

Parametri di massima fotoattivazione utile osservati su diversi materiali compositi in ambiente asciutto e in acqua a 37°C.

Dott. Mauro Cattaruzza, odontoiatra, libero professionista
Ing. Fabio Spizzo, ingegnere chimico

Riassunto

Obiettivi. Lo scopo di questa ricerca è quello di individuare il limite massimo di foto attivazione utile, in relazione al tempo di esposizione e all'intensità di emissione luminosa, riferito a diversi materiali compositi, in ambiente asciutto e dopo immersione in acqua.

Metodo. Il grado di foto attivazione utile è espresso in relazione al modulo elastico, misurato su campioni di composito di diversa tipologia (Z250 e P60, 3M; Surefil, Dentsply), di 1 e 2 mm di spessore, foto polimerizzati con una lampada alogena Optilux 500 (Demetron), per tempi di esposizione da 30 a 360 secondi, con intensità di foto attivazione di 400 e 800 mW/cm², e da 20 a 240 secondi all'intensità di 1200 mW/cm², a 0 e 7 giorni dalla loro foto esposizione in ambiente asciutto e dopo immersione in acqua a 37°C per 0, 7 e 21 giorni. La lampada Optilux 500 consente di variare la sua intensità luminosa agendo manualmente su di un particolare dispositivo del proprio circuito elettronico interno. Ciò spiega la possibilità di ottenere diversi valori di intensità luminosa da una lampada le cui caratteristiche tecniche prevedono, invece, una unica e costante intensità di emissione luminosa.

Risultati. In ambiente asciutto, la massima foto attivazione utile per un composito relativamente trasparente, con bassa viscosità e buona penetrazione della luce, come lo Z 250 (3M), è di 800 mW/cm² per 60 e 120 secondi di esposizione luminoso, per 1 e 2 mm di spessore del composito, rispettivamente. Una foto attivazione di maggiore intensità luminosa, pari a 1200 mW/cm², non è favorevole per il composito Z 250 e verosimilmente per compositi di simile viscosità e trasparenza; la stessa intensità luminosa è invece utile per compositi come il Surefil (Dentsply) e il P 60 (3M), i quali presentano maggiore viscosità e opacità. Dopo l'immersione dei campioni di composito in acqua si osserva una riduzione del modulo elastico che non dipende unicamente dal valore di modulo elastico raggiunto dal composito prima della sua immersione in acqua, ma è inversamente proporzionale all'intensità della luce con cui il composito è stato foto attivato.

Conclusione. Il solo grado di conversione del polimero, espresso dal prodotto del tempo di esposizione per l'intensità luminosa, non è sufficiente a garantire un alto modulo elastico del composito in ambiente umido. I più alti valori di modulo elastico dopo esposizione in acqua sono ottenuti con una intensità luminosa di 800-1200 mW/cm².

Introduzione

Il comportamento clinico dei materiali compositi è influenzato dal grado di conversione del monomero (1, 2, 3, 4). Una ridotta polimerizzazione si correla sempre a minori prestazioni meccaniche e ad una minor stabilità chimica del composito (5, 6).

Ciò impone che una corretta fotoattivazione abbia la medesima, se non una maggiore, responsabilità clinica di quanto attribuiamo alla scelta del materiale composito o alla propria evoluzione tecnologica (7). Il tempo di esposizione e l'intensità di emissione luminosa rappresentano i

principali fattori clinici attraverso cui determinare il grado di conversione di un dato materiale in uno spessore definito. Aumentando il tempo di esposizione e l'intensità della luce emessa dalla lampada polimerizzatrice, la conversione del monomero aumenta in modo direttamente proporzionale. Aumentando lo spessore del composito, il grado di polimerizzazione diminuisce in modo inversamente proporzionale, in funzione dell'attenuazione della luce provocata dallo spessore del materiale stesso (8).

Il rapporto minimo corretto tra i vari parametri di polimerizzazione del composito è stabilito da Rueggeberg (1994) in 400 mW/cm² (intensità della luce) per 60 secondi (tempo di esposizione) per uno spessore di composito di 1 mm (max 2 mm). I valori di polimerizzazione entro i quali si svolge l'osservazione di Rueggeberg sono individuati in un range compreso tra un tempo di esposizione variabile da 20 a 80 secondi ed una intensità di emissione luminosa tra i 240 e i 575 mW/cm², per uno spessore del composito da 1 a 3 millimetri. Le conclusioni a cui perviene Rueggeberg definiscono un parametro minimo di polimerizzazione al di sotto del quale il composito non raggiunge una sufficiente conversione e, quindi, un adeguato comportamento clinico (8).

Ciò che si propone questo studio è di individuare non l'esistenza di un limite minimo di polimerizzazione, ma al contrario un parametro massimo di conversione, coincidente con le massime proprietà meccaniche del composito, oltre il quale non risulti utile perseverare nella polimerizzazione stessa del composito.

La valutazione del comportamento meccanico di compositi destinati ad impieghi clinici viene più spesso affidata a prove di carico massimale in ambiente secco, solitamente espresse come resistenza alla compressione, alla flessione, alla frattura, alla trazione. In realtà la condizione di sollecitazione meccanica a cui un restauro in composito è sottoposto nell'ambiente orale, durante i cicli di masticazione e di occlusione, è ben diversa dal comportamento a cui il campione viene sottoposto nelle prove sperimentali appena enunciate. Considerando la ciclicità della masticazione e i carichi occlusali relativamente modesti a cui il composito è sottoposto, la resistenza alla fatica è il tipo di sollecitazione meccanica più realistico a cui ascrivere il comportamento di un restauro in composito sottoposto a stress masticatorio.

Bream (1994, 1995) osserva una correlazione tra resistenza alla fatica del composito e modulo elastico e suggerisce quest'ultimo come indice direttamente proporzionale della stessa resistenza alla fatica. Lo stesso autore sottolinea la variabilità del modulo elastico, e quindi della resistenza alla fatica, in funzione dell'esposizione del campione di composito ad un ambiente secco o umido: la permanenza del composito in acqua diminuisce il modulo elastico e, quindi, la resistenza alla fatica del composito (11, 12).

Per le considerazioni sopra esposte, si assumono come parametri di massima foto attivazione utile i valori del tempo di esposizione (secondi) e dell'intensità di emissione luminosa (mW/cm²), per un dato spessore di composito (1-2 mm), in grado di raggiungere il più alto valore di modulo elastico del composito (GPa). I dati ottenuti prima in ambiente secco, a temperatura ambiente, sono successivamente confrontati con quelli ottenuti dopo l'immersione degli stessi campioni di composito in acqua a 37°C, così da osservare le correlazioni esistenti tra gli stessi parametri di foto attivazione e il mantenimento del valore di modulo elastico del composito in ambiente umido.

Materiali e Metodi

I compositi in esame per questa indagine sono il Filtek Z250, colore A3 (3M ESPE, St Paul, MN, USA), il Filtek P60 (colore A3, 3M ESPE, St Paul, MN, USA) e il SureFil (colore A, Dentsply DeTrey, GmbH, Konstanz, Germany). Sono stati preparati dei campioni di 1mm e 2mm di spessore, di 5mm di larghezza e 12mm di lunghezza. Per la polimerizzazione dei campioni è stata utilizzata una lampada fotopolimerizzatrice Optilux 500 (Demetron/Kerr Corporation, KerrHawe SA CH-6934-Bioggio). Poiché il circuito elettronico di questa lampada è dotato di un particolare regolatore, su cui è possibile agire manualmente, variando in eccesso o in difetto l'intensità dell'emissione luminosa,

un analogo reostato è stato collegato allo stesso circuito e applicato esternamente alla lampada così da poter regolare l'intensità luminosa della lampada su di un preciso valore. Le intensità prescelte per l'esposizione del composito sono state fissate in 400, 800 e 1200 mW/cm². Per ciascuna intensità di luce è stata eseguita una misurazione spettrofotometrica con spettroradiometro Specbos 1000, SN 298142, prodotto dalla ditta Jeti Technische Instrumente GmbH, così da determinare con precisione l'intensità della luce emessa e verificare che per ciascuna intensità lo spettro emesso non presentasse alcuna variazione qualitativa.

Ciascun campione di composito è stato polimerizzato ponendo il puntale della lampada fotopolimerizzatrice direttamente a contatto con il composito stesso. La dimensione del campione è stata così stabilita affinché il puntale della lampada fotopolimerizzatrice, di diametro 13 mm, potesse esporre in modo uniforme e completo la sua intera superficie.

I tempi di fotoattivazione sono stati fissati in 30, 60, 120, 240 e 360 secondi per le intensità di luce emessa di 400 e 800 mW/cm² e in 20, 40, 80, 120, 180 e 240 per l'intensità di 1200 mW/cm².

I campioni di un millimetro di spessore sono stati sottoposti alla misurazione del modulo elastico così come preparati. I campioni di 2mm di spessore sono stati ridotti allo spessore di un millimetro, a partire dalla superficie esposta alla luce, attraverso fresatura, così da sottoporre a misurazione solo la porzione di composito di un millimetro più lontana dall'esposizione stessa, corrispondente al fondo del campione stesso.

