



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"

Facoltà di Medicina e Chirurgia

Dipartimento di Scienze Odontostomatologiche e Maxillo-Facciali

Corso di Dottorato in Scienze Odontostomatologiche

XIX Ciclo

Coordinatore: Prof. Sandro Rengo

**FORZA DI ADESIONE ALL'INTERFACCIA TRA SMALTO DECIDUO E
RESINE COMPOSITE: MICROTENSILE TEST**

Coordinatore

Ch.mo Prof. Sandro Rengo

Candidato

Dott.ssa Simona Russo

Anno Accademico 2005-2006

INDICE

Introduzione	pag. 3
L'adesione in Odontoiatria Restaurativa	pag. 5
Gli adesivi smalto-dentinali	pag. 10
Insuccesso ed affidabilità del legame adesivo	pag. 13
Studio sperimentale sullo smalto deciduo	pag. 16
Bibliografia	pag. 27

INTRODUZIONE

Il concetto di adesione in Odontoiatria è stato introdotto nei primi anni 50: uno dei pionieri fu Hagger che propose l'utilizzo di un nuovo prodotto, il Servitron Cavit seal, per far aderire una resina acrilica (Sevitron) alla struttura dentale. Si trattò di un'invenzione innovativa per quei tempi, in quanto fu il primo esempio di adesione chimica al dente. Nel 1995 Buonocore effettuò per la prima volta la mordenzatura dello smalto con acido ortofosforico all'85% per 30 secondi, dimostrando come questo procedimento incrementasse in maniera significativa la superficie esposta all'adesivo (Buonocore, 1995). I lavori compiuti da Hagger e Buonocore furono innovativi, ma rimasero in ombra per alcuni anni, fino a quando nel '61 il concetto di adesione prese campo grazie al lavoro di Philips (Philips and Ryge, 1961). I materiali utilizzati fino a questo momento in Odontoiatria Restaurativa contenevano metilmetacrilato, avevano viscosità piuttosto elevata ed una significativa contrazione da polimerizzazione; in questi stessi anni si fa strada anche l'uso delle resine epossidiche. E' solo verso la fine degli anni '50 che si introducono le prime resine a bassa contrazione (P-Cadurit,1958 e bis-GMA,1959) (Mc Lean,1961) (Soderholm and Mariotti,1999): i loro vantaggi erano rappresentati dalla bassa viscosità e dall'alto peso molecolare, uniti ad un buon grado di resistenza. L'invenzione delle resine fotopolimerizzabili rappresentò un altro importante traguardo per l'evoluzione del concetto di adesione (Dart and Nemcock,1971). Il principale ostacolo da superare rimaneva l'acqua, per l'effetto provocato sul legame adesivo. I sistemi adesivi moderni si sono evoluti dal concetto originale che prevedeva un incremento della

permeabilità dentinale ed un legame con lo smear-layer: Nakabayashi ha descritto dei monomeri contenenti molecole idrofiliche ed idrofobiche in grado di penetrare nella dentina mordenzata e di polimerizzare in situ (Nakabayashi et al,1991). Si veniva così a formare uno strato di transizione non costituito né da resina, né da sostanza dentale, ma da un insieme dei due e per questo detto ibrido. Lo scopo delle ricerche che sono state effettuate negli anni, è stato quello di raggiungere uno standard qualitativo ottimale per quanto concerne i materiali e le tecniche. Attualmente le resine composite vengono utilizzate per ogni tipo di restauro, in particolare per le III°,IV° e V° classi, ma il loro impiego per le I°e le II classi è sempre diffuso. Le due caratteristiche principali di questi materiali a base di resina sono, dal punto di vista clinico, la buona estetica e la capacità di ottenere un legame micromeccanico con i tessuti mineralizzati del dente. Altri vantaggi offerti dai compositi sono sicuramente la bassa conducibilità, la radiopacità,l'assenza di correnti galvaniche, la facile applicazione ed il costo relativamente basso se paragonato alla ceramica (Pearson et al,1980) (Shey and Oppenheim 1979).

La contrazione da polimerizzazione e la ridotta resistenza all'usura rimangono ancora oggi i limiti di questi materiali, anche se il commercio offre prodotti sempre più innovativi. Sono occorsi più di quaranta anni per raggiungere i livelli odierni in Odontoiatria Restaurativa e dunque gli studi compiuti da Buonocore si sono evoluti lentamente. Le conoscenze sul legame dei compositi allo smalto si sono diffuse piuttosto rapidamente, nonostante alcuni Clinici avessero mostrato scetticismo nei confronti della mordenzatura acida e delle sue implicazioni biologiche. Altrettanto non può dirsi per la dentina: gli esperimenti in laboratorio divennero più significativi solo quando cominciò a farsi strada il concetto di adesione alla dentina. I primi studi sulla struttura della dentina risalgono al 1917 (Hanazawa, 1917) e sono stati approfonditi nel corso degli anni soprattutto da un punto di vista istologico.

E' stato introdotto il concetto di strato ibrido,ma è stato Gwinnett a sottolinearne l'importanza nel legame dentina-sistema adesivo, un fenomeno che si realizzava

mediante la penetrazione della resina nei tubuli e nelle loro ramificazioni collaterali (Ferrari, 1995) (Perdigao,1995).

E' stato quindi stabilito, grazie all'avvento del microscopio a scansione, che il substrato ideale per il legame si ottiene con la demineralizzazione della dentina e con la penetrazione del monomero idrofilico nei tubuli dentinali per alcuni micron. E' sulla base di queste ricerche che si è diffuso e si sta ancora sviluppando il concetto di estetica in Odontoiatria Restaurativa, supportato dalla sempre crescente comparsa sul mercato di nuovi materiali e tecniche.

L'ADESIONE IN ODONTOIATRIA RESTAURATIVA

I materiali utilizzati nel restauro dentale non si legano sufficientemente alle strutture del dente producendo quel sigillo necessario ad impedire il fenomeno dell'infiltrazione. Quest'ultimo viene facilitato da vari fattori dipendenti dal materiale da otturazione scelto o dall'imperizia dell'operatore.

Fattori dipendenti dal materiale:

- cattivo adattamento del materiale alle strutture dentali;
- fenomeni di corrosione o di contrazione da polimerizzazione;
- variazioni dimensionali termiche;
- deformazioni elastiche;

Fattori legati all'operatore:

- cattivo isolamento del dente da restaurare;
- dimensioni e disegno della cavità non corrette;
- finitura dei margini inadeguata;

- tecnica di inserimento e condensazione errata (Negri et al, 1991).

Tutto ciò determina la formazione di una microfessura intorno ai restauri di ampiezza compresa tra 2 e 20 micron (Brannstrom,1984) : essa favorisce l'accumulo di placca, rappresentando la porta di ingresso per i batteri. La diffusione di questi nella polpa è considerata la principale causa di insulto (Bergenhaltz et al, 1982) ed è legata alla particolare struttura della dentina (sistema canalicolare anastomizzato) ed alla sua permeabilità; i tubuli dentinali sono attraversati da un cospicuo flusso di fluidi diretto verso l'esterno a causa della pressione presente nella camera pulpare. Nonostante questo, i batteri come lo Streptococcus Mutans riescono a raggiungere la polpa,movendosi in direzione opposta. L'organo pulpo-dentinale mette in atto dei meccanismi di difesa quali la riduzione della permeabilità o la produzione di dentina di reazione; risultano tuttavia insufficienti in presenza di una grave infezione batterica. Se i batteri e i prodotti del loro metabolismo sono considerati la causa di carie secondaria ed eventuale danno pulpare irreversibile,la tecnica di restaurazione completa deve soddisfare due importanti requisiti:

- rimozione completa dello smear layer
- esecuzione di un'otturazione il più possibile ermetica

E'in quest'ottica che si inserisce il concetto di adesione che l'American Society for Testing and Materials definì, nel 1964, come lo stato per cui due superfici sono tenute assieme da forze interfacciali:

- forze chimico-fisiche di attrazione molecolare (legami ionici,covalenti,idrogeno,forze di Van de Walls)
- forze meccaniche.

