,100\ \mu\text{m}$  è mostrato nella Fig.S1.

Tra i limiti di questo studio, bisogna ricordare che la posizione identificata otticamente a bassa risoluzione non è necessariamente esatta, ma è sempre sufficientemente valida per individuare l'interfaccia, come trovata successivamente da una scansione a maggiore risoluzione, anche basandosi sulla stessa rugosità locale.

La tecnica utilizzata per il profilometro ottico cofocale può essere anche influenzato da artefatti, di natura differente rispetto a quelli riscontrati con il profilometro a stilo o con l'AFM, dovuti a differenti indici di rifrazione del materiale scannerizzato nel caso di superfici non omogenee. Tuttavia, nel caso di questo studio, è stato presupposto che il materiale da restauro presenti caratteristiche ottiche molto simili al dente naturale, soprattutto per ragioni estetiche, e pertanto la maggior parte degli artefatti ottici può essere esclusa. Al contrario, talvolta è difficile riconoscere le interfacce tra materiali adiacenti, che l'informazione 3D locale, specialmente la rugosità di ciascun materiale, può aiutare a identificare la posizione laterale dei gaps.





**Fig.5** esempio di immagine ottenuta con l'utilizzo del profilometro a contatto

## 8. CONCLUSIONI

Lo studio ha provato a definire una nuova espressione quantitativa per il marginal gap che dovrebbe tener conto della complessità della sua forma, comprendendo sia l'estensione longitudinale e la profondità verticale. Sono state misurate le superfici 3D ad entrambe le interfacce, er e cr, e ricavato i già citati dati di merito per il marginal gap. Secondo la nostra definizione di gap, tra i quattro materiali analizzati in questo lavoro, è emerso che G sia il peggiore, seguito da B. I controlli SE e il composito non mordenzato C si sono mostrati migliori.

Non ci sono differenze statisticamente significative tra G e B, così come tra C e SE, mentre la differenza tra entrambi i gruppi è significativa.

L'informazione clinica che si può trarre dal presente studio è che per trattare una cavità molto profonda di seconda classe con una tecnica two stages di VPT, è indicato ricostruire il margine con un adesivo self etch seguito da un materiale composito per ridurre la possibilità di contaminazione dell'apparato pulpare.

La nostra definizione di gap non pretende di essere definitiva; al contrario, disponendo di una mappa 3D di tutte le regioni del gap, in futuro, grazie a profilometri ottici non invasivi e veloci, sarà accessibile una definizione di gap sicuramente perfezionata con ulteriori utili informazioni morfologiche.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. Akhlaghi N, Khademi A. Outcomes of vital pulp therapy in permanent teeth with different medicaments based on review of the literature. *Dent Res J (Isfahan)*. 2017; 42,43,50.
2. Itri A. dentinal bridge formation: clinical results after Biodentine removal. *septodont* 2017; 10-13
3. Modena KC, Casas-apayco LC, Atta MT e coll. Cytotoxicity and biocompatibility of direct and indirect pulp capping materials. *J Appl Oral sciences* 2009; 17:544-554
- 4,12,52. Hargreaves KM Lovelace TW, Henry MA, Diogenes A . Evaluation of the delivery of mesenchymal stem cells into the root canal space of necrotic immature teeth after clinical regenerative endodontic procedure. *J Endod*. 2011 Feb;37(2):133-8. doi: 10.1016/j.joen.2010.10.009.
6. Ricketts D. Management of the deep carious lesion and the vital pulp dentine complex. *Br Dent J*. 2001 Dec 8;191(11):606-10.
7. Stanley HR, Pameijer CH. Dentistry's friend: calcium hydroxide. *Oper Dent*. 1997 Jan-Feb;22(1):1-3
8. Matsuo T, Nakanishi T, Shimizu H, Ebisu S A clinical study of direct pulp capping applied to carious-exposed pulps. *J Endod*. 1996 Oct;22(10):551-6
9. Witherspoon DE. Vital pulp therapy with new materials: new directions and treatment perspectives--permanent teeth. *J Endod*. 2008 Jul;34(7 Suppl):S25-8.
10. Costa CA, Mesas AN, Hebling J. Am. Pulp response to direct capping with an adhesive system. *J Dent*. 2000 Apr;13(2):81-7.
- 11,41. Aguilar P, Linsuwanont PJ. Vital pulp therapy in Vital Permanent teeth with Cariously Exposed pulp: A Systematic Review *Endod*. 2011 May; 37(5):581-7
- 13,14,15. Ward J Aust. Vital pulp therapy in cariously exposed permanent teeth and its limitations *Endod J*. 2002 Apr; 28(1):29-37)
16. Cohenca N, Paranjpe A, Berg J. Vital pulp therapy. *Dent Clin North Am*. 2013 Jan;57(1):59-73.