I campioni, appena preparati e fotopolimerizzati, sono stati testati in un arco di tempo successivo alla fotopolimerizzazione non maggiore di 6 ore.

Ciascun campione è stato misurato a secco subito dopo la polimerizzazione e dopo 7 giorni dalla stessa.

Per la misurazione del modulo elastico è stato impiegato un Analizzatore Dinamico-Meccanico della ditta Perkin Elmer, modello DMA 7e, con una forza statica esercitata di 2100 mN ed una forza dinamica di 1700 mN. Il test è stato condotto per flessione in tre punti, con una distanza tra i due appoggi di 10 millimetri.

Con il proposito di valutare l'influenza dell'assorbimento d'acqua, oltre che della temperatura ambiente, sulle proprietà meccaniche del composito, due campioni per ciascun materiale e per ciascuna intensità di fotoattivazione (400, 800 e 1200 mW/cm²), per un minimo e un massimo del tempo di fotoattivazione, pari a 30 secondi e 360 secondi, per i campioni sottoposti a 400 e 800 mW/cm² di esposizione, e 20 sec. e 240 sec., per i campioni sottoposti a 1200 mW/cm² di esposizione, sono stati immersi in acqua a 37°C, misurandone successivamente il modulo elastico a 0, 7 e 21 giorni di permanenza del campione nelle stesse condizioni.

Per la necessità di contenere il numero di campioni ogni volta necessari per il calcolo della deviazione standard, a causa dell'elevato numero dei parametri assunti in questa ricerca e in ragione del fatto che i campioni dovevano essere testati entro le sei ore dalla loro polimerizzazione, sono stati preparati tre campioni di composito per ciascuna combinazione dei parametri di fotoesposizione riassunti nelle tabelle II e III. L'attendibilità della procedura assunta e la predicibilità dei risultati sono stati, inoltre, verificati calcolando la deviazione standard dei dati su 5 campioni di materiale (composito Filtek Z250), dello spessore di 1mm, polimerizzati per 60 secondi a 800 mW/cm² ed eseguendo su ciascun campione 5 misurazioni (tab. I). La deviazione standard calcolata è di 0.50, corrispondente al 5% dei valori medi di modulo elastico calcolati.

Tab. I Calcolo della deviazione standard (DS) su 5 campioni di composito Filtek Z250. Sono state eseguite 5 misurazioni del modulo elastico (GPa) per ciascun campione di 1 mm, polimerizzato per 60 secondi a 800 mW/cm².

	campione 1	campione 2	campione 3	campione 4	campione 5
misurazione 1	10,15	9,35	9,45	10,25	9,60
misurazione 2	10,55	9,16	9,25	10,45	10,15
misurazione 3	10,98	9,50	9,50	9,90	9,93
misurazione 4	10,58	9,11	9,60	10,15	9,60
misurazione 5	10,44	9,80	9,13	9,95	10,10
media, GPa	10,54	9,38	9,39	10,14	9,88
D.S., GPa	0,30	0,28	0,19	0,22	0,26
D.S., %	2,8%	3,0%	2,0%	2,2%	2,7%
media, GPa	9,87				
D.S., GPa	0,50				
D.S., %	5,0%				

Tab.II Parametri di valutazione del modulo elastico in ambiente secco.

Materiali	Spessore	Intensità di esposizione (mW/cm²)	Tempo di esposizione (secondi)	Intervallo di misurazione (giorni)
Filtek Z250	1 mm – 2mm	400	30, 60, 120, 240, 360	0 – 7
		800	30, 60, 120, 240, 360	0 – 7
		1200	20, 40, 80, 120, 240	0 – 7
Filtek P60	1 mm – 2mm	400	30, 60, 120, 240, 360	0 – 7
		800	30, 60, 120, 240, 360	0 – 7
		1200	20, 40, 80, 120, 240	0 – 7
Surefil	1 mm – 2mm	400	30, 60, 120, 240, 360	0 – 7
		800	30, 60, 120, 240, 360	0 – 7
		1200	20, 40, 80, 120, 240	0 – 7

Tab.III Parametri di valutazione del modulo elastico in acqua a 37°C

Materiali	Spessore	Intensità di esposizione (mW/cm²)	Tempo di esposizione (secondi)	Intervallo di misurazione (giorni)
Filtek Z250	1 mm	400	30, 360	0 -7 - 21
		800	30, 360	0 -7 - 21
		1200	20, 240	0 -7 - 21
Filtek P60	1 mm	400	30, 360	0 -7 - 21
		800	30, 360	0 -7 - 21
		1200	20, 240	0 -7 - 21
Surefil	1 mm	400	30, 360	0 -7 - 21
		800	30, 360	0 -7 - 21
		1200	20, 240	0 -7 - 21

Risultati

La tabella IV riassume i risultati di modulo elastico ottenuti sui tre compositi presi in esame (Filtek Z250, Filtek P60 e Surefil), per uno spessore dei campioni di 1 mm, in ambiente asciutto.

Tab IV. Risultati di modulo elastico (GPa) ottenuti sui tre compositi presi in esame (Filtek Z250, Filtek P60 e Surefil) per 1 mm di spessore, in ambiente asciutto.

Intensità luminosa - 400 mW/cm ²						
	Filtek Z250		Filtek P60		Surefil	
Tempo di esposizione (secondi)	0 giorni	7 giorni	0 giorni	7 giorni	0 giorni	7 giorni
30	9.9	10.0	6.9	9.1	6.9	7.5
60	10.5	10.9	8.9	9.2	7.2	8.1
120	10.6	11.1	7.2	9.0	8.1	7.6
240	11.0	12.1	7.0	9.4	8.7	8.1
360	11.2	12.4	9.0	9.6	7.9	7.4
Intensità luminosa - 800 mW/cm ²						
	Filtek Z250		Filtek P60		Surefil	
Tempo di esposizione (secondi)	0 giorni	7 giorni	0 giorni	7 giorni	0 giorni	7 giorni
30	11.4	11.4	8.2	8.4	9.5	8.1
60	12.4	12.3	9.1	8.7	8.2	7.9
120	12.2	12.1	8.8	8.9	8.6	10.0
240	12.1	11.9	9.6	9.9	6.3	7.9
360	11.8	11.8	8.5	9.4	9.5	7.2
Intensità luminosa - 1200 mW/cm ²						
	Filtek Z250		Filtek P60		Surefil	
Tempo di esposizione (secondi)	0 giorni	7 giorni	0 giorni	7 giorni	0 giorni	7 giorni
20	9.1	9.5	8.6	9.4	8.2	7.9
40	10.6	8.9	9.7	9.7	8.7	8.2
80	9.5	10.7	10.0	10.0	9.7	9.8
120	9.0	11.6	9.5	10.7	10.0	10.2
180	10.3	11.4	9.8	10.3	9.2	9.1
240	9.3	11.4	10.2	10.6	9.8	9.4

La tabella V mostra i risultati di modulo elastico ottenuti sui compositi Filtek Z250, Filtek P60 e Surefil per uno spessore dei campioni di 2 mm, sempre mantenendo gli stessi campioni in ambiente asciutto.

Tab V. Risultati di modulo elastico (GPa) ottenuti sui compositi Filtek Z250, Filtek P60 e Surefil dello spessore di 2 mm in ambiente asciutto.

Intensità luminosa - 400 mW/cm²						
	Filtek Z250		Filtek P60		Surefil	
Tempo di esposizione (secondi)	0 giorni	7 giorni	0 giorni	7 giorni	0 giorni	7 giorni
30	9.7	9.3	8.4	9.6	5.3	6.0
60	9.9	9.4	7.6	9.1	6.2	6.5
120	10.2	10.0	9.0	9.2	7.1	6.5
240	10.6	11.4	8.2	9.9	7.9	6.8
360	11.2	11.1	6.9	10.1	6.7	7.2
Intensità luminosa - 800 mW/cm²						
	Filtek Z250		Filtek P60		Surefil	
Tempo di esposizione (secondi)	0 giorni	7 giorni	0 giorni	7 giorni	0 giorni	7 giorni
30	10.5	11.6	10.0	10.4	8.5	9.0
60	11.1	11.1	9.2	9.5	9.8	9.1
120	11.5	11.2	7.8	8.9	9.0	8.9
240	11.1	11.2	7.9	9.8	6.5	7.7
360	11.0	10.7	10.0	10.3	7.5	8.2
Intensità luminosa - 1200 mW/cm²						
	Filtek Z250		Filtek P60		Surefil	
Tempo di esposizione (secondi)	0 giorni	7 giorni	0 giorni	7 giorni	0 giorni	7 giorni
20	10.0	10.8	8.1	10.1	8.4	8.7
40	9.8	10.5	9.5	10.0	8.9	9.3
80	9.1	11.1	9.7	10.2	9.0	9.8
120	9.4	9.6	9.2	10	10	9.9
180	10.6	11.0	9.7	10.6	10.2	10.1
240	9.5	10.2	11.0	11.5	9.8	9.5

Nella tabella VI sono riassunti i risultati di modulo elastico ottenuti dai tre compositi Filtek Z250, Filtek P60 e Surefil per uno spessore dei campioni di 1 mm, dopo essere stati immersi in acqua a 37 °C, subito dopo la loro polimerizzazione (0 giorni), per un periodo di tempo di 7 e 21 giorni.

