

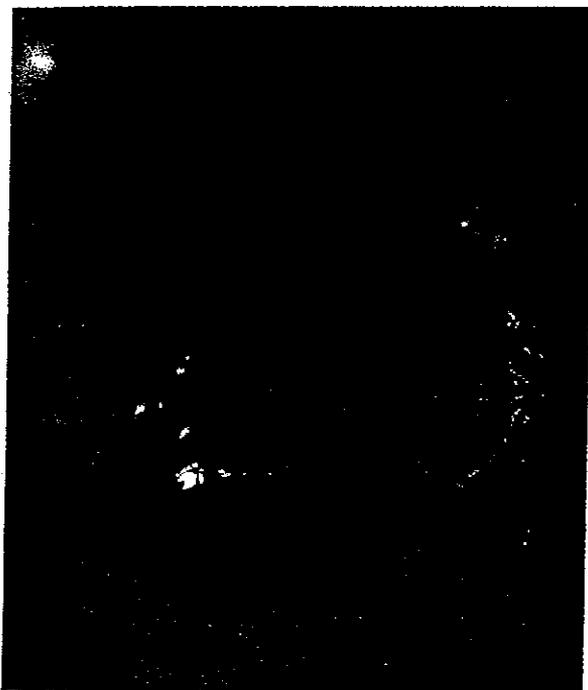
I compositi

Il prodigioso sviluppo scientifico-tecnologico, il fervore commerciale ed il grande interesse che ha sempre accompagnato l'uscita sul mercato dei nuovi prodotti negli ultimi tempi, fanno pensare che i compositi potranno essere i materiali per il restauro dentale del futuro.

Sicuramente già oggi i compositi hanno un grande ruolo nella odontoiatria ricostruttiva (anche nella profilassi, ortodonzia, parodontologia) ma, a ben guardare, sono sempre stati largamente impiegati fin dalla loro introduzione.

Spesso a sproposito!

Tutti i dentisti hanno esperienza di restauri gravemente deteriorati, infiltrati, usurati, fino ad avere, nel collasso posteriore dell'occlusione, la massima manifestazione di danno iatrogeno.



L'usura dei compositi tradizionali si manifesta con un consumo prevalente della matrice. La superficie del restauro diventa presto ruvida perdendo le caratteristiche ottiche che sono alla base della qualità estetica. Inoltre è facilitato il deposito di placca e pigmenti. La perdita di sostanza è sempre elevata specialmente nelle aree di impegno occlusale. Quando è interessata la guida incisiva o i contatti posteriori, le ripercussioni gnatologiche sono importanti.



A fronte di una minore quota di insuccessi dovuti al degrado intrinseco del materiale, la disinformazione e gli errori operativi sono le vere cause alla base del fallimento precoce delle restaurazioni composite: «i professionisti non sono educati alla restaurazione con materiali compositi» (Vanherle, 1985).

La complessità merceologica delle resine composite e l'aggressione fisico-chimica che i restauri devono sopportare nell'ambiente orale, pongono delicati problemi operativi e decisionali ai dentisti che desiderano ottenere buoni risultati clinici.

Un costante aggiornamento scientifico, l'esecuzione scrupolosa delle tecniche che la ricerca ci mette a disposizione sono requisiti di primaria importanza per la realizzazione di restauri affidabili.

Caratteristiche chimico-fisiche

È importante che ogni dentista faccia uno sforzo per assimilare alcuni aspetti di una materia per noi così ostica. Dobbiamo perlomeno conoscere quei principi che sono alla base della moderna classificazione e che ci consentono di seguire coscientemente l'evoluzione della ricerca scientifica.

Che cos'è un composito?

I materiali compositi sono vecchi come il mondo. L'uomo preistorico costruiva la sua capanna con l'argilla e la paglia. Senza saperlo distribuiva gli sforzi su due materiali: la paglia, resistente alla trazione; l'argilla, resistente alla compressione.

«Il termine composito si riferisce ad una combinazione tridimensionale di almeno due materiali chimicamente diversi, con una distinta interfaccia che separa i due componenti. Se correttamente eseguita, la combinazione offre proprietà superiori a quelle dei due componenti separati. L'osso e lo smalto sono eccellenti esempi di strutture di questo genere».

Ralph W. Phillips (1982)

Generalmente una resina composita per uso odontoiatrico racchiude tre fasi:

1. fase organica: la matrice organica o resina di base
2. fase dispersa: il riempitivo inorganico minerale (agente rinforzante)
3. fase interfacciale: l'agente legante che unisce la matrice al riempitivo.

L'unione di questi elementi non avviene in modo casuale.

Le proprietà chimico-fisiche della resina matrice, la sua viscosità, la natura del riempitivo, la sua geometria e concentrazione, il modo con cui si ottiene l'unione fra il riempitivo e la matrice, sono solo alcuni dei fattori più importanti che devono essere presi in considerazione nella formulazione delle resine compositi.

1. La matrice organica

Rappresenta il 40-50% del volume della massa composito (Craig, 1981).

La resina più comunemente usata come matrice è il BIS-GMA.

Nel 1957 R.L. Bowen ottenne la sintesi di un monomero (oligomero) dimetacrilato liquido, viscoso, non volatile (denominato BIS-GMA) quale prodotto di reazione fra Bisfenolo A e 2 molecole di Glicidil-metacrilato (GMA).

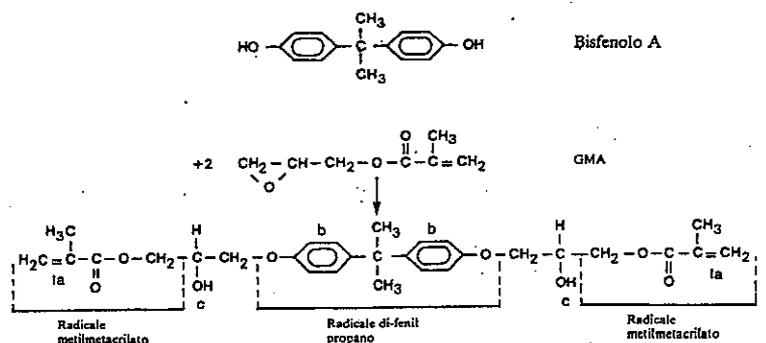
Questa molecola realizza un buon compromesso fra resine epossidiche e metacriliche. Sviluppa proprietà superiori al metilmetacrilato in virtù del notevole peso molecolare e complessità della struttura chimica.

a) I doppi legami (funzioni metacrilate) presenti nel monomero consentono la reticolazione tridimensionale nella polimerizzazione.

b) I nuclei aromatici conferiscono alla molecola rigidità e resistenza alla trazione.

c) I gruppi idrossilici possono formare legami di idrogeno (uno dei meccanismi all'origine dell'adesione). Favoriscono l'assorbimento d'acqua e aumentano la viscosità.

Resina di Bowen



2,2-bis [4 (2 - Hydroxy - 3 - methacryloxypropoxy) phenyl] propane

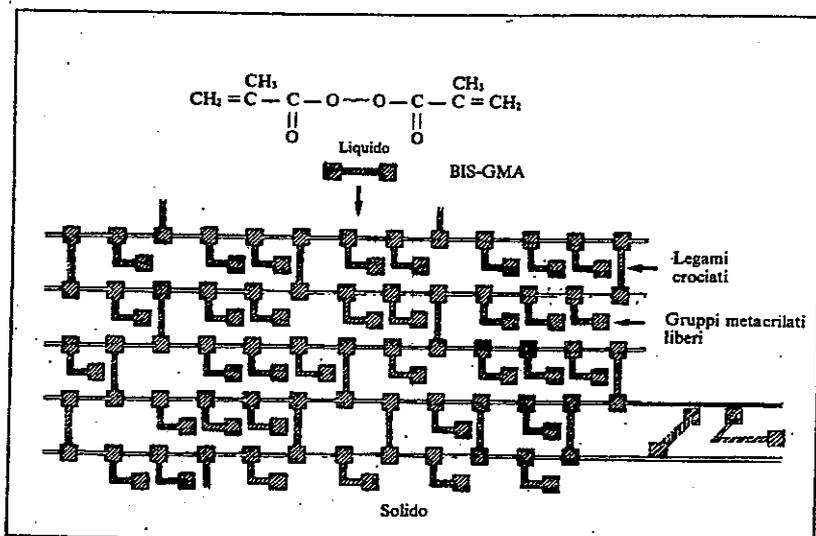
Polimerizzazione della matrice

È una reazione a catena che permette di ottenere, partendo dal monomero, un complesso macromolecolare (polimerizzazione per addizione).

In seguito all'apertura dei doppi legami C=C nei gruppi metacrilati del monomero, si avvia una reazione a catena che porta alla formazione di un complesso macromolecolare strutturato in una rete tridimensionale irreversibile.

La reticolazione tridimensionale è dovuta alla difunzionalità del BIS-GMA: il doppio radicale metilmetacrilato produce legami crociati.

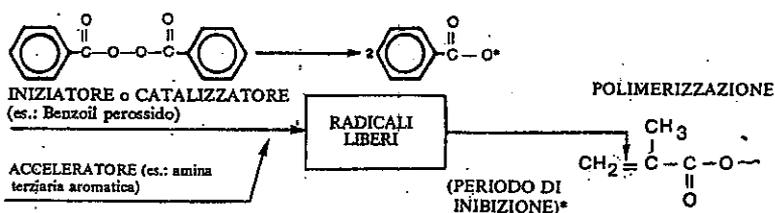
Rappresentazione schematica idealizzata della struttura (tridimensionale) del copolimero derivato dal monomero dimetacrilato BIS-GMA (Da Ruyter, 1985).



La reazione di polimerizzazione viene innescata da radicali liberi che reagiscono col monomero e forniscono l'energia per l'apertura dei doppi legami C=C.

La produzione di radicali liberi avviene in seguito alla scomposizione di varie molecole, in due modi diversi:

1. Compositi a polimerizzazione chimica (sistemi a 2 componenti)



* La reattività dei radicali in formazione con l'O₂ è maggiore della reattività per il monomero.

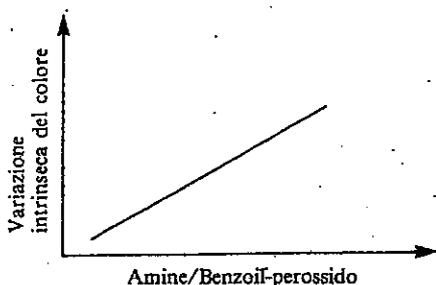
Così la polimerizzazione ha inizio quando la concentrazione di ossigeno è fortemente ridotta. Questa competizione impiega un certo tempo per esaurirsi contribuendo a determinare il tempo di lavoro.

Nello strato superficiale (1-100 μm) comunque, la concentrazione di ossigeno non si riduce ed in questo spessore la polimerizzazione è sempre parzialmente o completamente inibita, a meno di creare un ambiente anaerobio (es.: con una matrice) (Ruyter, 1981).

Questi compositi devono perciò essere confezionati in due parti distinte (due paste oppure liquido e pasta), con l'iniziatore contenuto in un flacone e l'acceleratore nell'altro. La produzione di radicali liberi avviene solo quando si mescolano i due componenti.

Vengono anche aggiunte nelle due confezioni altre sostanze in piccole quantità (0,1%) con funzioni diverse:

— Inibitori (Chinoni, Fenol-derivati): sono sostanze che reagiscono con i radicali liberi quando inizia il mescolamento del composito e determinano un periodo di latenza prima che inizi la polimerizzazione. Forniscono quindi il tempo all'operatore per miscelare le paste ed inserire la massa plastica in cavità (tempo di lavoro). Quando tutta la sostanza inibitrice è stata consumata nella reazione con i radicali, la polimerizzazione procede a normale velocità.



Variazione di colore intrinseca in rapporto al contenuto relativo di amine (da Asmussen, 1985)

Inoltre gli inibitori prevengono la polimerizzazione spontanea durante lo stoccaggio del composito;

— I ritardanti hanno la funzione di rallentare la velocità di polimerizzazione (mentre come abbiamo visto, gli inibitori la bloccano per un certo tempo);

— Stabilizzatori (Benzofenoni e altri): ritardano i fenomeni di invecchiamento che si manifestano con la degradazione del materiale per ossidazione delle catene macromolecolari e cambiamenti di colore. Assorbono i raggi UV migliorando la stabilità del colore. La decomposizione del Benzoil-perossido provoca il deterioramento del composito (indurimento lento) che si può avere in seguito ad un lungo tempo di stoccaggio. I moderni compositi sono più stabili ma è sempre raccomandata la conservazione in luogo freddo e buio;

— Additivi. Es.: pigmenti, fluoro (Temin and Csuros, 1988), ecc.

Queste sostanze possono incidere anche sulle caratteristiche del composito polimerizzato.

Es.: la stabilità di colore è influenzata dal livello di Benzoil perossido (Koblitz et al., 1977).

È stato stabilito da Asmussen (1985) un rapporto inversamente proporzionale fra il cambiamento di colore ed il contenuto di Benzoil perossido.

In certe condizioni questa sostanza può decomporre facendo aumentare il contenuto relativo di amine → discolorazione (Heymann et al., 1987).