17. Castagnola L, Orlay HG. Direct capping of the pulp and vital amputation. Br dent J 2010;88:324-330 (1952)
18. Poggio C, Mirti D. pulp-caping materials: analysis of cytotoxicity on mouse odontoblasts. 2013
- 19,39. Asgary S, Eghbal MJ, FAZLYAB M. five year results of vital pulp therapy in permanent molars with irreversible pulpitis : a non inferiority multicenter randomized clinical trial. Clin oral investig 2015; 19: 335-341
- Asgary S, Hassanizadeh R, Torabzadeh H, Eghbal MJ. Treatment Outcomes of 4 vital pulp therapies in mature molars J Endod. 2018 Apr;44(4):529-535.
- Asgary S, Ahmadyar M. Can miniature pulpotomy procedure improve treatment outcomes of direct pulp capping? Med Hypotheses. 2012 Feb;78(2):283-5
20. Tziafas D. The future role of a molecular approach to pulp-dentinal regeneration. Caries Res. 2004 May-Jun;38(3):314-20
- Tziafas D, Belibasakis G, Veis A, Papadimitriou S. Dentin regeneration in vital pulp therapy: design principles. Adv Dent Res. 2001 Aug;15:96-100.
21. Țuculină MJ, Răescu M, Dascălu IT, Popescu M, Andreescu CF, Dăguci C, Cumpăță CN, Nimigean VR, Baniță IM. Rom. Indirect pulp capping in young patients: immunohistological study of pulp-dentin complex. J Morphol Embryol. 2013;54(4):1081-6.
22. Hayashi M, Fujitani M, Yamaki C, Momoi Y. Ways of enhancing pulp preservation by stepwise excavation: a systematic review. J Dent; vol 39: 95-107. 2011
23. Carotte PV, Waterhouse PJ. A clinical guide to endodontics-up-date part . Br Dent J 2009;206(3): 133-139
- 24,26,28. Gary alex Compend Contin Educ Dent. 2018 Mar;39(3):182-189. Direct and Indirect Pulp Capping: A Brief History, Material Innovations, and Clinical Case Report
25. Kuhn E, Reis A, Chibinski AC, Wambier DS. The influence of the lining material on the repair of the infected dentin in young permanent molars after restoration: A randomized clinical trial. J Conserv Dent, vol 19(6):516-521. 2016

27. Weber CM, Alves LS, Maltz M. Treatment decisions for deep carious lesions in the Public Health Service in Southern Brazil. *J Public Health Dent.* 2011 Fall;71(4):265-70.
- 29,30. Jordan RE, Suzuki M, Skinner DH. Indirect pulp-capping of carious teeth with periapical lesions. *J Am Dent Assoc.* 1978 Jul;97(1):37-43.
31. Maltz M, Oliveira EF, Fontanella V, Carminatti G. Deep caries lesions after incomplete dentine caries removal: 40-month follow-up study. *Caries Res.* 2007;41(6):493-6
32. Perrini N. The maintenance of pulpal vitality. Gallery Editrice srl, 2010.
33. de Souza V, Holland R, Murata SS, Nery MJ, Bernabé PF, Otoboni Filho JA, Dezan Júnior E. Healing process of dog dental pulp after pulpotomy and pulp covering with mineral trioxide aggregate or Portland cement. *Braz Dent J.* 2001;12(2):109-13
- 34,35,36,37. Poggio C, Arciola CR, Beltrami R, Monaco A, Dagna A, Lombardini M, Visai L. Cytocompatibility and antibacterial properties of capping materials. *ScientificWorldJournal.* 2014
- Akhlaghi N, Khademi A. Outcomes of vital pulp therapy in permanent teeth with different medicaments based on review of the literature. *Dent Res J (Isfahan).* 2015 Sep-Oct;12(5):406-17.
38. Bègue-Kirn C, Smith AJ, Loriot M, Kupferle C, Ruch JV, Lesot H. Comparative analysis of TGF beta s, BMPs, IGF1, msxs, fibronectin, osteonectin and bone sialoprotein gene expression during normal and in vitro-induced odontoblast differentiation. *Int J Dev Biol.* 1994 Sep;38(3):405-20.
40. Kiatwateeratana T, Kintarak S, Piwat S, Chankanka O, Kamaolmatyakul S, Thearmontree A. Partial pulpotomy on caries-free teeth using enamel matrix derivative or calcium hydroxide: a randomized controlled trial. *Int Endod J.* 2009 Jul;42(7):584-92
44. Stangvaltaite L, Schwendicke F, Holmgren C e coll. Management of pulps exposed during carious tissue removal in adults: a multi-national questionnaire-based survey. *Clinical oral investigations* 2017; 21:2303-9
45. Mjor IA. Interactions between filling materials and the dental pulp. *Inf Dent.* 1983 Nov 3;65(38):3605-12