Tab. VI. Risultati di modulo elastico (GPa) ottenuti sui compositi Filtek Z250, Filtek P60, Surefil immersi in acqua a 37 °C.

Intensità luminosa - 400 mW/cm ²						
	Filtek Z250		Filtek P60		Surefil	
	Tempo di esposizione		Tempo di esposizione		Tempo di esposizione	
giorni	30 sec.	360 sec.	30 sec.	360 sec.	30 sec.	360 sec.
0	9.7	11.2	7.4	9.3	6.7	8.3
7	8.3	10.1	5.8	6.5	6.6	7.9
21	7.6	7.8	5.6	5.6	6.7	6.9
Intensità luminosa - 800 mW/cm ²						
	Filtek Z250		Filtek P60		Surefil	
	Tempo di esposizione		Tempo di esposizione		Tempo di esposizione	
giorni	30 sec.	360 sec.	30 sec.	360 sec.	30 sec.	360 sec.
0	10.6	11.8	9.1	9.7	8.3	8.7
7	10.4	10.5	7.5	8.6	7.9	7
21	9.9	9.5	7.3	8.1	6.5	6.7
Intensità luminosa - 1200 mW/cm ²						
	Filtek Z250		Filtek P60		Surefil	
	Tempo di esposizione		Tempo di esposizione		Tempo di esposizione	
giorni	30 sec.	360 sec.	30 sec.	360 sec.	30 sec.	360 sec.
0	9.1	9.6	9.5	9.9	8.7	9.8
7	9.4	11.0	7.1	8.1	7.3	8.2
21	8.2	10.0	7.6	7.8	7.3	7.9

Un millimetro di composito Filtek Z250, polimerizzato con luce di intensità pari a 400 mW/cm², aumenta il proprio modulo elastico in modo direttamente proporzionale fino a valori di esposizione luminosa di 360 secondi (fig 1). Un incremento dei tempi di esposizione da 30 secondi a 360 secondi determina, sempre conservando i campioni in ambiente asciutto, un aumento del modulo elastico, da 10.5 Gpa a 11.2 Gpa, immediatamente dopo la polimerizzazione (0 giorni), da 10.9 Gpa a 12.4 Gpa dopo sette giorni dalla polimerizzazione.

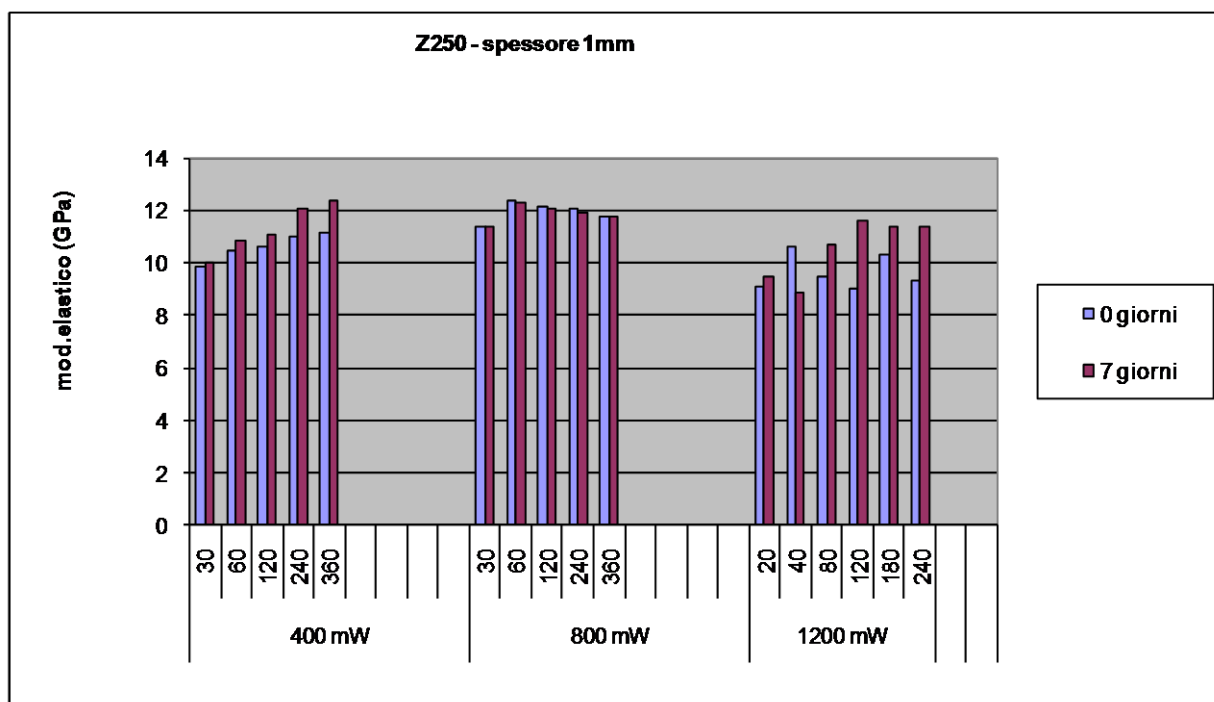
Il modulo elastico del composito aumenta dopo il termine della fotoattivazione fino a 7 giorni da essa proporzionalmente al tempo di esposizione luminosa a cui è stato sottoposto il composito. Quanto maggiore è il tempo di esposizione del composito, tanto maggiore sarà l'incremento del modulo elastico dopo sette giorni.

Polimerizzando sempre 1mm di Filtek Z250, ma con una intensità di 800 mW/cm², si osserva un aumento del modulo elastico, proporzionale all'aumentare dei tempi di esposizione da 30 a 60 secondi, e una progressiva diminuzione del modulo elastico per valori di esposizione maggiori. Si definisce, pertanto, un parametro di massima foto attivazione utile corrispondente ad una intensità di emissione luminosa di 800 mW/cm² per 60 secondi di esposizione, oltre il quale l'aumento dei tempi di esposizione determina invece un peggioramento delle caratteristiche del composito. Si osserva, inoltre, come il valore di modulo elastico, raggiunto immediatamente dopo la fotoattivazione, non aumenta nei giorni successivi, in modo rilevante, fino al termine di sette giorni. Il valore di modulo elastico ottenuto dalla polimerizzazione di 1mm di Filtek Z250 per 60 secondi a 800 mW/cm² è di 12.4 Gpa; dopo sette giorni dalla polimerizzazione, sempre in ambiente asciutto, il valore di modulo elastico è pari a 12.3 Gpa. Per ottenere le stesse caratteristiche di modulo elastico da una sorgente luminosa di 400 mW/cm² di energia, lo stesso composito deve essere

fotoattivato per 360 secondi, conseguendo il dato voluto solo dopo sette giorni successivi alla polimerizzazione.

La fotoattivazione di 1mm di Filtek Z250 con energie di esposizione luminosa maggiori, pari a 1200 mW/cm², mostra risultati di modulo elastico a 0 giorni complessivamente inferiori a quelli ottenuti con 400 e 800 mW/cm² di esposizione. Non vi è una chiara proporzionalità tra tempo di esposizione e modulo elastico, immediatamente dopo la polimerizzazione. A sette giorni dalla fotoattivazione l'incremento di modulo elastico è sensibilmente maggiore, ma i valori raggiunti sono comunque inferiori a quelli conseguiti da una analoga polimerizzazione con 800 mW/cm² di esposizione. Venti secondi di attivazione a 1200 mW/cm² determinano un valore di modulo elastico a sette giorni (9.5 Gpa), inferiore a quello ottenuto da 30 secondi di esposizione a 400 mW/cm² (10 Gpa, 7 giorni). Quantomeno relativamente al modulo elastico e a 1 mm di spessore di un particolare materiale composito (Filtek Z250), l'impiego di elevate energie di fotoattivazione, oltre il limite assunto di 800 mW/cm², non appare una soluzione favorevole.

Fig 1. Valori di modulo elastico ottenuti su campioni di Filtek Z250 , dello spessore di 1 mm, subito dopo la polimerizzazione (0 giorni) e dopo 7 giorni, in ambiente asciutto, per tempi di esposizione luminosa da 30 a 360 secondi, con intensità di luce di 400 e 800 mW/cm², e da 20 a 240 secondi con una intensità di luce di 1200 mW/cm².



Nella polimerizzazione di due millimetri di Filtek Z250 (fig. 2), secondo i vari parametri di fotopolimerizzazione assunti, il modulo elastico misurato sullo strato di 1 mm di composito, corrispondente al fondo del campione stesso, risulta complessivamente inferiore a quello osservato per campioni di 1mm di spessore. L'attenuazione della luce, dovuta al maggior spessore del campione, comunque riduce l'efficacia della polimerizzazione e, quindi, il risultato di modulo elastico (3, 8, 13).

