

*Francesco Somma

**Massimo Pomponi

***Giorgio Cameli

***Andrea Butti

***Riccardo Quarta

Università Cattolica del Sacro Cuore
Facoltà di Medicina e Chirurgia
Istituto di Clinica Odontoiatrica
Direttore: Prof. C.M. Miani

*Professore per affidamento di Conservativa
3° Corso di Laurea in Odontoiatria e P.D.
Presidente: Prof. C.M. Miani
**Professore associato di Chimica
Istituto di Chimica e Chimica Clinica
Direttore: Prof. B. Giardina
***Medico Frequentatore
Istituto di Clinica Odontoiatrica

Guttaperca "Alfa" e "Beta": valutazione comparativa alla risonanza magnetica e al SEM

Gutta-percha "Alpha" and "Beta": a comparative evaluation using NMR and SEM

RIASSUNTO

In questo studio gli autori hanno voluto valutare le differenze chimiche e strutturali fra la guttaperca alfa e beta. Lo studio si è articolato in 2 fasi sperimentali: la prima di indagine alla Risonanza Magnetica Nucleare (NMR), per la caratterizzazione stereochimica della struttura molecolare della componente organica della guttaperca; la seconda di valutazione al SEM delle differenze morfo-strutturali tra le 2 forme.

Il paragone spettroscopico non ha evidenziato alcuna differenza strutturale, almeno per la parte organica.

L'analisi al SEM ha evidenziato per la guttaperca alfa una struttura omogenea e regolare, sia allo stato solido che fluido, presupposto di eccellenti proprietà di flusso e viscosità, al contrario di quella beta.

Sulla base dei risultati ottenuti si può affermare che la guttaperca alfa trova indicazione elettiva nelle tecniche di otturazione canalare che prevedono la termoplastificazione della guttaperca al contrario della guttaperca beta che risulterà maggiormente indicata nelle tecniche di chiusura a freddo.

Parole chiave: Guttaperca.

Endodonzia.

ABSTRACT

In endodontics success depends mainly on the cleaning and shaping of the root canal system and on the sealing properties of obturation materials. According to Grossman, root canal filling materials may be classified as fluid materials (cement and pastes), solid materials (gold or silver points) and plastic materials (gutta-percha).

As a matter of fact, gutta-percha, a rubber compound obtained from tropical plants, widely used for over a century, is the semisolid material now commonly used in endodontic treatment. With regards to chemical structure, a polymer of isoprene is the main component of gutta-percha. This compound differs from rubber in the

TRANS or E configuration. In 1942 Bunn discovered that there are two different isomers: alpha and beta gutta-percha. The aim of this study was to evaluate the chemical and structural differences between the two above mentioned isomers.

Materials and Methods

The study was articulated in two experimental phases: the first included N.M.R. examination for the stereochemical characterization of the molecular structure of the organic component of gutta-percha.

In the second phase, the morpho-structural differences between the two forms were evaluated by SEM.

In this later phase, the gutta-percha samples were divided into two groups. In group 1, two alpha and two beta points of commercial gutta-percha in the solid state were analyzed, whereas in group 2, two alpha and two beta points were examined after thermoplasticization.

Results and Conclusion

Nuclear Magnetic Resonance proved that the final product of both alpha and beta gutta-percha is a condensed 1-4 TRANS polymer of isoprene. Moreover, spectroscopic comparison of the two isomers of gutta-percha did not show any particular difference between the organic component of the two compounds. It is worth noting that the alpha isomer presents a visible spectrum suggestive of the presence of traces of erythrosine B. Scanning Electron Microscopy showed a homogeneous and regular structure of solid and liquid alpha gutta-percha both in transvers and longitudinal sections.

On the contrary, an SEM study showed an irregular composition with several lacks and wide bubbles both in liquid and solid beta gutta-percha sections.

In conclusion, this study pointed out the excellent flow and viscosity properties of alpha gutta-percha. Considering the results, the authors assert that alpha gutta-percha is suitable for those techniques of root canal obturation which necessitate thermoplasticization of gutta-percha. On the other hand, beta gutta-percha is more suitable for techniques of cold obturation.

Key words: Gutta-percha. Endodontics.

INTRODUZIONE

È ormai accettato da tempo il fatto che in Endodonzia, come nelle altre branche dell'Odontoiatria, il segreto del successo stia, oltre che nella pulizia dell'endodonto, nelle proprietà sigillanti dell'otturazione. Gli attributi suggeriti in letteratura per il materiale ideale per l'otturazione canalare sono molti. Secondo Grossman il materiale ideale dovrebbe rispondere ad alcuni requisiti fondamentali, quali facilità di manipolazione, adesione alle pareti dentinali, costanza di volume, assenza di azione irritante sul tessuto periapicale, opacità radiografica ed altri ancora (1). Grossman nel 1958 scriveva: "Dubito molto che ci sia un'altra cavità vuota nel nostro organismo che sia stata riempita con tanti materiali diversi come il canale radicolare di un dente" (2); e lo stesso autore, cercando di fare "ordine" fra le diverse sostanze utilizzate, ha suddiviso i materiali per otturazione canalare in:

- materiali fluidi (cementi e paste riassorbibili e non)
- materiali solidi (coni d'argento e d'oro)
- materiali plastici (guttaperca).

Il materiale semisolido più largamente usato in Endodonzia è rappresentato dalla guttaperca, composto a base di gomma ricavata da alcune piante tropicali appartenenti al genere delle sapotacee e che trova vaste applicazioni e consenso da oltre cento anni (3). La stragrande maggioranza della letteratura endodontica mondiale è d'accordo nell'affermare che la guttaperca è il materiale di elezione per eseguire corrette otturazioni canalari in quanto più di ogni altro riassume in sé quelli che abbiamo elencato essere i requisiti del materiale ideale. Per quello che concerne la struttura chimica, il componente principale della guttaperca è un polimero dell'isoprene con peso molecolare di 30000 (3). La guttaperca si differenzia dalla gomma in virtù della stereoisomeria, cioè per una diversa disposizione di atomi nello spazio. Precisamente, la configurazione CIS o Z corrisponde alla gomma naturale, mentre la configurazione TRANS o E corrisponde alla guttaperca: le due forme CIS e TRANS differiscono solo nella confi-

Somma F, Pomponi M, Cannelli G, Butti A, Quarta R. Guttaperca "Alfa" e "Beta": valutazione comparativa alla risonanza magnetica e al SEM. *G It Endo* 1995; 3: 114-21

Corrispondenza:

Dr. Francesco Somma
Università Cattolica del Sacro Cuore
00168 Roma - L.go Francesco Vito, 1

gurazione di un singolo legame e nella distanza di ripetizione molecolare (4).

