MASSIMO GAGLIANI - ENDODONZIA

Le chiavi del successo in endodonzia sono sempre racchiuse nella famosa triade: svuotamento, disinfezione e riempimento del canale radicolare. Per sé una storia annosa e banale, talmente banale da risultare complicata.
Complicata per una serie infinita di problemi che hanno risvolti clinici peculiari e per i quali non esistono soluzioni univoche. Basti pensare alle sfaccettature che il percorso diagnostico delle patologie periapicali è costretto a seguire, alle complessità anatomiche, spesso legate, nei ritrattamenti, a errori iatrogeni che rendono queste procedure molto difficili.
Senza scendere in tutti i dettagli che animano questa disciplina, nel capitolo dedicato all'endodonzia di questo nuovo testo della Komet Academy, è parso opportuno soffermarsi su uno degli elementi che hanno caratterizzato la svolta nell'endodonzia del nuovo millennio.
È fatto incontrovertibile che lo strumentario in lega Nichel-Titanio (NiTi) abbia rivoluzionato l'approccio alla fase di

sagomatura dell'endodonto, prima frutto di una serie interminabile di azioni manuali, non sempre controllabili.
L'evoluzione dello strumentario NiTi è stata intrapresa da Komet con il chiaro obiettivo di contribuire a questa innovazione attraverso l'ideazione di "files" dal disegno peculiare e funzionale alle pratiche per cui esso deve essere impiegato; un'attenzione alla scelta delle leghe particolare, che mira a connettere flessibilità e resistenza con la capacità di taglio, connubio spesso non semplice da ottenere.
A corollario di ciò, la semplificazione delle sequenze e l'ergonomicità delle stesse portano al clinico una sistematica efficiente e, nel contempo, facilmente comprensibile e utilizzabile.
La rassegna clinica, unitamente a una ricca documentazione tecnica, ha l'obiettivo precipuo di accompagnare, sia gli esperti, sia i neofiti, nel viaggio che la nuova tecnologia porta nell'ambito variegato dell'endodonzia.

Zeiss
3786

CAPITOLO 1.1

Analisi morfologica e ultrastrutturale dei file Procodile e Procodile Q 25.06

LUIGI GENERALI[1]
GIOVANNI BOLELLI[2]
LUCA LUSVARGHI[2]
EUGENIO PEDULLÀ[3]

[1] University of Modena and Reggio Emilia, Department of Surgery, Medicine, Dentistry and Morphological Sciences with Transplant surgery, Oncology and Regenerative Meidicne Relevance (CHIMOMO)

[2] University of Modena and Reggio Emilia, Department of Engineering "Enzo Ferrari" (DIEF)

[3] University of Catania, Department of General Surgery and Surgical Medical Specialties

Gli strumenti endodontici Procodile e Procodile Q 25.06 sono strumenti in lega Nichel Titanio caratterizzati da una sezione trasversale a doppia S, un core variabile, un diametro di punta di 0,25 mm, una conicità continua del 6% e una lunghezza di 21, 25 o 31 mm. Macroscopicamente differiscono per il colore del gambo: colore acciaio per i Procodile e color oro per i Procodile Q (Fig. 1). Sono caratterizzati per la presenza di un core a sezione interna variabile appositamente studiato per rendere gli strumenti più flessibili e garantire una rimozione efficace dei detriti prodotti durante la sagomatura dei canali radicolari.
Con lo scopo di migliorare le loro performance i Procodile Q subiscono un trattamento termico.
La casa produttrice consiglia di utilizzare questi strumenti con il motore endodontico dedicato EndoPilot®, il quale è dotato di un software che permette il movimento reciprocante denominato ReFlex.
Gli strumenti iniziano a girare con un movimento continuo in senso antiorario, si fermano per pochi millisecondi e continuano a girare in senso antiorario senza compiere un movimento inverso in senso orario se il software di gestione non rileva un'eccessiva resistenza del file all'interno del canale radicolare. Se, invece, il file è sottoposto ad una resistenza eccessiva il software è in grado di cambiare il movimento in senso orario.