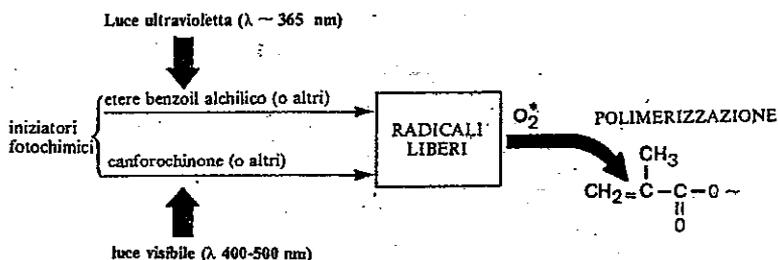
Lo spatolamento delle due paste necessario per fare entrare in intimo contatto l'iniziatore e l'acceleratore, determina facilmente l'incorporazione di bolle d'aria (aumento della porosità valutata in 5-6% del volume) che non si possono eliminare completamente neppure applicando il materiale con una siringa. Inoltre la miscelazione influisce sul tempo di inserimento in cavità del composito. Infatti una volta iniziato il mescolamento si avvia un processo irreversibile che porterà, in un tempo limitato, all'indurimento della massa. Il tempo di lavoro dei compositi autopolimerizzati è determinato da una correlazione fra le concentrazioni di:

— Iniziatore — acceleratore — inibitore — O_2 — oltre che dalla temperatura (Cook and Standish, 1983a).

2. Compositi fotopolimerizzabili

* La velocità di formazione dei radicali è molto più alta dei materiali a polimerizzazione indotta chimicamente. In vicinanza della superficie l' O_2 e la sostanza inibitrice vengono consumati velocemente e l'avvio della polimerizzazione segue di pochi secondi l'applicazione della luce (Ruyter, 1981). Negli strati profondi dove la radiazione luminosa è attenuata, la natura e la concentrazione dell'inibitore sembrano influire sulla estensione di polimerizzazione (Cook and Standish, 1983a, vedi anche Taira et al., 1988).

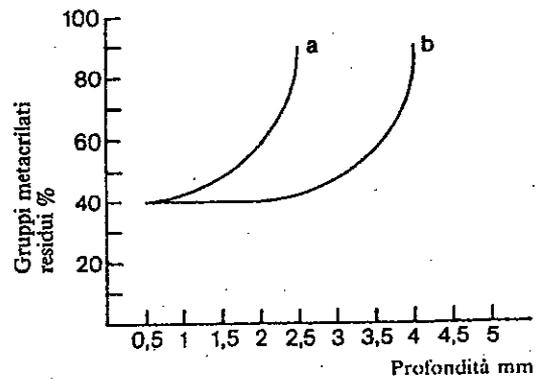
L'energia necessaria per la produzione di radicali liberi viene fornita da radiazioni elettromagnetiche che agiscono sull'iniziatore dissociandolo.



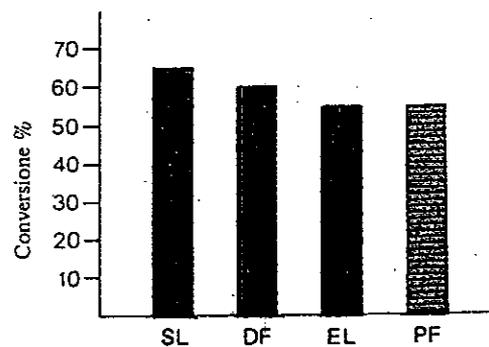
Variatione del grado di conversione (quantità di gruppi metacrilati che non hanno reagito) in relazione alla profondità.

a) Misurato alle 24 ore per 20 sec di esposizione.

b) Misurato alle 24 ore per 60 sec di esposizione (da Ruyter, 1982 modif.).

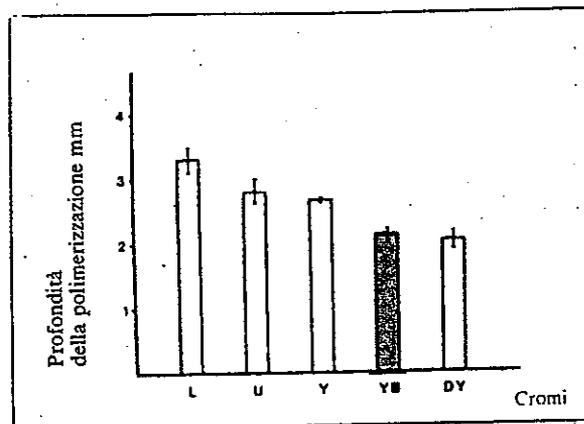


Grado di conversione a 0,5 mm di profondità con Translux. SL (Silux), DF (Durafill), EL (Estilux), PF (Prismafil) (da Ruyter 1985).



Silux irradiato per 20 sec con Translux (da Ruyter, 1985).

Si noti come per le paste più cromatiche corrisponda una minore profondità di polimerizzazione a parità di tempo di esposizione alla luce.



Per le resine la cui polimerizzazione è indotta chimicamente, la reazione avviene *uniformemente* nella massa del materiale ed è indipendente dallo spessore dell'otturazione. Cionondimeno il grado di conversione dei compositi autopolimerizzati è più basso (Stupp and Weertman, 1979; Antonucci and Toth, 1981; Asmussen, 1982a; Vankerhoven et al., 1982; Ferracane and Greener, 1984).

Il grado di conversione può anche avere effetti sulla resistenza alla degradazione chimica. I doppi legami residui rendono i compositi meno resistenti all'aggressione chimica (Grassie, 1956; Wu et al., 1984).

Asmussen (1975a) ha rilevato che l'estensione di polimerizzazione dipende dalla quantità di BIS-GMA contenuta nel monomero.

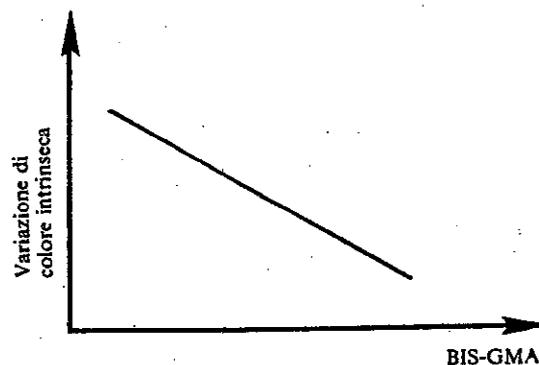
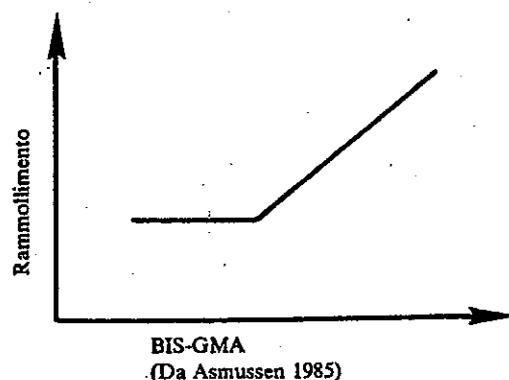
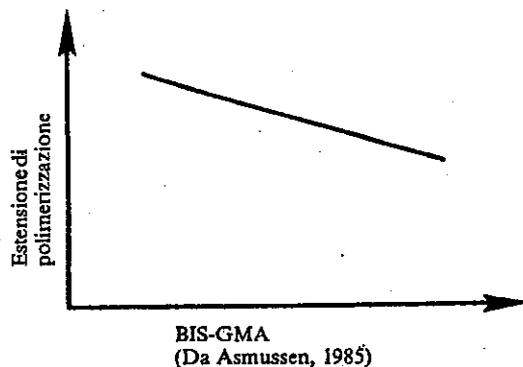
Più elevato è il contenuto di BIS-GMA, minore è l'estensione della polimerizzazione.

Questa correlazione è particolarmente influente sulle proprietà del polimero quando questo subisce l'azione di molecole solventi presenti in bocca.

Maggiore è il contenuto in BIS-GMA, maggiore è l'effetto rammollente dei solventi sulla matrice.

Il minor contenuto in BIS-GMA dei compositi microriempiti rispetto ai compositi macroriempiti può spiegare il miglior comportamento clinico all'abrasione dei primi dovuto, in buona parte, alla migliore resistenza all'azione delle piccole molecole esogene.

Variatione di colore intrinseca dei compositi autopolimerizzati. Maggiore contenuto in BIS-GMA – minore discolorazione (da Asmussen, 1985).



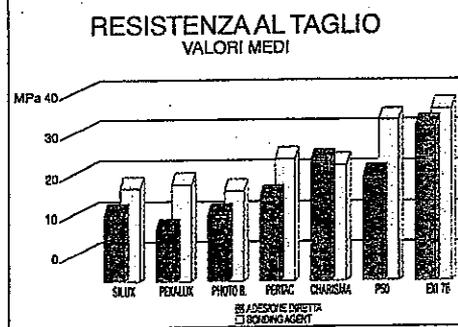
Un elevato contenuto in BIS-GMA influisce favorevolmente sulla stabilità del colore nel composito polimerizzato.

Ciononostante i compositi microriempiti mostrano una minore tendenza alla discolorazione della superficie rispetto ai macroriempiti (che contengono più BIS-GMA) (Asmussen, 1985). È altresì ben chiara l'influenza determinante che hanno le note qualità di superficie dei compositi a microparticelle sulle proprietà estetiche.

Elevato contenuto di BIS-GMA → MINORE ESTENSIONE POLIMERIZZAZIONE ↗ maggiore suscettibilità al rammollimento ↘ maggiore stabilità colore

Resina bonding fra gli strati Mason e coll. (1992)

La validità della tecnica dei successivi apporti incrementali di composito è subordinata al fatto di ottenere dei valori di adesione fra i diversi strati almeno confrontabili con i caratteri di coesione del materiale nel suo complesso. Il legame adesivo fra due successivi strati di composito è garantito dalla reazione dei gruppi funzionali del materiale aggiunto con i doppi legami residui dopo la polimerizzazione del materiale che funge da substrato. Anche se il valore medio di adesione fra gli strati supera la forza di coesione del materiale, dal punto di vista operativo risulta improbabile ottenere una stratificazione uniforme senza inclusione di bolle od impurità fra gli strati successivi. Questo problema è acuito dall'impiego di materiali densamente caricati, altamente viscosi, quali sono i compositi per restauri posteriori che vengono adattati tramite compattazione simil-amalgama. È stato suggerito da più parti di interporre fra gli strati di composito un'applicazione di resina fluida bonding per facilitare l'adattamento del composito e minimizzare l'inclusione di vuoti e bolle. L'accorgimento ha sollevato preoccupazioni per l'eventuale effetto «diluente» che potrebbe giocare la resina fluida portando ad un indebolimento della massa. Mason e coll. (1992), attraverso un'indagine sperimentale in vitro su 7 compositi, hanno potuto verificare che l'utilizzo del bonding come intermedio tra i diversi strati di composito risulta essere certamente un fatto positivo ai fini della capacità di adesione nella tecnica incrementale. Ciò dovrebbe garantire un miglioramento anche a livello clinico delle caratteristiche del restauro.



Anche la lucidatura aumenta il grado di conversione alla superficie del restauro, probabilmente per l'aumento di temperatura provocato dalle manovre di rifinitura (Vankerhoven et al., 1982).

Il grado di conversione alla superficie della resina composita può essere del tutto differente da quello della massa interna. Infatti a causa della diffusione dell'ossigeno nello strato superficiale (5-100µm) la polimerizzazione può essere parzialmente o completamente inibita (Ruyter, 1981). Questa residua insaturazione (grande numero di gruppi metacrilati reattivi) fornisce il *legame interfacciale* fra uno strato di composito polimerizzato ed il successivo (tecnica incrementale), ma può rappresentare uno svantaggio quando il fenomeno avviene alla superficie delle bolle intrappolate nella matrice polimerizzata. Tjan and Glancy (1988) hanno valutato che la forza del legame interfacciale è generalmente superiore alla forza di coesione dei compositi.

I compositi fotopolimerizzabili presentano una minore quantità di vuoti per frazione volumetrica perché sono confezionati sotto vuoto e non necessitano di mescolamento (pasta unica).

Conclusioni.

La fase organica è costituita da tre gruppi distinti di componenti:

1) costituenti di resine polimeriche:

- a) oligomeri,
- b) monomeri;

2) sostanze che influenzano la reazione di polimerizzazione:

- a) iniziatori,
- b) acceleratori,
- c) inibitori;

3) sostanze che favoriscono l'estetica del composito:

- a) assorbitori di UV,
- b) pigmenti,
- c) additivi.

Le proprietà della matrice organica sono determinate dalla natura chimica dei componenti e dal processo di polimerizzazione:

COMPONENTI	POLIMERIZZAZIONE	MACRICE POLIMERICA
- Resina base (BIS-GMA, EUDMA ecc.)	- concentrazione e struttura chimica dei dimetacrilati	- grado di conversione
- monomeri, oligomeri	- concentrazione: - diluenti	- legami crociati
- diluenti - BIS-MA	- acceleratori	- lunghezza catena
- EDGMA	- iniziatori	- componenti residui
- TEGDMA	- inibitori	- vuoti, disomogeneità
- MMA ecc.		