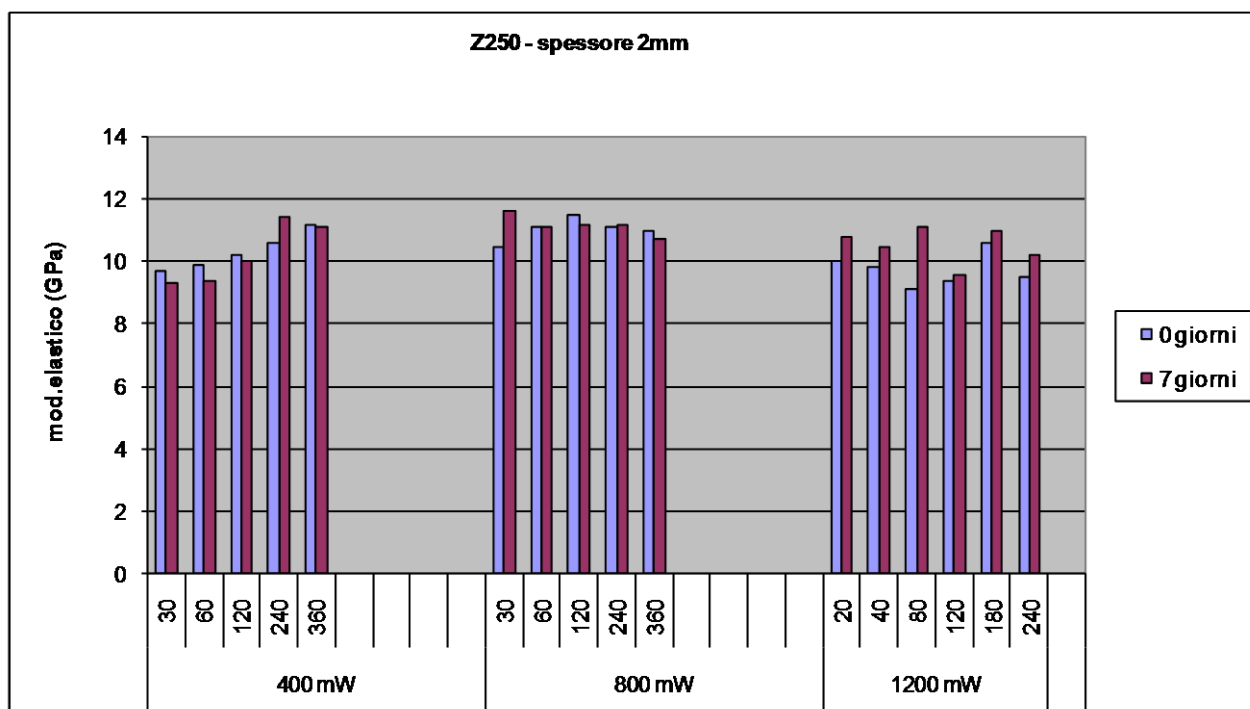
Il comportamento del composito, sotto gli stessi parametri di fotoattivazione precedentemente esposti, risulta analogo a quello già descritto per 1mm di spessore (fig. 1).

Il massimo valore di modulo elastico raggiunto corrisponde alla polimerizzazione con 800 mW/cm² per 120 secondi, pari a 11.5 Gpa a 0 giorni e a 11.2 Gpa dopo 7 giorni. Valori analoghi di modulo elastico sono stati registrati per una esposizione di 240 sec. a 400 mW/cm², dopo 7 giorni (11.4

Gpa), e di 360 sec. a 400 mW/cm², a 0 giorni (11.2 Gpa), e quindi per tempi di esposizione ben maggiori. Anche in questo caso, come precedentemente osservato per lo spessore di 1 mm, una fotoattivazione ottenuta con una intensità di 800 mw/cm² consente di raggiungere il massimo valore di modulo elastico a 0 giorni, senza che si abbia un sensibile incremento del modulo elastico nei sette giorni successivi. Una fotoattivazione con 800 mW/cm² per tempi superiori a 120 sec. mostra un progressivo, anche se lieve, peggioramento dei valori di modulo elastico.

I valori di modulo elastico ottenuti da una esposizione a 1200 mw/cm² (figg. 1 e 2) non sono superiori a quelli ottenuti con energie di esposizione minori, soprattutto se considerati a 0 giorni e se paragonati ad una fotoattivazione con 800 mW/cm², e mostrano una minor proporzionalità con l'aumentare del tempo di esposizione, se non una certa incostanza. L'aumento del modulo elastico nei giorni successivi alla polimerizzazione appare rilevante e porta i valori di modulo, a sette giorni, ad essere mediamente prossimi ai dati ottenuti con 800 mW/cm², ma con una minore predicibilità del risultato.

Fig. 2. Valori di modulo elastico ottenuti su campioni di Filtek Z250 dello spessore di 2 mm, subito dopo la polimerizzazione (0 giorni) e dopo 7 giorni, in ambiente asciutto, per tempi di esposizione luminosa da 30 a 360 secondi, con intensità di luce di 400 e 800 mW/cm², e tempi da 20 a 240 secondi con una intensità di luce di 1200 mW/cm².



I valori di modulo elastico, osservati con 1200 mW/cm² di esposizione su 2mm di spessore (fig. 2), sono meno favorevoli rispetto a quelli osservati per la stessa intensità di esposizione in 1mm di spessore (fig. 1). Tale aspetto può essere interpretato per il fatto che, pur esponendo il campione di 2 mm di spessore con la stessa energia luminosa di 1200 mW/cm², la sezione di 1mm corrispondente al fondo del campione stesso, su cui viene considerato effettivamente il modulo elastico, risulta esposta da una energia luminosa in realtà inferiore a quella emessa dalla lampada, perché attenuata dal primo millimetro di spessore del campione stesso.

Per il composito Filtek P60 (figg. 3, 4) i risultati di modulo elastico, in rapporto con i parametri di fotoattivazione assunti, definiscano un comportamento sensibilmente diverso dal composito Filtek Z250.

I valori di modulo elastico sono complessivamente minori di quelli osservati nel Filtek Z250.

Una esposizione luminosa di energia pari a 400 mW/cm² appare meno efficace di energie superiori nella valutazione immediata del modulo elastico (0 giorni), anche se i valori di modulo elastico, dopo 7 giorni, aumentano sensibilmente.

Non si osserva una grande differenza di risultato confrontando i valori ottenuti per 400 e 800 mW/cm². Una energia luminosa di 1200 mW/cm² appare invece più efficace.

La variazione di modulo elastico in funzione dei tempi di esposizione non è particolarmente evidente, per quanto i massimi valori di modulo elastico siano stati ottenuti con esposizioni relativamente prolungate. Si osserva una gradualità dei valori di modulo, in relazione all'aumentare dei tempi di esposizione, solo per uno spessore minimo di composito (1mm) e per energie di esposizione maggiori (800, 1200 mW/cm²) (fig. 3)

Una maggior energia di esposizione riduce il divario di modulo elastico tra una valutazione condotta immediatamente dopo la fotoattivazione ed una successiva eseguita a distanza di 7 giorni. Non si osserva una significativa differenza di risultato da 1 a 2 millimetri di spessore. Una energia di 1200 mW/cm² appare fornire, tuttavia, su 2 mm di spessore, risultati migliori in termini di valore assoluto e di costanza del dato .

Fig. 3 Valori di modulo elastico ottenuti su campioni di composito Filtek P60, dello spessore di 1 mm, subito dopo la polimerizzazione (0 giorni) e dopo 7 giorni, in ambiente asciutto, per tempi di esposizione luminosa da 30 a 360 secondi, con intensità di luce di 400 e 800 mW/cm², e tempi da 20 a 240 secondi con una intensità di luce di 1200 mW/cm².