Il requisito più importante per una corretta adesione è che le due superfici solide aderenti siano in intimo contatto tra loro; per ottenere questo risultato si ricorre all'utilizzo di un materiale liquido o semiliquido denominato adesivo. Il contatto tra i substrati è influenzato da due importanti aspetti quali la morfologia del substrato e la sua bagnabilità.Un metodo per superare queste difficoltà è quello di utilizzare fluidi

che riempiano le irregolarità e provvedano al contatto su gran parte della superficie del solido. L'adesivo è in grado di penetrare prontamente nelle imperfezioni microscopiche o submicroscopiche presenti sulla superficie interessata. Per soddisfare questo requisito deve trattarsi di un materiale allo stato liquido, dotato di bassa tensione superficiale in modo da "bagnare" il substrato, distribuendosi in un film sottile. Questa caratteristica viene definita "*bagnabilità*" è influenzata da un certo numero di fattori quali:

- 1) l'elevata tensione superficiale dell'adesivo
- 2) la bassa viscosità dell'adesivo
- 3) l'angolo di contatto

Se la tensione superficiale del liquido è alta, si avrà una buona bagnabilità; quest'ultima però dipende anche dall'energia libera di superficie delle strutture dentali (smalto e dentina) la quale, a sua volta, è direttamente proporzionale al grado di mineralizzazione ed inversamente proporzionale al contenuto di materiale organico.

Ne deriva che l'adesione allo smalto è ottenuta più facilmente rispetto alla dentina (Bouquet, 1984). Inoltre il liquido adesivo deve solidificare ed avere una sufficiente deformabilità per ridurre la formazione di tensioni elastiche. E' possibile prevedere fino a che punto l'adesivo sarà in grado di bagnare le superfici della sostanza aderente, misurando l'angolo di contatto tra adesivo ed aderente. Questo angolo è formato dall'adesivo con l'interfaccia dell'aderente. Se le molecole dell'adesivo sono attratte da quelle dell'aderente più di quanto non lo siano tra di loro, l'adesivo liquido si diffonderà completamente sulla superficie del solido. Poiché la tendenza del liquido a diffondersi aumenta con la diminuzione dell'angolo di contatto, se ne deduce che, più questo si avvicina al valore 0, maggiore sarà la bagnabilità dell'adesivo. Alcuni concetti basilari del meccanismo adesivo possono essere facilmente riscontrabili in Odontoiatria, dove il più comune meccanismo di legame

alla struttura del dente è rappresentato dalla ritenzione micromeccanica. L'Odontoiatra ha il compito di creare le condizioni ottimali per l'applicazione dell'adesivo: la pulizia della superficie aderente dall'eccesso di acqua è fondamentale, poiché questa riduce l'energia libera di superficie del substrato, alterandone la bagnabilità. La fase inorganica del dente ha un'elevata affinità per l'acqua e, per rimuoverla completamente, si dovrebbero trattare smalto e dentina a temperature troppo elevate per il cavo orale. Si deve quindi preventivare la presenza di almeno un monostato di acqua sulla superficie della cavità preparata: l'adesivo deve rimuoverla, reagire con essa o bagnare il substrato meglio dell'acqua già presente; inoltre deve mantenere tale adesione in un ambiente costantemente umido. Un altro importante aspetto è il ruolo svolto dal fango dentinale sulla possibilità di ottenere un valido legame adesivo. Il fango dentinale o smear layer viene definito come "uno strato amorfo di detriti organici ed inorganici che si forma ogni volta che si interviene sui tessuti duri del dente con strumenti rotanti o manuali (Eich et al 1991). Lo spessore del fango dentinale è di 0,5-15 micron e varia in base allo strumento utilizzato, alla pressione applicata (Negri et al, 1991) ; è composto in prevalenza da dentina polverizzata. Le particelle di cui è formato aderiscono alla superficie dentinale in maniera così tenace da non poter essere eliminate con il semplice getto d'acqua. Questo materiale occlude normalmente anche l'imbocco dei tubuli dentinali senza offrire un valido sigillo. Un si pensava che lo smear layer da barriera per proteggere la polpa da stimoli nocivi, ma in realtà la sua presenza rappresenta un impedimento alla realizzazione delle condizioni basilari per la formazione di buon legame adesivo, per non parlare poi del suo contenuto batterico ed il conseguente rischio di carie secondaria. Quindi l'orientamento attuale è quello di rimuovere nella maniera più completa possibile lo smear layer dalle superfici strumentate con l'ausilio di vari tipi di agenti (acidi organici, EDTA etc.). L'uso di questi prodotti unisce alla rimozione del fango dentinale la demineralizzazione della dentina con esposizione delle fibre collagene; il risultato è variabile in base alla

concentrazione e al tempo di esposizione (Okamoto et al. 1991). Infatti sono stati condotti molti studi con vari tipi di acidi e tempi di mordenzatura. (Benderli e Yucel) (Farag et al 1996) (Ayad et al, 1989). Test di laboratorio e valutazioni cliniche a lungo termine hanno dimostrato che gli acidi deboli ed inorganici non sono in grado di determinare una mordenzatura dello smalto sovrapponibile a quella dell'acido ortofosforico (Van Meerbeek et al, 1996 b). Dunque lo sviluppo dell'adesione è influenzato dalla preparazione adesiva dei tessuti duri del dente allo scopo di ottenere una superficie pulita, la mordenzatura acida è sicuramente un passo fondamentale per ottenere una valida interfaccia resina-substrato. Questo processo porta all'eliminazione dei detriti che ricoprono i denti, liberando i siti attivi dell'idrossiapatite (smalto) e del collagene (dentina). Lo smalto è un substrato sicuramente più omogeneo della dentina: è formato da idrossiapatite, acqua (4%) e collagene (1%). La componente inorganica varia dall'86% al 98% in peso a seconda del grado di maturazione dello smalto ed è concentrata nei cristalli dei prismi dello smalto. Il pretrattamento, attuato con soluzioni di acidi organici, comporta:

- dissoluzione selettiva di alcune componenti (mordenzatura);
- formazione di numerose porosità e sottosquadri (Garberoglio et al, 1975),
- aumento della superficie di legame e bagnabilità.

L'acido infatti dissolve la porzione organica facendo aumentare l'energia libera di superficie e facilitando la diffusione della resina fluida nelle microporosità. Con questo procedimento viene esposta la parte centrale dei prismi per una profondità variabile da 10-20 micron. La resina penetra nelle anfrattuosità sotto forma di zaffi imbutiformi e, una volta indurita, ancora il composito allo smalto; quindi il meccanismo principale di legame allo smalto è di tipo meccanico. L'utilizzo dell'acido ortofosforico produce diversi modelli di mordenzatura a seconda dell'orientamento dei prismi. Prove effettuate in vitro hanno dimostrato che il legame tra il composito e lo smalto migliora quando i contorni della cavità sono bisellati, perchè vengono esposte le sezioni trasversali dei prismi (Munechika et al, 1984).