Il polimero di pagina 953 è una rappresentazione schematica di una reazione complicata dalla presenza di differenti tipi di molecole dimetacrilate nella resina (BIS-GMA, TEGDMA, ecc.). La diversa reattività dei siti insaturati può condurre alla formazione di una rete polimerica disomogenea (Walling, 1945; Horie et al., 1975; Funke, 1967; Dusek and Prins, 1969; Ruyter and Svendsen, 1978).

Regioni ad alta concentrazione possono essere circondate da materiale a bassa densità di legami crociati. Queste imperfezioni si ripercuotono sulle qualità della matrice e del composito (durezza, resistenza al degradamento idrolitico, usura, ecc.).

2. Il Riempitivo (fase dispersa, agente rinforzante)

Il riempitivo (definito correntemente anche con il termine inglese «filler») è rappresentato da varie sostanze, solitamente sotto forma di particelle, aggiunte alla matrice per ovviare le carenze di resistenza.

il filler varia considerevolmente per:

- composizione chimica
- dimensioni
- forma
- quantità.

In base alla natura chimica si possono distinguere 2 gruppi:

- Particelle a base di SiO_2

- quarzo cristallino
 - duro
 - chimicamente inerte
 - basso coefficiente di espansione termica
 - indice di rifrazione favorevole per un buon rendimento estetico
 - impiegato come macroriempitivo
- SiO_2 pirogenica
 - piccole sfere di silice sintetizzate chimicamente ad alta temperatura
 - impiegato quale riempitivo a microparticelle di $0.04 \mu\text{m}$.

- Particelle a composizione chimica più complessa

- vetri di Bario, Zinco, Stronzio, Litio
- litio-alluminio-borosilicati
- zirconio

sono tutti impiegati come macroriempitivi e particelle di piccola taglia.

I metalli pesanti conferiscono radiopacità alle particelle ma non sono completamente inerti.

Es. Il bario in ambiente acquoso può andare soggetto a reazione di dissoluzione (pag. 994).

Nonostante esistano molti caratteri differenziali, la classificazione dei riempitivi viene fatta in base alle dimensioni delle particelle (ed alla tecnica di fabbricazione).

Vengono suddivisi in 2 sistemi:

- | | | | |
|---|----------------------|------------------|----------------------|
| <p>Tipo I - Le particelle inorganiche vengono uniformemente disperse nel monomero matrice</p> <ul style="list-style-type: none">- Classe I - Particelle di grossa taglia (macrosize) $8-25 \mu\text{m}$- Classe II - Particelle di piccola taglia (minisize) $1-8 \mu\text{m}$- Classe III - Microparticelle (microsize) $0.04-0.2 \mu\text{m}$- Classe IV - Miscela di Classi I-III <p>Tipo II - È rappresentato da granuli di polimero (particelle prepolymerizzate) di $1-200 \mu\text{m}$ che inglobano particelle molto fini di silicio colloidale ($0.04-0.2 \mu\text{m}$). I granuli polimerici sono quindi dispersi nella matrice che può contenere o meno altro riempitivo inorganico.</p> <ul style="list-style-type: none">- Classe I - Macroparticelle prepolymerizzate rinforzate $1-200 \mu\text{m}$- Classe II - Miscela di <table border="0"><tr><td rowspan="2">}</td><td>Tipo II/Classe I</td></tr><tr><td>Tipo I/Classe II-III</td></tr></table> | } | Tipo II/Classe I | Tipo I/Classe II-III |
| } | | Tipo II/Classe I | |
| | Tipo I/Classe II-III | | |

Tecniche di produzione

Tipo I {
 Classe I
 Classe II

- MACROPARTICELLE (riempitivi tradizionali)
- PARTICELLE DI PICCOLA TAGLIA (riempitivi a piccole particelle)

Sono ricavati per triturazione, in forma di scaglie, da sostanze inorganiche quali quarzo, vetri, borosilicato, ceramiche, ecc.

Le tecniche meccaniche di produzione (macinazione) presentano alcuni inconvenienti quali la possibile contaminazione da particelle abrasive (delle macine) e la formazione di microfratture nel filler che possono influenzare le proprietà meccaniche ed estetiche dei compositi.

Il miglioramento delle tecnologie e l'impiego di materiali più soffici consentono di ottenere oggi giorno particelle più fini (1-5 μm).

Tipo I - Classe III

- MICROPARTICELLE
[SiO₂ silice pirogenica]

Attraverso procedimenti *chimici* (precipitazione) ad alta temperatura, si possono ottenere filler sintetici a forma di sfere di 0.04-0.3 μm di diametro in dispersione colloidale (silice pirogenica).

A causa delle piccole dimensioni e della forma sferica, queste particelle hanno una grande superficie di sviluppo che influisce molto sulla viscosità del monomero (1g = 300 m²).

Con una relativa piccola aggiunta di filler il miscuglio diventa estremamente viscoso e difficilmente manipolabile.

Nei compositi microriempiti omogenei le particelle di silice pirogenica aumentano talmente la viscosità da non permettere un incorporamento superiore al 10% in peso (Lasfargues and Lusardi, 1986).

Perciò questo tipo di formulazione è stato abbandonato a favore dei riempitivi complessi.

Per risolvere il problema della viscosità sono stati sviluppati i:

Tipo II - Classe I

- COMPLESSI RESINOSI A BASE DI MICROPARTICELLE

Il procedimento costruttivo consiste nell'incorporare la silice colloidale in una resina diluita BIS-GMA o altro monomero poco viscoso. La miscela viene polimerizzata al calore e quindi frantumata in grossolane particelle organiche di forma varia (1-200 μm) contenenti il microriempitivo.

Il composito che ne risulta è formato dalla miscelazione di queste particelle prepolimerizzate con il monomero matrice che incorpora anche una certa frazione di silice colloidale. In tal modo il carico di riempitivo può avvicinare il 50% del peso.

Questi sistemi resinosi sono correttamente definiti:

- compositi microriempiti non omogenei con particelle prepolimerizzate e reinserte nella massa;

oppure

- complessi microriempiti prepolimerizzati e reinserti nella massa.

È stato brevettato nel 1983 (Podzun and Walkowiak) un procedimento per la produzione diretta di sfere polimeriche regolari di 5-50 μm di diametro tramite polimerizzazione a caldo.

Legame con il riempitivo inorganico

Due possibilità:

— legame meccanico

— legame chimico

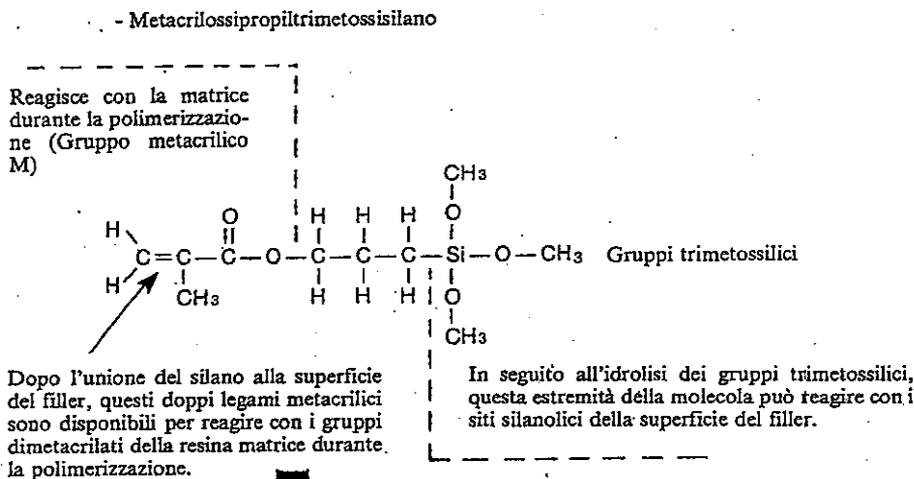
L'ancoraggio micromeccanico si ottiene creando delle porosità sulla superficie delle particelle oppure sinterizzandole (Ehrnford, 1983).

I filler semiporosi sono stati proposti da Bowen and Read (1976a, b). Il monomero fluisce nelle irregolarità ed in seguito alla polimerizzazione, le particelle vengono inglobate e legate meccanicamente alla matrice (Bowen et al., 1976; Calais and Soderholm, 1988).

Il legame chimico è il metodo più impiegato.

Consiste nel ricoprire le particelle inorganiche di riempitivo con sostanze chimiche difunzionali (silani o altro) che realizzano dei ponti di unione fra la matrice ed il riempitivo.

Il sistema più usato per realizzare il legame chimico fra matrice e riempitivo consiste nel ricoprire le particelle del filler con una particolare sostanza: la molecola silanica γ metacrilossipropiltrimetossisilano.



Potendo reagire alle opposte estremità con siti specifici, questa molecola realizza una sorta di ponte fra la matrice ed il riempitivo (molecola difunzionale).

Questo schema di accoppiamento è una rappresentazione didattica semplificata di una struttura ovviamente molto complessa, e non prevedibile.

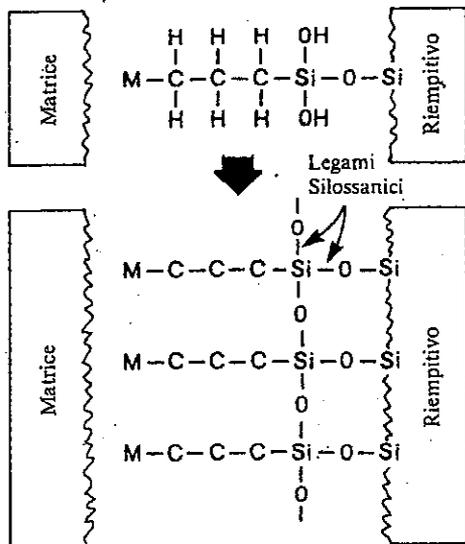
In seguito all'idrolisi dei gruppi trimetossilici si forma un gruppo silanico trifunzionale che genera altrettanti legami silossanici con la superficie del riempitivo e fra le molecole stesse di agente legante. Si forma quindi una rete polisilossanica.

Sono necessarie solo piccole quantità di agente accoppiante silanico per ricoprire la superficie del filler.

In condizioni ideali, soluzioni acquose (alcoliche) contenenti 0.025-2% di silano, sono sufficienti per formare un monostrato (Plueddemann, 1982).

Ciononostante è stato verificato che generalmente il silano non forma un film uniforme ma presenta regioni micellari formate da polimeri ad alta densità e zone con materiale di basso peso molecolare steso in un film sottile e discontinuo (Bascom, 1972). Queste aree a bassa densità offrono la via di ingresso alle piccole molecole d'acqua che attaccano la superficie del riempitivo non completamente ricoperto dalle molecole silaniche.

- Legame matrice-riempitivo e rete silanica



Classificazione dei compositi

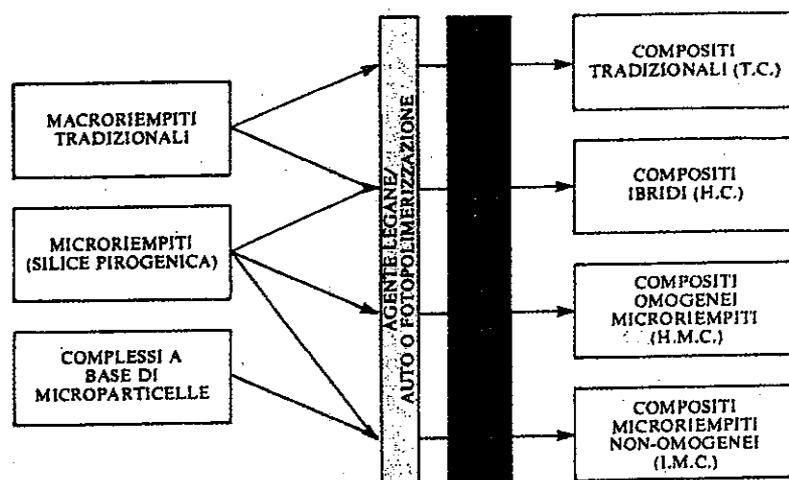
Considerata la natura dei componenti si comprende come le possibilità di combinazione fra le fasi siano elevate.

Dal momento che la fase dispersa di rinforzo conferisce le proprietà dominanti al composito, le classificazioni dei sistemi resinosi si basano sulla formulazione del riempitivo.

Nel 1983 Lutz e Phillips hanno proposto una classificazione generale dei compositi che ha contribuito a portare ordine in un settore del mercato sovraccarico di prodotti, facilitando anche la scelta da parte del dentista pratico.