Fig. 1

Esistono due movimenti ReFlex impostabili: ReFlex Dynamic e ReFlex Smart. Il primo permette una velocità superiore interrotta da pause di 30 ms rendendo lo strumento più performante, mentre il secondo ha una velocità ridotta interrotta da pause di 90 ms ed è più sensibile alla resistenza che lo strumento può incontrare ed è anche in grado di girare due volte in senso inverso (orario) se il software di gestione del manipolo rileva una resistenza eccessiva sullo strumento. ReFlex Dynamic è quindi consigliabile in caso di anatomie canalari semplici, mentre ReFlex Smart in caso di anatomie complesse.

La punta e la superficie di Procodile e Procodile Q 25.06 sono state osservate mediante un microscopio elettronico a scansione (SEM-FEG Nova NanoSEM 450, FEI, Eindhoven, Netherlands) a ingrandimenti crescenti (250 – 6000X) (Figg. 2 e 3). La punta di entrambi gli strumenti è rotondeggiante e non attiva (Figg. 4, 5).

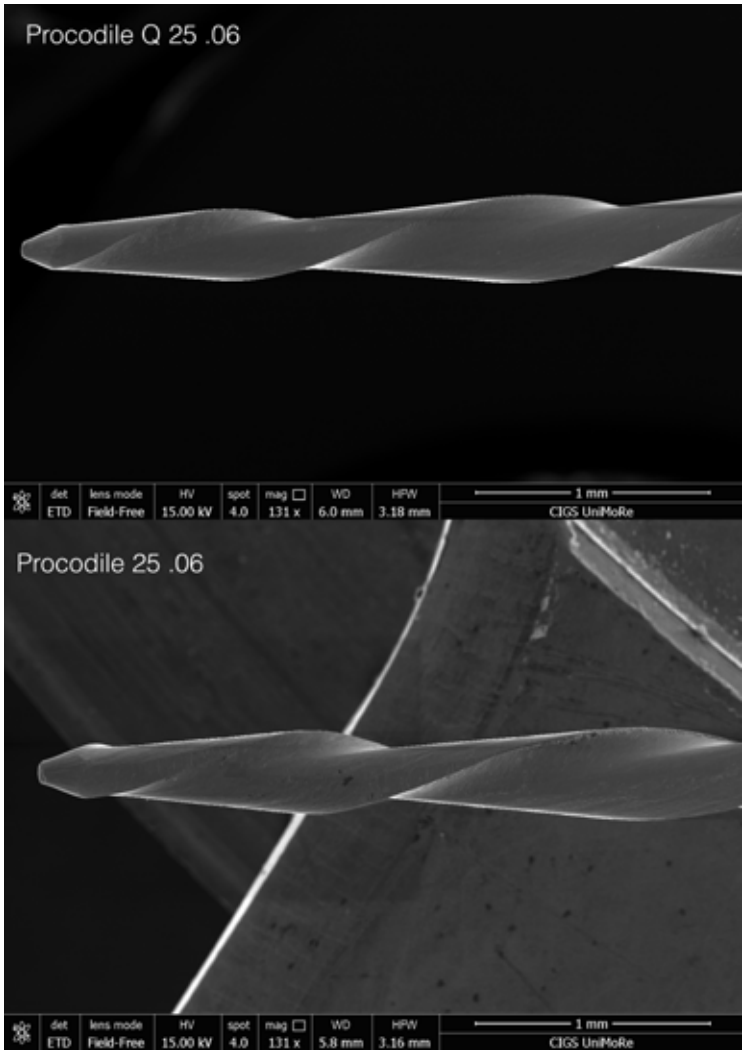

Fig. 2

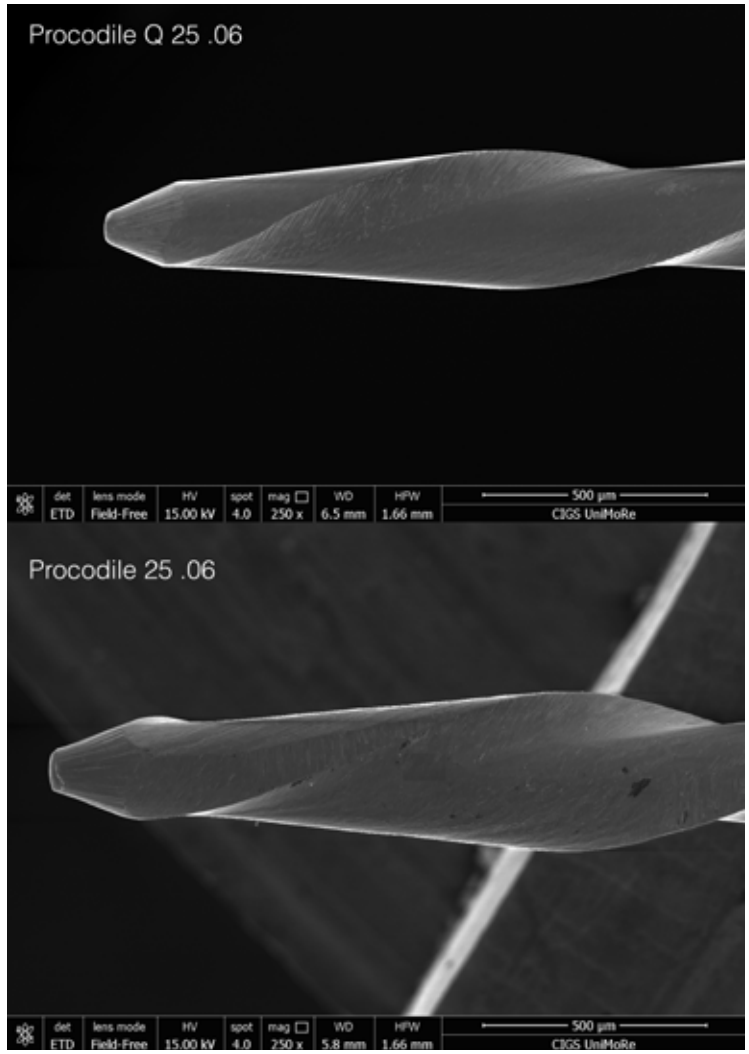

Fig. 3

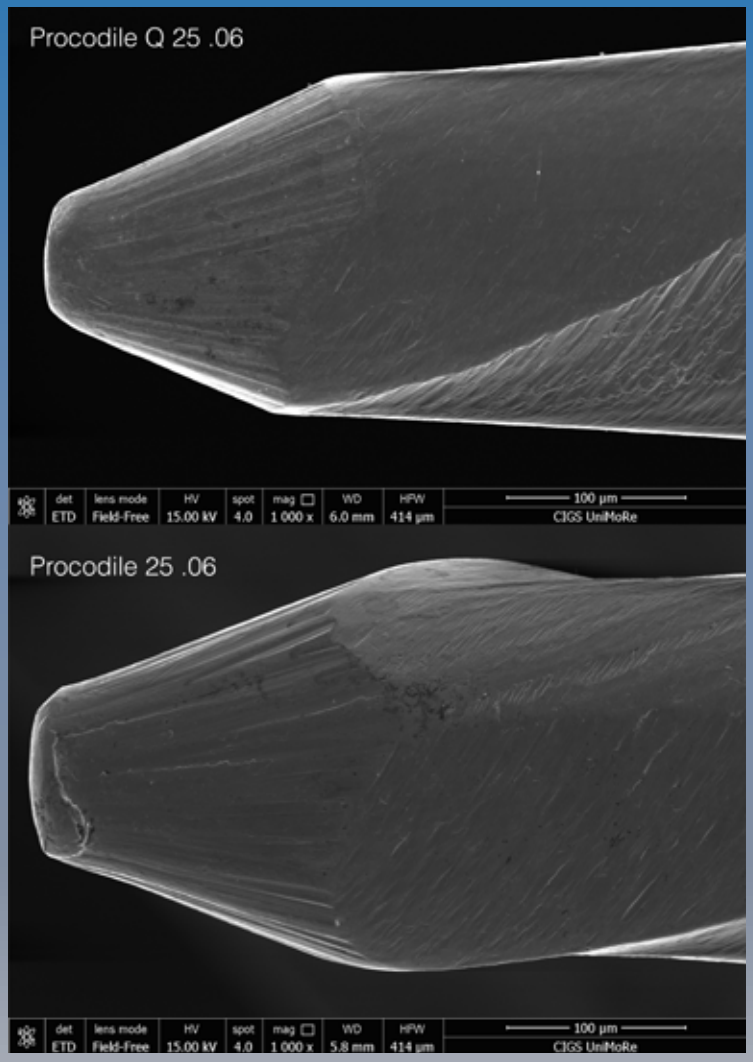
Procodile Q 25 .06
det ETD
lens mode Field-Free
HV 15.00 kV
spot 4.0
mag 1 000 x
WD 6.0 mm
HFW 414 µm
100 µm
CIGS UniMoRe
Procodile 25 .06
det ETD
lens mode Field-Free
HV 15.00 kV
spot 4.0
mag 1 000 x
WD 5.8 mm
HFW 414 µm
100 µm
CIGS UniMoRe