Un evento importante si ebbe nel 1942 quando Bunn trovò che il polimero della guttaperca poteva esistere in due distinte e differenti forme cristalline che chiamò alfa e beta modificazioni. Tali forme potevano essere convertite l'una nell'altra grazie a cicli di riscaldamento e raffreddamento, ma non nella gomma naturale. Questo suggerì che entrambe presentassero struttura TRANS, in quanto la gomma naturale ha configurazione CIS (3).

Nel nostro studio abbiamo voluto valutare le differenze chimiche e strutturali fra la guttaperca alfa e beta, poiché la presenza di eventuali differenze particolari e caratteristiche tra le due forme ci avrebbero potuto indirizzare verso l'uso pratico dell'una o dell'altra a seconda della tecnica di otturazione canalare utilizzata, oppure dare un'indicazione su come modificare alcune metodiche per ottenere un maggior successo terapeutico.

MATERIALI E METODI

Per l'analisi delle caratteristiche fisico-chimiche dell'alfa e della beta guttaperca abbiamo diviso il nostro studio in due parti: nella prima abbiamo esaminato i campioni di guttaperca alla NMR (Nuclear Magnetic Resonance), nella seconda abbiamo studiato le immagini ottenute al SEM (Scanning Electron Microscope).

Per l'indagine spettroscopica alla NMR, eseguita per caratterizzare da un punto di vista stereochimico la struttura molecolare della componente organica della guttaperca (5), i coni di guttaperca alfa e beta sono stati disciolti in cloroformio e, dopo filtrazione, il solvente è stato fatto evaporare sottovuoto ed il residuo, ripreso ed evaporato più volte, è stato disciolto in cloroformio deuterato al fine di ottenere una soluzione idonea all'analisi mediante risonanza magnetica.

Nella seconda parte del nostro studio abbiamo voluto valutare al microscopio elettronico a scansione (SEM) le differenze strutturali fra la alfa guttaperca e la beta guttaperca allo stato solido, le modificazioni che su-

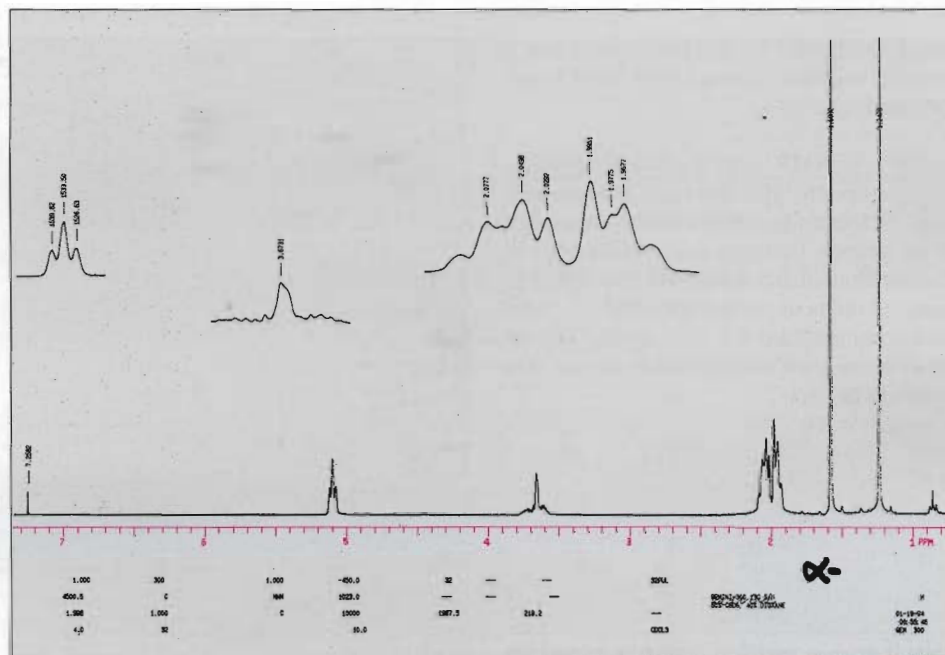


Fig. 1 - Spettro ^1H NMR della alfa guttaperca.

Fig. 1 - ^1H NMR spectrum of gutta-percha alpha.

biscono dopo essere state riscaldate, nonché le loro differenze in quest'ultimo stato.

Per questo studio sono stati utilizzati 8 campioni di guttaperca commerciale: 4 di guttaperca alfa e 4 di guttaperca beta.

I campioni di guttaperca sono stati suddivisi in due gruppi:

I gruppo - 4 coni di guttaperca commerciale allo stato solido (temperatura ambiente) di cui 2 sono del tipo alfa e 2 del tipo beta.

II gruppo - 4 coni di guttaperca commerciale plasticizzati passandoli con movimenti rapidi e ripetuti nella parte blu di una fiamma, fino a che la guttaperca non assume un aspetto lucente e non comincia a rigonfiarsi divenendo appiccicosa. Due di questi coni sono del tipo alfa e 2 del tipo beta.

I campioni di coni dei due gruppi di studio sono stati processati per la visione al Microscopio Elettronico a Scansione secondo la seguente tecnica:

1. congelamento con azoto liquido
2. frattura meccanica
3. incollaggio su stubs in alluminio
4. metallizzazione in oro
5. osservazione al SEM Philips 515 a vari ingrandimenti, secondo un taglio trasversa-

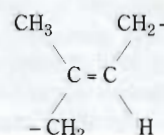
le ed uno longitudinale dei coni, fotografando le immagini più significative.

RISULTATI

Risonanza magnetica nucleare (NMR)

Spettro ^1H NMR dell' α -guttaperca (CDCl_3).

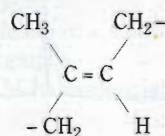
Lo spettro ^1H NMR della α -guttaperca (Fig. 1) mostra le caratteristiche frequenze di un gruppo metilico (s, 1.5932 ppm), di due metileni allilici accoppiati (m 1.9-2.1 ppm) ed infine di un protone allilico (t, 5.09-5.13 ppm). Tali segnali sono compatibili con una struttura del tipo



I segnali ad 1.2479 ppm è un segnale che spesso si ritrova negli estratti vegetali; an-

che il multipletto a 3.6731 ppm resta non identificato ma sicuramente dovuto ad un'impurezza.