La qualità e l'angolazione del bisello giocano dunque un ruolo fondamentale nel pretrattamento dello smalto. La natura dello smalto e l'orientamento dei prismi variano da dente a dente in base all'età (denti decidui o permanenti), ma anche nelle diverse regioni di uno stesso dente (aree prismatiche o aprismatiche) (Carvalho et al, 2000); per questo motivo il fenomeno della mordenzatura è piuttosto composto (Kidd, 1985) e soprattutto risente dell'influenza negativa della saliva (Hendresen, 1985), del sangue o dell'incompleta rimozione dell'acido (Jain and Steward, 2000). Dopo la mordenzatura, della durata di 15-30 secondi, è fondamentale rimuovere completamente l'acido ed il fosfato di calcio ormai dissolto con getto d'acqua per 10-20 secondi; si procede poi con l'asciugatura della superficie avendo cura di non contaminarla nuovamente. Quindi, per sfruttare al massimo le possibilità di adesione, è utile isolare il campo operatorio con la diga. La forza del legame tra resina e smalto è data dall'area trasversale totale degli zaffi resinosi; una volta indurita, la resina "ingloba" i cristalli di apatite incrementando la resistenza dello smalto mordenzato agli insulti (es. carie). Se il composito viene applicato direttamente sullo smalto, si formano inevitabilmente delle bolle d'aria a livello dell'interfaccia. Se il composito è molto viscoso, è difficile ottenere clinicamente un intimo contatto tra le superfici: per questa ragione si impiega una resina intermedia (bonding) a bassa viscosità che aumenta la forza di legame del composito allo smalto. Il bonding "incapsula" i prismi dello smalto e penetra all'interno di essi formando un valido ancoraggio. Nonostante gli indiscutibili progressi individuabili prevalentemente dal punto di vista chimico-fisico nei processi di adesione, determinati dai prodotti, non può essere ancora assicurata una totale predittività del legame adesivo alla dentina a causa delle infinite variabili in gioco nella realtà clinica. Una delle difficoltà incontrate derivano dalla struttura di questo tessuto e di proprietà decisamente più complesse di quelle dello smalto.

GLI ADESIVI SMALTO DENTINALI

Negli anni '80 l'obiettivo dei Ricercatori è stato quello di sintetizzare sistemi adesivi in grado di creare con la dentina un legame prevalentemente chimico o meglio un legame basato sulle forze di attrazione molecolare con i costituenti organici e/o smear-layer. Queste sostanze vengono classificate come adesivi di I, II e III generazione (Mason et al, 1994). Attualmente è stato chiarito che la conservazione del fango dentinale causa degli inconvenienti, poichè si ha la creazione di un legame di incerto valore. La rimozione parziale o totale dello smear-layer espone la superficie dentinale, consentendo l'interazione del collagene e del calcio con i gruppi funzionali dell'adesivo. Nonostante ciò, l'estrema variabilità della superficie dentinale ha sempre reso imprevedibile la reale entità del legame chimico adesivo-dentina. A questo va aggiunto il fatto che i legami a valenza secondaria sono suscettibili di degradazione idrolitica nell'umidità dell'ambiente orale. Ecco perchè questi sistemi adesivi funzionano bene in vitro, ma non hanno la stessa efficacia in vivo. Negli anni '90 sono stati introdotti gli adesivi di IV generazione, che prevedono il simultaneo condizionamento di smalto e dentina con un'unica soluzione a base di acidi organici ed inorganici (total etch technique) (Suh 1991). L'approccio al substrato dentinale è cambiato radicalmente, infatti l'adesione avviene in prevalenza per un'interazione meccanico-fisica, definita legame **micromeccanico**, attraverso la formazione dello strato ibrido. Quest'ultimo può essere definito come la zona di transizione tra restauro e tessuti dentali: esso è costituito da resina e smalto e dentina demineralizzati. Fusayama aveva proposto la mordenzatura della dentina con l'acido ortofosforico, analogamente a quanto avveniva per lo smalto, ma i tempi non erano maturi per proporre un "aggressione" di questo tipo al substrato dentinale; la mordenzatura della dentina era considerata allora una procedura troppo rischiosa per l'organo pulpo-dentinale (1979). In quest'ultimi anni invece si è assistito ad una revisione riguardo la possibilità di condizionare la superficie dentinale con una soluzione acida per ottenere un miglior legame dente-resina. Le resine adesive in grado di formare lo strato ibrido sono state descritte da Nakabayashi e Tokarada

come monomeri anfiliici, contenenti cioè gruppi idrofilici ed idrofobici (1992). Esse devono possedere gli stessi valori di polarità e solubilità che assume la dentina mordenzata, in modo da facilitare la penetrazione della resina. I sistemi adesivi sono in continua evoluzione, allo scopo di semplificare il numero di step e di ridurre le variazioni indotte dalla tecnica utilizzata. Gran parte degli adesivi smalto-dentinali moderni sono composti da tre gruppi di sostanze basilari:

- Condizionatore smalto-dentinale;
- Primer, ovvero un promotore dell'adesione;
- Agente legante (bonding agent), definito resina fluida nella nomenclatura tradizionale. E' sostanzialmente un "fornitore" di gruppi di metacrilato che, penetrando nella zona dentinale già infiltrata dal primer, copolimerizza con la porzione idrofobica di quest'ultimo, per formare lo strato ibrido, e con il composito applicato in seguito.

Questi passaggi sono confermati diversamente nei vari prodotti del commercio.

Uno dei più vecchi sistemi adesivi, il **GLUMA** (Leverkusen, Germany) era composto da un prodotto per ogni step; successivamente si è cercato di semplificare la tecnica e ridurre il numero dei componenti. Ci sono dei sistemi adesivi che per semplificare la fase della mordenzatura è stata introdotta la "Total Etch Technique" che prevede il simultaneo condizionamento di smalto e dentina, modificando il tempo di applicazione dell'acido. Dopo la mordenzatura, si utilizzano il primer ed il bonding sulla dentina. I sistemi adesivi di tipo "Multistep" sono costituiti da due componenti separate, ma per semplificare la tecnica, le funzioni del primer e del bonding sono state combinate in un unico prodotto (sistemi adesivi "One Bottle"). Alcune Case produttrici consigliano di applicare la soluzione in due strati, fotopolimerizzandoli separatamente, altre in un'unica applicazione, semplificando ulteriormente la tecnica. Un approccio completamente diverso è quello offerto dai "Self-etching", costituiti da primers acidi attivi sullo smalto e dentina. Il grado di mordenzatura dello smalto

differisce da quello ottenuto con l'acido ortofosforico, anche se sembra essere abbastanza efficace nel resistere agli stress iniziali conseguenti alla contrazione da polimerizzazione. La qualità di questi prodotti è stata valutata in numerosi studi: la combinazione dei sistemi adesivi "Mutistep" e della "Total Etch Technique" offre validi risultati per quanto riguarda la forza di legame e l'adattamento marginale.

