



Disponibile su [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)



journal homepage: [www.elsevier.com/locate/gie](http://www.elsevier.com/locate/gie)



ARTICOLO ORIGINALE

# Caratterizzazione in microscopia SEM-EDS del cemento endodontico MTA: un confronto tra diversi prodotti

*Textural and mineralogical constitution of mineral trioxide aggregate: a comparison among different products*

Mario Lendini<sup>a,\*</sup>, Mauro Rigolone<sup>b</sup>, Mario Tribaudino<sup>c</sup>,  
Fabio Coda Zabetta<sup>d</sup>, Daniele Mazza<sup>e</sup>, Elio Berutti<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Libero professionista, Torino

<sup>b</sup> Professore a contratto, Reparto di Endodonzia, Dental School Lingotto, Università di Torino

<sup>c</sup> Professore ordinario in Mineralogia, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Parma

<sup>d</sup> Frequntatore Reparto di Endodonzia, Dental School Lingotto, Università di Torino

<sup>e</sup> Professore associato in Chimica, Dipartimento di Scienze dei Materiali e Ingegneria Chimica, Politecnico di Torino

<sup>f</sup> Professore ordinario in Endodonzia e Odontoiatria Conservatrice nel CLMOPD, Dental School Lingotto, Università di Torino

Ricevuto il 24 novembre 2009; accettato il 12 ottobre 2010  
disponibile online l'11 giugno 2011

## PAROLE CHIAVE

MTA;  
Cemento di Portland;  
Costituzione mineralogica;  
Microscopia elettronica SEM-EDS;  
Mappe composizionali.

## Riassunto

**Obiettivi:** Valutare le caratteristiche microscopiche dei cementi endodontici MTA disponibili in commercio e di un cemento di Portland.

**Materiali e metodi:** Analisi su quattro varietà di MTA: Ognà Aureoseal<sup>®</sup>, Proroot white MTA<sup>®</sup>, Angelus white e gray MTA<sup>®</sup> e un cemento di Portland. I campioni, previo esame in diffrazione X, sono stati consolidati; i provini a cemento solidificato sono stati inglobati in una resina epossidica e lucidati in superficie: questo ha permesso un'osservazione SEM-EDS per evidenziarne la struttura e la natura chimica e mineralogica.

**Risultati:** Le analisi mostrano significative differenze tra i vari tipi di MTA presi in esame e tra questi e il cemento di Portland usato come riferimento.

I cementi utilizzati a scopo odontoiatrico hanno granuli di minori dimensioni, una maggiore idratazione e un minor contenuto di ferro e zolfo. Tra i costituenti mineralogici caratteristici del MTA si riscontrano agenti radio-opacizzanti (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e CaWO<sub>4</sub>). Una sostanziale differenza tra i cementi MTA è la quantità variabile nel contenuto di magnesio e alluminio che, dopo il consolidamento, presentano una granulometria inferiore nei campioni Ognà Aureoseal<sup>®</sup> e

\* Corrispondenza: via F. Romani 27 – 10131 Torino (Italy).  
E-mail: [mario@drlendini.it](mailto:mario@drlendini.it) (M. Lendini).

**KEYWORDS**

Mineral trioxide aggregate;  
Portland cement;  
Mineralogical constitution;  
Back-scattered electron imaging;  
X-ray mapping.

Proroot white MTA<sup>®</sup>; la presenza di apatite e tungstato di calcio (CaWO<sub>4</sub>) è invece caratteristica del cemento MTA Ognà Aureoseal<sup>®</sup>.

*Conclusioni:* Le differenze tra i campioni MTA e tra questi e il cemento di Portland sono significative sia a livello di tessitura microscopica sia di composizione chimica.

© 2011 Società Italiana di Endodonzia. Pubblicato da Elsevier Srl. Tutti i diritti riservati.

**Abstract**

*Objectives:* To determine the mineralogical, chemical, and microtextural differences between commercially available MTA products, clarifying common differences with Portland and between each other.

*Materials and methods:* The study was done on four commercially available MTA cements, that is Ognà Aureoseal<sup>®</sup>, Proroot white MTA<sup>®</sup>, Angelus white and gray MTA<sup>®</sup> and on a commercial Portland cement. After preliminary X-ray diffraction characterization of the powder, the samples were consolidated following the same procedure used in clinical practice. The consolidated material was embedded in epoxy and polished, and subsequently investigated, by means of SEM-EDS analysis of back-scattered electron images on all samples and of quantitative compositional mapping on MTA.

*Results:* The MTA and Portland cements differ for the grain size, the hydration rate, and homogeneity of the set products, and for lower Fe and S content in MTA. Previously reported presence of opacizing agents (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CaWO<sub>4</sub>) was confirmed in all samples, whereas low Al content was not observed in all MTA. Although the MTA products are all mainly composed by di-calcium and tri-calcium silicates, the post-setting texture and the chemical and mineralogical constitution differ. Finer texture was observed in Ognà Aureoseal<sup>®</sup> and Proroot white MTA<sup>®</sup>; in Ognà Aureoseal<sup>®</sup> the presence of apatite and Ca-tungstate was reported; Mg and Al content changed in samples, following the clinker composition.

