

* Paolo Cascone
* Alessandra Valletta
* Gabriella Montanaro
** Raffaella Aversa
** Davide Apicella
** Antonio Apicella
* Sandro Rengo

* Università degli Studi di Napoli
"Federico II"
Corso di Laurea in Odontoiatria
e Protesi Dentaria
Direttore: Prof. Giancarlo Valletta
Cattedra di Odontoiatria Conservatrice
Titolare: Prof. Sandro Rengo
** Dipartimento di Ingegneria dei Materiali
e Produzione
Direttore: Prof. Domenico Acierno

Corrispondenza:
Prof. Sandro Rengo - Dott. Paolo Cascone
Clinica Odontoiatrica
Via S. Pansini n. 5
80131 Napoli
Tel.: 0817462171 - Fax: 0817462385
E-mail: pacascone@libero.it;
sanrengo@unina.it

Influenza della modalità di polimerizzazione sul grado di conversione e sul ritiro di un cemento resinoso duale

The influence of the curing method on the degree of conversion and on the shrinkage of a dual cure luting cement

RIASSUNTO

Obiettivo: lo scopo di questo studio è stato quello di valutare, attraverso caratterizzazione cinetica ed analisi estensimetrica, il grado di conversione ed il rilassamento dello stress da polimerizzazione di un cemento resinoso duale quando fotopolimerizzato e quando lasciato polimerizzare con la reazione autoattivata.

Materiali e metodi: il materiale testato nel nostro studio è il cemento composito duale Duo Link (Bisco). Il nostro studio consta di due parti: nella prima parte è stata valutata la cinetica di polimerizzazione ed il grado di conversione dei due cementi utilizzando il Calorimetro a Scansione Differenziale (DSC); nella seconda parte sono state studiate le proprietà visco-elastiche dei materiali (strain e stress) con l'utilizzo di particolari estensimetri.

Risultati: la cinetica della reazione fotoattivata del Duo Link è molto più rapida della cinetica della reazione autoattivata. Il grado di conversione del cemento Duo Link ottenuto con la fotopolimerizzazione è maggiore di quello ottenuto con la polimerizzazione autoattivata dello stesso cemento. Con la fotopolimerizzazione il valore del ritiro del cemento Duo link è tre volte superiore a quello ottenuto con la reazione autoattivata.

Conclusioni: la polimerizzazione autoattivata determina una cinetica di polimerizzazione più lenta ed un ritiro più graduale rispetto alla fotopolimerizzazione. Tali condizioni consentono al materiale di rilassare meglio lo stress dovuto alla contrazione da

polimerizzazione, che potrebbe determinare un fallimento dell'adesione alle strutture dentarie residue.

Parole chiave:

Polimerizzazione, compositi, cementi duali, grado di conversione, stress.

ABSTRACT

Aim: the aim of this study was to investigate the degree of conversion and the shrinkage stress of a dual cure luting cement when it is light cured and when it is only chemically cured.

Materials and methods: the tested material is the dual cure luting cement Duo Link (Bisco). It has been compared the fotopolymerization with the auto polymerization of the Duo Link. In the first part of the study has been determined the degree of conversion and the kinetic of the polymerization reaction using the Differential Scanning Calorimeter.

In the second part of the study the polymerization stress has been measured using the strain gauges method.

Results: the statistical analysis of the DSC measurements showed a significantly higher degree of conversion of the light cured samples. The degree of conversion was 90% with the photo polymerization and 75% with the auto polymerization. The speed of the reaction was also higher with the photo polymerization. The statistical analysis of the strain measurements showed a significantly higher strain max value with the photo

polymerization. The most of the strain with the photo polymerization occurs in the first 40 seconds, while with the auto polymerization the strain is evident after 6 minutes.

Conclusions: the result of our experimental measurements showed that the slower kinetic of the auto polymerization reaction let the material better absorb the polymerization shrinkage stress and it determines a lower conversion of the luting cement than the photo polymerization.

Key words:

Polymerization, composite, dual cure luting cement, degree of conversion, stress relaxation.

INTRODUZIONE

Gli elementi dentari trattati endodonticamente vanno incontro a modifiche strutturali che influiscono sfavorevolmente sulle modalità di distribuzione degli stress sulla dentina residua durante il carico masticatorio. Ed è infatti proprio la quantità di dentina residua l'elemento condizionante la solidità di una radice non vitale (1).

Allo scopo di aumentare la ritenzione dei restauri post-endodontici conservativi o protesici, e nella convinzione di incrementare la resistenza dei denti trattati endodonticamente, per decenni sono stati utilizzati perni prefabbricati in metallo o perni fusi.