Spettro ^1H NMR della β -guttaperca (CD_2Cl_2). Lo spettro ^1H NMR della β -guttaperca (Fig. 2) mostra le caratteristiche frequenze di un gruppo metilico (s, 1.6069 ppm), di due metileni allilici accoppiati (m, 1.96-2.12 ppm) ed infine di un protone allilico (t, 5.10-5.15 ppm, centrato a 5.1270 ppm). Tali segnali sono anch'essi compatibili con una struttura del tipo



dove il gruppo metilico è situato in posizione trans rispetto all'idrogeno allilico.

Spettro ^1H NMR della erytrosina B (D_2O). Apparentemente negli spettri di risonanza magnetica sia dell' α - che della β -guttaperca, non c'è traccia della presenza di erytrosina B (Fig. 3).

Spettro visibile dell'estratto cloroformico di guttaperca α . È indicativo della presenza di tracce di erytrosina B (Fig. 4).

Nello spettro visibile dell'estratto cloroformico di guttaperca β non si evidenziano tracce di erytrosina B nonostante si siano usate concentrazioni più elevate del colorante.

Microscopio elettronico a scansione (SEM)

Dall'osservazione al SEM del I GRUPPO di studio abbiamo rilevato le differenze morfologiche fra guttaperca alfa e guttaperca beta, entrambe allo stato solido.

Le immagini avute dall'osservazione della guttaperca alfa hanno rivelato la presenza di una struttura omogenea e regolare riscontrabile sia nelle sezioni trasversali (Fig. 5) sia nelle sezioni longitudinali (Fig. 6), con la presenza di granuli osservabili ad ingrandimenti maggiori (Fig. 7), verosimilmente

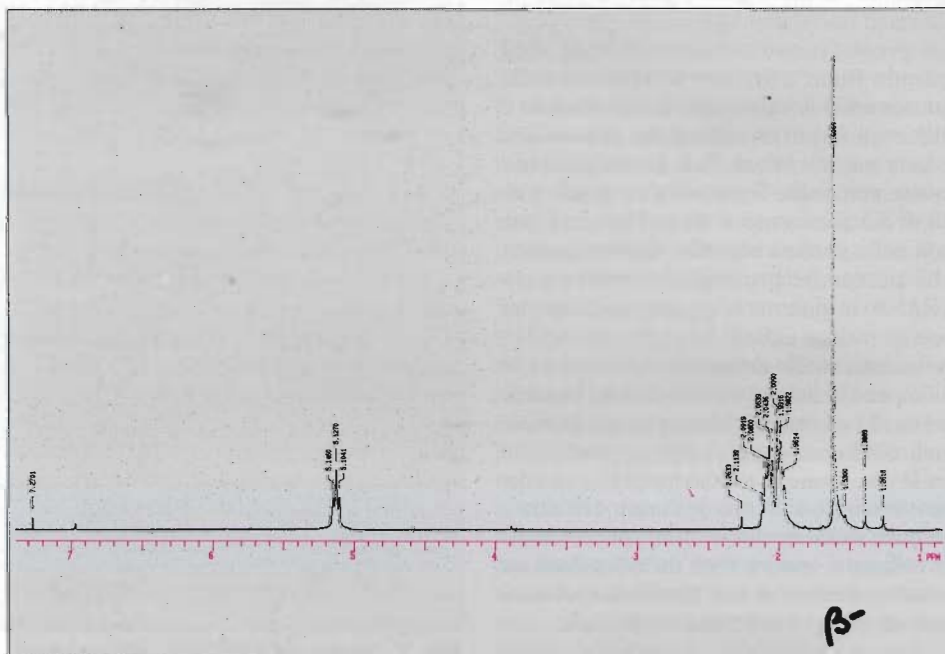


Fig. 2 - Spettro ^1H NMR della beta guttaperca.

Fig. 2 - ^1H NMR spectrum of guttaperca beta.

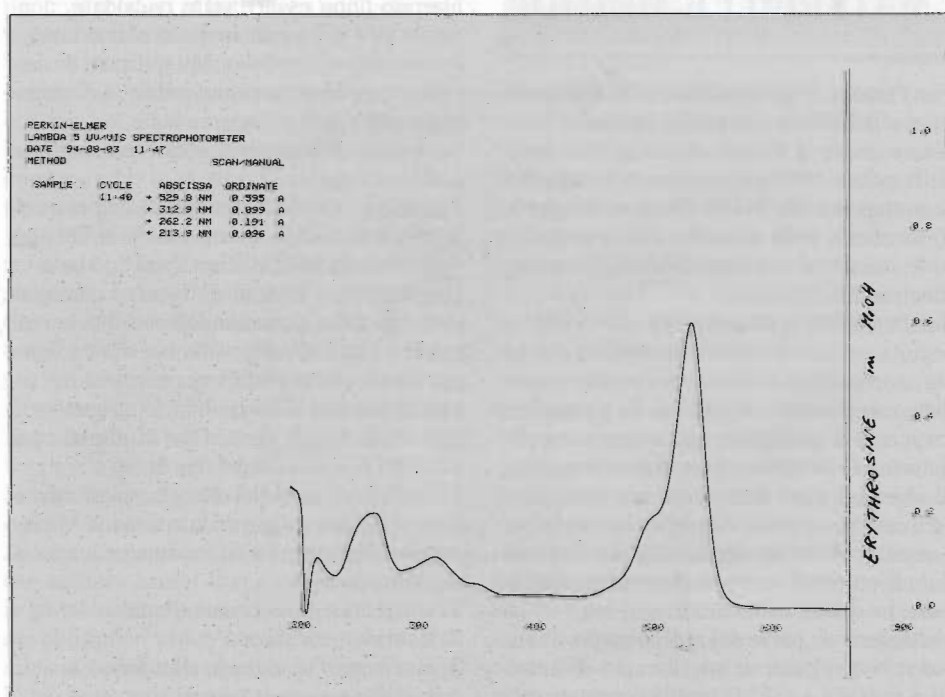


Fig. 3 - Spettro dell'erytrosina B.

Fig. 3 - Erythrosin B spectrum.

costituiti dai componenti inorganici dei coni commerciali.

Le immagini prodotte al SEM dalla gutta-perca beta hanno messo in evidenza, al contrario, una struttura irregolare (Fig. 8) con la presenza di numerosi "buchi" evidenzia- bili nella totalità dei riferimenti fotografici (Fig. 9) riguardanti le sezioni trasversali.

L'irregolarità, i "buchi" e i granuli sono evi- denziabili anche nelle sezioni longitudinali (Fig. 10).