Fig. 4

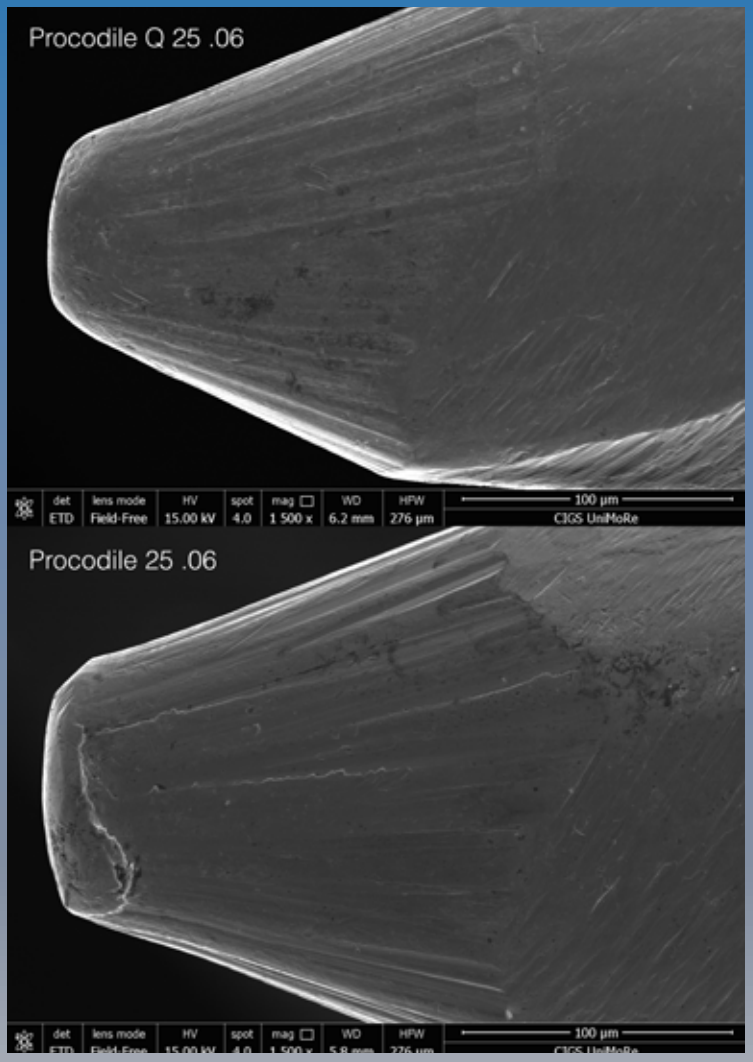
Procodile Q 25 .06
det ETD
lens mode Field-Free
HV 15.00 kV
spot 4.0
mag 1 500 x
WD 6.2 mm
HFW 276 µm
100 µm
CIGS UniMoRe
Procodile 25 .06

Fig. 5

La superficie esterna risulta uniforme e mostra le caratteristiche scanalature (milling grooves) orientate ortogonalmente all'asse longitudinale dello strumento risultanti dal processo di microfresatura (Fig. 6). Non sono stati rilevati difetti superficiali se non per la presenza di microscopiche sbavature (Fig. 7) sulle superfici di taglio derivanti dai processi produttivi e che, considerata la loro ridotta dimensione, non riducono la capacità di taglio degli strumenti.

La superficie degli strumenti, analizzata dopo averli rimossi dalla loro confezione sterile, è apparsa estremamente pulita senza la presenza di residui di produzione, non visibili nemmeno ad alti ingrandimenti (Fig. 8).
È stata eseguita una microanalisi chimica qualitativa della superficie dei Procodile e Procodile Q 25.06 utilizzando un rilevatore di raggi X a dispersione di energia (EDX) (quantax-200 system with XFlash 6/10 Si-drift detector: Bruker Corp., Billerica, MA, USA) di cui è dotato il microscopio elettronico a scansione per verificare la composizione chimica della lega degli strumenti. **Entrambi gli strumenti sono composti della stessa lega equiatomica Nichel (Ni) Titanio (Ti)**, considerando la sensibilità di rilevamento dell'EDX. È stato rilevata anche una quota di ossigeno (O) che varia dal 7,7% per i Procodile Q (Fig. 9) al 4,4% per gli strumenti Procodile in percentuale atomica (Fig. 10).