Attualmente la ricerca ha dimostrato come la presenza di un collare adeguato di struttura dentaria rappresenti, in termini di ri-

tenzione della corona, un supporto più efficace, se confrontato con parametri quali la lunghezza o il diametro del perno (2, 3). Inoltre, è ampiamente documentata l'importanza della conservazione della struttura dentaria residua per aumentare la resistenza alla frattura dell'elemento dentario da restaurare (4).

In quest'ottica sono stati immessi sul mercato i perni in fibra, utilizzati in combinazione con materiali adesivi, che hanno quindi incontrato il favore del mercato ed impresso un impulso nuovo alla ricerca nel campo dell'odontoiatria restaurativa. Essi permettono ricostruzioni post-endodontiche che offrono maggiori garanzie di resistenza alla frattura, sia in virtù del modulo elastico, vicino a quello dei tessuti naturali del dente (5), sia per il notevole risparmio di struttura residua utile, correlato alla logica di progettazione del *post-space* (6).

Inevitabilmente, nell'utilizzo di questo tipo di perni, sono emerse le problematiche tipiche dell'odontoiatria adesiva quali la qualità dell'interfaccia adesiva, la presenza di vuoti nel contesto del cemento resinoso, lo spessore del cemento lungo il perno, il grado di conversione del cemento nelle zone più profonde della radice. La tecnica di cementazione dei perni in fibra sembra costituire, dunque, un momento critico nella resa clinica a lungo termine del restauro.

I cementi resinosi mostrano un comportamento meccanico migliore per la cementazione delle corone in termini di resistenza alle microfratture, con minori rischi di frattura della corona (7); inoltre, essi contribuiscono, unitamente ai materiali adesivi, ad ammortizzare gli stress generati durante la cementazione ed in fase di carico masticatorio (8).

L'introduzione sul mercato di perni in fibra cosiddetti "traslucenti" e di cementi resinosi duali ha spinto l'attenzione dei ricercatori sulle modalità di polimerizzazione del cemento all'interno del canale. Tale combinazione di materiali dovrebbe consentire un adeguato posizionamento del cemento nel canale, senza il rischio che la reazione di presa inizi troppo presto, e nello stesso tempo ridurre i tempi operativi in quanto l'utilizzo dei perni traslucenti consentirebbe la fotopolimerizzazione del cemento anche nelle zone più profonde del canale. Tali perni fungono, infatti, da fibra ottica, portando la luce anche all'interno della radice.

Attualmente poco si conosce dell'efficienza della polimerizzazione dei cementi resinosi attraverso i perni traslucenti, come del ruolo

che il grado di polimerizzazione potrebbe avere nelle qualità meccaniche del complesso dente trattato endodonticamente-restauro.

La grande varietà di prodotti disponibili per la cementazione di perni e la polimerizzazione dei materiali adesivi pone numerosi quesiti circa la reale universalità di utilizzo clinico, propagandata dalle case produttrici, l'efficacia effettiva della polimerizzazione di cementi, duali o auto-polimerizzanti, o il grado di conversione in relazione alle modalità e tipologie di lampada impiegate (9, 10, 11).

Obiettivo di questo studio è stato quello di stimare, attraverso caratterizzazione cinetica ed analisi estensimetrica, qualità e quantità di polimerizzazione di un cemento resinoso duale quando fotopolimerizzato e quando lasciato polimerizzare solo con attivazione chimica.

MATERIALI E METODI

Il materiale testato nel nostro studio è il cemento composito duale DuoLink (Bisco, Schounberg, IL, USA). È stato studiato il comportamento del materiale quando fotopolimerizzato e quando lasciato polimerizzare solo con attivazione chimica.

Il nostro studio consta di due parti: nella prima parte è stata valutata la cinetica di polimerizzazione ed il grado di conversione del cemento utilizzando il *Calorimetro a Scansione Differenziale* (DSC); nella seconda parte sono state studiate le proprietà visco-elastiche del materiale (*strain*) con l'utilizzo di particolari estensimetri.

La polimerizzazione ad attivazione chimica del Duo Link è stata ottenuta miscelando pasta base e catalizzatore in rapporto di 1:1. Le due paste sono state pesate separatamente prima di essere miscelate in modo da utilizzare esattamente la stessa quantità di pasta base e catalizzatore, in quanto, come indicato dal fabbricante, variazioni anche piccole della quantità di catalizzatore influenzano la velocità di presa del cemento.