In particolare modo nella Figura 11 è sempli- ce documentare la presenza di granuli o cri- stalli che come abbiamo visto rappresen- ta- no molto probabilmente la componente i- norganica costituente il cono.

L'osservazione del II GRUPPO di studio ha rivelato altri importanti particolari.

Le immagini ottenute dall'osservazione del- la gutta-perca alfa di questo gruppo, cioè gutta-perca plasticizzata, hanno messo in e- videnza come anche dopo plasticizzazione (riscaldamento) la alfa gutta-perca conserva omogeneità e regolarità nel suo aspetto (Fig. 12); c'è da osservare che mentre la re- golarità nella gutta-perca allo stato solido è data da strutture spigolose, nel caso della gutta-perca riscaldata la regolarità è data da strutture con margini arrotondati e ad andamento armonico (Fig. 13).

Di particolare interesse per l'applicazione clinica è ciò che ci mostrano le immagini delle sezioni trasversali della gutta-perca al- fa riscaldata: nella Figura 14 è infatti visibi- le, in modo chiaro e suggestivo, la presenza di numerose bolle dovute appunto al riscal- damento in quanto completamente assenti nelle immagini della stessa gutta-perca allo stato solido.

Nella seconda parte dello studio del II grup- po abbiamo osservato immagini e fotografie derivate dall'osservazione della gutta-perca beta plasticizzata.

L'irregolarità descritta per la gutta-perca be- ta allo stato solido persiste nelle sezioni del- la stessa riscaldata (Fig. 15).

Dall'esame delle sezioni trasversali e longi- tudinali si evidenzia la presenza di grosse e numerose bolle (Fig. 16). È da tenere pre- sente che anche nella struttura della gutta- perca beta plasticizzata sono evidenzia- bili numerosi cristalli o granuli (Fig. 17).

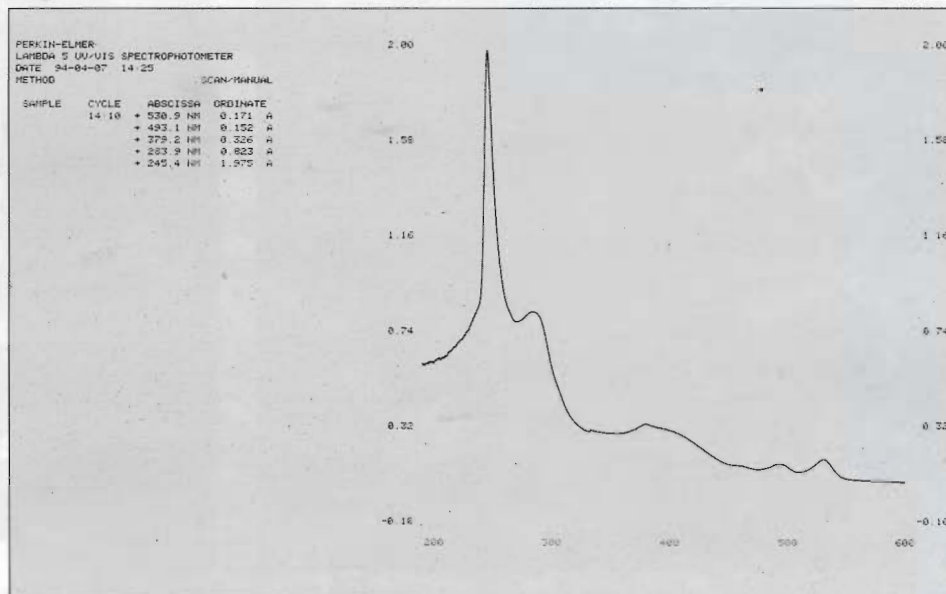


Fig. 4 - Spettro visibile dell'estratto cloroformico di gutta-perca alfa.
Fig. 4 - Visible spectrum of chloroformic extract of gutta-percha alpha.

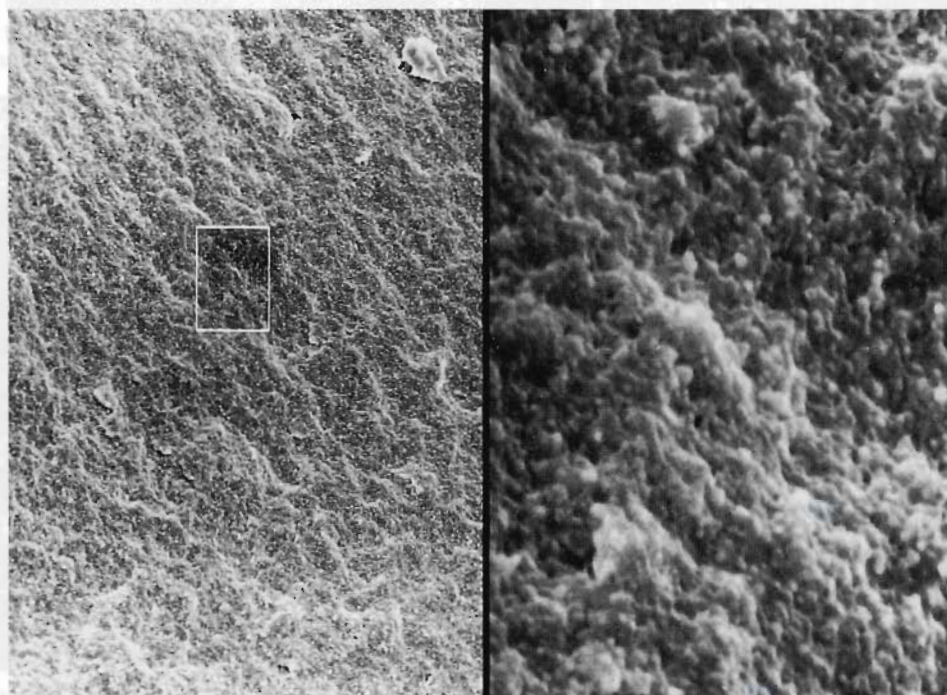


Fig. 5 - 300x/2980x. Sezione trasversale di un cono di gutta-perca alfa allo stato solido. Panoramica e particolare.
Fig. 5 - 300x/2980x. Cross section of a gutta-percha alpha cone at the solid state. Overview and detail.