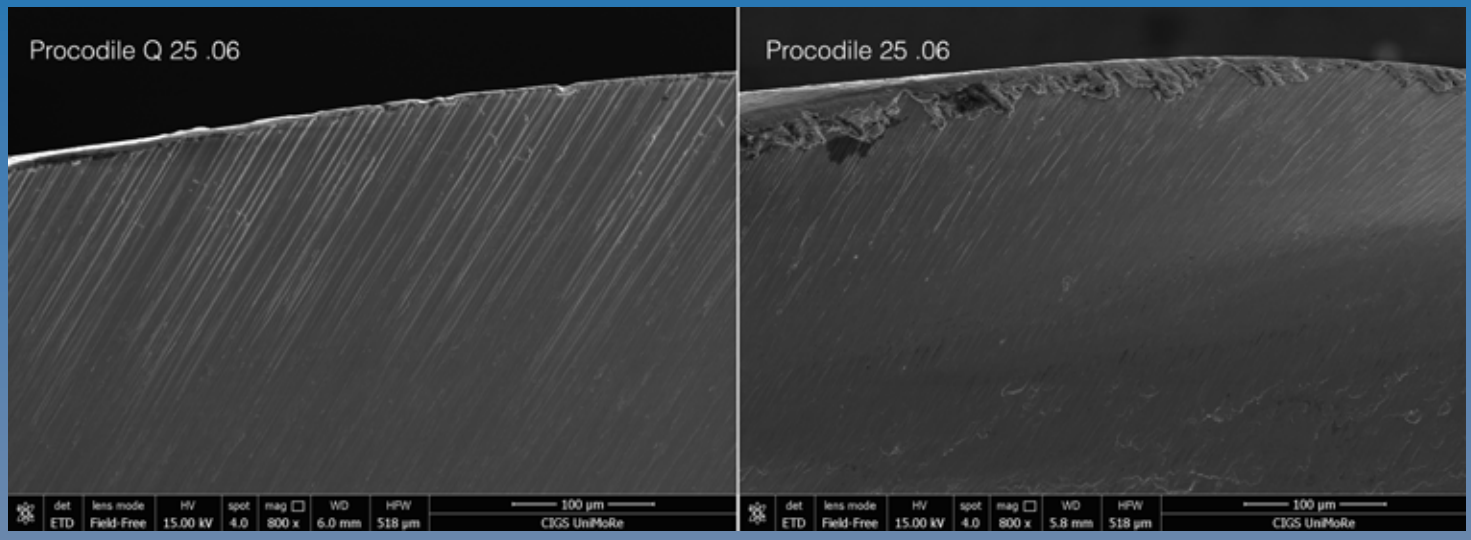

Fig. 6

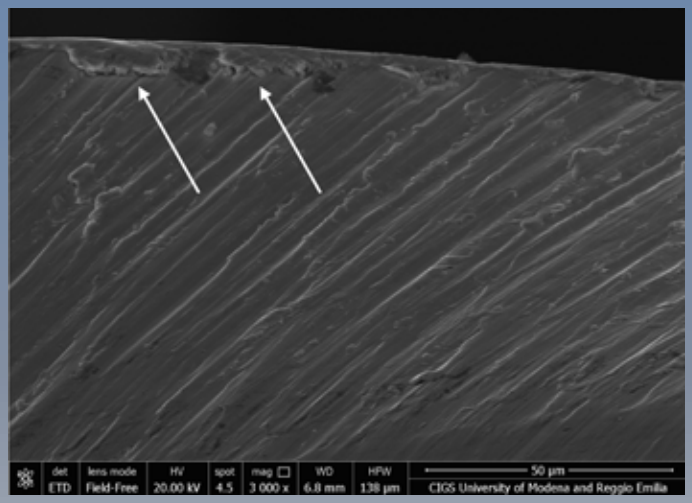

Fig. 7

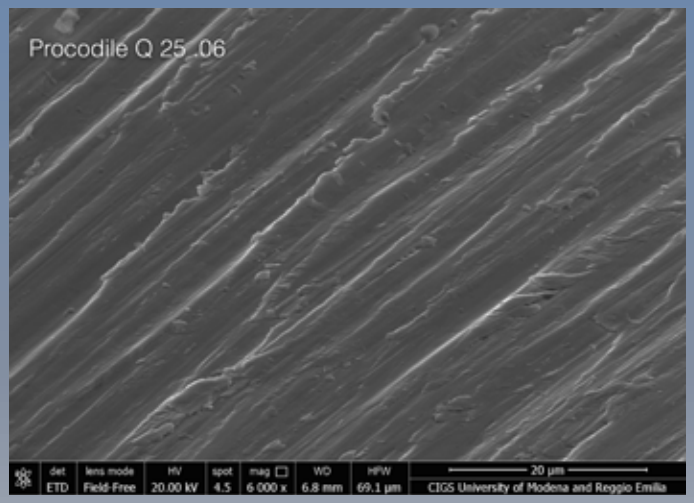

Fig. 8