La fotopolimerizzazione del Duo link è stata ottenuta irraggiando per 40 secondi a 600 mW/cm² (lampada alogena VIP-BISCO, Schounberg, IL, USA) il campione di cemento, dopo aver miscelato pasta base e catalizzatore in rapporto di 1:1 come illustrato in precedenza. Per controllare che la potenza della luce irradiante il campione fos-

se costante, è stata utilizzata la lampada VIP alla potenza di 600 mW/cm² ponendo il puntale della lampada a contatto del cemento; allontanando infatti il puntale dal campione, la potenza della luce diminuisce in maniera esponenziale.

In entrambi i casi (foto-attivata o chimicamente attivata), i campioni di cemento sono stati impastati su piastra fredda per impedire che la reazione si attivasse prima che i campioni di materiale fossero posizionati nella cella del DSC o sugli estensimetri.

VALUTAZIONE DEL GRADO DI CONVERSIONE E DELLA CINETICA DI POLIMERIZZAZIONE MEDIANTE CALORIMETRO A SCANSIONE DIFFERENZIALE (DSC)

Per valutare il grado di conversione del cemento composito da noi testato, nonché la sua cinetica di polimerizzazione, ci siamo avvalsi del calorimetro a scansione differenziale (*Differential Scanning Calorimeter*, DSC).

Il DSC, misura, rispetto ad un dato riferimento, il flusso di calore entrante o uscente dal materiale da analizzare. È necessario che il riferimento sia termicamente stabile nell'arco di temperature in cui si svolge l'analisi: in genere si utilizza una capsula vuota identica a quelle utilizzate per contenere il materiale di prova. Quando il campione subisce un cambiamento termico, come durante la reazione di polimerizzazione, sia essa autoattivata o fotoattivata, lo strumento aggiunge o sottrae una quantità di energia sufficiente a mantenere riferimento e campione alla stessa temperatura.

In una prima fase dello studio, abbiamo effettuato delle prove a temperatura costante di 30° C (isoterme): la reazione di polimerizzazione dei cementi è esotermica; il DSC misura dunque la quantità di calore sviluppato durante la reazione. Quando la reazione di polimerizzazione è solo chimicamente attivata il termogramma registrato dal DSC rappresenta il calore sviluppato durante la polimerizzazione del cemento (Fig. 1). Quando invece il materiale viene fotopolimerizzato, il calore registrato dal DSC è la somma del calore dovuto alla reazione di polimerizzazione e del calore emesso dalla lampada. Quindi, per poter ottenere la curva che esprime il calore della sola reazione di polimerizzazione, sarà necessario sottrarre il calore dovuto all'irraggiamento con la lampada. A tale scopo sarà necessario effettuare più illuminazioni del campione (Fig. 2),

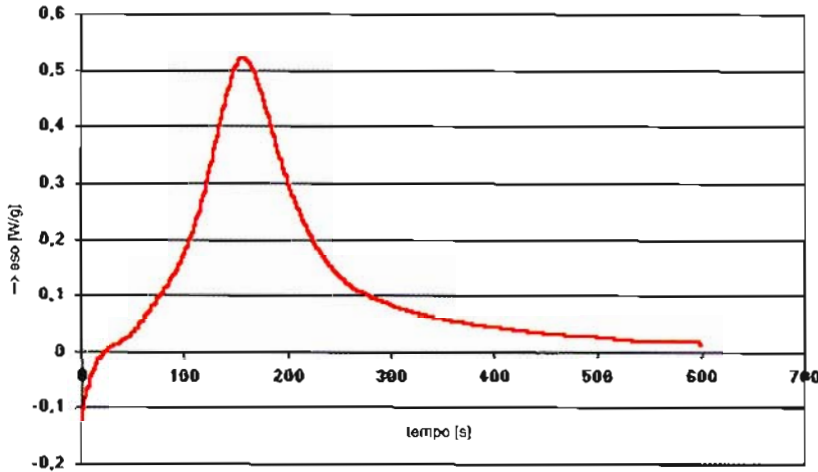


Fig. 1 - DSC: Isoterma della reazione autoattivata del cemento Duo Link.

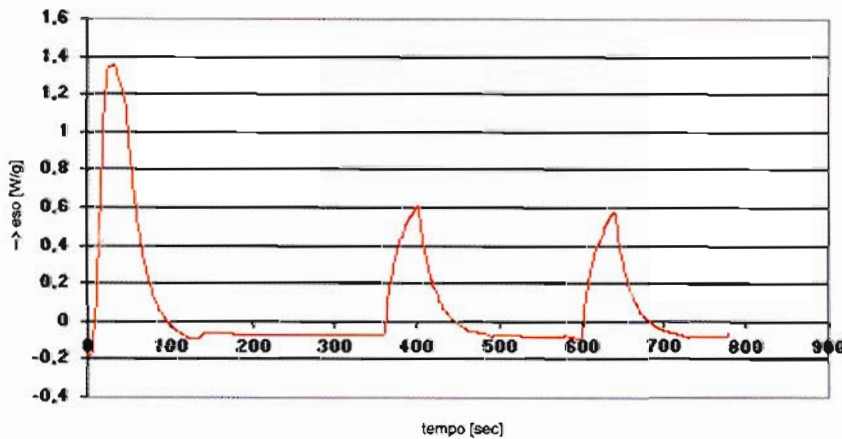


Fig. 2 - DSC: Isoterma della reazione fotoattivata del cemento Duo Link.