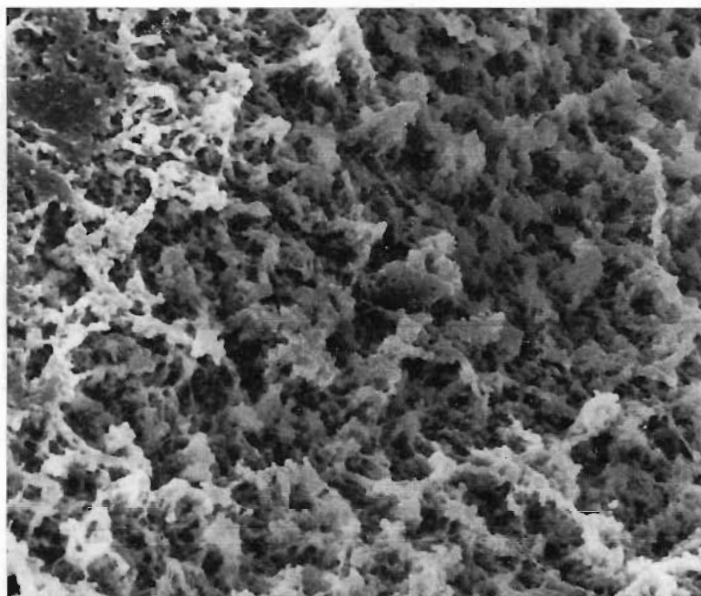


Fig. 6 - 1150x. Sezione longitudinale di un cono di gutta-perca alfa allo stato solido. Si osservi la struttura regolare ed omogenea.
Fig. 6 - 1150x. Longitudinal section of a gutta-percha alpha cone at the solid state. Note the regular and homogeneous structure.

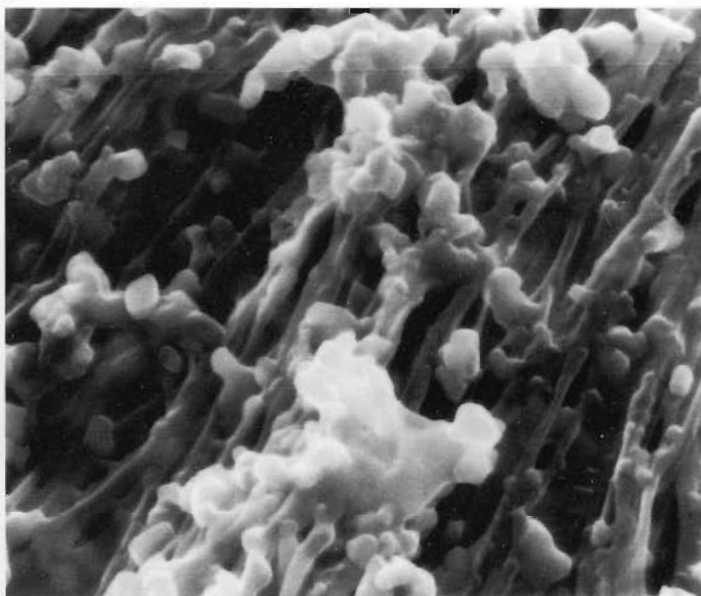


Fig. 7 - 9150x. Gutta-perca alfa allo stato solido osservata a grandissimo ingrandimento. Si evidenziano granuli costituiti verosimilmente dalle componenti inorganiche dei coni commerciali.
Fig. 7 - 9150x. Great magnification of gutta-percha alpha at the solid state. Granules which are probably made up of the same inorganic components as commercial gutta-percha are evident.

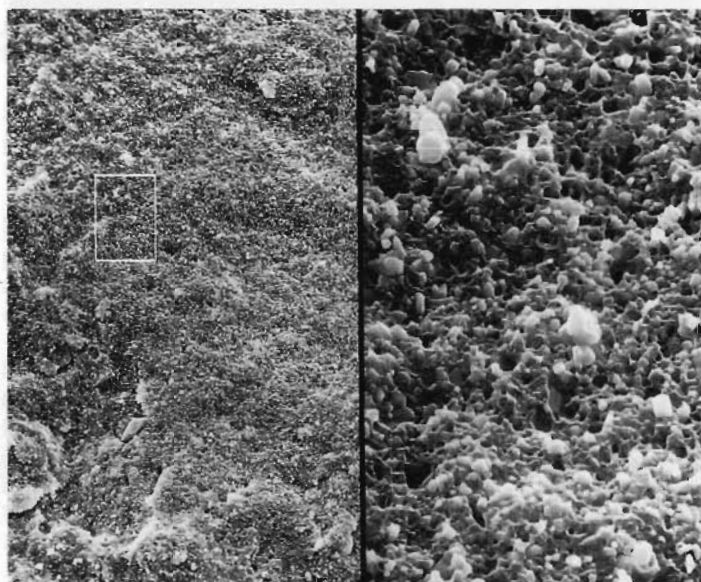


Fig. 8 - 312x/2589x. Gutta-perca beta allo stato solido. Panoramica e particolare a medio ingrandimento.
Fig. 8 - 312x/2589x. Gutta-percha beta at the solid state. Overview and detail at medium magnification.

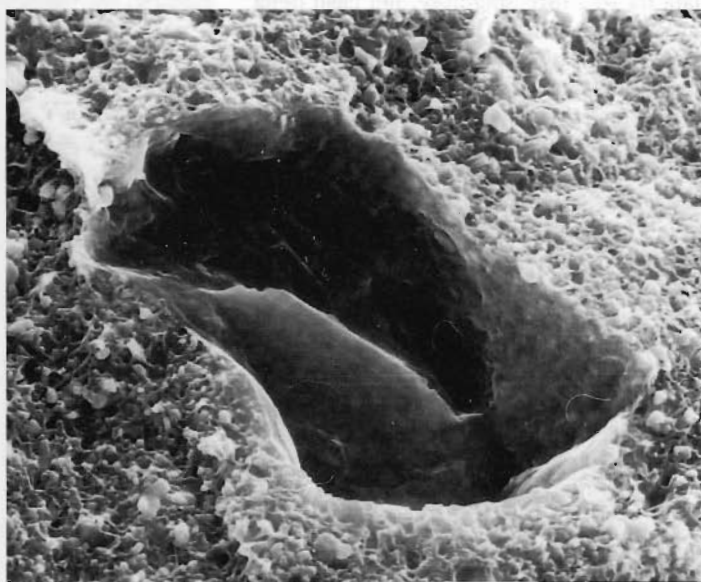


Fig. 9 - 2500x. Sezione trasversale di un cono di gutta-perca beta. Presenza di un grosso buco nella struttura del materiale allo stato solido.
Fig. 9 - 2500x. Cross section of a gutta-percha beta cone. There is a large hole in the structure of the material at the solid state.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