*Conclusions:* Significant differences exist between Portland cement and MTA, but also among different MTA formulations. MTA products can be classified as a form of Portland cement, specifically modified for dentistry purposes.

© 2011 Società Italiana di Endodonzia. Published by Elsevier Srl. All rights reserved.

**Introduzione**

In odontoiatria, e in particolare in endodonzia, l'umidità e la contaminazione da parte del sangue sono due problemi con cui quotidianamente bisogna confrontarsi. Il mineral trioxide aggregate (MTA) è un cemento introdotto nel 1995 da Torabinejad e approvato dalla *Food and Drug Administration* (FDA) statunitense nel 1998 [1]. È costituito da una miscela di ossidi e diossidi in opportune proporzioni, come risulta dalla *tabella 1*. Questo materiale deriva dal cemento di Portland usato in edilizia e per le costruzioni sottomarine e differisce principalmente per le minori concentrazioni di ferro e zolfo e, soprattutto, per la presenza di ossido di bismuto, un radio-opacizzante inserito nella composizione. Fino al 2002, l'unica forma di MTA presente in commercio era quella grigia, commercializzata dalla Dentsply Endodontics sotto il nome di ProRoot MTA<sup>®</sup> (Dentsply, USA). In quell'anno è stato introdotto in commercio dalla stessa ditta il ProRoot white MTA<sup>®</sup> (Dentsply, USA), che si contraddistingue per la colorazione bianca della polvere [2]. Dall'analisi al SEM

emerge che la differenza più rilevante tra i due composti risiede nella minore concentrazione di ossidi di alluminio, magnesio e ferrico nell'MTA bianco: la riduzione del contenuto in ferro sarebbe responsabile del colore più chiaro rispetto alla formulazione tradizionale [2,3].

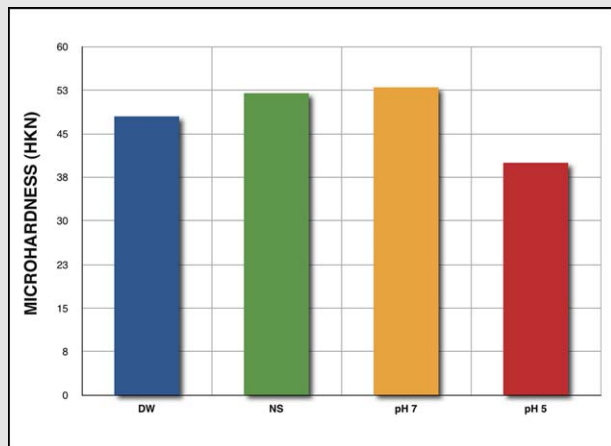
Il composto si presenta come una polvere idrofila, da miscelare con acqua sterile in rapporto polvere/liquido di 3:1 al momento dell'utilizzo. Dopo la miscelazione, il materiale acquisisce una struttura di gel colloidale e solidifica in un tempo medio di 3-4 ore [1,2]. Il pH iniziale dell'MTA idratato è 10,2 e sale fino a un valore massimo di 12,5 tre ore dopo la miscelazione [1,4]. L'alcalinità dell'MTA, simile a quella dell'idrossido di calcio, spiegherebbe l'azione inducente la formazione dei tessuti duri e l'azione inibente su alcuni ceppi batterici anaerobi facoltativi. L'MTA presenta inoltre una bassa solubilità e una radio-opacità maggiore rispetto a quella dentinale, onde consentirne il controllo radiografico [5]. La bassa resistenza alla compressione ne impedisce l'uso come materiale da otturazione coronale da sottoporre ai carichi occlusali. È riportato in letteratura un aumento della resistenza alla compressione dell'MTA in presenza di umidità, fino a raggiungere il valore massimo di 67,3 MPa dopo 21 giorni circa. Il tempo di indurimento del materiale è influenzato dall'esposizione a valori di pH acidi, che si osservano in presenza di processi infiammatori (*tabella 2*) [6].

Numerosi studi hanno dimostrato la biocompatibilità dell'MTA, che risulta privo di azione tossica, non irritante, anallergenico, non mutagenico e non carcinogenico; inoltre, non ostacola i normali processi di guarigione e non modifica lo stato di salute generale dell'ospite [6,7]. Studi condotti in vitro su cellule e tessuti e in vivo, subcutanei e a impianto osseo, hanno dimostrato la mancanza di citotossicità [8-10].

**Tabella 1** Principali ossidi e diossidi presenti nella composizione di MTA (1).

Ossido di calcio	65%
Diossido di silicio	21%
Ossido ferrico	5%
Ossido di alluminio	4%
Ossido di calcio	2,5%
Ossido di magnesio	2%
Ossido di sodio e potassio	0,5%

**Tabella 2** Indurimento del cemento MTA mediante utilizzo di acqua distillata (DW) e soluzione fisiologica (NS), e in presenza di un valore di pH 7 e di pH 5 (5).