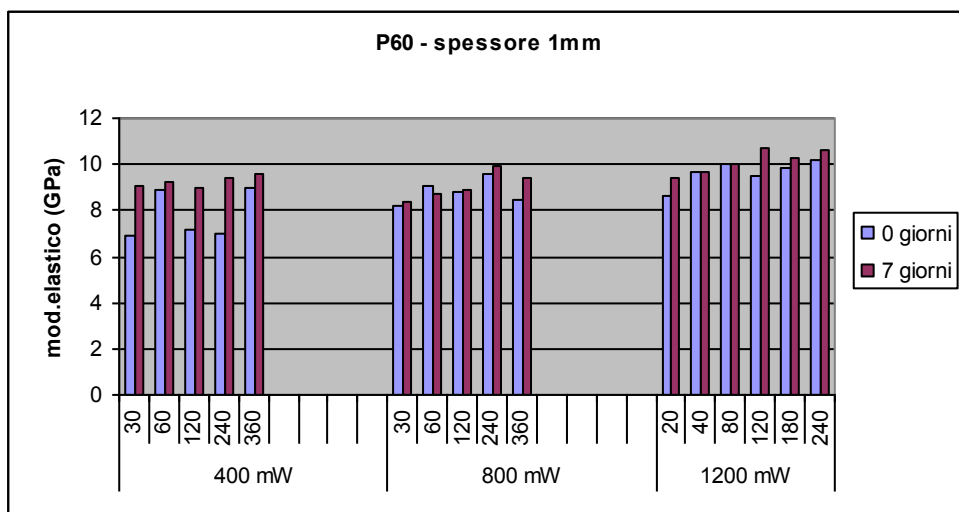
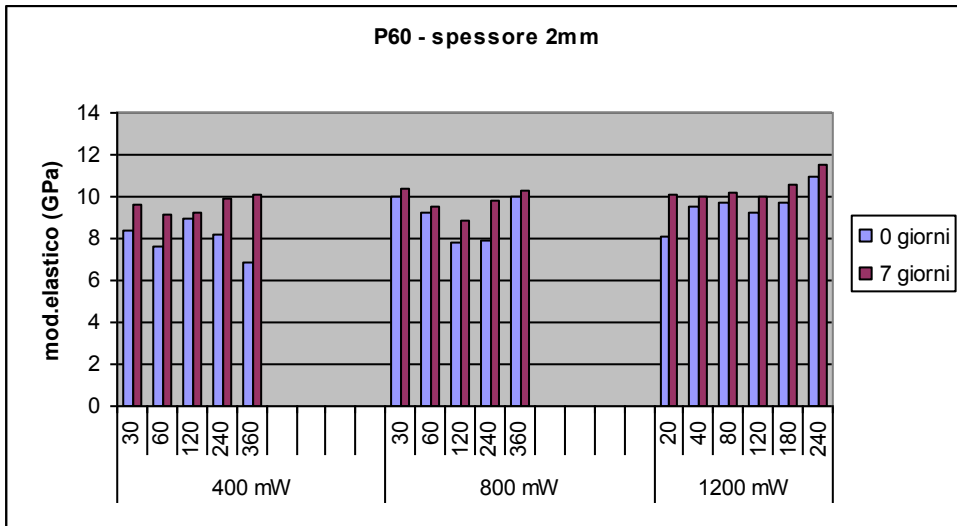


Fig. 4 Valori di modulo elastico ottenuti su campioni di composito Filtek P60, dello spessore di 2 mm, subito dopo la polimerizzazione (0 giorni) e dopo 7 giorni, in ambiente asciutto, per tempi di esposizione luminosa da 30 a 360 secondi, con intensità di luce di 400 e 800 mW/cm², e tempi da 20 a 240 secondi con una intensità di luce di 1200 mW/cm².



I grafici rappresentati nelle figure 3, 4 mostrano come i risultati di modulo elastico conseguiti su 1 e 2 millimetri di spessore di Filtek P60 con una energia di esposizione luminosa di 1200 mW/cm² presentino una chiara proporzionalità, seppur lieve, con il tempo di esposizione, rispetto ad energie di fotoattivazione inferiori.

Nelle figure 5 e 6 sono riportati i grafici relativi al comportamento del Surefil secondo i parametri di fotopolimerizzazione già assunti per gli altri materiali.

Fig. 5 Valori di modulo elastico ottenuti su campioni di composito Surefil, dello spessore di 1 mm, subito dopo la polimerizzazione (0 giorni) e dopo 7 giorni, in ambiente asciutto, per tempi di esposizione luminosa da 30 a 360 secondi, con intensità di luce di 400 e 800 mW/cm², e tempi da 20 a 240 secondi con una intensità di luce di 1200 mW/cm².

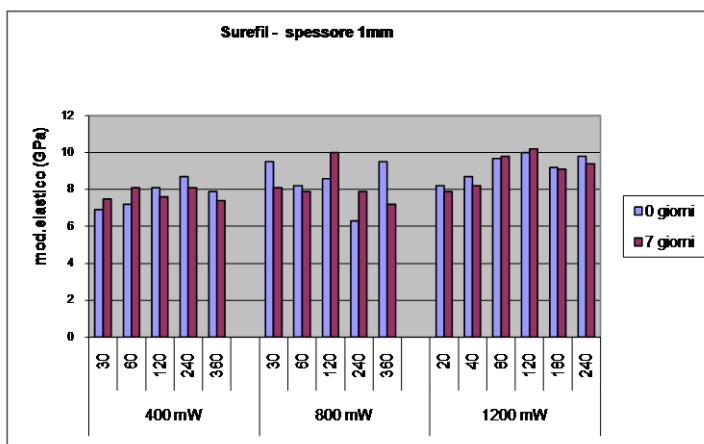
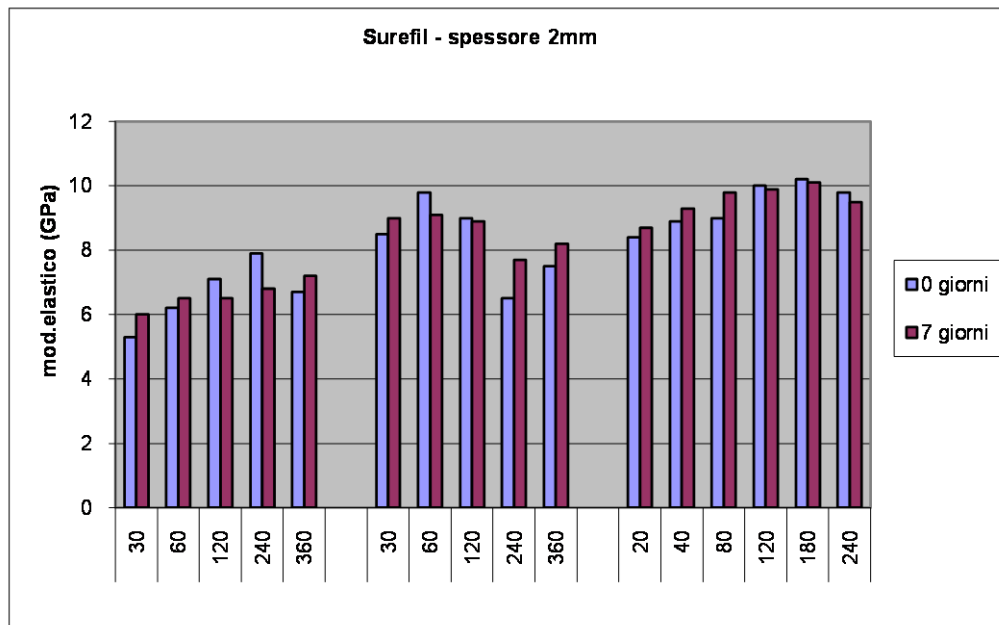


Fig 6. Valori di modulo elastico ottenuti su campioni di composito Surefil, dello spessore di 2 mm, subito dopo la polimerizzazione (0 giorni) e dopo 7 giorni, in ambiente asciutto, per tempi di esposizione luminosa da 30 a 360 secondi, con intensità di luce di 400 e 800 mW/cm², e tempi da 20 a 240 secondi con una intensità di luce di 1200 mW/cm².



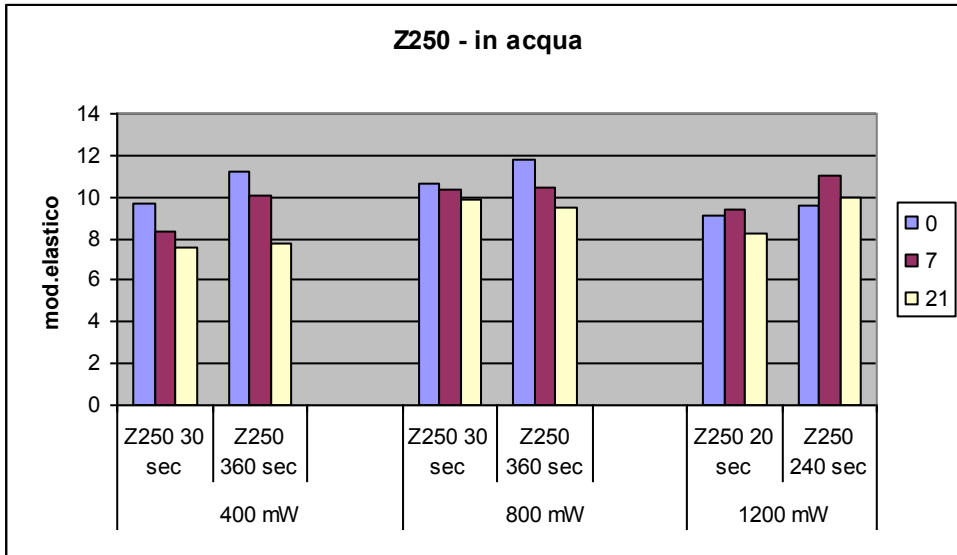
Il Surefil si comporta in modo analogo al Filtek P60. Una bassa energia di attivazione, pari a 400 mW/cm², risulta la meno indicata, conseguendo i più bassi valori di modulo elastico, anche per tempi di esposizione considerevoli. Il Surefil, come il Filtek P60, risulta meglio polimerizzato da una elevata intensità di fotoattivazione, pari o superiore a 1200 mW/cm², per tempi di esposizione di 80-120 secondi.