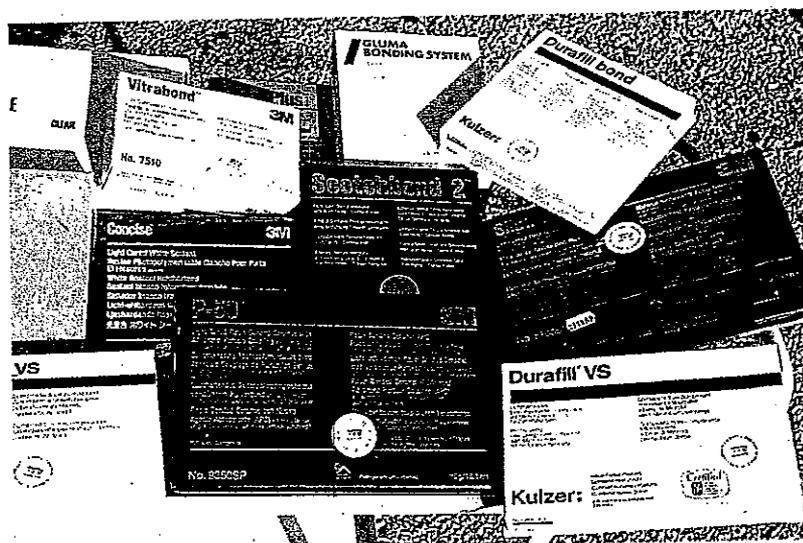
Classificazione delle resine da restauro (da Lutz and Phillips, 1983)

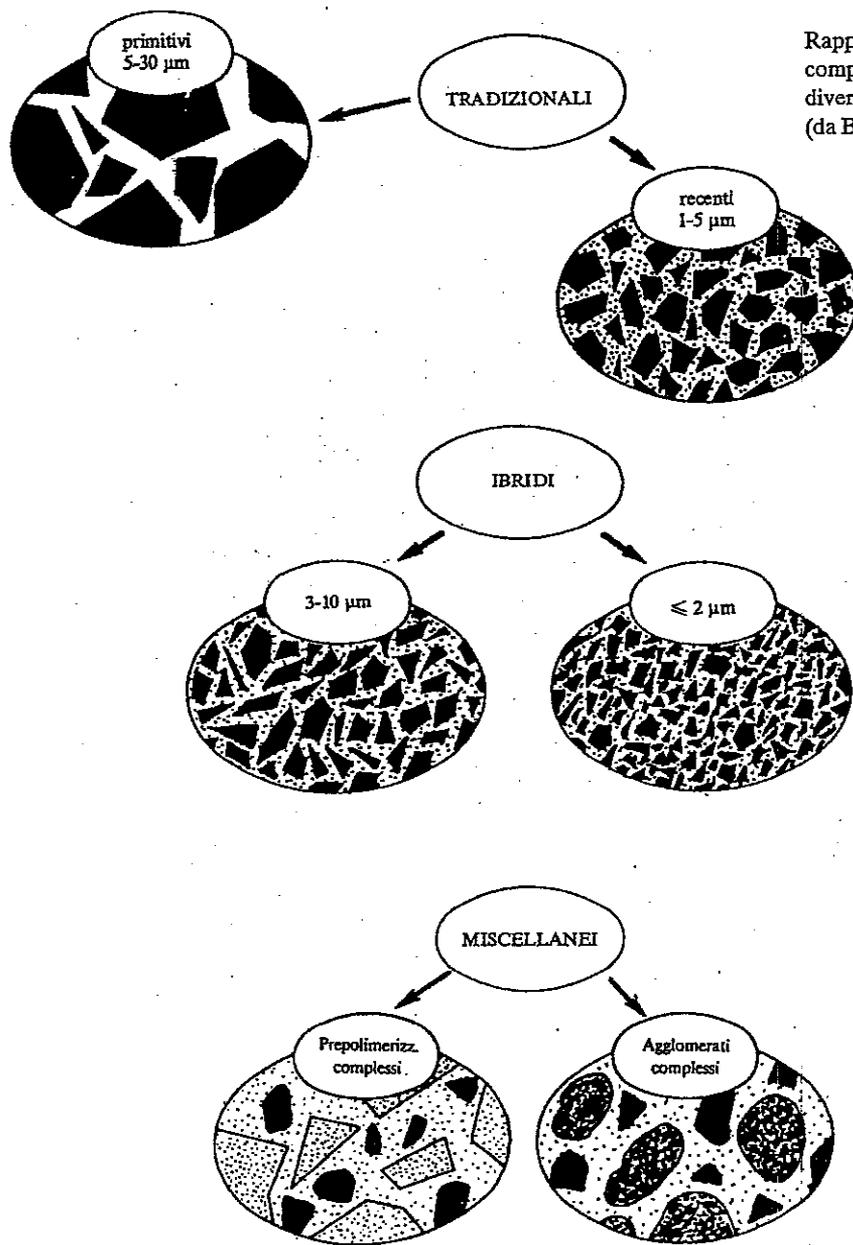
CLASSIFICAZIONE DELLE RESINE DA RESTAURO



Vengono distinti quattro gruppi principali di sistemi resinosi, quale risultato delle combinazioni fra i vari riempitivi con la resina matrice e l'agente legante (fattori questi ultimi relativamente costanti e comuni alla totalità dei compositi). Una ulteriore possibilità di combinazione è la distinzione in sistemi auto e fotopolimerizzabili.

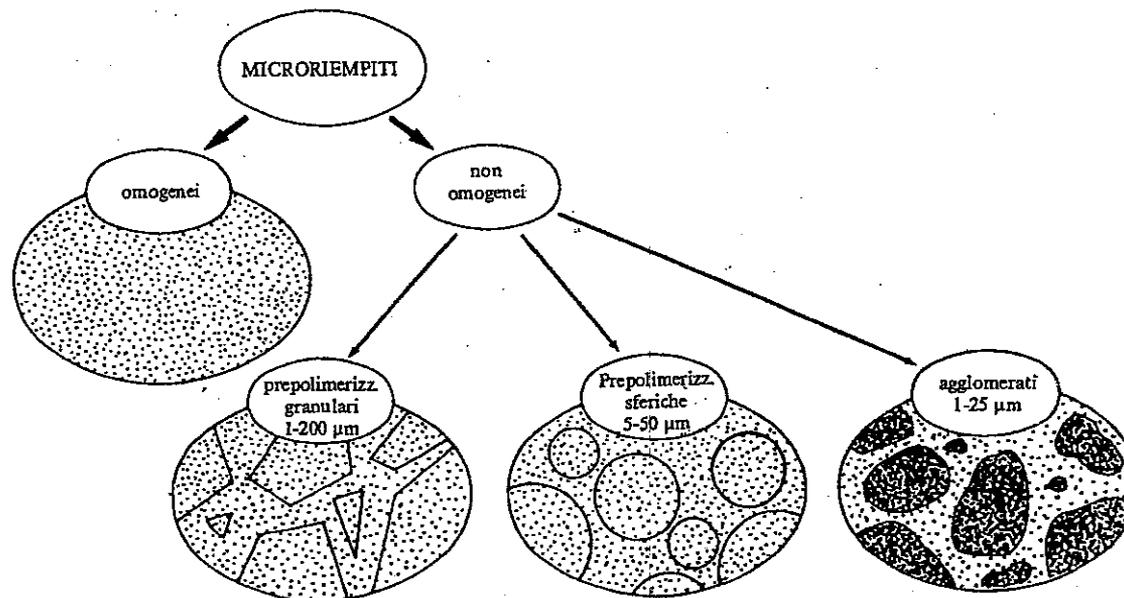
Una classificazione più complessa e completa si può ricavare dallo schema di Craig per i riempitivi (pag. 963).





Rappresentazione schematica dei gruppi di compositi classificati in base alla taglia ed alle diverse combinazioni del carico di riempitivo (da Braem et al., modific. 1984).

compositi densamente caricati

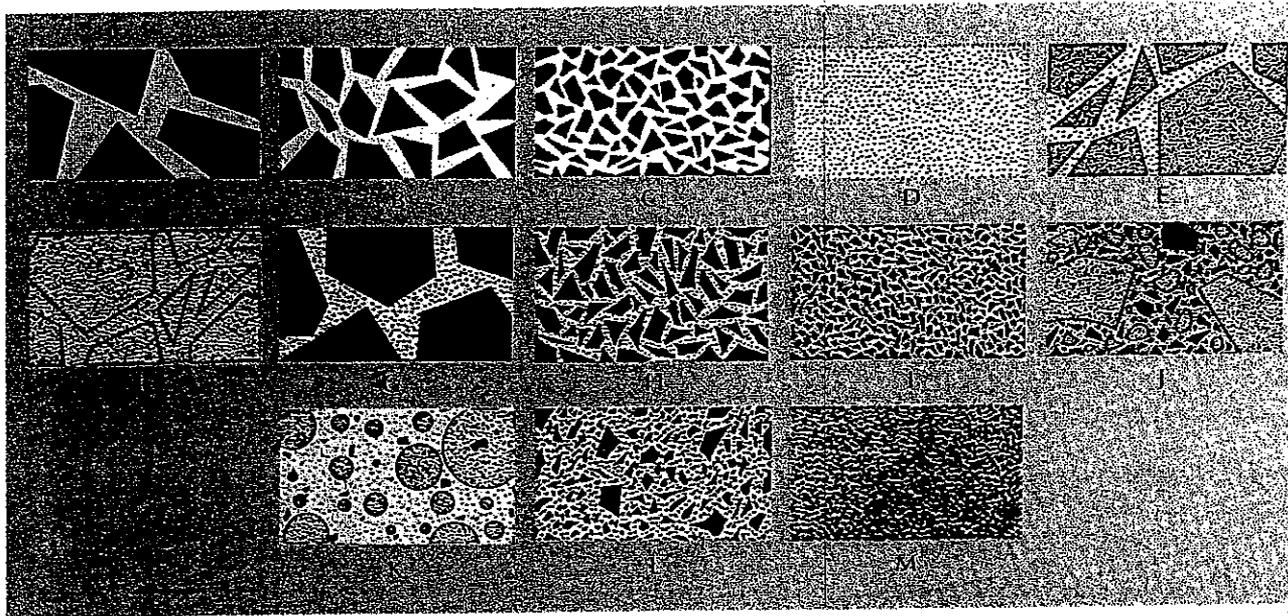


Classificazione moderna

Hosoda et al. (1990)

Un aggiornamento nella classificazione dei materiali compositi si deve al lavoro di Hosoda e coll. (1990) che, per mezzo dell'osservazione al microscopio elettronico a scansione e dell'analisi qualitativa degli elementi contenuti in 66 prodotti presenti sul mercato hanno portato un contributo significativo nell'ordinamento di un settore assai complesso ed in costante, rapida evoluzione.

Illustrazione schematica della struttura delle resine composite (da Powell, 1992)



- A, B, C: resine composite tradizionali macroriempite.
- D: resine composite microriempite (MFR), (omogenee nella class. di Lutz e Phillips).
- E: resine composite tipo-microriempito (tipo MFR), (non omogenee); a) complessi microriempiti-reinseriti; b) complessi microriempiti-agglomerati.
- F: resine composite tipo-submicroriempito (tipo SFR); a) complessi submicroriempiti-reinseriti.
- G, H, I: resine composite ibride; a) macroriempitivi tradizionali; b) microriempitivi.
- J: resine composite tipo-ibrido; a) macroriempitivi tradizionali, microriempitivi, complessi microriempiti-reinseriti;
- K: resine composite tipo-ibrido; b) macroriempitivi tradizionali, microriempitivi, complessi microriempiti sferici-reinseriti.
- L: resine composite semiibride e altamente caricate; a) microriempitivi tradizionali.
- M: resine composite semiibride e altamente caricate; b) piccoli riempitivi tradizionali.

Categorie di resine composite proposte da Hosoda e coll. (1990) (da Powell, 1992)		
Categoria	Riempitivi	Quadri corrispondenti nella figura soprastante
Traditional composite resin (macro)	Traditional macrofiller	A-c
Microfilled composite resin	Microfiller (0.06-0.04 μm)	D
Microfilled-type composite resin	Microfiller (0.06-0.04 μm), splintered microfilled complex	E
	Microfiller (0.06-0.04 μm), agglomerated microfilled complex	
Submicrofilled-type composite resin	Submicrofiller (0.3-0.2 μm), splintered microfilled complex	F
Hybrid composite resin	Traditional macrofiller, microfiller (0.06-0.04 μm)	G-I
Hybrid-type composite resin	Traditional macrofiller, microfiller (0.06-0.04 μm), splintered microfilled complex	J
	Traditional macrofiller, microfiller (0.06-0.04 μm), spherical microfilled complex	K
	Traditional macrofiller, microfiller (0.06-0.04 μm), agglomerated microfilled complex	
Semihybrid or heavily filled composite resin	Traditional macrofiller (50-0.1 μm)	L
	Traditional small filler (6.5-0.1 μm)	M

Proprietà meccaniche

Proprietà meccaniche (da Braem et al., 1984)	Compositi tradizionali (primitivi)	Compositi microriempiti non omogenei	Ibridi	Resina Acrilica	Amalgama	Smalto	Dentina
Durezza (Rockwell)	56-72	73-89	65	113	90	300	93
Resistenza alla compressione (MPa)	139-260	221-284	296-310	83	318	384	297
Resistenza alla trazione (MPa)	31,5-49	30-56	51,7-67	21	55	10,3	51,7
Modulo di elasticità (GPa)	8-16	5-11	13-29	24	70	82,5	18,5

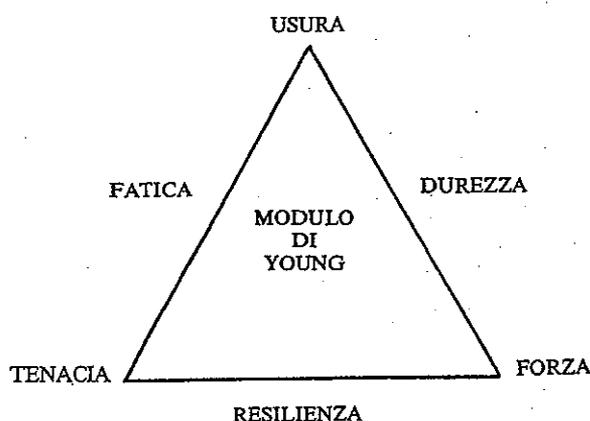
I materiali per il restauro dentale devono svolgere il loro servizio in un ambiente molto ostile; esposti alle insidie chimico-fisiche del cavo orale.