In studi controllati su animali si è visto che l'MTA è l'unico materiale sul quale avviene la crescita di cemento radicolare [9]. Studi in vitro su osteoblasti umani hanno dimostrato che l'MTA stimola la liberazione di citochine e interleuchine, le quali favoriscono i processi rigenerativi e di guarigione: tale materiale, pertanto, non è inerte, ma promuove attivamente la formazione di tessuto duro [9,11,12] e facilita la rigenerazione del legamento parodontale [13]. La crescita di cemento e di osso a contatto con l'MTA viene evidenziata nelle riparazioni di perforazioni radicolari, nelle otturazioni retrograde e nei rimaneggiamenti apicali [14–16]. L'induzione alla crescita ossea potrebbe dipendere da numerosi fattori, quali la biocompatibilità, la capacità di sigillo, il pH alcalino e la stimolazione delle interleuchine [9]. Durante la reazione dell'MTA con l'acqua si avrebbe la formazione di ossido e di fosfato di calcio; l'ulteriore reazione dell'ossido di calcio con l'acqua formerebbe idrossido di calcio, da cui, per reazione di carboantazione, deriverebbe la deposizione dei cristalli di calcite osservata in presenza del materiale [9,15].

L'attività antibatterica è stata osservata in vitro su nove specie batteriche anaerobie facoltative e su sette specie di anaerobi obbligati (tabella 3). Un'ulteriore caratteristica

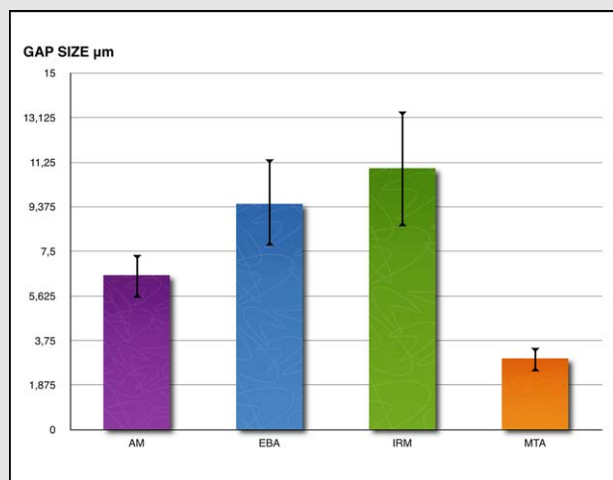
**Tabella 3** Valutazione dell'attività antibatterica dell'MTA [16].

	Controllo positivo	Dispersalloy		Sybralloy		Super EBA		ZOE		MTA	
		Fresh	Set	Fresh	Set	Fresh	Set	Fresh	Set	Fresh	Set
<i>S. faecalis</i>	3,13 (0,43)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>S. mitis</i>	6,67 (0,75)	—	—	—	—	—	—	2,04 (0,58)	—	7,04 (0,62)	4,25 (0,54)
<i>S. mutans</i>	4,75 (0,75)	—	—	—	—	—	—	—	—	9,92 (0,67)	8,67 (0,58)
<i>S. salivarius</i>	7,00 (0,60)	—	—	—	—	—	—	2,42 (0,36)	1,46 (0,33)	7,04 (0,66)	6,33 (0,81)
<i>L. spp.</i>	7,71 (1,05)	—	—	—	—	6,79 (0,78)	7,71 (0,92)	10,00 (1,09)	10,67 (1,39)	7,96 (0,72)	6,38 (0,77)
<i>S. aureus</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>S. epidermidis</i>	7,25 (0,84)	—	—	—	—	2,58 (0,42)	1,54 (0,33)	6,46 (0,40)	5,54 (0,66)	6,54 (0,45)	5,46 (0,58)
<i>B. subtilis</i>	3,71 (0,75)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>E. coli B</i>	5,21 (0,78)	—	—	—	—	2,04 (0,33)	1,54 (0,45)	4,54 (0,40)	3,00 (0,52)	—	—
<i>P. (bacteroides) buccae</i>	11,92 (0,90)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>B. fragilis</i>	10,88 (0,71)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>P. (bacteroides) intermedia</i>	11,25 (0,84)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>P. (bacteroides) melaninogenica</i>	4,88 (0,43)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>F. necrophorum</i>	10,25 (1,52)	—	—	—	—	2,75 (0,87)	4,46 (0,75)	10,00 (0,93)	10,67 (0,78)	—	—
<i>F. nucleatum</i>	11,42 (1,12)	—	—	—	—	2,67 (0,78)	2,79 (0,50)	8,08 (0,76)	9,54 (0,62)	—	—
<i>P. anaerobius</i>	6,80 (0,42)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

I valori numerici corrispondono al diametro, espresso in millimetri, della zona di inibizione batterica attorno a dischetti di carta imbibiti del materiale [16].

Fresh, materiale appena miscelato; Set, materiale a 24 ore dalla miscelazione.

**Tabella 4** Adattamento marginale di amalgama (AM), Supereba (EBA), IRM e MTA (18). È stato calcolato il gap medio, espresso in  $\mu\text{m}$ , tra materiale e parete dentinale.



dell'MTA è la possibilità di utilizzo in presenza di umidità, soprattutto se confrontato con il comportamento di altri materiali, quali amalgama, super EBA o IRM, in analoghe condizioni [17]. Analisi comparative hanno dimostrato una capacità di adattamento marginale e di sigillo significativamente migliore rispetto ad altri materiali di analogo impiego (tabella 4) [18]. Studi a lungo termine hanno dimostrato la validità e la stabilità del sigillo apicale ottenuto con MTA [19].