finché non si ottengono due curve consecutive uguali il che significa che il materiale non sta più reagendo e che le curve sono attribuibili solo al calore emesso dalla lampada (bianchi). Per cui facendo l'integrale tra le due curve (differenza tra gli integrali delle curve), si ottiene il reale calore dovuto alla sola reazione di polimerizzazione del cemento.

Se sottoponendo il campione a più illuminazioni non si ottengono delle curve uguali, ma il raffronto tra le curve mostra valori decrescenti, significa che esiste una reattività residua. Di qui l'importanza di raffrontare i bianchi, mediante tre o quattro illuminazioni (Fig. 2).

Poiché la temperatura è un catalizzatore di tutte le reazioni chimiche, quindi anche di

quella di polimerizzazione dei cementi compositi, riscaldando i campioni polimerizzati a temperatura ambiente è possibile riattivare la reazione e consentire alle molecole che non hanno ancora reagito di reagire. In questo modo è possibile quantificare la reattività residua del materiale e, sommando il calore di reazione ottenuto a temperatura ambiente con il calore di reazione ottenuto riscaldando il materiale, ottenere il valore assoluto del calore di reazione e del grado di conversione di un dato materiale. Conoscendo il calore di reazione assoluto del cemento, abbiamo potuto calcolare il grado di conversione ottenibile a temperatura ambiente con le due diverse modalità di polimerizzazione in esame (autoattivata e fotoattivata).

Pertanto, oltre alle prove a temperatura costante (isoterme) che abbiamo descritto finora abbiamo sottoposto i campioni, dopo averli polimerizzati a temperatura di 30°C, a delle scansioni termiche riscaldandoli dai 30°C ai 240°C con una velocità di 10°C al minuto.

Per ogni modalità di polimerizzazione sono stati effettuati 8 campioni ed i risultati sono stati sottoposti ad analisi statistica Anova.

CARATTERIZZAZIONE DELLE PROPRIETÀ VISCO-ELASTICHE MEDIANTE ESTENSIMETRI

In una fase successiva abbiamo esaminato il ritiro del cemento ponendo l'attenzione sulla variazione del comportamento del materiale, a seconda della modalità di polimerizzazione utilizzata.

A tal scopo abbiamo messo a punto una metodologia d'indagine che consentisse di valutare le deformazioni (*strain*) indotte dai diversi cementi, durante la contrazione da polimerizzazione, su una piastra di alluminio. Tali deformazioni venivano misurate da un estensimetro.

L'estensimetro è una placchetta di rame (CEA-120 by Vishay Measurement Group, Inc) collegata ad un sistema di acquisizione di dati (System 4000 a 20 canali di acquisizione della Vishay Measurement Group, Inc). L'estensimetro in rame, di dimensioni pari a 3 mm x 1 mm x 0,6 mm, è stato fissato con un apposito collante, fornito dalla casa costruttrice, al di sotto di una piastrina di alluminio delle dimensioni di 2 cm x 1 cm x 0,6 mm. È stato posizionato su quest'ultima un campione di cemento avente spessore di 0,6 mm e lati di 1 cm x 1 cm (Fig. 3).

Durante la polimerizzazione, il campione subiva una contrazione che induceva una deformazione sulla piastrina in alluminio cui era adeso. L'andamento nel tempo di tale deformazione veniva registrato dall'estensimetro e trasferito attraverso il sistema di acquisizione al computer, per essere poi studiato.

Abbiamo valutato in maniera comparativa le deformazioni indotte dalla contrazione da polimerizzazione del cemento duale quando fotopolimerizzato e quando lasciato polimerizzare con la sola attivazione chimica. Per ogni modalità di polimerizzazione sono state effettuate 8 prove di ritiro. I risultati sono stati sottoposti ad analisi statistica Anova.