Specialmente per i compositi, l'impossibilità di individuare un test di laboratorio veramente predittivo della prestazione clinica in tempi lunghi, testimonia delle complesse interazioni fisico-chimiche-meccaniche in gioco nella conservazione delle strutture resinose in bocca (Asmussen, 1982, 1985; Jorgensen, 1980; Leinfelder et al., 1975).

I parametri meno ostici e più frequentemente misurati in laboratorio riguardano la resistenza alla compressione, la resistenza alla trazione, la durezza, il carico di rottura, la resistenza all'usura (in vitro), ecc.

Secondo autorevoli ricercatori questi test non hanno significatività clinica e non sono in grado di prevedere il comportamento nel tempo dei restauri in bocca (Asmussen, 1985; Sodherolm, 1985).

Questi dati possono assumere un certo interesse quando vengono impiegati quale termine di confronto nell'ambito di stessi sistemi resinosi.

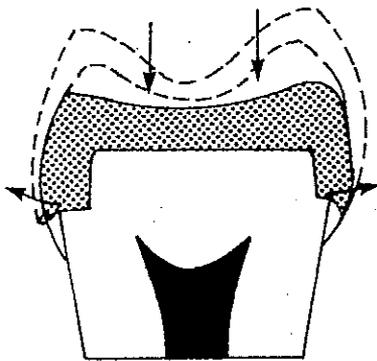


Dal momento che i compositi mostrano di possedere in certa misura *proprietà visco-elastiche*, i test meccanici di laboratorio più affidabili sono quelli che rilevano *le curve di deformazione tempo-dipendenti* (Cock and Watts, 1985).

Le forze che agiscono sui restauri in bocca sono *intermittenti* e in genere la frattura non è mai causata da un unico stress (escludendo l'evento traumatico). Il cedimento del materiale durante la normale attività funzionale e parafunzionale è la risultante della *somma di piccole deformazioni* (microfratture del riempitivo, cedimento del legame matrice-riempitivo) che diventano permanenti quando lo stress supera il limite elastico e la deformazione stessa non viene recuperata negli intervalli liberi dal carico (Pilliar et al., 1983; Roberts et al., 1977).

Un cedimento che deve essere inteso soprattutto come cofattore di deterioramento. Infatti, anche se le deformazioni non portano alla rottura del restauro, esse sono espressione di microfratture del riempitivo e/o cedimento del legame matrice-riempitivo che possono propagarsi e comunque favoriscono la diffusione e l'azione chimica delle piccole molecole esogene (McKinney, 1985).

Compositi	GPa
- convenzionali	8-16
- ibridi	13-29
- microriempiti	5-11
- resina non riempita	4
- amalgama	75
- smalto	82
- dentina	19



Rappresentazione schematica della distorsione di un restauro MOD in resina composita quando vengono applicati dei carichi occlusali (da Triadan, 1987).

Grafico delle curve forza/deformazione

Per una data forza (G) applicata a 3 materiali (A, B, C), nell'ambito del limite di proporzionalità elastica, avremo diverse deformazioni (che vengono recuperate dopo che la forza ha agito) dipendenti dalle proprietà elastiche dei diversi materiali.

MODULO DI ELASTICITÀ o Modulo di Young (E)

È una proprietà che assume particolare interesse nella valutazione dei compositi da impiegare nelle aree di forte stress.

Infatti il modulo E rappresenta la rigidità relativa del materiale nell'ambito del campo elastico.

Si calcola con l'equazione:

$$E = \frac{\text{forza (stress)}}{\text{deformazione}}$$

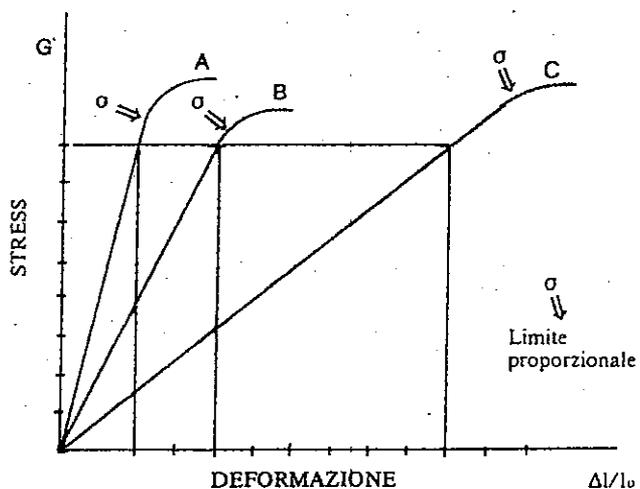
Le qualità elastiche sono di fondamentale importanza per un materiale e sono determinate dalle forze intermolecolari. Più forte è l'attrazione fra le molecole e maggiore è il valore del modulo elastico.

La rigidità di un materiale da otturazione rappresenta una proprietà rilevante nella situazione clinica. È infatti un requisito essenziale che anche sotto gli stress occlusali venga conservato un buon adattamento fra l'otturazione e le pareti della cavità.

I materiali con basso valore di E si deformano maggiormente alle forze occlusali.

Questa deformazione, oltre alle ripercussioni negative sul restauro e sulle strutture dentali, può aumentare il rischio di infiltrazione.

Allorché il modulo E di un dato composito si avvicina, in certa misura, a quello dello smalto o della dentina, la formazione di fessure sarà minima per un dato stress.



Il Modulo E rappresenta la inclinazione della porzione rettilinea (proporzionalità fra stress e deformazione) della curva stress/deformazione.

Il materiale A è più rigido di B, mentre C è il più elastico.

Le curve potrebbero essere riferibili alla misura del modulo di elasticità per un composito ibrido (A), microriempito (B), ed una resina non riempita (C).

Alla determinazione del modulo E di un composito concorrono:

- La matrice organica. Secondo alcuni autori ha un ruolo fondamentale (Boyer et al., 1982; Dennison and Craig, 1972);

Per alcuni ricercatori il modulo di elasticità è un dato molto rappresentativo delle proprietà meccaniche dei compositi. Per una misurazione attendibile del modulo E, i campioni di materiale andrebbero conservati in acqua per 3 mesi (Roberts, 1987).

Vedremo infatti quale influenza decisiva può avere la reazione idrolitica sulle qualità meccaniche (pag. 992-994).

CREEP (in compressione) – Carico di cedimento YS

Numerosi autori hanno analizzato il comportamento meccanico dei materiali dentali resinosi sottoponendoli al test del creep (Jorgensen et al., 1976; Ruyter, 1980, 1982; Papadogianis et al., 1984; Mueller et al., 1984; Ferracane et al., 1985; Anderlini, 1987).

Valori di Creep (alle 24 ore) e YS (da Ferracane et al., 1985)

* 1 Pa = 1N/m² 1N = 1/9.81 Kgf = 0.102 Kgf
 1 MPa = 10⁶ Pa = 0.102 Kgf/10⁶ mm² · 10⁶
 = 0.1 Kgf/m²

(SC) = autopolimerizzabile

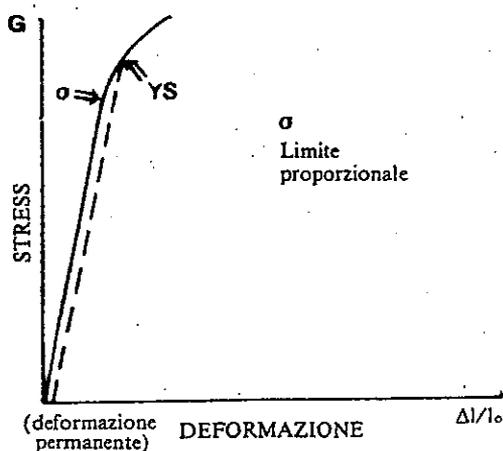
(LC) = fotopolimerizzabile

YS = carico di cedimento in MPa

Vol % = contenuto di riempitivo in volume percentuale

Fra i dati della ricerca di Ferracane raccolti in questa tabella si notano i bassi valori di YS e l'elevato creep per i compositi microriempiti (da Ferracane et al., modificata)

	Resina	YS(MPa)*	Creep (%)	Vol %
CLASSE I	Clearfil FII (SC)	159(5)	0,45(0,11)	55,9
	Clearfil posterior (SC)	206(24)	0,28(0,05)	59,3
	Command (LC)	121(6)	1,93(0,05)	61,3
	Ful-fil (LC)	105(6)	0,78(0,09)	53,8
	Prisma-fil (LC)	111(6)	0,54(0,08)	53,3
	Profile (SC)	176(10)	0,31(0,01)	59,4
	Simulate (SC)	151(4)	0,56(0,11)	61,3
CLASSE II	Adaptic (SC)	167(4)	0,35(0,05)	58,1
	Aurafil (LC)	149(9)	0,65(0,13)	62,0
	Command Ultrafine (LC)	119(6)	0,66(0,08)	54,8
	Concise (SC)	170(16)	0,41(0,03)	58,1
	Miradapt (SC)	194(5)	0,22(0,01)	59,9
	P-10 (SC)	175(12)	0,28(0,02)	66,7
	Profile TLC (LC)	162(9)	0,43(0,06)	67,5
	Visio-fil (LC)	120(6)	0,60(0,05)	65,0
CLASSE III	Finesse (SC)	100(3)	1,15(0,07)	19,0
	Microrest posterior (SC)	88(18)	1,08(0,19)	45,2
	Prisma Fine (LC)	64(4)	1,74(0,40)	20,5
	Silar (SC)	107(4)	0,69(0,12)	35,4
	Silux (LC)	103(6)	0,77(0,13)	38,2
	Visio-Dispers (LC)	84(8)	0,62(0,20)	55,2



YS è uno stress che induce nel materiale una deviazione dal rapporto proporzionale.

Questo test si esegue applicando una forza che supera il limite elastico e determina nel materiale una deformazione permanente di almeno 0.1%.

Per la prova del creep i campioni del materiale da testare sono sottoposti ad un carico compressivo costante inferiore al carico di cedimento (nell'ambito del limite proporzionale elastico). La deformazione che si produce è definita «creep» (Cock and Watts, 1985).

In una complessa ricerca (Ferracane et al., 1985), i campioni di composito sono stati sottoposti allo stress compressivo di 36 MPa a 37°C. Le misurazioni delle variazioni dimensionali a vari intervalli fino alle 24 ore.

Per la valutazione di YS ai campioni è stato applicato un carico compressivo crescente fino alla frattura. La misurazione del valore è stata fatta quando si instaurava una deformazione permanente di 0,2%.

Gli Autori concludono che il test della resistenza alla compressione non rappresenta un criterio sufficientemente rappresentativo nella comparazione fra i sistemi resinosi, perché la deformazione prodotta nei compositi, prima che sopravvenga la frattura compressiva, non è completamente recuperabile dal materiale stesso e si manifesta microscopicamente con microfratture a carico del riempitivo e cedimento del legame con la matrice.

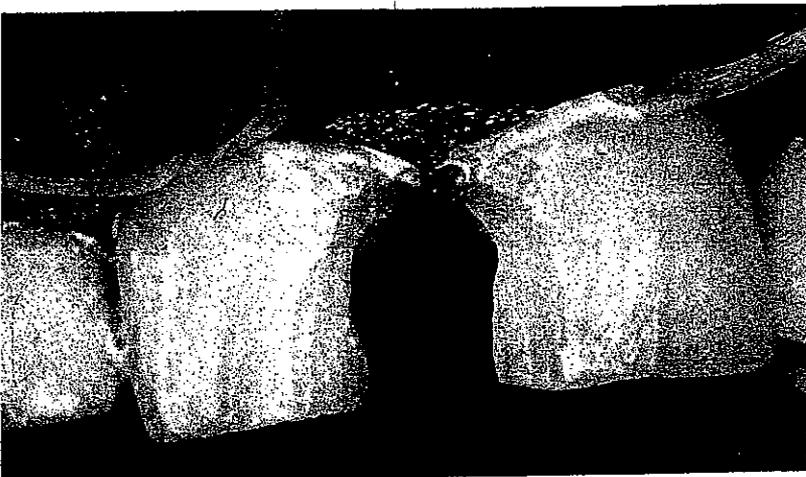
Lesioni cariose interprossimali estese in un giovane di 18 anni.