Altrettanto non può dirsi per i sistemi "One-Step" (Bouillanguet et al, 2001a). Il modo più utilizzato per valutare l'efficacia dei sistemi adesivi consiste nel prendere in esame i restauri di V classe (J.De Munck et al, 2005). I vantaggi di questo tipo di indagine dipendono dal fatto di avere una contemporanea localizzazione dei margini a livello di smalto, dentina o cemento; nel momento in cui il composito subisce la contrazione da polimerizzazione, si realizza una "competizione" tra il bordo ancorato allo smalto e quello ancorato apicalmente al cemento con la tendenza al fallimento di quest'ultimo, essendo più debole.

INSUCCESSO ED AFFIDABILITA' DEL LEGAME ADESIVO

Numerosi fattori critici sono correlati allo sviluppo dell'adesione (oltre alle ovvie potenzialità intrinseche dei vari sistemi adesivi) e possono contribuire al successo o al fallimento del restauro. Solitamente il punto debole della connessione dente-restauro è l'interfaccia tra resina adesiva e superficie dentale: i legami che il primer contrae con le componenti organiche ed inorganiche della superficie dentale, attraverso la sua estremità idrofila, non sono molto forti e stabili nel tempo a differenza dell'unione primer-bonding (copolimerizzazione) e bonding-composito (omopolimerizzazione).

Una ricerca condotta da Tam e Pillar sulle modalità di cedimento *in vitro* del legame adesivo, formato da tre diversi prodotti del commercio, ha evidenziato delle sedi preferenziali di fallimento:

- nello smear- layer;

- tra strato ibrido e composito;
- nel contesto dello strato ibrido infiltrato dalla resina;
- nella zona dentale non infiltrata dalla resina;

Questo studio conferma l'estrema variabilità di comportamento del legame adesivo (1994). Probabilmente il parametro più importante ai fini della ritenzione del composito allo strato ibrido è l'area della sezione degli spazi infiltrati di resina. Il grado di penetrazione della resina dipende dalla demineralizzazione dei tessuti dentali. Per evitare di andare incontro ad un insuccesso è necessario in primo luogo svolgere correttamente tutte le procedure cliniche, prima fra tutte la preparazione cavitaria. Quest'ultima deve essere eseguita al fine di ottenere un disegno vantaggioso: infatti più la cavità è complessa, più le tensioni sviluppate dalla contrazione da polimerizzazione entrano in competizione e tendono a rompere il legame adesivo (Armstrong et al, 2001) (Choi et al, 2000). Poiché la contrazione da polimerizzazione è un fenomeno insopprimibile, sarà necessario adottare procedure che minimizzano il problema. A tal proposito Davidson e colleghi hanno introdotto la "tecnica incrementale", che consiste nell'applicazione e polimerizzazione del composito in piccoli strati successivi (1984). Alcuni anni più tardi Van Meerbeek e colleghi hanno dimostrato che le resine che possiedono un basso modulo elastico, sono in grado di compensare parzialmente gli stress da contrazione per mezzo di uno scorrimento interno; è dunque possibile applicare una resina di tipo flow tra il bonding ed il composito la quale, funzionando da "ammortizzatore", preservi il legame adesivo dal fallimento (1992 b). L'isolamento del campo operatorio non deve essere sottovalutato, perché un'eventuale contaminazione da materiali estranei altererebbe lo sviluppo delle delicate interconnessioni micromeccaniche. Ciò riguarda soprattutto la presenza di saliva sulla superficie dentale, che impedisce alle varie componenti dei sistemi adesivi di agire esprimendo le proprie caratteristiche di polarità, solubilità (Johnson et al, 1994) (El-

Kalla,1997) (Fritz et al, 1998) (Vargas et al, 1994).Infine è necessario rispettare i tempi e i modi di applicazione indicati dalle case produttrici per i singoli materiali.

I sistemi adesivi fotopolimerizzabili, ad esempio, possono determinare dei legami fallimentari qualora il tempo di esposizione alla lampada non fosse adeguato: infatti esiste una relazione tra il tempo di irradiazione e le proprietà meccaniche del legame adesivo in queste condizioni vengono compromesse (Finger et al, 1994).L'efficacia clinica degli adesivi smalto-dentinali è minore nei restauri delle lesioni cervicali anche a causa dello stress occlusale.Queste zone infatti, sono soggette a sollecitazioni cicliche a bassa magnitudo (tipiche del sistema masticatorio) che provocano deformazioni elastiche delle pareti dentali e cedimenti per sopraggiunta fatica.Gli stress occlusali, oltre ad essere stati riconosciuti corresponsabili delle lesioni cuneiformi, provocano anche il fallimento dei restauri cervicali in composito.Il bruxismo è sicuramente il disturbo funzionale più sfavorevole in tal senso (Van Meerbeek et al, 1992b) (Carvalho et al, 1996 b).Rimane da stabilire quanto elevata deve essere la forza di legame per ottenere un successo dal punto di vista clinico.Sicuramente dovrà essere sufficientemente alta da resistere a vari tipi di stress, primo fra tutti la contrazione da polimerizzazione (Choi et al, 2000) oltre a quelli indotti sperimentalmente che riproducono la situazione orale.Il disegno cavitario gioca ancora una volta un ruolo di massima importanza: più la forma è complessa ,più la risposta agli stress delle varie parti sarà eterogenea.Vari studi hanno dimostrato che la forza di legame si riduce nel tempo, soprattutto nei restauri di V classe (Burrow et al, 1996) (Choi et al,2000).In altre ricerche, invece, è stata evidenziata una sorta di stabilità del legame adesivo.Ciò è da ricondursi al fatto che *in vitro* vengono utilizzati spesso denti di origine bovina, le cui caratteristiche sono diverse da quelli umani (la mordenzatura nei primi ha maggiore efficacia) e non è possibile riprodurre tutte le condizioni che entrano in gioco nel cavo orale (Braga et al, 2000) (Phrukkanon et al,2000).Gli studi effettuati *in vivo* su denti umani hanno dimostrato il deterioramento qualitativo del legame adesivo dovuto alla concomitanza di più fattori: debolezza intrinseca dello strato ibrido formatosi in parte sullo smear-layer,deterioramento

qualitativo della resina (Davidson,1996).Da un punto di vista clinico, se il fallimento si realizza tra composito ed adesivo, strato ibrido ed adesivo o nell'ambito dello strato ibrido, non si hanno particolari conseguenze; se invece la frattura si verifica tra strato ibrido e tessuto dentale, c'è il rischio di incorrere in fenomeni di demineralizzazione, infiltrazione batterica, irritazione pulpare ed ipersensibilità dentinale. Le modalità di fallimento del sistema adesivo vengono studiate prevalentemente con due tipi di indagine: l'osservazione ultramicroscopica dei campioni fratturati ed i test di microinfiltrazione. L'utilizzo del nitrato d'argento come materiale di infiltrazione offre informazioni importanti soprattutto per sottolineare la presenza di fenomeni di microinfiltrazione (il colorante penetra all'interno di gap o difetti presenti nel restauro). Il restauro che non presenta microfessure può infiltrare: ciò è dovuto al fatto che lo strato ibrido non è perfettamente impermeabile al passaggio delle molecole. Sano e colleghi hanno coniato il termine "nanoinfiltrazione" per indicare questo particolare fenomeno che avviene alla base dello strato ibrido per la presenza di porosità (Li et al, 2000). L'importanza clinica della nanoinfiltrazione non è chiara: i difetti hanno dimensioni submicroscopiche e dunque troppo ridotte per permettere l'ingresso di batteri, ma sufficientemente grandi per permettere un passaggio del fluido orale con tutte le sue componenti (enzimi, ioni calcio e fosfato etc.).