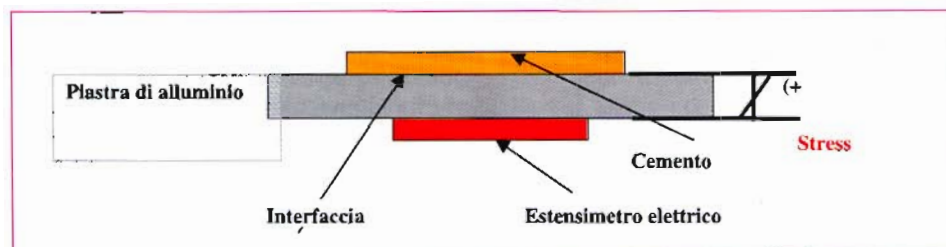


Fig. 3 - Schema dell'apparato sperimentale per la determinazione del ritiro (estensimetri).

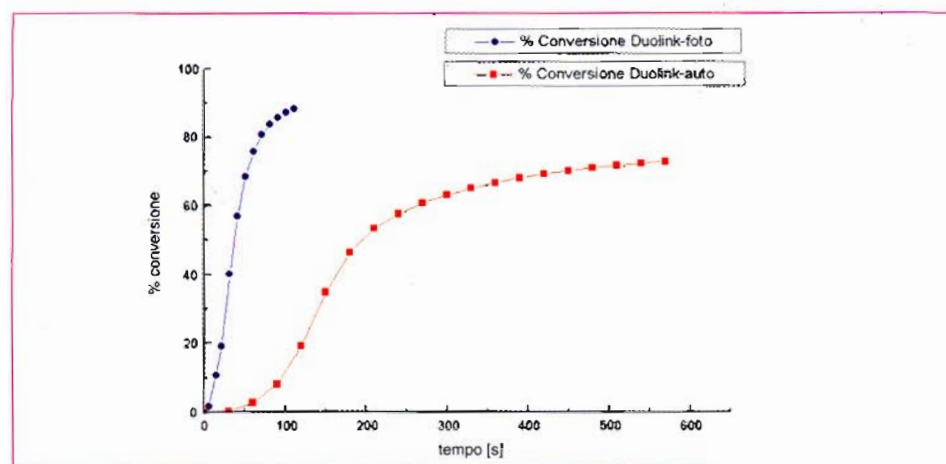


Fig. 4 - Confronto tra le cinetiche di polimerizzazione autoattivata e fotoattivata del cemento Duo Link.

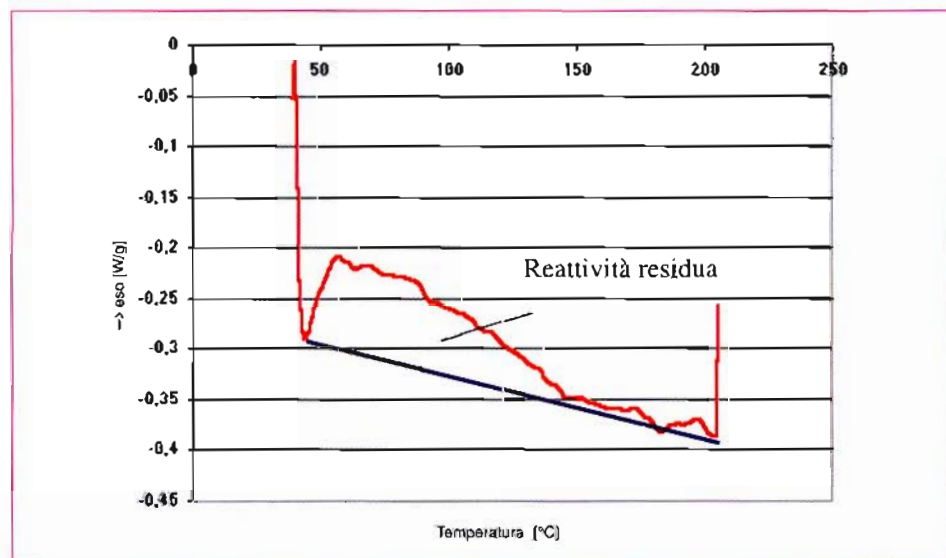


Fig. 5 - Scansione DSC (30°C-240°C) del cemento Duo Link dopo la polimerizzazione auto, che evidenzia la presenza di reattività residua.

RISULTATI

La cinetica della reazione fotoattivata del Duo Link è molto più rapida della cinetica della reazione autoattivata (Fig. 4). L'analisi statistica Anova ha evidenziato che il grado di conversione del cemento DuoLink ot-

tenuto con la fotopolimerizzazione (90%) è maggiore ($p < 0.05$) di quello ottenuto con la polimerizzazione autoattivata dello stesso cemento (75%). Infatti nelle scansioni effettuate sul materiale dopo la polimerizzazione autoattivata (Fig. 5), è stata riscontrata una maggiore reattività residua rispetto alle scansioni effettuate sul materiale fotopolimerizzato (Fig. 6). Tuttavia, anche la sola

reazione autoattivata consente un elevato grado di conversione del cemento (75%). L'analisi statistica delle prove di ritiro con estensimetri ha evidenziato che con la fotopolimerizzazione il ritiro del cemento Duo link è statisticamente superiore ($p < 0.05$) a quello ottenuto con la reazione autoattivata (Fig. 7) ed è molto più rapido, mentre con la polimerizzazione autoattivata il ritiro oltre ad essere di minore entità è molto più lento ed avviene al termine della reazione di presa (Fig. 8) quando il cemento è vetrificato.