NMR

Dai risultati ottenuti si può innanzi tutto dimostrare l'utilità che l'analisi di NMR può in genere avere nella caratterizzazione chimica dei polimeri organici da riempimento canalare. All'indagine di Risonanza Magnetica il prodotto naturale sia dell'alfa che della beta guttaperca è risultato essere un polimero, condensato 1-4 trans, dell'isoprene (2-metil, 1-3-butadiene) (3, 4). Infatti gli spettri mostrano per il gruppo metilico un caratteristico chemical shift a campi piuttosto alti e questa situazione risulta tipica di una struttura ottenuta per transcondensazione 1-4 (Figg. 1 e 2). Dal paragone spettroscopico delle due forme di guttaperca risulta altresì che non ci sono particolari differenze strutturali, almeno per la parte organica. Vale la pena accennare che la forma α presenta uno spettro visibile indicativo della presenza di tracce di erytrosina B (Fig. 4); altrettanto non è possibile dedurre per la forma β malgrado si siano usate concentrazioni più elevate.

Il fatto che l'indagine di microscopia elettronica, al contrario dello studio alla NMR, abbia rivelato che allo stato solido le due forme presentano strutture diverse sembrerebbe da attribuire più ad una differenza di stato fisico che di reale alterazione della configurazione molecolare dato che l'indagine di risonanza magnetica viene condotta allo stato liquido e in soluzione diluita. Varrebbe la pena non trascurare che anche la concentrazione delle diverse componenti inorganiche sembrerebbe diversa nelle due forme, come visto almeno per l'erytrosina B.

SEM

Per quanto riguarda i risultati ottenuti al SEM è bene porre in rilievo alcuni particolari:

1. La struttura regolare della guttaperca alfa e quella irregolare della guttaperca beta, strutture che mantengono le loro caratteristiche di regolarità e irregolarità anche dopo plasticizzazione.

2. La presenza in entrambi i tipi di gutta-

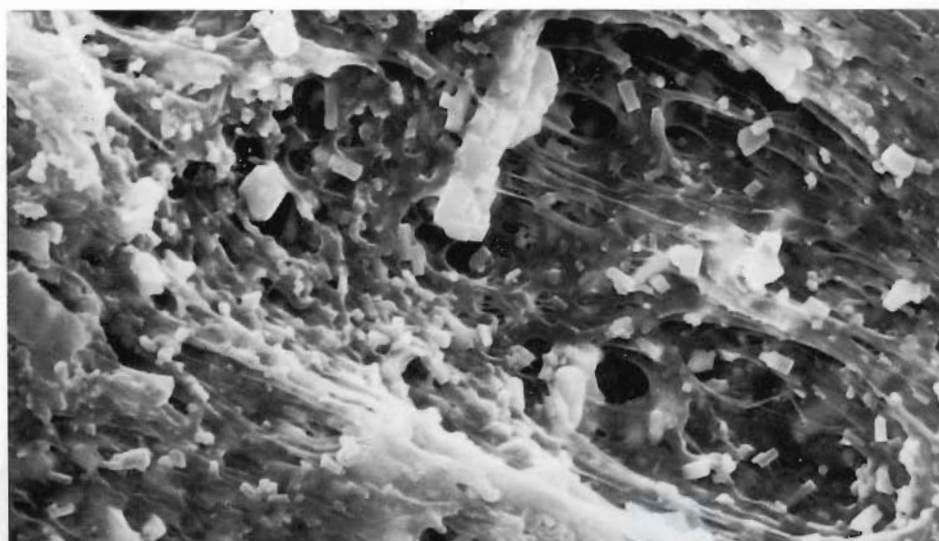


Fig. 10 - 2400x. Sezione longitudinale di guttaperca beta allo stato solido. Si rilevano le stesse caratteristiche osservate nelle sezioni trasversali.

Fig. 10 - 2400x. Longitudinal section of gutta-percha beta at the solid state. It shows the same characteristics observed in the cross sections.

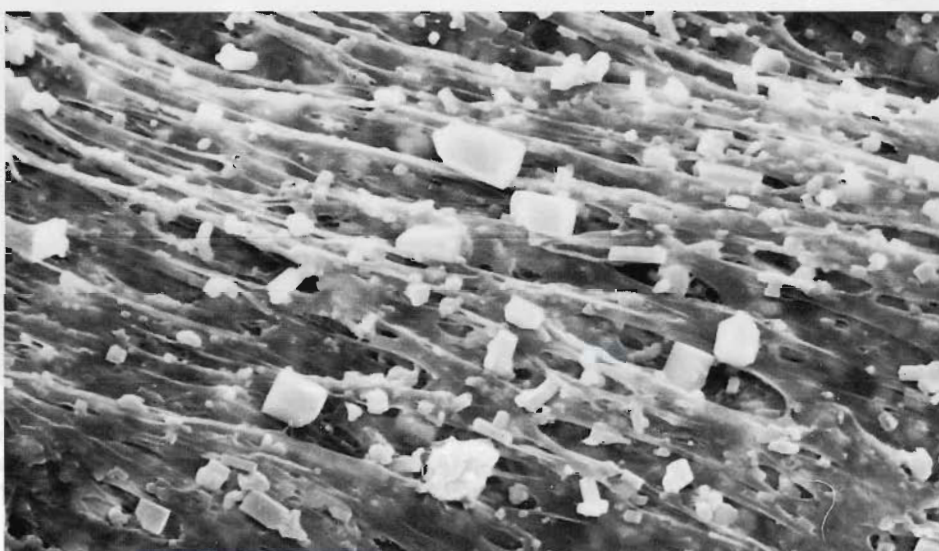


Fig. 11 - 2400x. Sezione trasversale di guttaperca beta allo stato solido. Evidenti numerosi granuli.

Fig. 11 - 2400x. Cross section of gutta-percha beta at the solid state. Numerous granules are evident.