INTRODUZIONE

L' introduzione in Odontoiatria restaurativa di materiali sempre più conservativi ed estetici ha avuto un significativo impulso quando nel 1955, Buonocore ha introdotto la rivoluzionaria idea di "legare" l'otturazione direttamente al tessuto dentario per mezzo di microritenzione, ottenuta dal pretrattamento dello smalto con un acido debole; questo consentiva per la prima volta il disegno di cavità effettivamente conservative, riducendo in maniera drastica il sacrificio di tessuto sano. Si passava, quindi, dalle preparazioni cavitare secondo i principi di Black, prima tra tutte "l'estensione preventiva" al concetto Minimal Intervention. Inoltre, questi materiali presentano caratteristiche fisico-chimico, tali da rendere possibile l'imitazione del colore, dell'aspetto superficiale e della traslucenza dei denti naturali e quindi possono essere definiti "estetici" in contrapposizione ai precedenti materiali restaurativi (amalgama, lega aurea). Il progredire delle ricerche ha portato alla formulazione di sistemi adesivi dalle proprietà fisiche e meccaniche sempre più affini a quelle del dente e con procedure di applicazione ulteriormente semplificate. Quest'ultima caratteristica risulta importante quando si lavora con giovani pazienti e poco collaboranti. Uno dei più vecchi sistemi adesivi, il GLUMA era composto da un prodotto per ogni step; successivamente si è cercato di ridurre il numero dei componenti, introducendo:

Self-etch Primers prevedono l'utilizzo del mordenzante e primer in un'unica soluzione, invece i One Bottle prevedono l'utilizzo del primer e del bond in unica soluzione, preceduta dalla mordenzatura del substrato con acido ortofosforico. Lo scopo del nostro studio è quello di valutare sia al SEM che al Microtensile, le capacità adesive del One Bottle Prime&Bond XP sullo smalto di denti decidui con o senza precedente mordenzatura.

MATERIALI E METODI

Sono stati estratti, dopo aver ottenuto il consenso informato, 20 molari decidui per motivi ortodontici. I denti erano sani, quindi privi di carie e restauri. Ogni dente è stato assegnato random a uno dei due gruppi. Sono stati conservati per un mese in una soluzione salina a 37°C (NaCl 0.9%). Sulla superficie vestibolare di ogni dente è stata creata con carta abrasiva bagnata a granulometria progressivamente decrescente (600-180 µ) una superficie di smalto piatta. La superficie smaltea viene preparata per il One Bottle Prime&Bond XP in modo differente a seconda del gruppo a cui appartiene.

Preparazione dei campioni

GRUPPO 1 - La superficie smaltea viene mordenzata con acido ortofosforico al 36% per 20 sec e successivamente lavata con acqua per 15-20 sec, asciugata in modo tale da lasciarla umida come affermato da Kanca (1992) per 1-2 sec con la siringa ad aria ad una distanza di 2 cm. Viene applicato l'adesivo Prime&Bond XP e lasciato sulla superficie per 20 sec, successivamente si soffia con la siringa ad aria e si polimerizza per 20 sec. Dopo la procedura adesiva viene applicato uno spessore di composito di 5 mm con tecnica incrementale, ognuno polimerizzato per 40 sec.

GRUPPO 2 - Su ogni dente viene applicato direttamente l'adesivo Prime&Bond XP senza mordenzare la superficie smaltea e si ripete la stessa procedura effettuata per il Gruppo 1.

Tutti i molaretti vengono conservati in una soluzione salina a 37°C per 24 h (NaCl 0.9%), ciascuno viene tagliato con una lama diamantata, ottenendo una serie di stick da 1 mm x 1 mm . Quest' ultimi vengono incollati con cianoacrilato in gel su dei

supporti in alluminio in modo tale che l'interfaccia adesiva si trovi in corrispondenza della fessura del supporto in alluminio. Quest'ultimo viene montato sul Bencor della macchina da carico. Viene applicato un carico di 0,5 mm/ min fino ad ottenere la frattura degli stick. La frattura viene osservata al microscopio ottico ad un ingrandimento di 200X per stabilire se essa è avvenuta all'interfaccia oppure coesivamente nello strato di composito o nel substrato dentale.

RISULTATI

Nel Gruppo 1 (campioni mordenzati) sono stati testati 11 molaretti ,di cui solo 2 presentano tutte fratture premature; nel Gruppo 2 sono stati testati 13 molaretti (campioni non mordenzati) dei quali 5 presentano tutte fratture premature. Dei 9 campioni mordenzati : 2 hanno prodotto ciascuno 3 stick con un totale di 3 fratture sia coesive che premature; 3 hanno prodotto ciascuno 4 stick con 6 fratture adesive,2 coesive e 4 premature; 2 hanno prodotto ciascuno 5 stick con un totale di 5 fratture adesive, 1 coesiva e 4 premature; un solo campione ha prodotto 6 stick con 3 fratture adesive, 2 coesive ed 1 prematura ed infine un campione con 7 stick per un totale di 3 fratture adesive, 2 coesive e 2 premature. Per quanto riguarda gli 8 campioni non mordenzati : 4 hanno prodotto ciascuno 3 stick per un totale di 3 fratture adesive, 1 coesiva e 9 premature; 3 hanno prodotto ciascuno 4 stick per un totale di 2 fratture adesive,2 coesive e 8 premature; un solo campione ha prodotto 6 stick presentando 3 fratture adesive, 1 coesiva e 2 premature.

Analisi SEM - Due sticks di ciascun gruppo non sono stati sottoposti al testo meccanico di microtensile al fine di osservare le caratteristiche dello strato adesivo. L'analisi dei campioni al microscopio elettronico a scansione (SEM) a basso ingrandimento (37X) ha messo in evidenza una valida interfaccia adesiva nel gruppo sottoposto a mordenzatura (Figura 1).