DISCUSSIONE

In questo studio sono state valutate singolarmente la reazione di polimerizzazione fotoattivata e quella autocatalitica di un cemento composito duale, mentre nella realtà esse avvengono contemporaneamente, anche se la reazione fotoattivata copre quella autoattivata.

Il DSC si è rivelato una valida metodica di indagine per valutare il grado di conversione e la cinetica di polimerizzazione di tale cemento duale, sia quando veniva fotopolimerizzato sia quando la reazione autoattivata veniva lasciata proseguire da sola.

La reazione autoattivata è più lenta della reazione fotoattivata e consente un minor grado di conversione rispetto a quest'ultima. Tuttavia, i risultati delle prove di ritiro hanno evidenziato come la più lenta cinetica della reazione autoattivata corrisponde ad un minor ritiro del materiale. Una cinetica di polimerizzazione più lenta consente infatti al materiale di fluire durante la polimerizzazione e rilassare meglio lo stress da polimerizzazione.

Pertanto, se in un primo momento fotopolimerizzare il cemento duale potrebbe sembrare più vantaggioso, in quanto garantisce una più rapida e più alta conversione del materiale, ad un più attento esame delle problematiche relative ai materiali adesivi, emerge che in realtà è da preferire la più lenta reazione autoattivata che consente al materiale di rilassare meglio gli stress dovuti alla contrazione, evitando la formazione di gap a livello dell'interfaccia adesiva (12, 13). A tal proposito, non va dimenticato il *Fattore Cavitario* (Fattore C di Davidson) che esprime il rapporto tra superfici adesive e superfici libere del materiale composito. Se si considera il Fattore C nel canale, esso è fortemente sfavorevole, in quanto il cemento

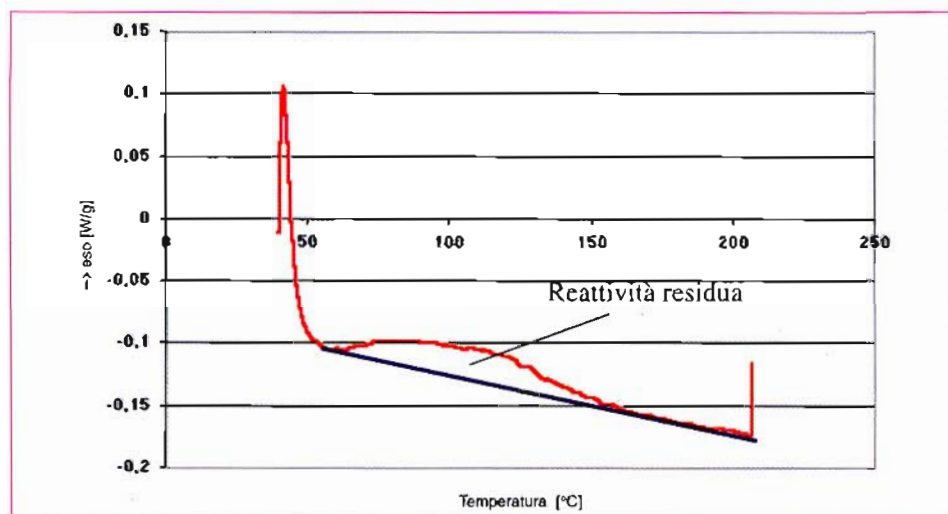


Fig. 6 - Scansione DSC (30°C-240°C) del cemento Duo Link dopo la fotopolimerizzazione, che evidenzia la presenza di reattività residua.