- 46,47. Hermann BW. [On the reaction of the dental pulp to vital amputation and calxyl capping]. *Dtsch Zahnarztl Z.* 1952 Dec;7(24):1446–7.
- 48,49. Huang GT-J, Gronthos S, Shi S. mesenchymal stem cells derived from dental tissues vs those from other sources. *J dent res* 2009;88:792-806
51. Horsted P, Vilkinid V, Sidlaukas A. a direct capping of human pulps with a dentin bonding system or with calcium hydroxide cement. *Oral surg oral med oral pathol oral radiol endod* 2003;96(5):591-600. Horsted P, El Attar K, Langeland K. Capping of monkey pulps with dycal and ca-eugenol cement. *Oral surg oral med oral pathol.* 1981 nov; 52(5):531-553
- 54,61,71. 14. Cervino G, Fiorillo L, Spagnuolo G, Bramanti E, Laino L, Lauritano F, et al. Interface Between MTA and Dental Bonding Agents: Scanning Electron Microscope Evaluation. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2017;7(1):227–33.
55. Demarco FF, Rosa MS, Tarquínio SB, Piva E influence of the restoration quality on the success of pulpotomy treatment: a preliminary retrospective study. *J Appl Oral Sci.* 2005 Mar;13(1):72-7.
56. Nabil A. Secondary Caries in Posterior Restorations , Amalgam vs Composite resin : A Comparative Abstract : Objective : Conclusion : Introduction : 2017;5:32–9
57. Nassar HM, Arabia S. Effect of Gap Geometry on Secondary Caries in vitro SECONDARY CARIES Hani M . Nassar Submitted to the Graduate Faculty of the School of Dentistry in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Dentistry , Indiana Univers. 2016;(April).
- 58,60. Ray HA, Trope M. Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int Endod J.* 1995 Jan;28(1):12–8
59. Demarco FF, Rosa MS, Tarquinio SBC, Piva E. Influence of the restoration quality on the success of pulpotomy treatment: a preliminary retrospective study. *J Appl Oral Sci.*
62. Gamarra VSS, Borges GA, Júnior LHB, Spohr AM. Marginal adaptation and microleakage of a bulk-fill composite resin photopolymerized with different techniques *Odontology.* 2018;106(1):56–63.
- 63,64. Stanley HR, Pameijer CH. Dentistry's friend: calcium hydroxide. *Oper Dent [Internet].*

1999Jan1;22(1):13.Availablefrom:[https://www.unboundmedicine.com/medline/citation/9227121/Dentistry's\\_friend:\\_calcium\\_hydroxide\\_](https://www.unboundmedicine.com/medline/citation/9227121/Dentistry's_friend:_calcium_hydroxide_)

65. Brännström M, Nyborg H, Strömberg T. Experiments with pulp capping. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1979 Oct;48(4):347-52

66. Krell KV, Madison S. The use of the Messing gun in placing calcium hydroxide powder. *J Endod.* 1985 May;11(5):233-4

67. Fisher FJ, McCabe JF. Calcium hydroxide base materials. An investigation into the relationship between chemical structure and antibacterial properties. *Br Dent J.* 1978 Jun 6;144(11):341-4

68. Stanley HR, Weisman MI, Michanowicz AE, Bellizzi R. Ischemic infarction of the pulp: sequential degenerative changes of the pulp after traumatic injury. *J Endod* 1978;4:325-335

Stanley HR. Pulp capping: conserving the dental pulp--can it be done? Is it worth it? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1989 Nov;68(5):628-39.