Le caratteristiche chimico-fisiche di questo materiale, la sua biocompatibilità, l'attività antibatterica, la possibilità di utilizzo in presenza di umidità, la capacità di sigillo e la stabilità a lungo termine ne hanno consentito l'impiego in molteplici situazioni cliniche: incappucciamenti diretti della polpa, apacificazioni, otturazioni retrograde, riparazione di perforazioni radicolari, riassorbimenti radicolari interni [20–24]. L'otturazione ortograde del terzo apicale o dell'intero sistema canalare radicolare con MTA potrebbe essere considerata la logica evoluzione nell'uso di questo materiale, in virtù delle sue caratteristiche [6].

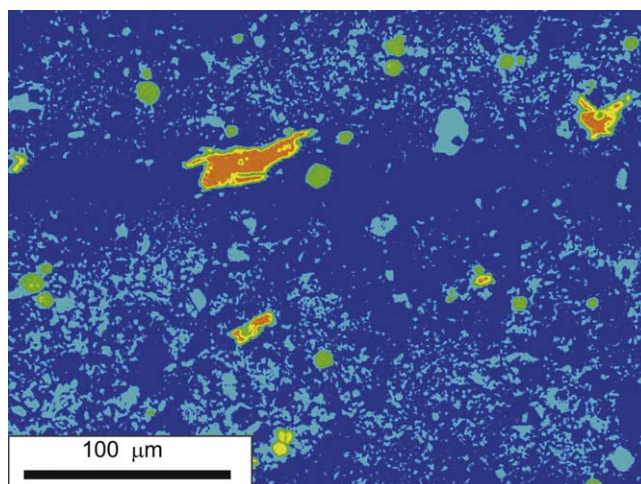
Lo scopo del presente lavoro è di determinare la composizione e la microstruttura delle fasi che caratterizzano i seguenti cementi: Ognà Aureoseal<sup>®</sup> (Ognà, Italia), Proroot white MTA<sup>®</sup> e cemento di Portland (Italcementi, Italia).

## Materiali e metodi

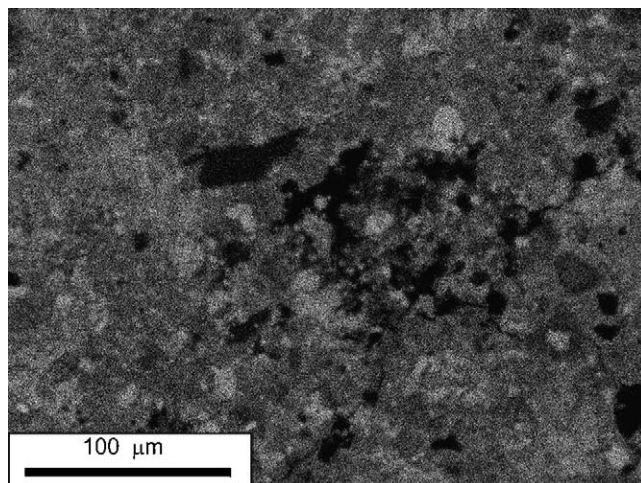
I cementi MTA analizzati provengono da prodotti disponibili in commercio: Proroot white MTA<sup>®</sup>, Angelus white e gray MTA<sup>®</sup> (distribuiti in Italia da Sweden e Martina, rispettivamente nelle confezioni rossa e blu) e Ognà Aureoseal<sup>®</sup>. Si è inoltre esaminato il cemento di Portland usato in edilizia come prodotto di riferimento. La polvere dei vari campioni è stata analizzata prima del consolidamento con diffrazione a raggi X mediante un diffrattometro Bragg-Brentano Philips PW, alla tensione operativa di 40 kV e a corrente di 20 mA, radiazione  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 1,54178 \text{ \AA}$ ).

I vari campioni sono stati consolidati secondo una procedura standard che segue le indicazioni d'uso fornite dai produttori. La polvere è stata miscelata con acqua sterile secondo un rapporto polvere/liquido di 3:1 e detta fase è

stata effettuata in 1 minuto circa. Quindi, i campioni sono stati inseriti in piccoli contenitori in plastica emisferici del diametro di 5 mm e altezza di 1 mm, comprimendoli con un cono di carta. Queste emisfere presentavano sul fondo un foro di 1 mm di diametro. La solidificazione dei campioni è stata effettuata in una capsula di Petri, inserendo i campioni sotto una garza bagnata e sigillando il tutto con polietilene, per evitare perdite di umidità. I campioni presentavano una solidificazione tra 5 e 36 ore, raggiungendo il completo indurimento tra 72 e 96 ore a 21 °C; sono quindi stati prelevati dopo 120 ore, inglobati in resina epossidica e lucidati per ottenere un'accurata levigatura superficiale (una superficie non perfettamente levigata può alterare significativamente i risultati analitici perché l'osservazione SEM in



**Figura 1** Mappa in elettroni retrodiffusi (Back scattered electrons, BSE) relativa al campione Ognà Aureoseal<sup>®</sup>. La mappa è a falsi colori che evidenziano aree con composizione simile. I granuli in colore arancio corrispondono alla bismite, quelli in verde al tungstato di calcio, in azzurro l'apatite e aree più ricche in calcio del prodotto di idratazione, in blu la parte più povera in calcio del prodotto di idratazione.