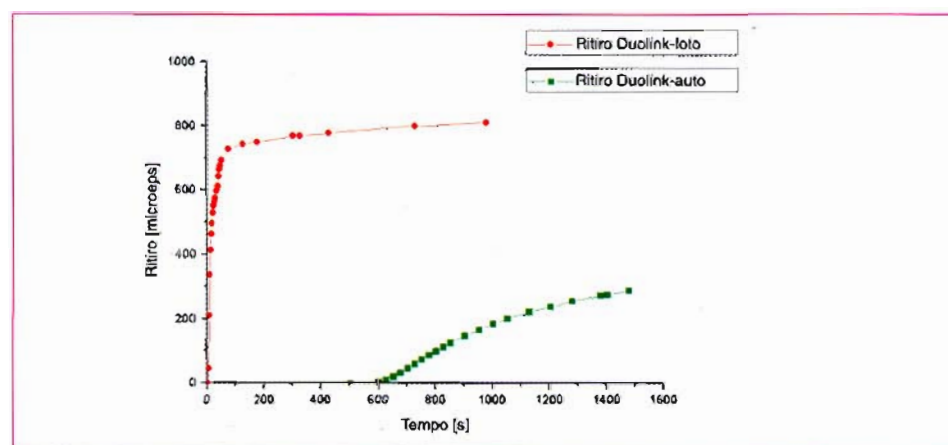


Fig. 7 - Confronto tra il ritiro con polimerizzazione autoattivata e fotoattivata del cemento Duo Link.

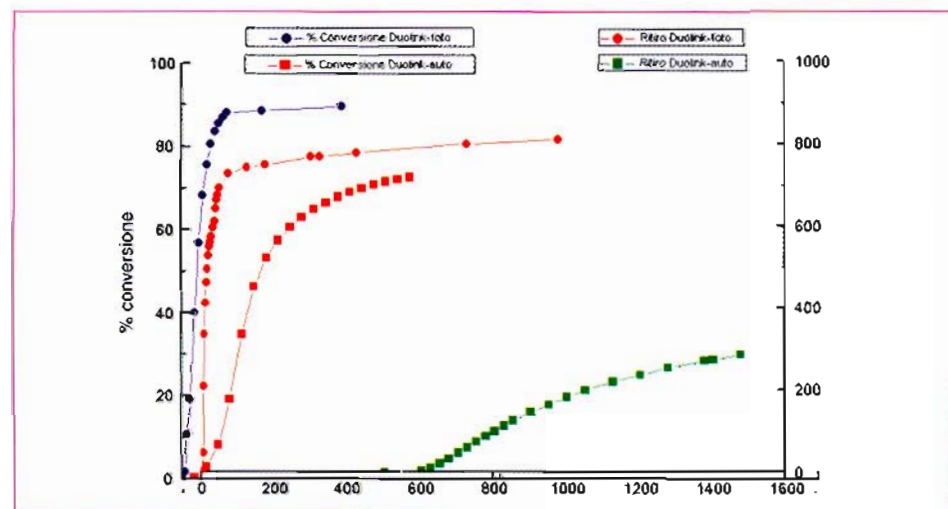


Fig. 8 - Confronto tra ritiro e cinetiche di polimerizzazione autoattivata e fotoattivata del cemento Duo Link.

si trova tra le superfici dentinali del canale radicolare ed il perno.

Va inoltre sottolineato che nel nostro studio la fotopolimerizzazione del cemento è stata ottenuta ponendo il cemento a contatto con una lampada alogena ad alta intensità (600 mW/cm^2), mentre clinicamente il cemento viene polimerizzato all'interno del canale radicolare attraverso il perno traslucido che, pur fungendo da fibra ottica, trasmetterà una luce di intensità minore di quella emessa dalla lampada. La capacità di trasmettere la luce da parte dei perni traslucidi varia sensibilmente a seconda del calibro e della forma del perno (14). Poiché l'intensità della luce irradiante il materiale influenza sensibilmente la polimerizzazione delle resine composite e dei cementi resinosi, allo stato attuale delle conoscenze è preferibile utilizzare cementi autopolimerizzabili o cementi duali. Questi ultimi offrono il vantaggio clinico di consentire all'operatore, con la fotopolimerizzazione dello strato più coronale di cemento, la stabilizzazione precoce del perno, mentre nelle zone più profonde la reazione autoattivata consente al materiale di polimerizzare adeguatamente.

In uno studio successivo sarà pertanto interessante verificare l'intensità della luce che passa attraverso i perni traslucidi e valutare con il DSC la conversione dei cementi quando polimerizzati attraverso tali perni. Andrà inoltre valutato se il minor grado di conversione ottenuto con la sola reazione autoattivata determina una significativa riduzione delle proprietà meccaniche finali del cemento o se tale differenza di conversione non ha significato dal punto di vista clinico. Infatti, non esiste una diretta proporzionalità tra le proprietà meccaniche ed il grado di conversione di un cemento resinoso o di un composito (15).

CONCLUSIONI

La metodica di misurazione del ritiro tramite estensimetri si è dimostrata valida per valutare lo sviluppo dello stress e l'entità del ritiro durante la reazione di polimerizzazione del cemento, consentendoci di evidenziare le differenze di stress tra la reazione autoattivata e quella fotoattivata.