Stanley HR, Pameijer CH. Dentistry's friend: calcium hydroxide. *Oper Dent.* 1997 Jan-Feb;22(1):1-3

69. Kim K-B, Kim J-H, Kim W-C, Kim H-Y, Kim J-H. Evaluation of the marginal and internal gap of metal-ceramic crown fabricated with a selective laser sintering technology: two- and three-dimensional replica techniques. *J Adv Prosthodont*

71. Demarco FF, Rosa MS, Tarquinio SBC, Piva E. Influence of the restoration quality on the success of pulpotomy treatment: a preliminary retrospective study. *J Appl Oral Sci.* 2005 Mar;13(1):72-7.

72. Da Silva LA, de Paula e Silva FW, Leonardo MR, Assed S. Pulpal and periapical response of dogs' teeth after pulpotomy and use of recombinant human bone morphogenetic protein-7 as a capping agent. *J Dent Child (Chic).* 2007 May-Aug;74(2):79-84

## 10.RINGRAZIAMENTI

Al termine di questo lungo percorso di studi, voglio spendere doverose parole di ringraziamento verso alcune persone che mi hanno accompagnato e sostenuto, permettendomi di arrivare a questo risultato.

Innanzitutto, ringrazio il Professor Benedicenti per essere stato di prezioso aiuto nella stesura del presente lavoro, ma soprattutto per avermi dato la bellissima opportunità di frequentare il reparto di Odontostomatologia del Pad.4 del San Martino. È stata un'esperienza unica, tanto professionalmente, quanto umanamente.

Di altrettanto prezioso aiuto è stato il Professor Itri, a cui va un profondissimo grazie. Non solo per aver permesso la mia partecipazione allo studio contenuto in questo lavoro e per avermi aiutato nella stesura della tesi di laurea, ma soprattutto per l'entusiasmo e la passione che mi ha trasmesso, diventando a tutti gli effetti uno dei migliori mentori che potessi sperare di incontrare.

Ringrazio tutti quei Professori che, come i Professori Benedicenti e Itri, mi hanno ispirato e insegnato non solo le basi teoriche e pratiche della professione odontoiatrica, ma soprattutto quelle umane. Sarebbero troppi da nominare tutti, ma ci tengo a menzionare la Professoressa Pontoriero, il cui entusiasmo e amore per l'Odontoiatria mi hanno colpito e che terrò a mente come esempio.

Ringrazio in maniera particolare i miei genitori, Marisa e Severino, perché senza i loro sacrifici e il loro sostegno non avrei potuto realizzare nulla di quello che ho ottenuto. Grazie per avermi trasmesso i valori dell'impegno, della correttezza e dell'onestà intellettuale che mi hanno permesso di non "cedere" mai, anche quando la tentazione era molto forte. Ringrazio mia madre per avermi sempre ricordato quanto sia importante l'onestà, soprattutto verso sé stessi. Quanto sia molto più gratificante ottenere i risultati con i propri sacrifici, piuttosto che con le scorciatoie. Ringrazio mio padre Severino, uomo di non molte parole, che ha fatto parlare al posto suo il suo esempio di lavoratore instancabile. Spero di averli resi orgogliosi.

Per ultimi, ma non certo per importanza, ringrazio i miei amici, o meglio, la mia seconda famiglia. Grazie Francesca, Lucrezia e Alessandra, amiche ormai più che decennali, per esserci sempre state, dall'asilo fino alla laurea. Parte della persona che sono oggi lo devo anche a loro. E grazie alle mie coinquiline Alice e Patrizia. Quest'ultima in particolare ha



vissuto con me tutta questa lunga esperienza universitaria. Abbiamo condiviso non solo una casa, ma una parte di vita. E le ringrazio per averla resa molto più divertente.

Grazie,

Francesca