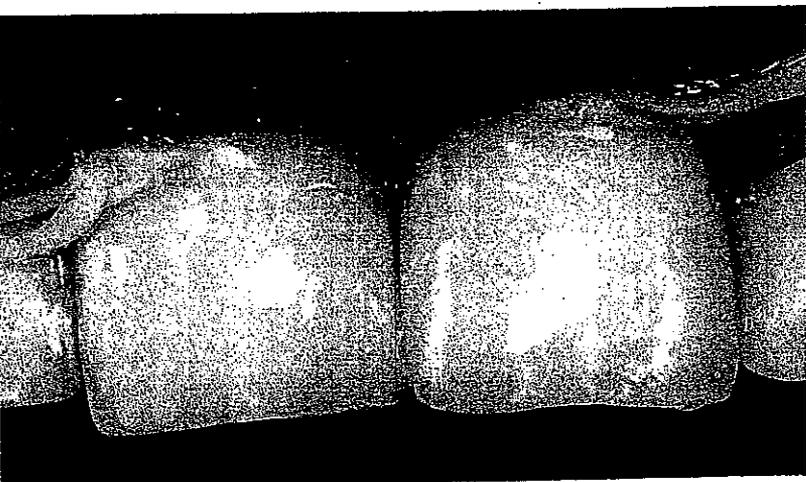
Dopo il curettage del tessuto cariato e la preparazione dello smalto, ci troviamo di fronte a restauri di IV classe.

Si può notare che sulla superficie dello smalto è stato applicato uno strato di cavity liner (Tubulitec).

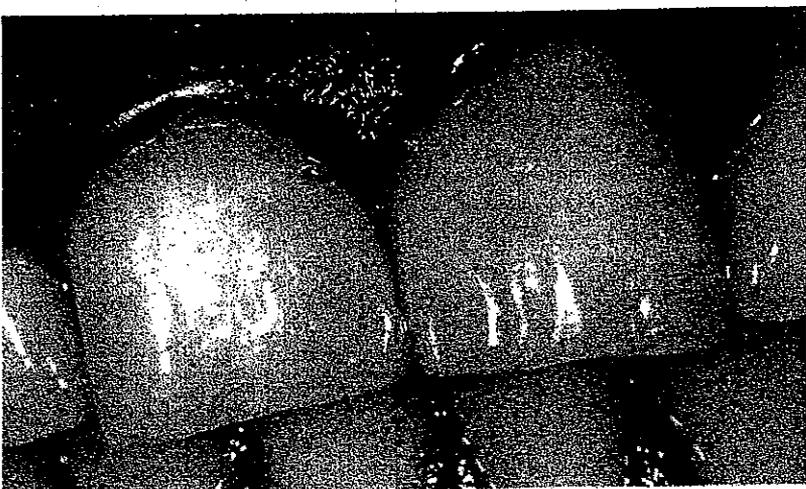
Questa tecnica, che oggi impiega una vernice colorata (vedi parte clinica), consente di delimitare con maggior precisione i confini dello smalto preparato e, contemporaneamente, protegge lo smalto integro della mordenzatura.



I denti sono stati restaurati entrambi con composito microriempito a tutto spessore.



L'integrazione cromatica dei restauri è risultata accettabile nonostante la relativa trasparenza caratteristica di questi compositi.



USURA

Si può definire come distacco di materiale solido da una superficie per effetto di un'azione meccanica.

Sono stati teorizzati 5 meccanismi alla base della perdita di sostanza (O'Brien and Yee, 1980):

— usura preferenziale della matrice alla superficie del composito. È favorita dai difetti della polimerizzazione (disomogeneità, bassa estensione di polimerizzazione);

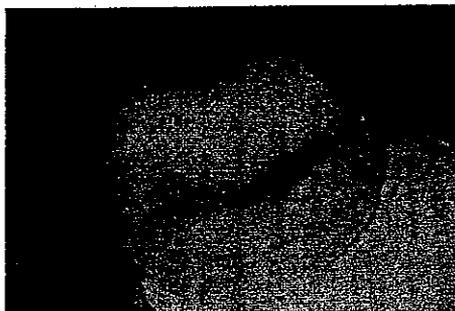
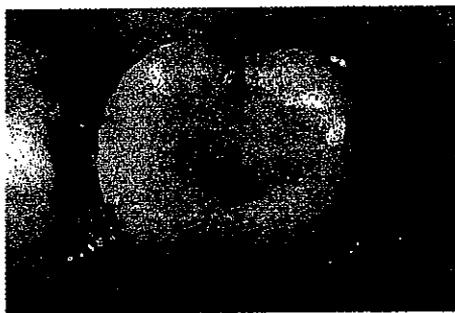
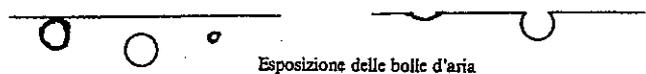
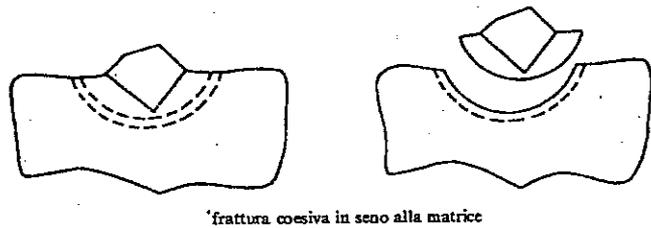
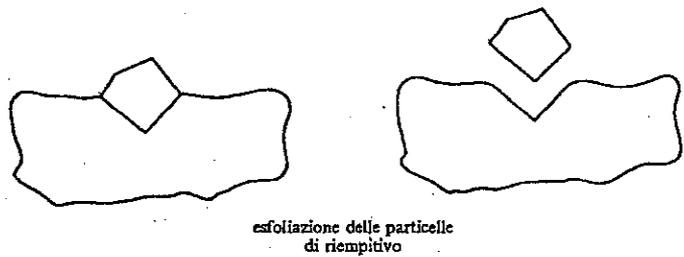
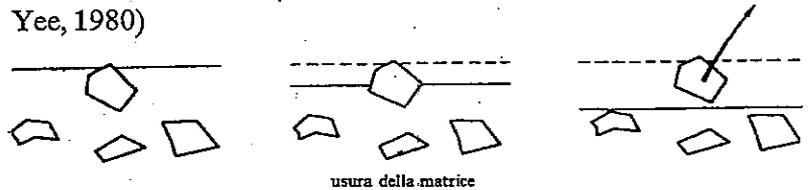
— distacco delle particelle di riempitivo esposte in seguito all'usura della matrice. La perdita del filler espone ulteriore superficie di resina organica facilmente usurabile. È il meccanismo classico di usura dei compositi tradizionali;

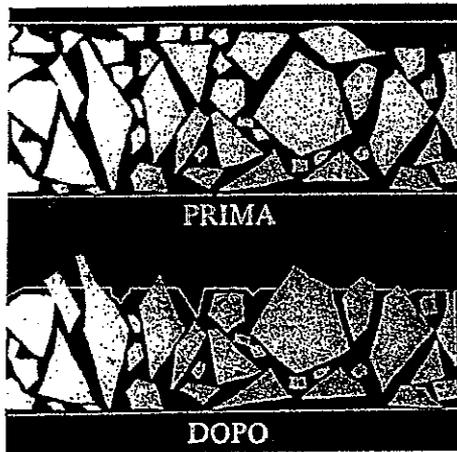
— perdita delle particelle per frattura adesiva favorita da un debole legame matrice-riempitivo;

— frattura coesiva in seno alla matrice. La qualità della polimerizzazione e dei componenti organici influiscono in modo determinante. Nelle zone di stress l'insorgenza di fenomeni di fatica e di degradazione idrolitica promuovono la formazione e la propagazione delle microfratture;

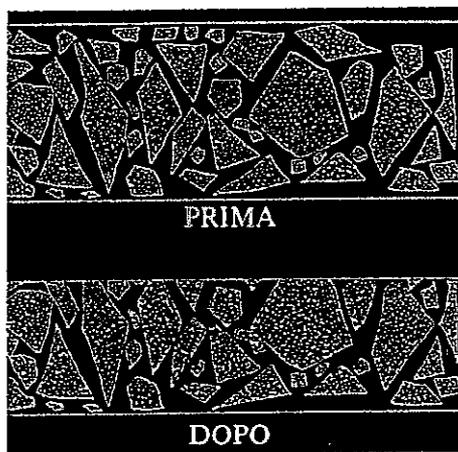
— esposizione delle porosità che determinano la comparsa di ulteriori difetti alla superficie del materiale (le pareti delle bolle presentano una cattiva qualità di polimerizzazione).

Meccanismi di usura (da O'Brien and Yee, 1980)





usura dei compositi tradizionali



usura dei compositi microriempiti

Usura relativa (all'amalgama), per diversi tipi di composito, determinata con varie tecniche (da Davidson, 1985)

Numerose prove di laboratorio e ricerche cliniche hanno evidenziato che i compositi microriempiti sono più resistenti all'usura quando sono confrontati con i compositi tradizionali (Meier and Lutz, 1978; Rice et al., 1984).

Nei compositi tradizionali il meccanismo dell'usura si manifesta con la separazione delle particelle di riempitivo dalla matrice causata dal cedimento del legame all'interfacie. La conseguente grande perdita di sostanza rende la superficie del restauro molto irregolare (Leinfelder et al., 1975; Jorgensen, 1980).

I compositi microriempiti invece si usurano in modo «uniforme»: la perdita di sostanza interviene sia a carico della matrice che del riempitivo, caratteristica questa che contribuisce, insieme ad altri fattori, a mantenere la superficie levigata col passare del tempo (effetto autolucidante) ed una migliore resa cromatica.

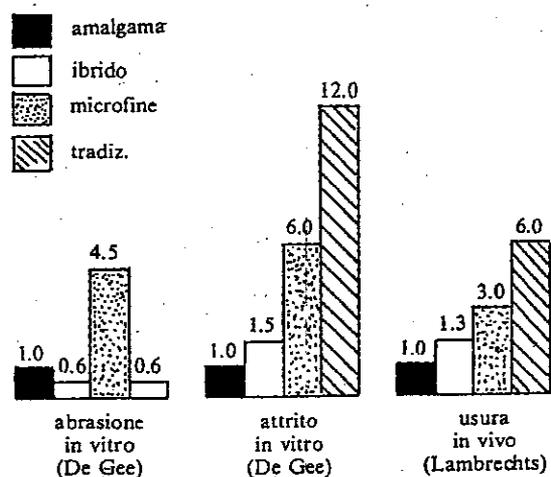
Assume una certa rilevanza la possibilità di levigare la superficie del composito perché ogni inomogeneità del materiale favorisce l'abrasione (Jorgensen, 1985).

I risultati delle ricerche hanno confermato il cattivo comportamento del composito tradizionale sia all'attrito che all'abrasione. Il composito microriempito ha mostrato una resistenza all'abrasione molto buona paragonabile a quella del composito ibrido e dell'amalgama.

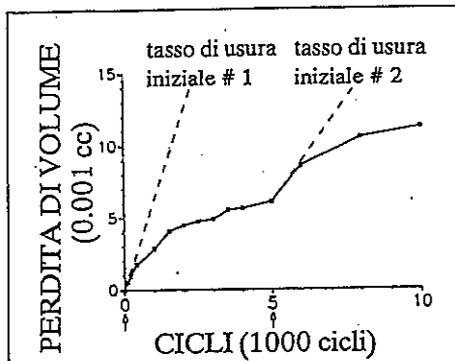
Il composito ibrido ha fornito la miglior resistenza all'attrito e all'usura generale. Il fallimento dei restauri in composito microriempito è avvenuto per fratture di ampie porzioni di materiale. In questi casi l'incidenza della fatica in seguito agli stress ciclici è il fattore più importante nella resistenza all'usura.

Appare ragionevole impiegare, per le zone di forte stress, dei compositi che si deformino poco sotto carico, con un elevato modulo di elasticità (Lambrechts et al., 1987).

L'impiego di filler più duri può determinare un incremento della resistenza all'usura ma se la differenza nel modulo E fra le particelle e la resina è troppo alta si verifica un forte gradiente di stress all'interfacie matrice-riempitivo. In questa condizione la resistenza all'usura diminuirebbe drasticamente.



Nonostante il grande numero di lavori prodotti per studiare l'usura in vitro ed in vivo non è possibile indicare quale sia il materiale che in assoluto si usura di meno (Lasfargues and Lusuardi, 1986; Lutz et al., 1984; Vanherle, 1985; Vrijhoef et al., 1985; Jorgensen, 1985; Mc Kinney, 1985; Mc Cabe, 1985; Eick, 1985; Roulet, 1985; De Gee et al., 1985, 1986).



Numerose ricerche hanno stabilito che il tasso della perdita di materiale dalla superficie nei test di usura dei compositi per restaurazioni posteriori mostra un andamento non lineare, subendo l'usura massima nel periodo iniziale. Winkler e coll. (1991) hanno confermato questo trend con una ricerca in vitro su Marathon, Occlusin e P-30. Il diagramma illustra la tecnica del tasso di usura utilizzato nello studio di Winkler e coll. (1991).

Un recente lavoro ha permesso di chiarire che l'incremento dell'usura dei compositi, per effetto dell'immersione in acqua, dipende molto probabilmente da un elevato tasso di dislocamento del filler e da un aumento di usura del riempitivo stesso, piuttosto che da un aumento di usura della matrice (Scarrett e Ray, 1994).