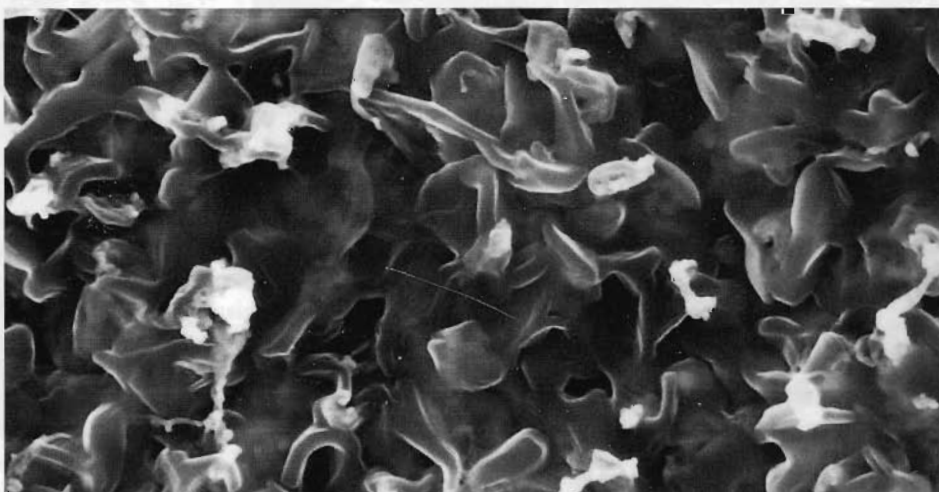


Fig. 12 - 2400x. Sezione longitudinale di un cono di guttaperca alfa dopo plasticizzazione. Si osservi l'aspetto omogeneo e regolare anche dopo riscaldamento.

Fig. 12 - 2400x. Longitudinal section of a gutta-percha alpha cone following plasticization. Note the homogeneous and regular aspect even after heating.



Fig. 13 - 4780x. Particolare a più alto ingrandimento della Fig. 12. La regolarità è data da strutture con margini arrotondati e ad andamento armonico.

Fig. 13 - 4780x. A detail of Fig. 12 at greater magnification. The uniformity is due to the structure with rounded edges and a harmonious slant.

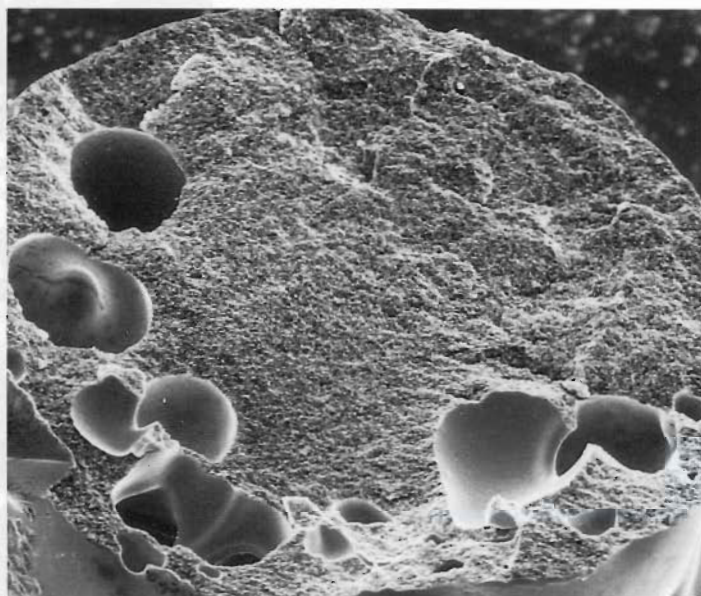


Fig. 14 - 106x. Guttaperca alfa riscaldata. Si osservano numerose bolle assenti nelle immagini della stessa guttaperca allo stato solido.

Fig. 14 - 106x. Heated gutta-percha alpha. There are numerous bubbles which are not present at the solid state.

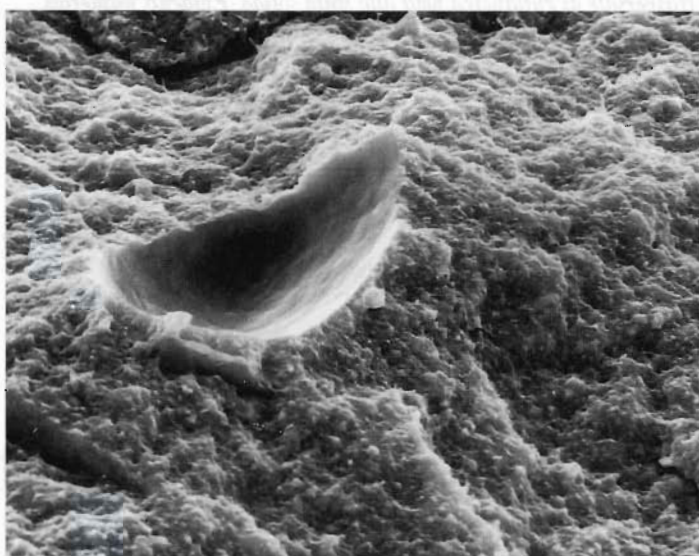


Fig. 15 - 1200x. Sezione trasversale di un cono di guttaperca beta plasticizzato. Persiste l'irregolarità dello stato solido.

Fig. 15 - 1200x. Cross section of a plasticized gutta-percha beta cone. The irregular edges are still present, as they are at the solid state.

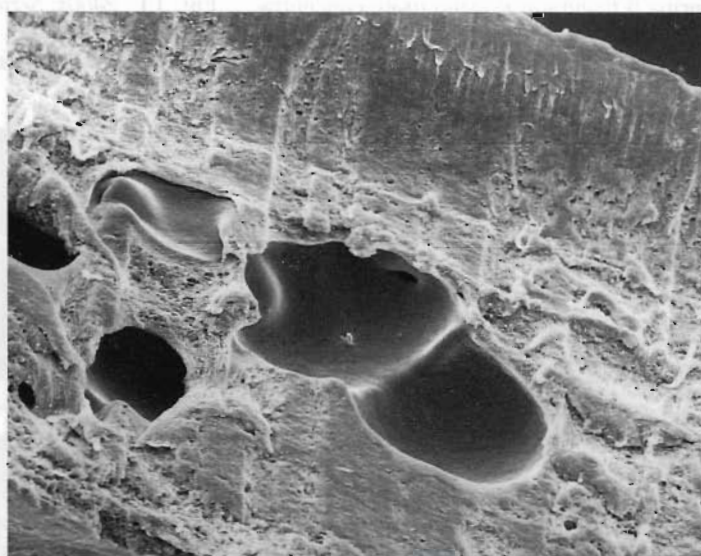


Fig. 16 - 143x. Panoramica della sezione longitudinale di un cono di guttaperca beta plasticizzato. Si evidenzia la presenza di grosse e numerose bolle.

Fig. 16 - 143x. An overall view of a longitudinal section of a plasticized gutta-percha beta cone. Numerous large bubbles are evident.

Sezioni Regionali

Società Odontoiatrici

Corsi e Congressi

perca plasticizzata di numerose bolle.