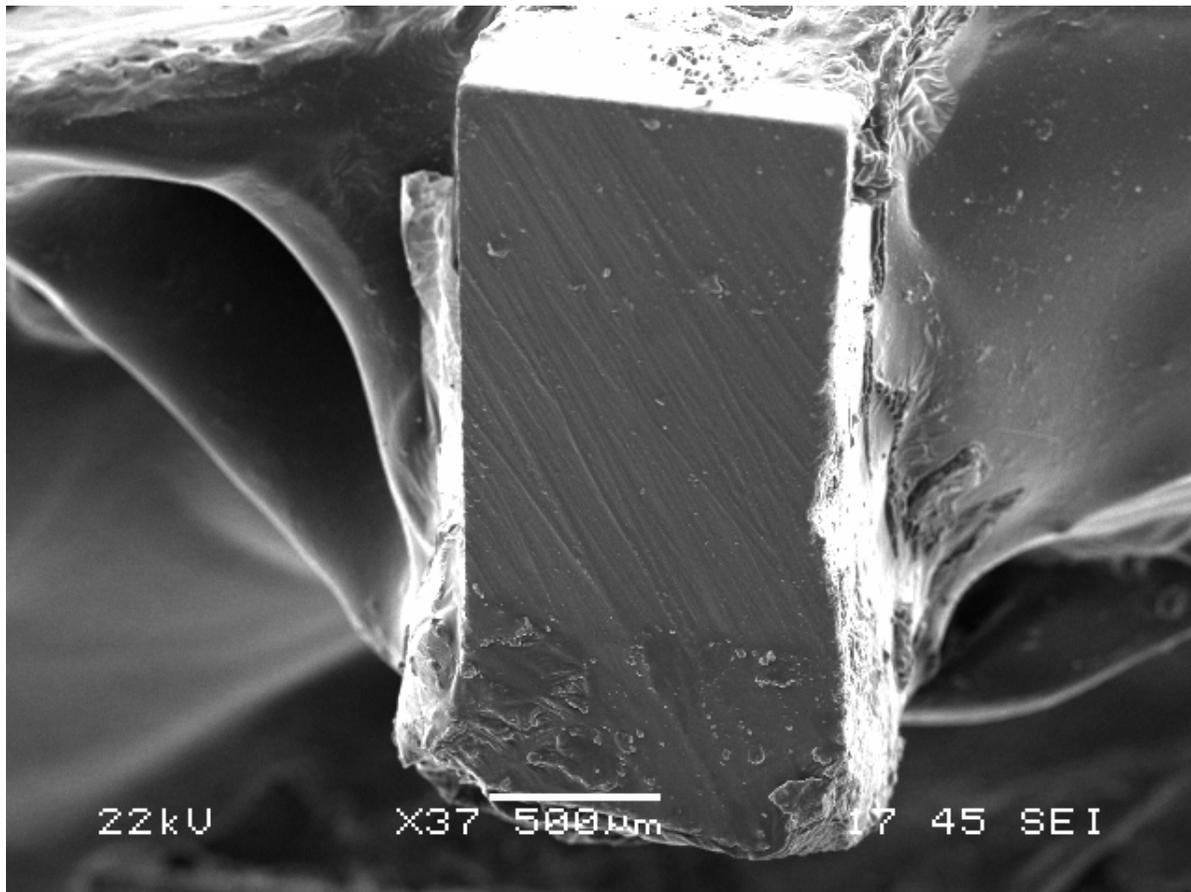


Figura 1 – Stick del Gruppo 1 (mordenzato) non sottoposto a microtensile.

Ad elevato ingrandimento (1000X), i campioni non mordenzati presentano uno scarso condizionamento della porzione mineralizzata dello smalto deciduo ed una conseguente scarsa ritenzione micromeccanica degli incrementi di composito (Figura 2). Al contempo, lo strato ibrido appare quasi del tutto assente, lasciando supporre valori di adesione piuttosto limitati (Figura 2).

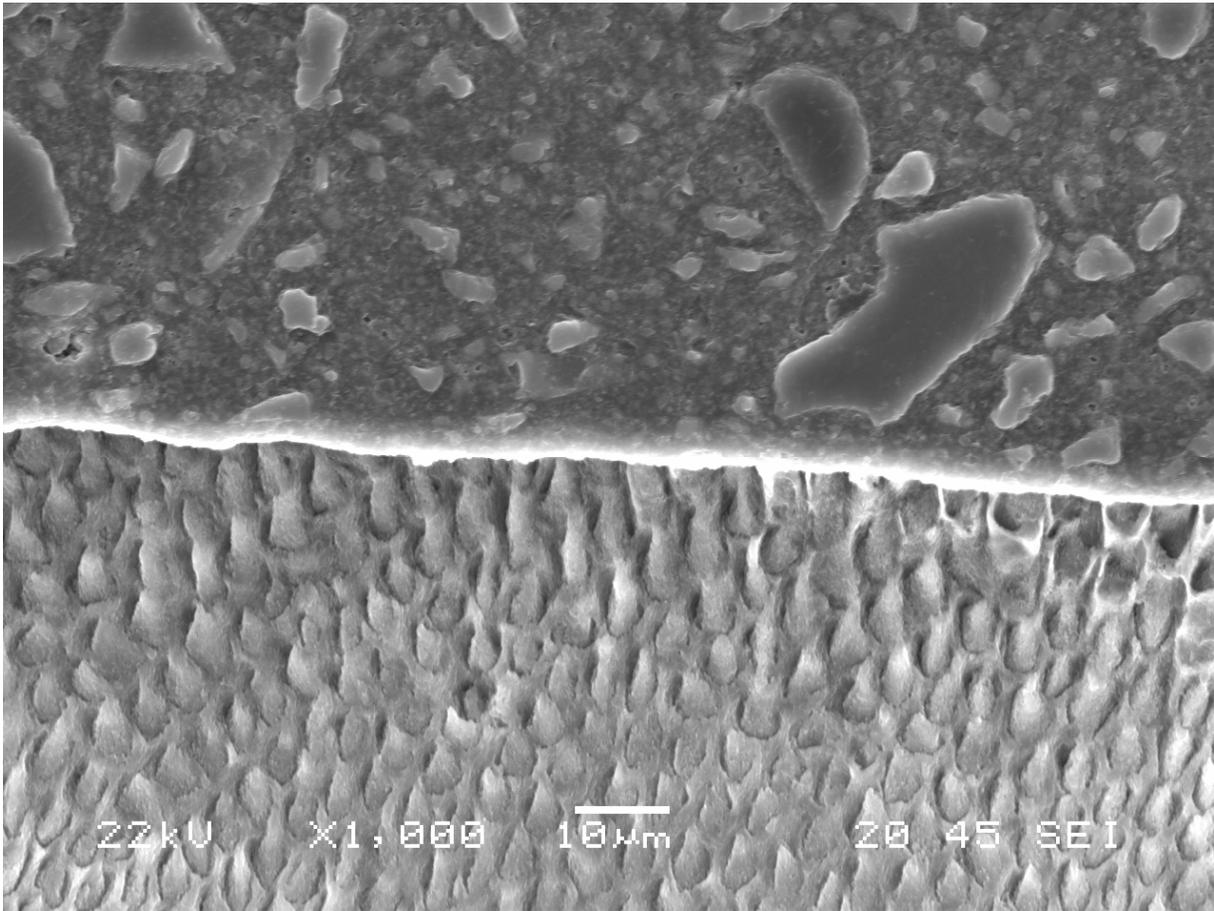


Figura 2 – Interfaccia adesiva di un campione del Gruppo 2 (non mordenzato).

Al medesimo ingrandimento (1000X), al contrario, i campioni del gruppo mordenzato mostrano una più spiccata demineralizzazione della superficie dello smalto deciduo ed uno strato ibrido ben rappresentato che non presenta soluzioni di continuo tra composito e tessuto dentario (Figura 3). Tale aspetto testimonia la formazione di ritenzioni micromeccaniche più evidenti rispetto al gruppo non mordenzato nonché una buona adesione chimica tra i materiali (Figura 3).