Vistoso deterioramento della superficie del composito avvenuto in pochi mesi.

Le cause di questo precoce deterioramento possono essere ricercate nei fenomeni di abrasione dovute ad errate manovre igieniche (i restauri erano stati eseguiti per riparare gravi erosioni), all'insorgenza di fenomeni di fatica da stress termici (si noti anche l'alone di infiltrazione marginale) e, non ultima, la possibilità di una degradazione chimica del composito dovuta all'azione di varie sostanze e dalle particolari condizioni di pH dell'ambiente orale. Il reintervento deve prevedere innanzitutto un accertamento sulla tecnica di spazzolamento operata dal paziente. Dopo avere apportato le opportune modifiche riguardanti anche le eventuali abitudini alimentari errate, si possono rifare le restaurazioni. È consigliabile utilizzare un composito di un'altra marca in quanto è sempre possibile che la formulazione del primo materiale risultasse particolarmente incompatibile con quell'ambiente orale.

Pallav e coll. (1988) sostengono che non è stata ancora dimostrata una differenza sistematica fra l'usura degli ibridi e quella dei compositi microriempiti (agglomerati).

Le ragioni delle frequenti discordanze fra i ricercatori risiedono soprattutto nel fatto che i vari metodi impiegati per testare l'usura in vitro e in vivo sono i più disparati, difficilmente correlabili fra loro, e suscettibili di incidere direttamente sul risultato (Harrison and Moores, 1985).

L'industria del settore (produttori di resine composite) non dispone di parametri di giudizio standard sul rendimento dei compositi fondati su criteri internazionali comuni (Yearn, 1987).

I processi di abrasione in vitro non corrispondono a quelli in vivo. Per i problemi e le difficoltà di prevedere l'entità dell'usura clinica mediante prove in vitro, è logico concludere che l'unico sistema per valutare le dimensioni del fenomeno consiste nell'eseguire prove cliniche (Roulet, 1987).

L'enorme complessità delle interazioni fisiche, chimiche e biologiche che determinano il comportamento clinico di un composito, esclude praticamente la possibilità che gli approcci attuali portino ad una comprensione del processo (Yearn, 1987).

Sappiamo che la perdita di sostanza dalla superficie dei restauri è riconducibile all'azione combinata di alcuni fenomeni variamente interagenti:

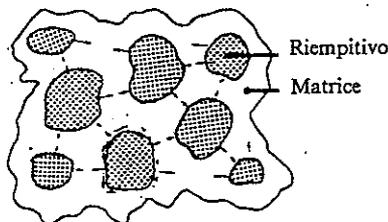
– Abrasione, attrito - Fatica da stress ciclici - Degradazione chimica (Mc Cabe and Ogden, 1987).



Lo sviluppo di tensioni interne può portare a:

- formazione di fessure marginali;
- rottura del legame matrice-riempitivo;
- fratture coesive nel contesto del materiale con formazione di fessure e porosità;
- fenomeni di corrosione indotti dalla tensione;
- diminuzione della resistenza generale e della resistenza all'abrasione (Braem et al., 1984).

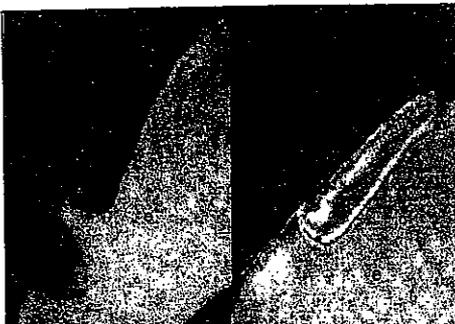
La contrazione da polimerizzazione nei compositi a bassa concentrazione di riempitivo si risolve con un più basso livello di stress tangenziale tensivo e l'incidenza della formazione e propagazione di microfratture è inferiore a quella dei compositi più caricati di filler. Inoltre per i compositi ibridi (e molto caricati) la contrazione da polimerizzazione rimane comunque relativamente alta per la presenza di una maggiore quantità di TEGDMA necessario per controllare la viscosità (pag. 951).



Vettori di stress nel contesto di un materiale composito generati dalla contrazione della matrice (da Davidson, 1985).

Comparazione del rilascio iniziale di ioni F dal composito, CVI e silicato (da Temin e Csuros, 1988)

Materiale	tasso medio del rilascio di fluoro su 8 giorni ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ giorno)
Composito	9.9
CVI	10.2
Silicato	16.9



Immagini al microscopio a luce polarizzata che documentano la regressione della lesione (c) adiacente alla restaurazione in composito che rilascia fluoro (r), (e): smalto. A destra dopo 3 mesi (da Donly e Gomez, 1994).

Gli effetti che queste forze producono non sono condivisi da tutti i ricercatori. Secondo alcuni vi è la possibilità di controbilanciare la contrazione della massa di composito con l'uso di adesivi smalto-dentinali (Davidson and De Gee, 1984; Jesen and Chan, 1985). Altri negano la possibilità di una adesione efficace alle pareti della cavità ed in conseguenza della polimerizzazione si ha sempre la formazione di una microfessura (Lutz et al., 1976).

Gli stress della contrazione possono provocare anche microfratture dello smalto dove l'ancoraggio è molto forte (Asmussen and Jorgensen, 1972; Asmussen, 1974, 1975; Jorgensen et al., 1975; Lutz et al., 1976).

L'assorbimento di acqua può compensare la contrazione da polimerizzazione ma la condizione ideale si realizzerebbe con un composito che presentasse piccole o nulle variazioni dimensionali (Bowen et al., 1982).

L'aggiunta di riempitivo riduce la retrazione totale del composito, ma la contrazione da polimerizzazione della matrice induce la formazione di stress circolari e radiali attorno alle particelle di riempitivo. Questi stress tensivi aumentano e raggiungono livelli elevati attorno al filler con l'incremento del contenuto di riempitivo.

RILASCIO DI FLUORO

Da diverso tempo i ricercatori stanno studiando dei polimeri che siano in grado di cedere fluoruri quando vengono impiegati come materiali base per le restaurazioni in composito. Fra i tanti studi può essere citato il lavoro di Craig e coll. (1981) i quali hanno messo a confronto due matrici resinose: la classica BIS-GMA + TEGDMA idrofilica, ed una matrice sperimentale idrofobica a base di octa fluoro pentil metacrilato & Diacril 101. I risultati hanno chiaramente evidenziato che i compositi idrofobici con matrice a base di polimero fluorocarbonico sono in grado di rilasciare NaF ad alto livello.

Temin e Csuros (1988) hanno preparato un composito sperimentale contenente 22.6 mg/g di fluoruro. Lo studio in vitro ha permesso di rilevare che un tale composito può rilasciare fluoro ad un livello relativamente costante per oltre 4 anni.

Recentemente Donly e Gomez (1994) hanno rilevato con uno studio in vitro su denti estratti che un composito del commercio in grado di rilasciare fluoro (Heliomolar) può indurre la remineralizzazione di lesioni cariose create artificialmente nei bordi smaltei circostanti il restauro.

POROSITÀ

È presente in tutti i compositi e varia da 0,3 a 8,4% (Godfredsen et al., 1983; Roulet et al., 1983).

I compositi fotopolimerizzabili notoriamente presentano una bassa percentuale di porosità perché non devono essere mescolati.

Nell'ambito dei materiali autopolimerizzabili i compositi a microparticelle hanno più porosità (Braem et al., 1984).

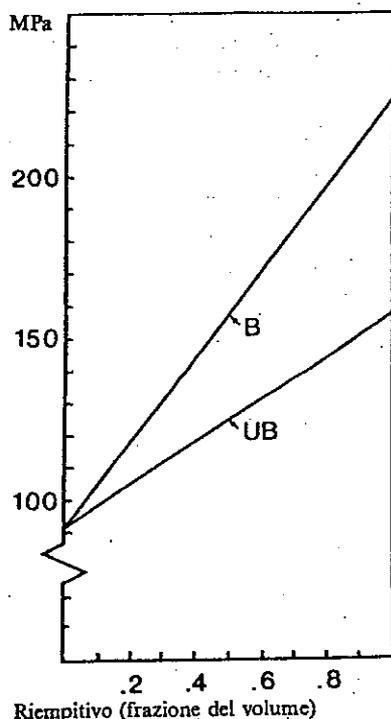
È importante sottolineare che lo strato superficiale delle pareti delle bolle presenta una residua insaturazione a causa dell'inibizione della polimerizzazione operata dall'O₂ presente all'interno delle bolle stesse. Quando l'area di sviluppo di tutte le porosità è grande può contribuire ad indebolire notevolmente le qualità fisico-meccaniche del composito (Mc Cabe and Ogden, 1987).

Il ruolo del legame matrice-riempitivo

Sono state condotte alcune interessanti esperienze che potrebbero chiarire, in quale modo ed in che misura, il riempitivo ed il suo legame con la matrice influenzano alcune proprietà dei compositi.

Resistenza alla compressione

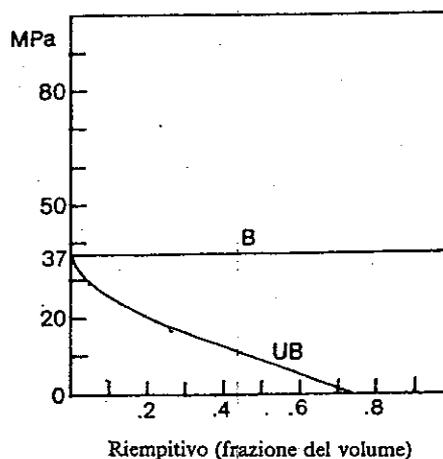
Aumenta con il carico di riempitivo ma varia in base alla presenza del legame interfacciale (Soderholm, 1985).



Resistenza alla trazione

Soderholm (1984) ha studiato il comportamento di un composito con matrice BISGMA/TEGDMA resistente 37 MPa.

L'aumento del contenuto di riempitivo non legato indebolisce il composito perché quando le particelle entrano in contatto, se manca l'agente legante la resistenza del composito crolla.



B: composito con riempitivo legato
UB: composito senza agente legante

Il legame matrice-riempitivo sembra essere il fattore determinante per il successo del composito.

Gli interventi per aumentare il carico di riempitivo al fine di migliorare le caratteristiche meccaniche dei compositi, possono essere vanificati se si verifica il cedimento del legame matrice-riempitivo.

In seguito a questo evento le proprietà dei compositi altamente caricati deteriorano più rapidamente rispetto ai compositi micro-riempiti. Ciò può spiegare la maggior resistenza all'usura per i compositi a basso carico di riempitivo, riscontrata in alcuni studi clinici (Jorgensen et al., 1979; Christensen and Christensen, 1982).

Inoltre la contrazione da polimerizzazione produce stress tensivi orientati parallelamente alla superficie delle particelle. Queste tensioni aumentano con il contenuto di riempitivo.

Il primo meccanismo da considerare nel processo di usura ed in quello generale di deterioramento è il cedimento di questo legame che può avvenire a livello della:

— superficie del filler; interfaccie filler-silano; interfaccie silano-resina matrice.

Le cause del cedimento sono svariate:

— sollecitazioni meccaniche; incompatibilità fra i diversi materiali durante la polimerizzazione (genera tensioni); azione delle sostanze chimiche presenti nell'ambiente orale, specialmente fenomeni idrolitici.

Il legame silanico non è idroliticamente stabile (Roberts, 1987).

È difficile per i ricercatori stabilire con esattezza la sede dei processi idrolitici.

Soderholm (1981, 1983; Soderholm et al., 1984) indica il punto debole alla superficie del filler specialmente nelle aree non rivestite dal silano.

La silanizzazione, comunque, offre una protezione non assoluta alla diffusione delle molecole d'acqua. In presenza di acqua il processo di idrolisi dei legami silossanici necessita di minore energia per agire.

Degradazione del riempitivo

È inoltre importante considerare la natura igroscopica della superficie del filler, dal momento che la captazione di molecole H₂O all'interfacie amplifica il fenomeno idrolitico (Eakins, 1964).

In seguito all'assorbimento di acqua ed alla solubilizzazione del riempitivo si ha un aumento della pressione osmotica all'interfacie. Lo stress che ne risulta può determinare, oltre una certa misura, la formazione e la crescita di microfratture, specialmente se la pressione è localizzata agli angoli delle particelle aguzze di riempitivo.

Propagazione di microfratture all'interfacie matrice-riempitivo. L'immagine induce a pensare che un piccolo aumento di pressione in questa fessura forzi il riempitivo a distaccarsi dalla matrice (da Soderholm et al., 1984).



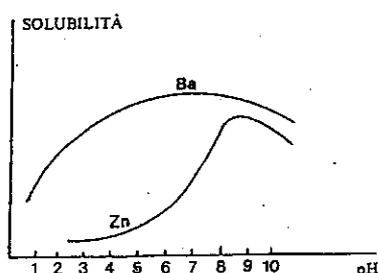
La propagazione delle microfratture porta alla distruzione del legame matrice-riempitivo (Ashbee and Whyatt, 1969; Ashbee, 1972; Soderholm et al., 1984).

L'origine delle microfratture è spesso localizzata nella rete silanica (nel contesto delle molecole silaniche).