Nelle figure 5 e 6 si osserva come, per il composito Surefil, una intensità di 1200 mW/cm² consenta un incremento proporzionale del modulo elastico fino a tempi di esposizione di 120 secondi, per un millimetro di spessore, e 180 secondi, per 2 millimetri di spessore. Una maggior intensità di fotoattivazione tende ad annullare la differenza di modulo solitamente osservata da 0 a 7 giorni successivi alla polimerizzazione.

L'assorbimento d'acqua da parte del composito comporta una diminuzione delle proprietà meccaniche, così come del modulo elastico (11, 12). Dall'analisi delle figure 7, 8 e 9 si osserva come l'immersione dei campioni di composito in acqua subito dopo la loro foto attivazione (0 giorni) determina una progressiva diminuzione del modulo elastico.

Polimerizzando i compositi Filtek Z250, Filtek P60 e Surefil con una esposizione di 400 mW/cm², per quanto un aumento dei tempi di fotoesposizione comporti un maggior modulo elastico subito dopo la fotoattivazione, il successivo e graduale assorbimento d'acqua annulla la differenza di modulo elastico osservata inizialmente. Dopo 21 giorni il modulo elastico dei campioni, rispettivamente fotoattivati per 30 e 360 secondi, a 400 mW/cm², risulta pressoché equivalente. Il calo di modulo elastico è percentualmente del 30.3 %, per il Filtek Z250, polimerizzato per 360 sec., e del 39,7 % per il Filtek P60, fotoattivato per 360 sec., mentre per il Surefil, nelle stesse condizioni di fotoattivazione, il calo di modulo elastico è del 16,8%.

Fig 7 I grafici espongono la riduzione progressiva del modulo elastico osservata nei campioni di composito Filtek Z250 dopo immersione in acqua per 0, 7 e 21 giorni avvenuta subito dopo la loro fotoattivazione.



Fotopolimerizzando i compositi Filtek Z250 e Filtek P60 con una intensità di 800 mW/cm² (figg. 7 e 8), si osserva comunque un calo di modulo elastico, progressivo, in relazione al periodo di permanenza in acqua, ma la riduzione percentuale del modulo elastico appare inferiore: del 19.49% per il Filtek Z250, fotoattivato per 360 secondi, e del 16.49% per il Filtek P60, fotoattivato per 360 secondi. I valori assoluti di modulo elastico, dopo 21 giorni di permanenza in acqua, sono maggiori per una esposizione di 800 mW/cm² di quelli ottenuti con una esposizione di intensità pari a 400 mW/cm².

Fig 8 I grafici espongono la riduzione progressiva del modulo elastico osservata nei campioni di composito Filtek P60 dopo immersione in acqua per 0, 7 e 21 giorni avvenuta subito dopo la loro fotoattivazione.

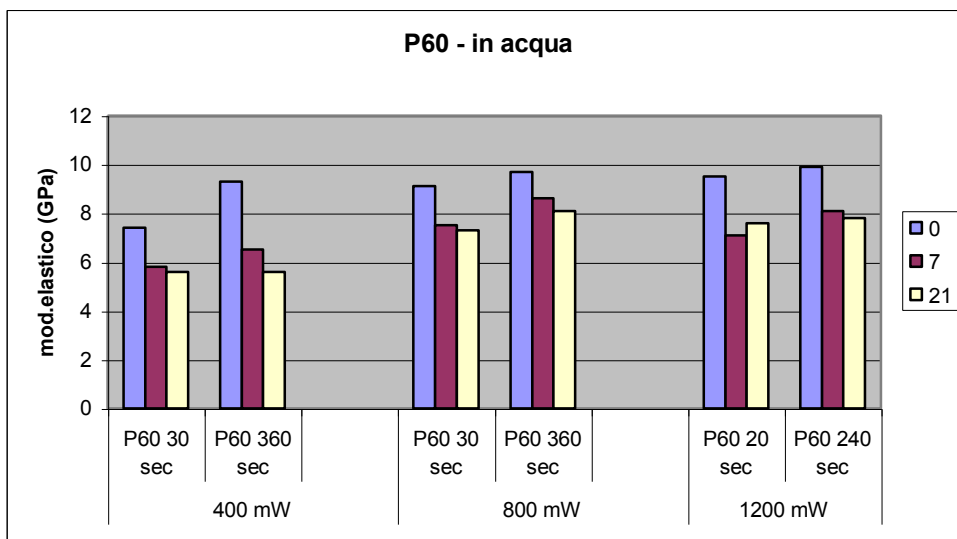
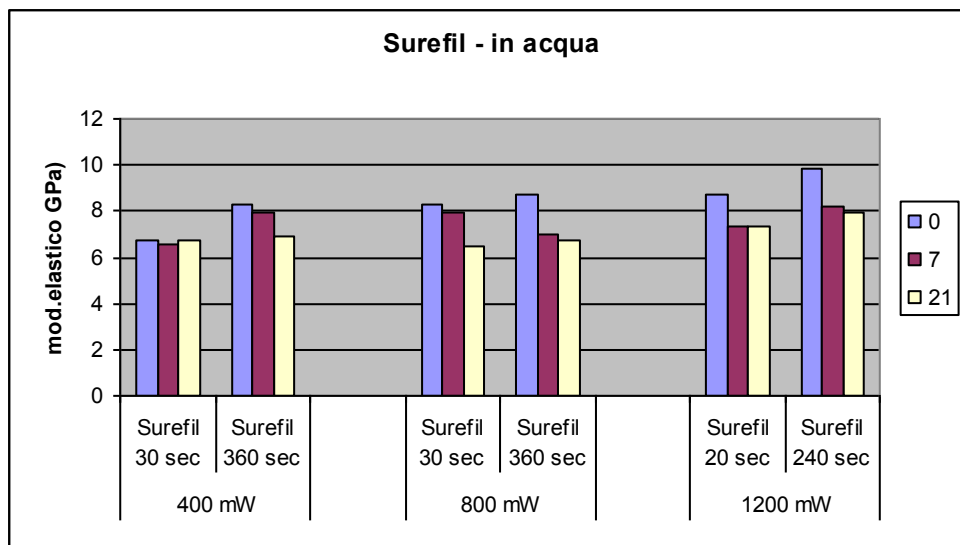


Fig 9 I grafici espongono la riduzione progressiva del modulo elastico osservata nei campioni di composito Surefil dopo immersione in acqua per 0, 7 e 21 giorni avvenuta subito dopo la loro fotoattivazione.



Il composito Surefil (fig. 9) non appare risentire favorevolmente di una fotoattivazione a 800 mW/cm² rispetto a 400 mW/cm². Per quanto il valore di modulo elastico a 0 giorni sia più alto per 800 mW/cm², piuttosto che per 400 mW/cm², dopo 21 giorni di permanenza in acqua i valori di modulo elastico finiscono per equivalersi. Il decremento di modulo elastico da 0 a 21 giorni, per un tempo di esposizione di 360 secondi, è del 22.9%

Fotoattivando il Filtek Z250 con 1200 mW/cm² (fig. 7), si osserva un incremento del modulo elastico, dopo 7 giorni di permanenza in acqua, e un successivo calo di modulo elastico a 21 giorni. Ciò si spiega, probabilmente, per il fatto che nei primi sette giorni si sovrappongono due distinti fenomeni: un incremento del modulo elastico, dovuto al perdurare della polimerizzazione dopo la fotoattivazione (vedi fig. 1), e il calo del modulo elastico dovuto all'assorbimento d'acqua. Il bilancio dei due fenomeni comporta nella prima settimana comunque un incremento del modulo elastico. Nella seconda e terza settimana l'aumento della conversione del composito risulta irrilevante, mentre ancora il modulo elastico diminuisce per effetto dell'assorbimento d'acqua. E' anche possibile che una maggiore intensità di fotoattivazione determini una diversa qualità del polimero (9) e che ciò renda il composito più refrattario all'assorbimento d'acqua, rallentandone nel tempo il relativo calo di modulo elastico.

Una fotoattivazione a 1200 mW/cm², per un tempo minimo di esposizione (20 sec.), produce risultati di modulo elastico proporzionalmente inferiori. Per tempi ben maggiori (240 sec.), una foattivazione ad alta energia consente, invece, di ottenere il più alto valore di modulo elastico (10 Gpa) registrato sul Filtek Z250 e sugli altri due compositi concorrenti dopo 21 giorni di permanenza in acqua, rispetto a qualsiasi altro parametro di fotoesposizione, per quanto di poco superiore alla fotoattivazione, sempre del Filtek Z250, con 800 mW/cm², per 360 secondi (9.50 Gpa).

Ciò che è importante notare è che per una intensità di 1200 mW/cm² e per un tempo di esposizione relativamente maggiore, pari a 240 sec., non si registra un decremento del modulo elastico dopo permanenza in acqua, bensì un aumento del 4,1%.