**Figura 2** Mappa della distribuzione del calcio relativa alla stessa area in Figura 1. Il colore più o meno grigio corrisponde a un diverso contenuto di calcio. Si noti l'assenza di calcio in corrispondenza dei granuli di  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ .

elettroni retrodiffusi e il *quantitative mapping* sono estremamente sensibili alla morfologia del campione).

I provini sono stati sottoposti a una tecnica di osservazione di microscopia elettronica a scansione (SEM) alla tensione di 15 kV, che ha permesso di valutare il contrasto di composizione chimica fra i componenti presenti a un ingrandimento compreso tra 400x e 5000x.

Le mappe quantitative e qualitative sono state ottenute mediante un microscopio Stereoscan S360 SEM e uno spettrometro Link EDS (Oxford INCA 200), raccolte alla risoluzione di 256 x 256 pixel e con ingrandimento 400x (figg. 1 e 2). La composizione dell'area analizzata per i singoli campioni è riportata nella *tabella 5*.

## Risultati

L'aspetto macroscopico dei preparati MTA esaminati è assimilabile a quello del cemento di Portland, con fasi da idratazione e fasi residuali (fig. 1). I prodotti di miscelazione sono chimicamente eterogenei sia per il differente grado di idratazione sia per una diversa composizione della polvere; le fasi residuali sono invece caratterizzate da prodotti non reagiti del clinker di partenza, come il tricalciosilicato e il dicalciosilicato, e da ulteriori fasi non presenti nel composto iniziale e non coinvolte nell'idratazione del cemento.

Tutti i cementi analizzati erano rappresentati da di- e tricalciosilicato ( $2\text{CaO} \bullet \text{SiO}_2$  e  $3\text{CaO} \bullet \text{SiO}_2$ ). Inoltre, si è riscontrata la presenza di ossido di bismuto ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ), salvo nel cemento di Portland. Solo il campione dell'Aureoseal<sup>®</sup> presentava apatite [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ] (fig. 3), nonché assenza di tricalcio alluminato, silicato di calcio e tetracalcioaluminoferrite, osservati invece nel Proroot white MTA<sup>®</sup> [25].

## Discussione e conclusioni

### Differenze con il cemento di Portland

I preparati MTA esaminati presentano differenze significative con il cemento di Portland e ciò conferma i dati ottenuti in lavori scientifici già presenti in letteratura [2].

Il cemento di Portland ha granuli più grossi, di forma irregolare e di dimensioni variabili (fig. 4). Il grado di reazione

del clinker è spesso incompleto, con orli di reazione ai bordi, soprattutto per quanto concerne la fase relativa al dicalciosilicato. Dal punto di vista mineralogico, la principale caratteristica che distingue il cemento di Portland dai tipi di MTA analizzati è l'assenza di ossido di bismuto, inserito nella composizione a uso odontoiatrico come agente radio-opacizzante. Chimicamente, il cemento di Portland presenta un contenuto significativamente maggiore di ferro e zolfo. Inoltre, nel cemento di Portland si rileva una minore concentrazione di magnesio e alluminio rispetto al Proroot white MTA<sup>®</sup> [2].