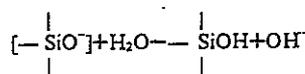
L'aggiunta del bario (per aumentare la radiopacità) può aggravare il deterioramento dei compositi (Calais and Soderholm, 1988).

In presenza di acqua + stress il filler contenente Ba produce una reazione alcalina (Bowen and Reed, 1976).

Il Ba (anche il Na) è molto elettropositivo e quindi molto reattivo nei confronti dell'acqua. Secondo la teoria della corrosione da stress dei vetri (Charles, 1958), durante questa reazione (di dissoluzione) gli ioni-idrogeno dell'acqua si spostano nella rete silanica.



Solubilità dello Zn e del Ba in relazione al pH.



Il conseguente aumento della concentrazione di idrogenioni nella rete silanica provoca la distruzione dei legami.

La reazione diventa autocatalitica ed in seguito a prolungata immersione in acqua, porta all'indebolimento di tutta l'interfacie riempitivo-matrice, fino al fallimento del legame.

Questa reazione di dissoluzione unita alla potenziale tossicità del bario, consiglia l'impiego di altri elementi per ottenere un aumento della radio-opacità.

Anche lo Zn è solubile e pone delle difficoltà per la sua silanizzazione (Roberts, 1987).

Il quarzo, lo stronzio ed il silicio colloidale sono più stabili e meno vulnerabili all'attacco degli elettroliti e dell'acqua.

Conclusioni

Lo sforzo dei ricercatori è rivolto all'individuazione di un protocollo di valutazione in vitro che possa fornire dei parametri minimi standard in grado di assicurare l'accettabilità clinica dei prodotti.

Particolare interesse è rivolto ai materiali per restaurazione posteriore, per i quali, sebbene esistano direttive per i test in vitro dell'ISO e per l'accettazione clinica dell'ADA, i criteri di valutazione sono ancora indefiniti sotto alcuni aspetti.

Uno dei contributi più significativi viene dal lavoro di Ferracane e Mitchem (1994) i quali hanno stabilito un protocollo di indagine che ha fornito valutazioni significative. Gli Autori hanno testato quattro prodotti del mercato: Ful-fil (FUL); Heliomolar RO (HEL); Herculite (HER); Silux Plus (SIL), ed un composito di controllo con riempitivi non silanizzati. I campioni (2 x 2 x 25 mm) sono stati sottoposti alle prove di solubilità, di resistenza alla flessione e modulo in flessione in corrispondenza di sette siti (round robin testing) dopo invecchiamento di un giorno in acqua a 37°C e dopo invecchiamento di 7 gg in acqua a 37°C + 7 gg di bollitura in acqua o di immersione in una soluzione di acqua ed etanolo con agitazione.

Sono emerse differenze significative fra i prodotti e nell'ambito di uno stesso campione, tali da avvalorare la capacità discriminante e predittiva di questo protocollo d'indagine. Es. la classifica dei valori della resistenza alla flessione dopo invecchiamento di 1 giorno e dopo 7 gg è stata: HERC > FUL > HEL > SIL > Controllo, ma HEL è stato l'unico a non subire decrementi dal trattamento d'invecchiamento mentre, per contro, presentava un'elevata solubilità. SIL ha mostrato una bassa solubilità dopo 7 gg d'invecchiamento ma non è consigliabile per un impiego nei posteriori.

Dati riassuntivi (Ferracane e Michem, 1994)

Materiale	Trattamento	Resistenza alla flessione (MPa)	Modulo in flessione (GPa)	Solubilità (g/mm)
Controllo	1 giorno	41.8	6.4	4.54
	in acqua	(12.0)	(0.5)	(2.13)
FUL	1 giorno	126.0	9.6	1.85
	in acqua	(10.3)	(1.3)	(.83)
HEL	1 giorno	78.4	5.8	0.19
	in acqua	(80.2)	(0.2)	(.42)
HERC	1 giorno	132.6	11.0	0.16
	in acqua	(25.3)	(0.8)	(.83)
SIL	1 giorno	65.2	6.2	2.21
	in acqua	(10.0)	(0.6)	(.71)
Controllo	7 gg bollitura/ o alcool	27.8 (4.4)	3.4 (1.4)	17.77* (8.24)
	FUL	7 gg bollitura/ o alcool	106.6 (16.3)	9.6 (0.7)
HEL	7 gg bollitura/ o alcool	80.2 (14.9)	6.0 (0.8)	17.17* (12.91)
	HERC	7 gg bollitura/ o alcool	119.6 (30.0)	9.3 (2.3)
SIL	7 gg bollitura/ o alcool	64.1 (18.6)	5.9 (0.5)	2.55* (4.26)

* Campioni in 75% etanolo/acqua per 7 gg.

Le osservazioni di molti ricercatori concordano nel considerare i test di laboratorio quali parametri non predittivi delle prestazioni dei restauri in composito nei tempi lunghi.

Infatti il comportamento clinico dei compositi non è ancora soddisfacente se consideriamo i dati di laboratorio che rivelano qualità meccaniche molto buone, in qualche caso paragonabili con l'amalgama.

Sotto questo aspetto l'azione chimica delle piccole molecole esogene può essere considerata il fattore determinante del processo di deterioramento (Bowen and Cleek, 1972; Soderholm, 1981, 1983; Soderholm et al., 1984; McKinney, 1984).

Abbiamo visto che la distruzione del legame matrice-riempitivo causata dalla degradazione idrolitica e/o la formazione-propagazione delle microfrazture rappresentano il problema clinico maggiore.

Un materiale che si presenta con delle ottime credenziali (parametri meccanici) può andare incontro ad una rapida perdita di sostanza, discolorazione, pigmentazione, frattura marginale, se nella sua formulazione rientrano elementi vulnerabili all'azione chimica delle molecole esogene.

L'acqua è onnipresente nel cavo orale. Inoltre oggi giorno si aggiunge la minaccia delle bevande gassate e corrosive. I denti con i loro restauri sono immersi per molte ore in acido citrico, acetico, lattico ed altre sostanze; il tutto in una vertiginosa alternanza di sbalzi termici (hamburger bollente → bevanda ghiacciata → patatina incandescente → gelato → ecc.).

Dal momento che l'aggressione chimica può interessare le tre fasi del composito, il miglioramento delle proprietà (fisico-chimico-mecchaniche) dei materiali futuri dovrà interessare i componenti di base.

Difetti	Fasi	Possibili rimedi	Svantaggi introdotti
Degradazione Idrofilia	Matrice	- ↑ grado di conversione (↑ legami crociati) per ↑ della T di polimerizzazione o impiego di diacrilati a basso peso molecolare;	- ↑ contrazione da polimerizzazione
Basso modulo E		- si ottiene una limitazione dell'assorbimento e diffusione molecole esogene; migliora la resistenza all'usura (in vitro)	- ↑ durezza della resina
Idrofilia		- Resine ad elevato modulo E - Variazione dei parametri di solubilità rispetto alle molecole esogene - Impiego di polimeri idrofobi (EUDMA?, BIS-MPEPP?)	- ↑ fragilità della resina - ↑ stress interni - ↑ microfrazture, micro fessure - matrice meno rigida
Idrofilia	Riempitivo	- Aumento del carico di riempitivo	- ↑ viscosità
Basso modulo E		- Filler più duri - Filler di nuova formulazione (filler di apatite con metalli alcalino-terrosi, filler di zirconio teragonale ¹)	- ↑ tensioni-matrice-riempitivo - difficoltà di distribuzione delle particelle
Bassa resist. usura	Agente legante	- Materiali con grande concentrazione di Si alla superficie (siti silanici per l'agente legante)	- ↑ solubilità
Degradazione idrolitica		- Riempitivi vetrosi semiporosi (legame chimico + micromeccanico) poco solubili in acqua	- ↑ Resistenza alla corrosione da stress
Degradazione idrolitica		- Miglioramento legame matrice-riempitivo (nuove molecole o abbinamento con legame meccanico; IPN (interpenetrating network) ² , APC (Advanced particle coupling) ¹)	

¹ - 3M Dental Product Division (Minnesota)

² - Bayer Dental (Leverkusen)

Il lavoro dei ricercatori per far progredire questi materiali è irto di grandi difficoltà. Spesso un piccolo cambio di formulazione introduce più problemi di quanti ne risolve. L'introduzione di criteri di giudizio internazionali che regolamentino la produzione è la strada più sicura verso il materiale del futuro.

La convinzione che il risultato estetico e la longevità delle restaurazioni composite sono direttamente correlati alla qualità dell'adattamento marginale, ha dato un grande impulso alla ricerca intesa a migliorare questo aspetto.

Porte e Coll. (1984) hanno individuato 6 variabili che influenzano l'adattamento marginale:

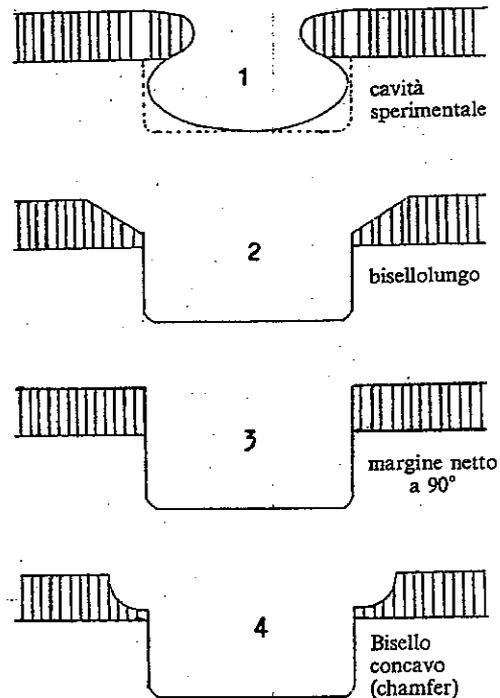
- preparazione della cavità;
- tecnica di bisellatura e mordenatura dello smalto;
- impiego di agente legante;
- tecnica di inserzione del composito;
- procedure di rifinitura;
- qualità del materiale e meccanismo di polimerizzazione.

Porte e Coll. (1984) hanno studiato in vitro il sigillo marginale per quattro differenti tipi di preparazione.

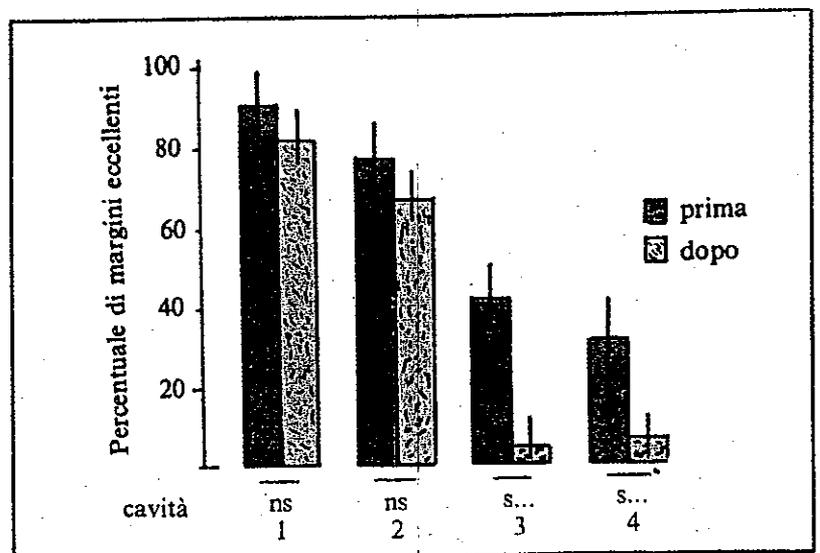
Dopo aver sottoposto i restauri a cicli termici hanno valutato l'infiltrazione con isotopi radiattivi e la morfologia dei margini con SEM.

La graduatoria di qualità è nell'ordine del disegno. Il miglior risultato è stato fornito dalla cavità sperimentale 1 seguita dalle preparazioni 2, 3, 4.

(Vedi anche pag. 1039.)



Qualità dei margini delle restaurazioni inserite con resina intermedia (bonding) valutate prima e dopo trattamento con cicli termici (da Porte et al., 1984).



La tecnica di preparazione dei bordi dello smalto è un passaggio critico e molto dibattuto. La maggior parte degli studi sulle diverse forme di bisellatura vengono effettuati in laboratorio, i cui risultati sono spesso difficilmente trasferibili alle situazioni cliniche.

Roma

Al Direttore Generale
Policlinico Tor Vergata
Prof. Enrico Bollero

Io sottoscritto _____, nato a _____, il _____
e residente in Via/Piazza _____ N° _____,
CAP _____, Tel _____, Cell _____, iscritto
al _____ dell'AA. 200 /200 presso il CLOSPD Università Degli Studi di Roma
"Tor Vergata",

CHIEDE

di poter frequentare il reparto di " _____"
Responsabile Prof. _____, così come stabilito
dall'articolo 12 (Tirocinio Obbligatorio) del regolamento provvisorio per la
frequenza all'interno della struttura del policlinico universitario "Tor Vergata".
Allego alla domanda copia del documento d'identità ed una fototessera.
Ringraziando anticipatamente, porgo cordiali saluti.

FIRMA DEL RICHIEDENTE

FIRMA DEL RESPONSABILE
DEL REPARTO