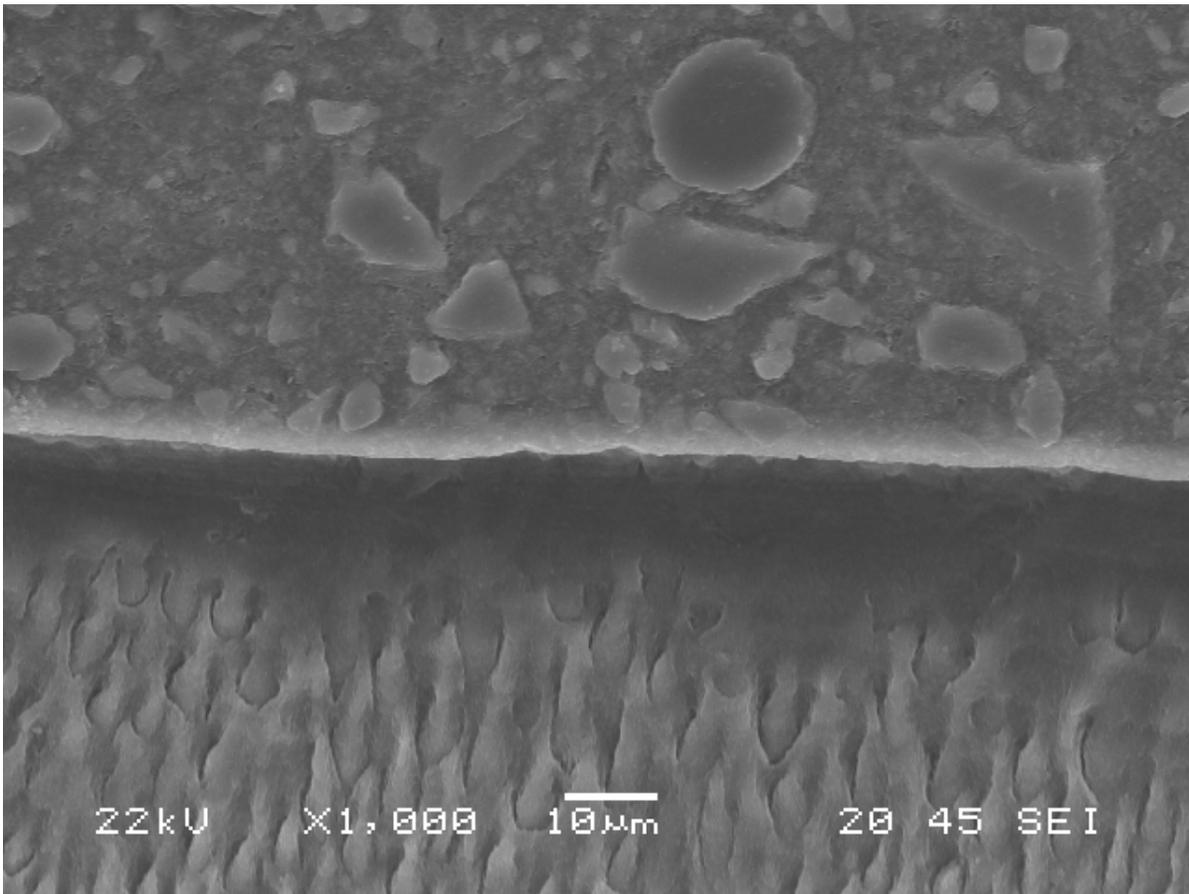


Figura 3 – Interfaccia adesiva di un campione del Gruppo 1 (mordenzato).

Analisi statistica - L'analisi statistica è stata effettuata con un software dedicato (SPSS 12.0), ponendo il valore $p=0.05$ come discriminante di significatività per tutte le analisi effettuate.

Un test preliminare di analisi della varianza (ANOVA) è stato effettuato al fine di valutare la possibile influenza della variabilità intraindividuale degli elementi dentari da cui sono stati ottenuti gli sticks per il test microtensile. Tale analisi ha fornito un valore di probabilità pari a $p>0.05$ ed ha permesso, quindi, di escludere l'influenza degli elementi dentari di partenza sulle successive analisi statistiche.

Il test di Kolmogorov-Smirnov è stato utilizzato per saggiare la normalità della distribuzione dei valori registrati durante i test meccanici ($p>0.05$).

Il t-test di Student, infine, ha evidenziato differenze statisticamente significative tra i campioni del gruppo mordenzato rispetto a quelli del gruppo non mordenzato ($p<0.05$).

Dall'analisi statistica, pertanto, si evince che la mordenzatura risulta essere un fattore di primaria importanza per il raggiungimento di valori di adesione all'interfaccia clinicamente soddisfacenti per il successo clinico dei restauri.

DISCUSSIONE

I campioni ottenuti dal gruppo sottoposto a mordenzatura hanno mostrato un valore di adesione medio pari a 24.51 MPa. La natura prevalentemente adesiva delle fratture riscontrate in tale gruppo può essere spiegata in funzione della natura scarsamente mineralizzata dello smalto deciduo, substrato non ideale per l'adesione delle resine composite.

I campioni ottenuti dal gruppo non mordenzato hanno mostrato un valore di adesione medio pari a 7.87 MPa, nettamente inferiore a quelli del gruppo mordenzato. Tale fenomeno si spiega considerando la scarsa capacità dell'adesivo di condizionare la superficie dello smalto deciduo e, conseguentemente, di creare ritenzioni

micromeccaniche a livello del substrato dentario. Inoltre, la mancata aggressione chimica a carico della componente mineralizzata dello smalto impedisce la formazione dello strato ibrido, limitando, di conseguenza, l'adesione chimica tra dente e restauro. Ciò spiega anche la natura prevalentemente adesiva delle fratture riscontrate nel gruppo non sottoposto a mordenzatura.

L'elevato numero di fratture premature riscontrate in entrambi i gruppi di studio (rispettivamente 14 e 19 nel gruppo mordenzato e non mordenzato) è stato causato dalle difficoltà tecniche di preparazione dei campioni. Tali difficoltà si sono riscontrate per le caratteristiche stesse degli elementi dentari presi in esame: la struttura dello smalto deciduo, aprismatico e particolarmente sottile, e la morfologia delle corone, arrotondate ed indebolite dal fisiologico processo di ritalisi preeruttiva.

L'applicazione del solo agente adesivo non si è rivelata sufficiente ad ottenere una valida adesione tra tessuto dentario e materiale composito. La scarsa mineralizzazione dello smalto deciduo richiede tempi di mordenzatura prolungati rispetto allo smalto permanente al fine di ottenere ritenzioni micromeccaniche valide per l'adesione dello strato ibrido derivante dalla combinazione del monomero resinoso del bonding con i prodotti della degradazione della componente mineralizzata dello smalto deciduo. Tale strato ibrido, inoltre, ha mostrato la capacità di aderire chimicamente sia al substrato dentario che al materiale da restauro.

CONCLUSIONI

Sia le immagini al SEM che i test con microtensile confermano la compromessa capacità adesiva del One Bottle Prime&Bond XP sui denti decidui non mordenzati rispetto a quelli mordenzati con acido ortofosforico. Esso può essere considerato un adesivo affidabile e maneggevole soprattutto quando si lavora con pazienti giovani e poco collaboranti, riducendo i tempi delle procedure cliniche.