Il DSC ci ha consentito di confrontare le diverse cinetiche di polimerizzazione ed il grado di conversione finale del cemento duale Duo-Link, quando il materiale veniva foto-

polimerizzato e quando invece avveniva solo la reazione autoattivata.

I dati relativi alle cinetiche di polimerizzazione ottenuti con il DSC sono perfettamente compatibili con i dati di ritiro ottenuti con le prove estensimetriche. Infatti ad una più rapida cinetica di polimerizzazione corrisponde un più rapido ritiro del cemento.

Le prove sperimentali col DSC hanno evidenziato che il grado di conversione del cemento DuoLink ottenuto con la fotopolimerizzazione è maggiore di quello ottenuto con la polimerizzazione autoattivata e che la cinetica della reazione fotoattivata del

Duo Link è molto più rapida della cinetica della reazione autoattivata.

Le prove sperimentali con gli estensimetri hanno evidenziato che il ritiro del cemento DuoLink fotopolimerizzato è tre volte superiore a quello ottenuto con la reazione autoattivata e che nel primo caso tale ritiro è molto rapido.

Dal punto di vista clinico noi preferiamo una cinetica di polimerizzazione più lenta ed un ritiro più graduale in quanto tali condizioni consentono al materiale di rilassare meglio lo stress dovuto alla contrazione da polimerizzazione, che potrebbe determina-

re un fallimento dell'adesione alle strutture dentarie residue. Pertanto sulla base delle nostre prove sperimentali, a nostro avviso, per la cementazione dei perni in fibra, i cementi duali o autoattivati sono tuttora da preferirsi ai materiali fotopolimerizzabili, in quanto anche con l'utilizzo di perni traslucidi non è stata dimostrata l'efficacia della fotopolimerizzazione nelle zone più profonde del canale. Utilizzando materiali che prevedono anche una reazione autoattivata, invece, siamo sicuri di ottenere una adeguata conversione del materiale in tutte le zone del canale radicolare.

BIBLIOGRAFIA

1. Huang TG, Shilder H, Nathanson D. Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. *J Endodon* 1992; 18: 209.
2. Nayyar A, Donald TR, Turner F, Koth DL. Strength of premolar corono-radicular build-ups restored with cast crowns. *J Dent Res* 1982; 61: 186.
3. Nayyar A, Walton RE, Leonard LA. An amalgam corono-radicular dowel and core technique for endodontically treated posterior teeth. *J Prosthet Dent* 1980; 44: 511.
4. Hunter AJ, Feiglin B, Williams JF. Effects of post placement on endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 1989; 62: 166.
5. Asmussen E, Peutzfeldt A, Heitmann T. Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts. *J Dent* 1999; 27: 275.
6. Glassman GD, Serota KS. Treating the apex last: the definitive endodontic paradigm. *Oral Health* 1993; oct: 21-27.
7. Kamposiora P, Papavasiliou G, Bayne SC, Felton DA. Predictions of cement microfracture under crowns using 3D-FEA. *Oper Dent* 1993 18 (2): 48-55.
8. Duret B, Reynaud M, Duret F. Un nouveau concept de reconstitution corono-radulaire: Le composiposte. *Chirurg Dent France* 1990; 540: 131-141.
9. Caughman WF, Chan DC, Rueggeberg FA. Curing potential of dual-polymerizable resin cements in simulated clinical situations. *J Prosthet Dent* 2000 Dec (4): 201-9.
10. Darr AH, Jacobsen PH. Conversion of dual cure luting cements. *J Oral Rehabil* 2001; 28: 186-97.
11. Rueggeberg FA, Caughman WF, Chan DC. Novak approach to measure composite conversion kinetics during exposure with stepped or continuous light-curing. *J Prosthet Dent* 2001; 85 (3): 284-91.
12. Ausiello P, Apicella A, Davidson CL, Rengo S. 3D-finite element analyses of cusp movements in a human upper premolar, restored with adhesive resin-based composites. *J of Biomech* 2000; 34: 1269-1277.
13. Goracci G, Casa de' Martinis L, Mori G. Compositi a polimerizzazione lenta. *Dental Cadmos* 1992; 13:68.
14. Andreasi Bassi M, Gambarini G, Di Carlo F, Quaranta M. Diffusione della luce nei perni traslucidi. *Dent Cadmos*, 2002; 4: 53-70.
15. Rengo S, Cascone P, Prisco D, De Santis R, Manto L, Ambrosio L. Influenza della modalità di polimerizzazione sulle proprietà meccaniche delle resine composite. *Atti VI Simposio Cubon di Santa Margherita Ligure* 2002.