3. La persistenza dopo plasticizzazione nella guttaperca beta di granuli verosimilmente di materia inorganica.

Per quanto riguarda l'analisi dei campioni di guttaperca alfa al SEM e in riferimento agli studi di Goodmann (3) circa la disposizione ordinata delle catene policarboniose di tale guttaperca, le immagini da noi ottenute hanno evidenziato una struttura altrettanto regolare ed omogenea del materiale in esame.

Tale regolarità strutturale riscontrata sia allo stato solido che allo stato fluido, garantisce alla guttaperca alfa eccellenti proprietà di flusso e viscosità (Figg. 5, 6, 12, 13).

Al contrario, la disposizione intricata e disordinata delle catene carboniose della guttaperca beta (3), trova conferma nell'irregolarità della sua struttura, evidenziata dall'esame al SEM, irregolarità che persiste anche dopo plasticizzazione e che dovrebbe giustificare le caratteristiche fisiche di minor scorrevolezza e viscosità proprie di questo tipo di guttaperca (Figg. 8, 9, 15).

Sulla base di questa prima valutazione possiamo affermare che la guttaperca alfa per le sue caratteristiche trova indicazione elettiva nelle tecniche di otturazione canalare che prevedono la termoplastificazione della guttaperca; al contrario la guttaperca beta risulterebbe maggiormente indicata nelle tecniche di chiusura a freddo (condensazione laterale a freddo e cono singolo).

Un altro importante risultato è che l'esame al SEM dei preparati di alfa e beta guttaperca plasticizzati ha evidenziato in entrambi i casi la presenza di numerosissime bolle nella compagine dei materiali (Figg. 14, 16).

Alla luce di tutto ciò si potrebbe valutare la possibilità di modificare alcune delle procedure operative delle tecniche di otturazione canalare che utilizzano guttaperca alfa plasticizzata (iniezione termoplastica, termocompattazione meccanica e sistema Thermafil): riteniamo infatti che una otturazione a caldo che non preveda un'ulteriore fase di condensazione meccanica tramite strumenti manuali, quali i pluggers, non potrà garantire un sigillo apicale ed un'otturazione tridimensionale del sistema canalare priva di lacune e bolle d'aria, come peraltro verificato sperimentalmente in due nostri lavori sulla

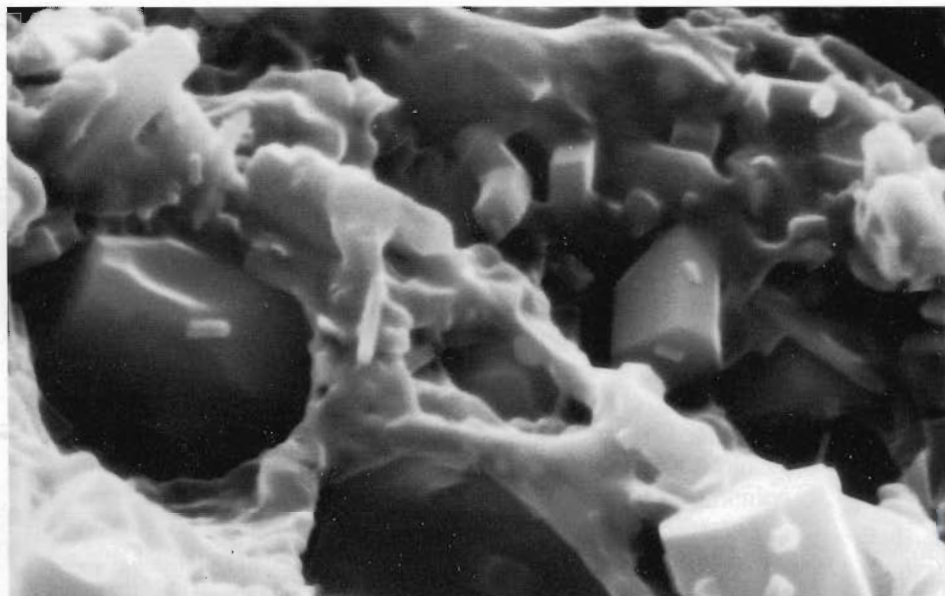


Fig. 17 - 9150x. Guttaperca beta plasticizzata. Evidente la persistenza di numerosi granuli.

Fig. 17 - 9150x. Plasticized gutta-percha beta. Persistence of numerous granules.

termocompattazione meccanica mediante TLC e sul sistema Thermafil.

Infine l'esame dei campioni ha evidenziato la persistenza di granuli nella struttura della guttaperca beta plasticizzata contrariamente a quanto riscontrato nella forma alfa riscaldata (Fig. 17).

Quale possibile spiegazione si potrebbe prendere in considerazione un punto di fusione più elevato per la guttaperca beta.

Tale ipotesi risulta però in contrasto con i risultati ottenuti da diversi autori riportati da Goodmann (3): in tutti i casi la temperatura di fusione della guttaperca beta risultava minore di quella della guttaperca alfa, pur essendo entrambe comprese in un range di valori piuttosto variabili. Lo stesso Goodmann (3) ha voluto sottolineare come ad esempio il punto di fusione della guttaperca alfa sia stato "documentato" a 65°C, 74°C e 79°C, ponendo in rilievo le varianti multiple incluse nei cosiddetti campioni puri. Considerando il numero sicuramente più elevato di variabili presenti nei nostri campioni commerciali rispetto ad un campione puro di guttaperca, l'ipotesi di un punto di fusione maggiore per la guttaperca beta commerciale può, a nostro avviso, risultare verosimile. Nella pratica clinica l'utilizzo della forma al-

fa di guttaperca plasticizzata a temperature inferiori a quella beta, garantirà tempi operativi minori, dovuti a un minor tempo di fluidificazione e, soprattutto, un maggior rispetto della cellularità periapicale.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - Grossman LI. *Endodontic practice*. 10th Ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1982; 279
- 2 - Grossman LI. An improved root canal cement. *JADA* 1958; 56: 381-5
- 3 - Goodmann A, Schilder H, Aldrich W. The termomechanical properties of gutta-percha. Part II. The history and molecular chemistry of gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1974; 37: 954-61
- 4 - Marciano J, Michailenco PM, Abadie JM. Stereochemical structure characterization of dental gutta-percha. *J Endodon* 1993; 19: 31-4
- 5 - Purcell EM, Torrey HC, Pound RV. Resonance absorption by nuclear magnetic moments in a solid. *Physics Reviews* 1946; 69: 37-41