CAMPIONE	STICK	X (mm)	Y (mm)	AREA (mm²)	MPa	FRATTURA	FRATTURE PREMATURE
1	1	1.20	0.85	1.02	13.93	Coesiva	1
	2	1.21	0.88	1.06	5.88	Coesiva	
2	1	0.93	0.59	0.55	41.6	Adesiva	2
	2	1.09	1.60	1.74	5.64	Adesiva	
3	1	1.09	0.99	1.08	7.52	Coesiva	2
	2	1.22	1.73	2.11	5.51	Adesiva	
	3	1.20	0.93	1.11	5.04	Adesiva	
4	1	0.98	1.01	0.99	7.55	Adesiva	2
	2	1.21	1.12	1.35	3.04	Adesiva	
	3	0.96	1.36	1.30	4.05	Adesiva	
5	1	1.06	1.94	2.06	6.66	Coesiva	2
6	1	1.64	1.58	2.59	10.96	Adesiva	1
	2	2.67	1.73	4.61	2.77	Coesiva	
	3	2.52	0.91	2.29	18.58	Coesiva	
	4	1.03	1.24	1.28	3.65	Coesiva	
	5	2.63	2.08	5.47	3.51	Adesiva	
7	1	1.58	1.73	2.73	8.37	Coesiva	2
	2	1.44	1.89	2.72	1.53	Adesiva	
	3	1.96	2.02	3.96	3.26	Adesiva	
	4	1.71	0.46	0.79	15.68	Adesiva	
	5	1.76	0.62	1.09	13.44	Coesiva	
8	1	2.09	2.37	4.95	3.35	Adesiva	1
	2	2.32	1.49	3.46	13.09	Adesiva	
	3	2.27	1.13	2.56	2.42	Adesiva	
9	1	1.57	2.42	3.80	2.98	Coesiva	1
	2	1.56	2.38	3.71	6.12	Coesiva	
	3	2.06	2.19	4.51	4.50	Adesiva	

Tabella 1 – Risultati test microtensile Gruppo 1 (mordenzati).

CAMPIONE	STICK	X (mm)	Y (mm)	AREA (mm²)	MPa	FRATTURA	FRATTURE PREMATURE
1	1	1.14	1.92	2.19	7.65	Adesiva	2
2	1	0.94	2.18	2.05	4.47	Adesiva	2
3	1	1.82	1.97	3.58	4.99	Coesiva	3
4	1	1.91	1.44	2.75	1.89	Coesiva	2
	2	1.90	1.34	2.55	7.58	Adesiva	
	3	2.11	2.72	5.74	2.80	Adesiva	
	4	1.86	2.41	4.48	2.53	Adesiva	
5	1	1.66	2.14	3.55	1.43	Adesiva	3
6	1	1.04	2.28	2.37	3.40	Adesiva	2
	2	1.29	2.43	3.13	11.16	Coesiva	
7	1	1.34	2.12	2.84	11.95	Adesiva	2
8	1	1.38	2.14	2.95	3.08	Coesiva	3

Tabella 2 – Risultati test microtensile Gruppo 2 (non mordenzati).

BIBLIOGRAFIA

Amstrong SR, Keller JC, Boyer DB. “*The influence of water storage and c-factor on the dentin-resin composite microtensile bond strength and debond pathway utilizing a filled and unfilled adhesive resin*”. Dent Mater 2001;17 (3):268-276.

Bergenholtz G, Cox FC, Loeshe WJ, Syed SA.” *Bacterial leakage around dental restoration: its effect on the dental pulp*”. J Oral Path 1982;11:439-450.

Bouillanguet S, Ciucchi B, Jacoby T, Wataha JC, Pashley DH. “*Bonding characteristics to dentin walls of class II cavities, in vitro*”. Dent Mater 2001 b; 17 (4): 316-321.

Bouquet J. “*Adhésion à l’email et à la dentine*”. Actualites Odonto-Stomatologiques 1984; 147:435.

Braga RR, Ballester RY, Daronch M. “*Influence of time and adhesive systems on the estrusion shear strength between feldspathic porcelain and bovine dentin*”. Dent Mater 2000; 16 (4): 303-310.

Brännstrom M, Nordenvall KJ.”*The effect of acid etching on enamel, dentin and the inner surface of resin restoration*”. J Dent Res 1997;56:917-920.

Buonocore MG.” *A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surface*”. J Dent Res 1995;34: 849-853.

Carvalho RM, Santiago SL, Fernandes CA, Suh BI, Pashley DH.”*Effects of prism orientation on tensile strength of enamel*”. J Am Dent Assoc 2000;2(4):251-257.

Choi KK, Condon JR, Ferracane JL.” *The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite*”. J Dent Res 2000;79(3):812-817.

Davidson CL.”*Principles of adhesion*”. In: Dondi dall’Orologio G, Fuzzi M, Prati C (eds). Adhesion in Restorative Dentistry. Forlì, Italy: Tipolitografia Valbonesi, 1996:1-4

Dart EC, Nemcock J. “*Photopolymerisable composition having as a catalyst alpha-diketone and reducing agent, e.g. DMAEM*”. British patent 408,265 1971

De Munch J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M, Van Meebeek B. “A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: Methods and Results”. *J Dent Res* 2005 84(2):118-132.

Eich JD, Chappel RP, Cobb CM, Spencer P, Robinson SI. “The dentinal surface :its influence on dentinal adhesion” *Part III. Quintessence Int* 1991 ;967-977.

El-Kalla IH, Garcia Godoy F. “ Saliva contamination and bond strength of single-bottle adhesives to enamel and dentin”. *Am J Dent* 1997;10:83-87

Finger WJ, Inoue M, Asmussen E. “Effect of wettability of adhesive resins on bonding to dentin”. *Am J Dent* 1994; 7:35-38.

Garberoglio R, Castagnola L, Wirz J. “La Mordenzatura dello smalto in odontoiatria conservativa”. *Mondo Odontostom.* 1975;5.

Gotti G, Goracci C, Garcia-Godoy F, Ferrari M. “Evaluation of the bonding mechanism of an adhesive material to primary teeth”. *J of Dent Child* 2004; 71:1, 54-60.

Jain P, Stewart GP. “ Effect of dentin primer on shear bond strength of composite resin to moist and dry enamel”. *Oper Dent* 2000;25(1):51-58.

Li H, Burrow MF, Tyas MJ. “Nanoleakage of cervical restorations of four dentin bonding systems”. *J Adhes Dent* 2000; 2(1):57-65.

McLean JW. “Some physical properties of a new cross-linked plastic filling material”. *Br Dent* 1961;110:375-378.

Nakabayashi N, Nakamura M, Yasuda N. “Hybrid Layer as a dentin –bonding mechanism”. *J Esthet Dent* 1991;3:133-138.

Negri PL, Eramo S, Lotito M, De Pino C. “Il fango dentinale :caratteristiche ed interazioni”. *Dent Cadmos* 1991;3: 13-32; 4:13-38.

Papacchini F, Goracci C, Sadek Tranchesi F, Monticelli F, Garcia-Godoy F, Ferrari M. “Microtensile bond strength to ground enamel by glass-ionomers, resin-modified glass-ionomers, and resin composites used as pit and fissure sealants”. *J of Dent* 2005; 33,459-467.

Pearson GJ, Wills DJ, Braden M, McCabe JF. *“The relationship between the thermal properties of composite filling materials”*. J Dent 1980; 8: 178-181.

Perdigao J. *“An ultra-morphological study of human dentine exposed to adhesive systems” (Thesis)*. Leuven: Van der Poorten, 1995.

Phillips RW, Ryge G (eds). *“Workshop on Adhesive restorative Dental Materials”*. US Public Health Service, 1961.

Phrukkanon S, Burrow MF, Hartely PG, Tyas MJ. *“The influence of the modification of etched bovine dentin on bond strength”*. Dent Mater 2000; 16(4):255-265.

Van Meerbeek B, Conn LJ, Duke ES, Eick JD, Robinson SJ, Guerriero D. *“correlative transmission electron microscopy examination of nondemineralized resin-dentin interfaces formed by two dentin adhesive systems”*. J Dent 1994, 22:141-146.