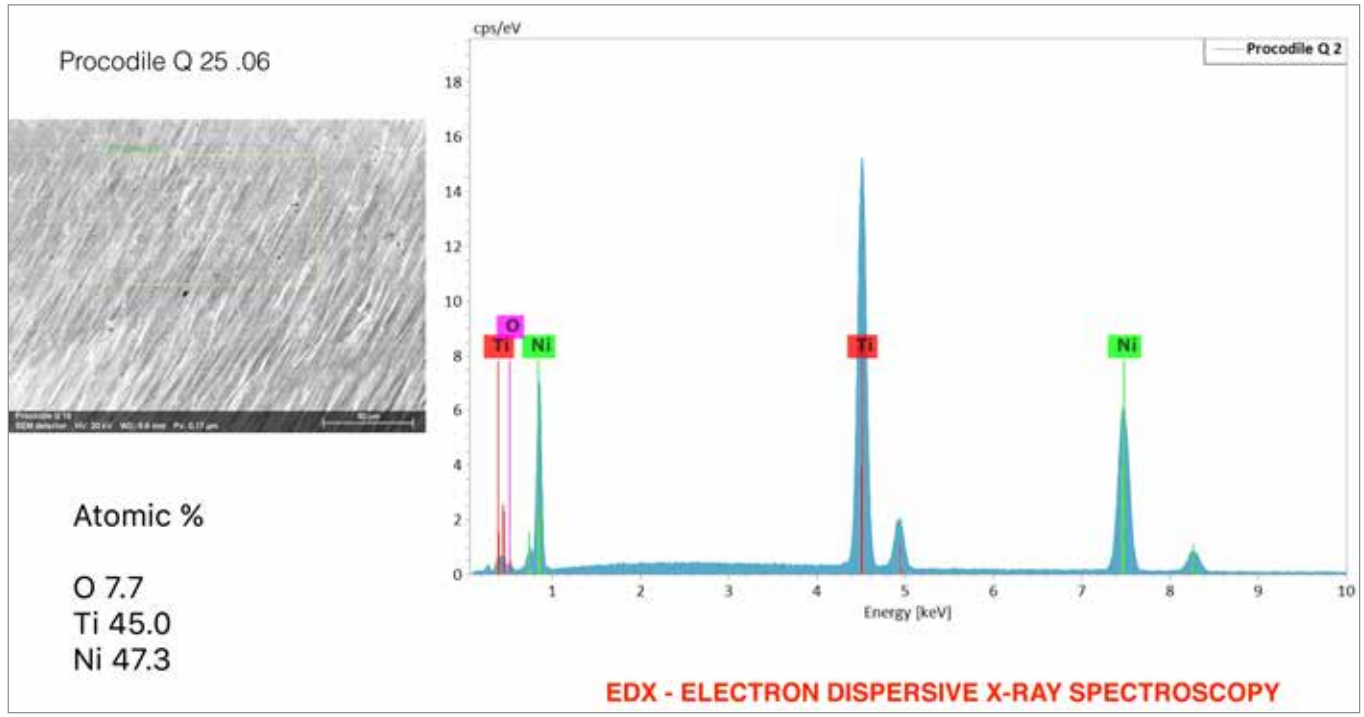
Procodile Q 25 .06
cps/eV
Procodile Q 2
O
Ti
Ni
Ti
Ni
Energy [keV]
Atomic %
O 7.7
Ti 45.0
Ni 47.3
EDX - ELECTRON DISPERSIVE X-RAY SPECTROSCOPY