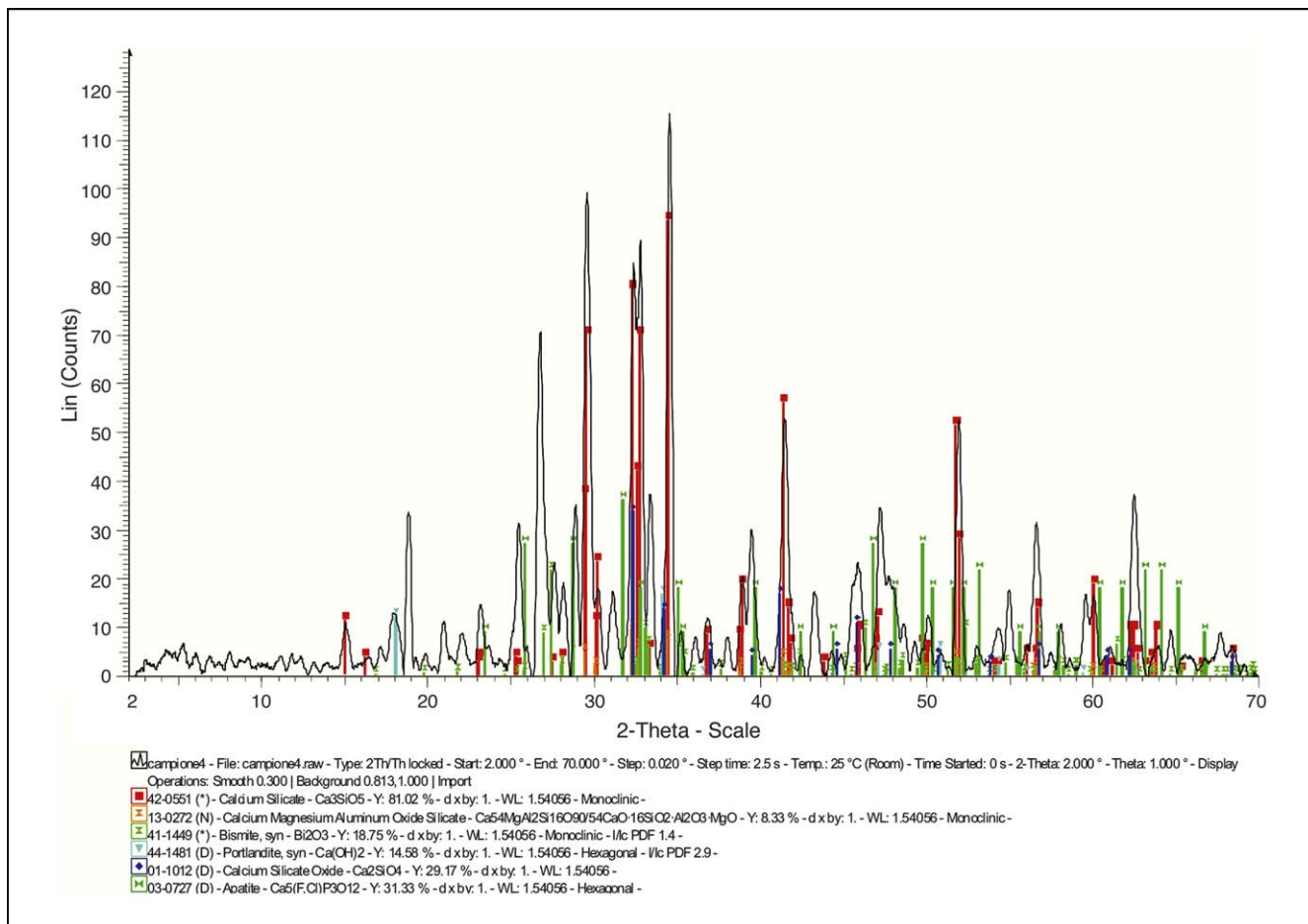
Da quanto esposto, si evidenzia come esistano differenze tessiturali significative: l'MTA è costituito da un clinker purificato e ottimizzato per avere una presa rapida e per l'utilizzo in assenza di inerti. L'ulteriore aggiunta di fasi come bismite e apatite trasforma l'MTA in un particolare cemento di Portland ottimizzato a fini endodontici, aumentandone la radio-opacità.

### Differenze tra i vari cementi MTA

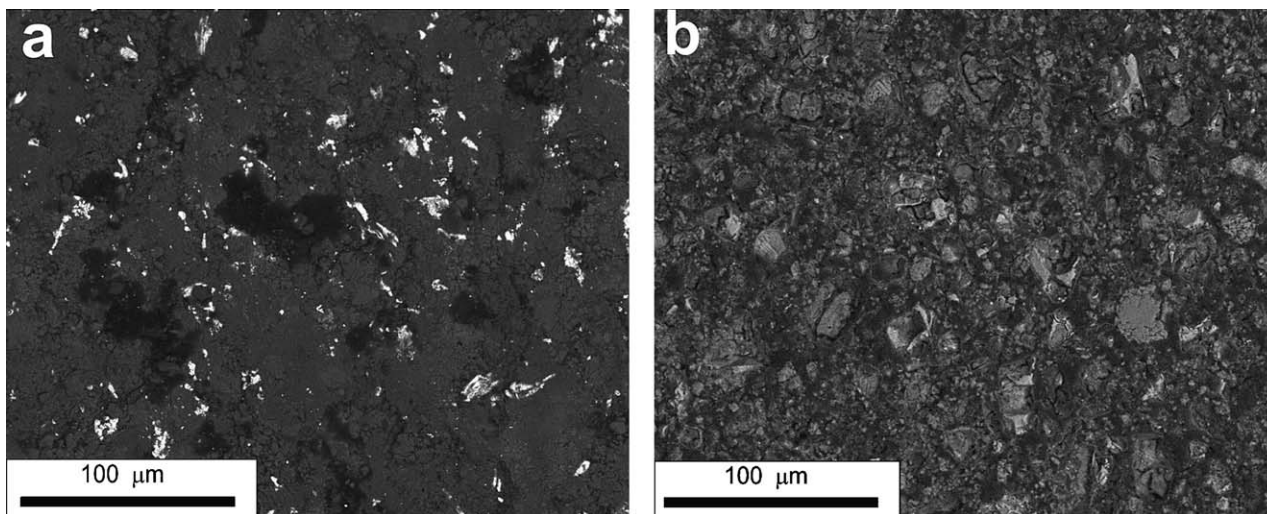
I diversi cementi MTA esaminati presentano tra loro significative differenze tessiturali e composizionali. Fosforo, tungsteno e titanio sono presenti in quantità significative in Ognà Aureoseal<sup>®</sup>, dove formano fasi a se stanti. Il fosforo è presente unicamente nell'apatite [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ], formando granuli di dimensioni di qualche  $\mu\text{m}$ ; l'apatite è probabilmente aggiunta alla formulazione iniziale al fine di promuovere il processo di crescita osteoblastica. Anche il tungsteno è presente come fase a se stante nel tungstato di calcio ( $\text{CaWO}_4$ ) ed è addizionato come agente radio-opacizzante insieme a  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ , che, peraltro, è presente in minor quantità in Ognà Aureoseal<sup>®</sup> (tabella 6). Il tungstato di calcio forma cristalli tondeggianti, mentre l'ossido di bismuto ha una conformazione più allungata (figg. 1 e 2): ciò crea un'interfaccia liscia verso la superficie dentaria e, potenzialmente, può essere considerato importante per determinare una riduzione della risposta infiammatoria [26]. Il titanio presente in Ognà Aureoseal<sup>®</sup>, sotto forma di cristalli di  $\text{TiO}_2$ , è in concentrazione maggiore rispetto al cemento di Portland ed è stato aggiunto alla formulazione del clinker probabilmente con la funzione di agente sbiancante. Angelus gray e white MTA<sup>®</sup> presentano granuli di  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  fino a 10 volte