I risultati di modulo elastico, relativi al composito Filtek P60 (fig. 8), considerando l'intensità di 800 e 1200 mW/cm², non sono molto diversi tra loro, mentre ben inferiore appariva il risultato a 21 giorni per l'intensità di 400 mW/cm². I massimi valori di modulo elastico si registrano per i

massimi valori di intensità luminosa (800 e 1200 mW/cm²) e per il massimo tempo di esposizione (rispettivamente 360 e 240 secondi).

Nel Surefil (fig. 9) è più evidente l'incremento di modulo elastico, a 21 giorni, ottenuto con una esposizione di 1200 mW/cm², rispetto a energie di fotoattivazione minori. Il contenimento del calo di modulo elastico dovuto alla permanenza in acqua per 21 giorni è maggiore e pari ad un calo solo del 9.1%.

Discussione

Alcuni risultati, registrati in questo studio, non mostrano di avere sempre una chiara proporzionalità, osservata con l'aumentare del tempo o dell'intensità di esposizione. Ciò può dipendere da particolari aspetti della fotopolimerizzazione relativi ad uno specifico materiale composito e alle sue proprietà fisico-chimiche, oltre che dalla diversa influenza che l'intensità di attivazione e la variazione del tempo di esposizione possono esercitare sulla dinamica della fotopolimerizzazione, in relazione ad uno specifico materiale. E' anche possibile che la qualità del composito e, quindi, le sue caratteristiche meccaniche e di sensibilità alla luce non siano omogenee da una siringa all'altra e a profondità diverse della stessa siringa.

Una possibile interpretazione di questo aspetto può, tuttavia, derivare dalla particolare tempistica in cui sono stati preparati i vari campioni di composito e in cui, successivamente, ne è stato misurato il modulo elastico. Il tempo intercorso tra la preparazione di tutti i campioni e l'inizio della loro misurazione non è superiore a 6 ore. Ciò significa che non tutti i campioni possono essere misurati ad una stessa distanza di tempo dalla loro fotoattivazione. Il modulo elastico presenta una variazione importante da 1 a 7 giorni, ma è ancora più sensibile la variazione di modulo nei primi minuti o nelle prime ore successive alla fotopolimerizzazione (15). Non tutti i campioni al "tempo 0", assunto in questa ricerca come momento iniziale della misurazione del modulo elastico, in realtà presentano lo stesso numero di minuti o ore, intercorse dalla fotoattivazione alla loro misurazione. Tale giustificazione può essere considerata, ovviamente, solo per le misurazioni al "tempo 0", mentre per i dati a 7 e 21 giorni la stessa variabile non può essere assunta.

Le prestazioni meccaniche, in termini di modulo elastico, raggiunte dai compositi presi in considerazione, non sono soddisfatte, nel loro limite massimo, dalle indicazioni proposte da Rueggeberg et al. (8), che vede, in una esposizione di 400 mW/cm², per 60 secondi, per 1 mm di spessore, massimo 2 mm, un parametro appropriato di fotoattivazione. Per compositi di comportamento analogo al composito Filtek Z250, una fotoesposizione di 400 mW/cm² può essere protratta per tempi di 240-360 secondi, su 1-2 mm di spessore, con un proporzionale incremento del modulo elastico in ambiente asciutto. L'aumento percentuale del modulo elastico su 1 mm di Filtek Z250, polimerizzato a 400 mW/cm² da 60 sec a 360 sec. è del 18.0%.

Il comportamento del composito, durante la reazione di fotoattivazione, non è influenzato solo dai parametri di fotoesposizione (tempo e intensità della luce), ma anche dal tipo di composito, in relazione alla chimica propria di quel dato prodotto e, verosimilmente, anche in rapporto alla viscosità e all'opacità del materiale. Il composito Filtek P60 presenta caratteristiche e indicazioni cliniche sensibilmente diverse dal Filtek Z250, essendo un composito con caratteristiche meccaniche più adatte ai settori posteriori, maggiormente caricato, con una consistenza e viscosità maggiore, tanto da rientrare nella categoria dei compositi "compattabili". La trasmissione della luce attraverso il Filtek P60 è minore, rispetto al Filtek Z250, in ragione della sua maggiore opacità, così come la diffusione dei radicali liberi, indotti dalla fotoattivazione, risulta minore nell'unità di tempo, a causa della sua maggiore viscosità, e quindi proporzionalmente minore è la conseguente propagazione chimica della reazione di polimerizzazione (14). Il composito C è un composito ad alta viscosità, indicato per restauri nei settori posteriori. La sua viscosità è ancora maggiore di quella del Filtek P60. L'interpretazione dei dati precedentemente esposti porta a credere che quanto

più un composito sia “lento” alla penetrazione della luce e viscoso, tanto meno risenta di un aumento dei tempi di esposizione, tanto più quanto l’intensità della luce sia relativamente bassa. Al contrario, l’impiego di sorgenti luminose ad elevata energia, per tempi prolungati, risulta favorevole e più efficace. Compositi cosiddetti “compattabili”, ad alta viscosità, potrebbero dimostrarsi più refrattari alla fotoesposizione e condurre a risultati clinici minori, in termini di modulo elastico, rispetto a compositi di minor viscosità e di maggior traslucenza. Compositi come il Filtek P60 e Surefil, risentono favorevolmente di un aumento dell’intensità luminosa, fino a valori superiori ai 1000 mW/cm², giustificando l’impiego di lampade fotopolimerizzatrici ad elevata energia, per tempi di esposizione non inferiori a 60 secondi e non superiori a 120, 180 secondi, per 1-2 mm di spessore.

In compositi di minor viscosità, più morbidi nell’adattamento e più traslucidi, come lo Z250, si osserva un valore limite di fotoattivazione, definito in 800 mW/cm² per 60 secondi, su 1 mm di spessore del composito, e in 800 mW/cm² per 120 secondi, su 2 mm di spessore, in ambiente asciutto. Oltre questi parametri, aumentando l’intensità di fotoattivazione e il tempo di esposizione, il modulo elastico del composito in ambiente asciutto tende a peggiorare o, quantomeno, non ne è favorevolmente influenzato. In questi termini, l’impiego di lampade fotopolimerizzatrici ad elevata potenza, superiore a 1000 mW/cm², per compositi di comportamento analogo allo Z250 non appare giustificato, neppure considerando uno spessore di composito di 2 mm.

L’esposizione del composito in acqua a 37°C, e quindi verosimilmente nell’ambiente orale, comporta un progressivo calo del modulo elastico, fino a valori che si stabilizzano dopo 21 giorni. L’entità della riduzione del modulo elastico in acqua non appare solamente collegata al valore di modulo elastico, che il campione presenta subito dopo la fotoattivazione, ancora in ambiente asciutto, ma risulta inversamente proporzionale non tanto al tempo di esposizione luminosa, quanto all’intensità della luce impiegata. Maggiore è l’energia di fotoattivazione, maggiore è il modulo elastico risultante dopo esposizione in acqua e minore è il calo di valore del modulo elastico dalle condizioni del campione secco a quelle del campione in acqua dopo 21 giorni.

Per una possibile interpretazione del fenomeno, presentiamo di seguito due ipotesi.

Dalla fig. 1 si osserva che quanto minore è l’energia di fotoattivazione (400 mW/cm²), e quindi la velocità di conversione del polimero, tanto maggiore è l’incremento di modulo elastico, e quindi verosimilmente la conversione del composito, nei 7 giorni successivi, in ambiente asciutto, fino al raggiungimento del suo massimo valore di modulo elastico. Se in questo periodo di tempo, in cui il composito non ha ancora raggiunto il suo massimo grado di conversione, il composito si trova immerso in acqua, questa, per assorbimento da parte del composito, può inibire l’ulteriore conversione del monomero e, quindi, l’innalzamento del modulo elastico che si osserva nei sette giorni successivi alla polimerizzazione in ambiente asciutto. Una maggiore energia di fotoattivazione, invece, consente una più rapida conversione del monomero ed una sua minor suscettibilità da parte dell’acqua assorbita.

L’assorbimento d’acqua nel periodo successivo alla fotoattivazione può anche compromettere per idrolisi i legami chimici già instaurati tra le molecole di monomero al momento della fotopolimerizzazione e, quindi, comportare una diminuzione delle sue proprietà meccaniche.

Kloosterboer e Lijtien (9) sostengono la formazione di catene polimeriche più corte, con una prevalenza di legami orizzontali, in relazione ad una fotoesposizione del composito ad elevate energie. Tale affermazione può ulteriormente rendere ragione del fenomeno osservato, immaginando che una struttura polimerica, costituita da catene più corte, possa rappresentare una “rete” a maglie più fitte, che meglio frenano l’ingresso delle molecole d’acqua nella matrice del composito. Quanto maggiore è la conversione del monomero e la formazione di legami orizzontali tra le catene polimeriche, tanto più fitta risulta la rete polimerica e quindi, verosimilmente, minore la penetrazione delle molecole d’acqua tra le molecole di polimero.