Fig. 9

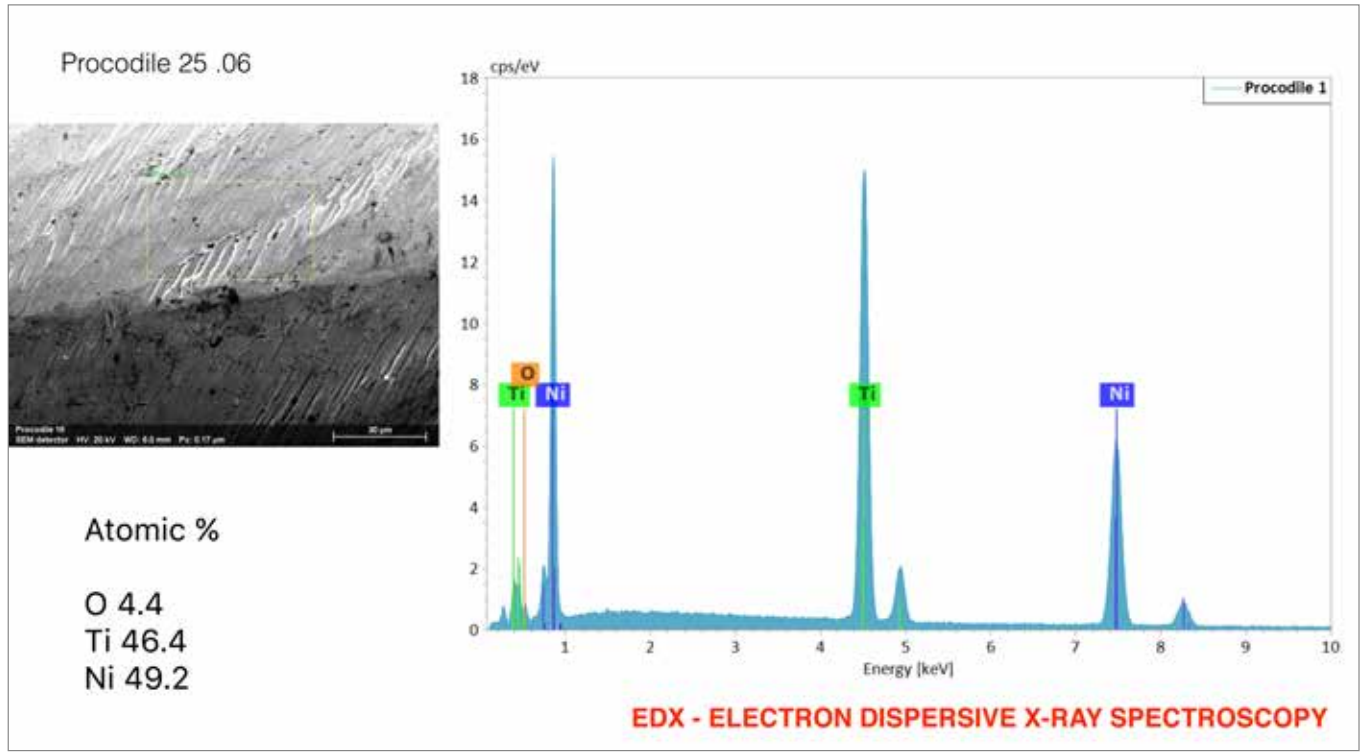
Procodile 25 .06
cps/eV
Procodile 1
O
Ti
Ni
Ti
Ni
Energy [keV]
Atomic %
O 4.4
Ti 46.4
Ni 49.2
EDX - ELECTRON DISPERSIVE X-RAY SPECTROSCOPY