**Tabella 5** Composizione in percentuale atomica dei campioni studiati al termine del consolidamento.

	Portland	Ognà Aureoseal <sup>®</sup>	Proroot white MTA <sup>®</sup>	Angelus white MTA <sup>®</sup>	Angelus gray MTA <sup>®</sup>
Na	0,36	0,36	0,26	0,34	0,29
Mg	1,25	1,54	0,49	0,86	3,70
Al	5,92	3,74	0,83	5,38	8,62
Si	10,09	8,98	9,44	10,98	9,68
P		1,36			
S	0,52	0,36	0,21		0,18
K	0,30				0,11
Ca	23,42	24,00	31,58	24,58	17,18
Ti	0,34	0,81	0,04		0,09
Fe	1,54	0,56	0,10	0,18	0,90
W		0,35			
Bi		0,30	1,15	0,50	1,48
O	56,64	57,56	55,59	56,98	57,60



**Figura 3** Diffrazione a raggi X del campione OgnA Aureoseal<sup>®</sup> prima del consolidamento (intensità di diffrazione in funzione dell'angolo  $2\theta$ ).



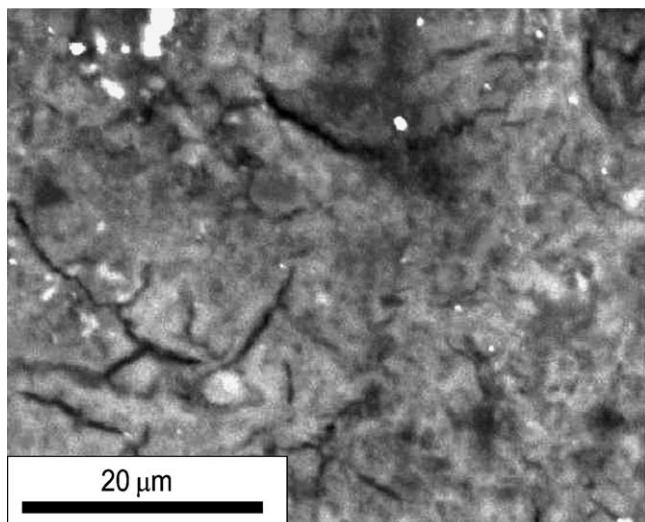
**Figura 4** Confronto tra il cemento endodontico Proroot white MTA<sup>®</sup> (a) e il cemento di Portland (b). Nel Proroot white MTA<sup>®</sup> le aree scure sono buchi legati alla lucidatura e i granuli bianchi sono cristalli di bismite.

più grandi e più tozzi rispetto a Proroot white MTA<sup>®</sup>. In generale, le dimensioni dei costituenti mineralogici dei prodotti della Angelus<sup>®</sup> è maggiore rispetto al Proroot white MTA<sup>®</sup> e all'OgnA Aureoseal<sup>®</sup>.

Il grado di reazione dei componenti del clinker è variabile. In un cemento, le fasi di- e tricalciosilicato reagiscono a formare fasi idrate (fig. 5); tale processo è più rapido nel tricalciosilicato rispetto al dicalciosilicato, sebbene al

**Tabella 6** Costituenti mineralogici presenti nel cemento dopo l'indurimento (Y se presenti). A essi si aggiunge la fase amorfa di idratazione prodottasi per reazione con l'acqua.

	Portland	Ogna Aureoseal <sup>®</sup>	Proroot white MTA <sup>®</sup>	Angelus white MTA <sup>®</sup>	Angelus gray MTA <sup>®</sup>
3CaO • SiO <sub>2</sub>	Y		Y		
2CaO • SiO <sub>2</sub>	Y		Y	Y	Y
Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH		Y			
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Y	Y	Y	Y
TiO <sub>2</sub>		Y			
MgO		Y	Y		Y
CaWO <sub>4</sub>		Y			

**Figura 5** Il processo di idratazione nel cemento Angelus gray MTA<sup>®</sup>. Immagine in elettroni retrodiffusi (contrasto chimico).

completamento della reazione di cementificazione entrambe le fasi scompaiano. Anche la presenza di una sola fase nel cemento solidificato è indice di un'incompleta reazione di cementificazione. Nel Proroot MTA<sup>®</sup> e nel cemento di Portland si trovano sia il dicalciosilicato sia il tricalciosilicato, in Angelus gray e white MTA<sup>®</sup> si ritrova solo il disilicato, mentre in Ogna Aureoseal<sup>®</sup> non vi sono fasi residuali. Il Proroot MTA<sup>®</sup> presenta inoltre caratteristiche composizionali che lo differenziano dagli altri cementi a uso odontoiatrico esaminati, mostrando una maggiore quantità di calcio e una minore quantità di alluminio.