Il decremento del modulo elastico, come verosimilmente quello di altre proprietà meccaniche, nei compositi che subito dopo la loro fotoattivazione entrano in contatto con l’ambiente orale, e quindi con l’acqua, è dato dall’equilibrio che si instaura tra quantità e qualità della conversione iniziale del

polimero, assorbimento d'acqua, inibizione della conversione dovuta all'acqua e idrolisi dei legami chimici successivi alla polimerizzazione. Quanto maggiore è la conversione iniziale del polimero e minore è il suo assorbimento d'acqua, tanto maggiori e più stabili risultano le relative proprietà meccaniche. In questo ambito, l'intensità di fotoattivazione, poiché probabilmente collegata con la qualità della polimerizzazione, appare avere un ruolo significativo, almeno per ciò che concerne il modulo elastico.

Il massimo valore di modulo elastico non è generalmente raggiunto da tempi di esposizione inferiori a 60 secondi, su 1-2 mm di spessore, pur adottando intensità di esposizione superiori a 400 mW/cm². Una polimerizzazione ad elevata energia è indice di una migliore conversione del materiale, di un suo migliore comportamento clinico, anche di un relativo risparmio di tempo, ma non di una possibile drastica riduzione dei tempi di polimerizzazione.

La distinzione dei risultati di modulo elastico in ambiente asciutto e in acqua pone un diverso parametro di valutazione dei dati. Mentre in ambiente asciutto non sempre la polimerizzazione di taluni compositi è favorita da un indiscriminato aumento dell'energia di emissione luminosa, così da definirsi necessariamente un limite utile di fotoattivazione, nel momento in cui il composito è posto in ambiente umido, una fotoattivazione ad elevata intensità di luce risulta sempre in un proporzionale aumento e mantenimento delle proprietà di modulo elastico, comune a tutti i compositi considerati, perlomeno nell'ambito dei parametri di fotoesposizione qui assunti.

Conclusioni

I massimi valori utili di fotoattivazione in ambiente asciutto individuati in questo studio corrispondono all'applicazione di una intensità di luce di 800 mW/cm², per un tempo di esposizione di 60 e 120 secondi, rispettivamente per 1 e 2mm di spessore, senza alcuna necessità di protrarre la polimerizzazione oltre questo limite.

Tali parametri di fotoesposizione sono così assunti e consigliati volutamente accettando il medesimo ambito di valutazione del composito, in ambiente asciutto, posto precedentemente da Rueggeberg et al. (8), così da determinare, congiuntamente ai dati proposti da Rueggeberg, un minimo e un massimo utile di fotoattivazione, rispettivamente di 400 e 800 mW/cm² di intensità luminosa, per un tempo di esposizione di 60 e 120 secondi, per uno spessore del composito da 1 mm fino a 2 mm.

La possibilità di gestire intensità di emissione luminosa superiori, uguali o maggiori di 1200 mW/cm², appare invece utile nei confronti di compositi di maggior viscosità e opacità, e in tutte quelle condizioni in cui, per ottenere una reale esposizione di 800 mW/cm², devono essere superate particolari condizioni di attenuazione della luce, dovute alla distanza, a cui è posto il puntale, o allo spessore di altri materiali interposti tra il composito e la sorgente luminosa. Per compositi maggiormente refrattari alla luce, anche un aumento dei tempi di esposizione a 120-180 secondi può ritenersi appropriato.

L'incremento di modulo elastico massimo, raggiunto nelle varie condizioni di fotoattivazione qui proposte, in ambiente asciutto, da un minimo di esposizione luminosa, pari a 400 mW/cm² per 30 secondi, ad un massimo di 1200 mW/cm² per 240 secondi, presenta una escursione variabile dal 14% al 41%, a seconda dei casi. Per un simile incremento di modulo elastico l'adeguamento dei parametri di fotoattivazione verso valori maggiori, se non massimi, anziché minimi, risulta sensibilmente vantaggioso.

Poiché i compositi polimerizzati direttamente nel cavo orale vengono poi immediatamente esposti all'assorbimento d'acqua, la valutazione del loro comportamento clinico, in funzione dell'entità e della qualità della loro fotoattivazione, non può prescindere da una analisi del materiale composito condotta anche in campo umido.

Per il calo di modulo elastico conseguentemente osservato dopo l'immersione dei campioni di composito in acqua a 37°C per 21 giorni e per la sua correlazione soprattutto con l'intensità della luce emessa, i parametri di fotoattivazione, fino ad oggi assunti in ambiente asciutto, dovrebbero essere diversamente considerati, in funzione dell'ambiente umido in cui il composito clinicamente opera, non solo assumendo come riferimento di polimerizzazione il grado di conversione del polimero, ma anche la qualità della polimerizzazione, in quanto condizionata dall'intensità dell'emissione luminosa.

E' verosimile che, almeno per quanto concerne le valutazioni condotte sul modulo elastico, una polimerizzazione del composito di elevata intensità di esposizione luminosa, superiore a 1000 mW/cm², per tempi di esposizione non ridotti, ma di 60-120 secondi, rispettivamente per uno spessore del composito di 1 e 2 mm, consenta di ottenere un migliore comportamento clinico del composito in ambiente umido.

Per tutti i compositi considerati in questa ricerca, i migliori valori di modulo elastico dopo 21 giorni di permanenza in acqua sono stati raggiunti da intensità di fotoattivazione di 800 e 1200 mW/cm² per il maggior tempo di esposizione assunto, conseguendo un incremento del modulo elastico, rispetto a valori minimi di fotoattivazione, dal 15% al 30.8%. Sebbene i valori massimi di modulo elastico raggiunti in ambiente umido siano riferiti a campioni foto polimerizzati per un tempo di esposizione massimo di 240 e 360 secondi, è altrettanto ragionevole assumere come tempi di esposizione valori minori, ma non inferiori a 60 secondi.

La formulazione di un parametro massimo di foto attivazione utile valido in ambiente asciutto, coincidente con l'applicazione di una intensità luminosa di 800 mW/cm² per 60-120 secondi, rispettivamente su 1 e 2 mm di composito, rimane confermato anche dai risultati ottenuti in ambiente umido, per quanto una ulteriore estensione a valori di intensità luminosa maggiori, superiori a 1000 mw/cm², appaia altrettanto giustificata, soprattutto con compositi di maggior viscosità.

Bibliografia

1. ASMUSSEN E., JORGENSEN K.D. (1982). Fatigue strength of some resinous materials. Scand J Dent Res, 90: 76-79.
2. FERRACANE J.L., NEWMAN S., GREENER E.H. (1982). Correlation of strength and degree of polymerization of unfilled BIS-GMA. J Dent Res, Mar 61, IADR Abstract n. 832
3. YAP A.U.J. (2000) Effectiveness of polymerization in composite restoratives claiming bulk placement: impact cavity depth and exposure time. Operative Dentistry, 2000, 25:113-120
4. FERRACANE L.L., MITCHEM J.C., CONDON J.R., TODD R. (1996). Wear and marginal breakdown of composites with varied degree of cure. J Dent Res, 75, IADR Abstract n. 851.
5. GRASSIE N. (1956). Chemistry of high polymer degradation processes. Butterworth Schientific Publications. London: pp 14, 16-226, 255-262.
6. WU W., TOTH E.E., MOFFA J.F., ELLISON J.A. (1984). Subsurface damage layer of in vivo worn dental composite restoration. J Dent Res, 63(3), 675-680.
7. TATE W.H., PORTER K.H., DOSCH R.O. (1999) Successful Photocuring: Don't Restore

without it. Operative Dentistry, 24, 109-114

8. RUEGGERBERG F.A., CAUGHMAN W.F., CURTIS J.V. (1994) Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. Operative Dentistry, 1-26-
9. KLOOSTERBOER, J.G. E LIJTEN G.F.C.M. (1990) Photopolymers exhibit a large difference between glass transition and curing temperatures. Polymer 31, 95-101.
10. SUH B.I., CINCIONE F.A., SANDRIN J.L. (1998). Examination of experimental cavity substrates as a function of modulus of elasticity during polymerization of composite, JADR, estratto 1242.
11. BRAEM M.J.A., LAMBREACHT P., VANHERLE G. (1994) Fatigue of Restorative Material. Academy of Dental Material.
12. BRAEM M.J.A., LAMBREACHTS P., GLADYS S., VANHERLE G.(1995) In vitro fatigue behavior of restorative composites and glass ionomer. Dent Mate, 11: 137-141.
13. FOWLER C.S., SWARTZ M.L., MOORE B.K. (1994) Efficacy testing of Visible light-curing units. Operative dentistry, 19, 47-52.
14. RUYTER I.E., SVENDSEN S.A. (1978). Remaining methacrylate groups in composite restorative materials. Acta Odontol. Scand., 36(2): 75-87.
15. PRATI C. (1997). Single-step versus multi-step bonding agent: morfologia dello strato ibrido. Atti del simposio internazionale "Odontoiatria Adesiva oggi", S.Margherita Ligure. Hippocrates Edizioni Mewdico Scientifiche, Milano.