Come abbiamo potuto vedere, le analisi SEM-EDS condotte sui quattro diversi cementi MTA presi in esame confermano l'esistenza di significative differenze di tipo sia costituzionale sia tessiturale quando confrontati con il cemento di Portland. Inoltre, anche tra le stesse formulazioni odontoiatriche in commercio si sono osservate importanti differenze, come riportato sopra.

Dalle osservazioni microscopiche di superficie e dalle analisi diffrattometriche condotte in questa ricerca non è possibile definire come le differenze chimico-fisiche evidenziate possano influenzare gli aspetti clinici. Riteniamo, pertanto, che detti risultati debbano essere considerati come preliminari e auspicare ulteriori e più approfonditi studi futuri dal punto di vista sia quantitativo sia qualitativo, al fine di meglio definire le modifiche necessarie da apportare

agli MTA oggi in commercio, per garantire una sempre migliore affidabilità dei materiali in ambito clinico.

## Ringraziamenti

Si ringraziano Luca Barchi e Roberto Cossio per l'assistenza tecnica nell'esecuzione delle analisi SEM-EDS.

## Conflitto di interesse

Gli autori dichiarano di non aver nessun conflitto di interessi.

## Finanziamenti allo studio

Gli autori dichiarano di non aver ricevuto finanziamenti istituzionali per il presente studio.

## Bibliografia

1. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod* 1995;21:349–53.
2. Dammaschke T, Gerth HU, Zuchner H, Schafer E. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. *Dent Mater* 2005;21:731–8.
3. Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Brink F. Chemical differences between white and gray mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2005;31:101–3.
4. Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dent Mater* 2005;21:297–303.
5. Bogen G, Kuttler S. Mineral trioxide aggregate obturation: a review and case series. *J Endod* 2009;35:777–90.
6. Lee YL, Lee BS, Lin FH, Lin AY, Lan WH, Lin CP. Effects on physiological environments on the hydration behaviour of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials* 2004;25:787–93.
7. Kettering JD, Torabinejad M. Investigation of mutagenicity of mineral trioxide aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. *J Endod* 2000;26:28–91.
8. Koh ET, Torabinejad M, Pitt Ford TR, Brady K. Mineral trioxide aggregate stimulates a biological response in human osteoblasts. *J Biomed Mater Res* 1997;37:432–9.
9. Koh ET, McDonald F, Pitt Ford TR, Torabinejad M. Cellular response to mineral trioxide aggregate. *J Endod* 1998;24(8):543–7.
10. Pitt Ford TR, Torabinejad M, Abedi HR, Bakland LK, Kariyawasam SP. Mineral trioxide aggregate as a pulp capping material. *J Am Dent Ass* 1996;127:1491–4.

11. Koh ET, Pitt Ford TR, Torabinejad M, McDonald F. Mineral trioxide aggregate stimulates cytokine production in human osteoblasts. *J Bone Min Res* 1995;10:406.
12. Thomson TS, Berry E, Somerman MJ, Kirkewood KL. Cementoblasts maintain expression of osteocalcin in the presence of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2003;29:407–12.
13. Schwartz RS, Mauger M, Clement DJ, Walker 3rd WA. Mineral trioxide aggregate: a new material for endodontics. *J Am Dent Ass* 1999;130:967–75.
14. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root-end filling material. *J Endod* 1993;19:591–5.
15. Holland R, De Souza V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Bernabe PF. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide. *J Endod* 1999;25:161–6.
16. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root-end filling materials. *J Endod* 1995;21:403–6.
17. Torabinejad M, Higa RK, McKendry DJ, Pitt Ford TR. Dye leakage of four root-end filling materials: effect of blood contamination. *J Endod* 1994;20:159–63.
18. Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of MTA and other commonly used root-end filling materials. *J Endod* 1995;21:295–9.
19. Wu MK, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Long term seal provided by some root-end filling materials. *J Endod* 1998;24:557–60.
20. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 1999;25:197–205.
21. Tittle KW, Farley J, Linkharddt T, Torabinejad M. Apical closure induction using bone growth factors and mineral trioxide aggregate. *J Endod* 1996;22:198.
22. Shabahang S, Torabinejad M, Boyne PJ, Abedi HR, McMillan P. A comparative study of rootened induction using osteogenic protein-1, calcium hydroxide, and mineral trioxide aggregate in dogs. *J Endod* 1999;25:1–5.
23. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. The sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod* 1993;19:541–4.
24. Pitt Ford TR, Torabinejad M, McKendry DJ, Hong CU, Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995;79:756–63.
25. Islam I, Chang HK, Yap AU. X-ray diffraction analysis of mineral trioxide aggregate and Portland cement. *Int Endod J* 2006;39:220–5.
26. Asgary S, Parirokh M, Eghbal MJ, Stowe S, Brink F. A qualitative X-ray analysis of white and grey mineral trioxide aggregate using compositional imaging. *J Mater Sci Mater Med* 2006;17:187–91.