Fig. 10

Calorimetria differenziale a scansione
Per individuare gli intervalli di temperatura corrispondenti alle transizioni diretta (cioè in raffreddamento) e inversa (cioè in riscaldamento), è stata utilizzata la tecnica della calorimetria differenziale a scansione (DSC: Q2000, TA Instrument, New Castle, DE, USA). In questa tecnica, si registra la differenza tra il flusso di calore assorbito o emesso dal campione, posto in un crogiolo inerte, e quello assorbito/emesso da un riferimento inerte, mentre entrambi vengono sottoposti alla stessa scansione di temperatura all'interno di una camera in cui viene mantenuta un'atmosfera controllata tramite un flusso continuo di azoto (N_2), per evitare reazioni non desiderate di ossidazione, condensazione/evaporazione di umidità, ecc.
Poiché una trasformazione fisica del campione (es. transizione di fase allo stato solido associata a una variazione di struttura cristallina; fusione/solidificazione; ecc.) comporta solitamente un assorbimento (trasformazione endotermica) o rilascio (trasformazione esotermica) di calore, questa si manifesta come un picco nella scansione differenziale rispetto al riferimento inerte, rendendo così possibile l'individuazione dell'intervallo di temperatura in cui la trasformazione avviene e la quantità complessiva di calore scambiato dal campione (per unità di massa dello stesso).
I campioni per l'analisi sono stati ricavati per tranciatura manuale dagli utensili; una massa complessiva di campione di circa 20 mg (il valore esatto è stato misurato di volta in volta con una bilancia analitica) è stata posizionata nella camera di prova all'interno di un crogiolo di alluminio, mentre un identico crogiolo di alluminio, lasciato vuoto, ha rappresentato il riferimento inerte.
Le prove sono consistite in due cicli di riscaldamento da -40 °C a +110 °C e altrettanti cicli di raffreddamento, a una velocità di 5 °C/min.
I grafici di flusso di calore in funzione della temperatura sono stati analizzati con il software Universal Analysis 2000 (TA Instrument) per individuare le temperature caratteristiche di inizio e fine trasformazione e la variazione complessiva di entropia (per unità di massa del campione) associata a ciascuna trasformazione.
Gli intervalli di trasformazione di entrambi gli strumenti sono chiaramente visibili tramite i picchi associati alle curve DSC diretta e inversa (Fig. 11). Le temperature di inizio e fine trasformazione diretta vengono denominate M_s ("martensite start", cioè la temperatura a cui la fase austenitica di alta temperatura inizia a trasformarsi in martensite) e M_f ("martensite finish", cioè la temperatura a cui la conversione in martensite è completa), mentre le temperature di inizio e fine della trasformazione inversa sono denominate rispettivamente A_s ("austenite start", cioè la temperatura di avvio della conversione della martensite in austenite) e A_f ("austenite finish", corrispondente alla completa conversione in martensite).
Le temperature sono riassunte in Tabella 1, insieme all'entalpia di trasformazione, ricavata dall'area sottesa a ciascun picco.
Per entrambi gli strumenti, la reazione inversa (in riscaldamento) è di natura endotermica (con assorbimento di calore dall'ambiente), mentre quella diretta (in raffreddamento) è esotermica (con cessione di calore verso l'ambiente); inoltre, in entrambi i casi la trasformazione inversa avviene approssimativamente sullo stesso intervallo di temperature della corrispondente trasformazione diretta. Si osservano, tuttavia, alcune differenze molto significative.
Innanzitutto, la trasformazione di fase degli strumenti Procodile (Fig. 11A) avviene a temperature decisamente più basse rispetto gli strumenti Procodile Q (Fig. 11B). In particolare, i valori di A_f ed M_s degli strumenti **Procodile** sono minori di 25 °C, ciò che indica che questi strumenti **sono interamente in fase austenitica sia a temperature ambiente, sia a temperature di interesse clinico (es. alla temperatura di circa 37 °C).** Le temperature A_f ed M_s degli strumenti Procodile Q sono, invece, maggiori di 25 °C, e la trasformazione (soprattutto quella diretta) si completa a circa 20 °C. È quindi presumibile che gli strumenti **Procodile Q siano in una condizione multifasica sia a temperatura ambiente (≈25 °C) sia, ancor più, alla temperatura del corpo umano (≈37 °C).**
Inoltre, l'entropia di trasformazione degli strumenti Procodile Q è molto maggiore di quella degli strumenti Procodile (Fig. 1 e Tab.1):

ciò suggerisce che, mentre negli strumenti Procodile si verifica una transizione diretta austenite ↔ martensite, negli strumenti Procodile Q, la transizione prevede più stadi. Il sovrapporsi delle quantità di calore rilasciate/assorbite in ciascuno stadio determina la misura di un'entalpia complessiva di trasformazione più elevata. In particolare, è probabile che la transizione preveda la formazione intermedia di fase-R.

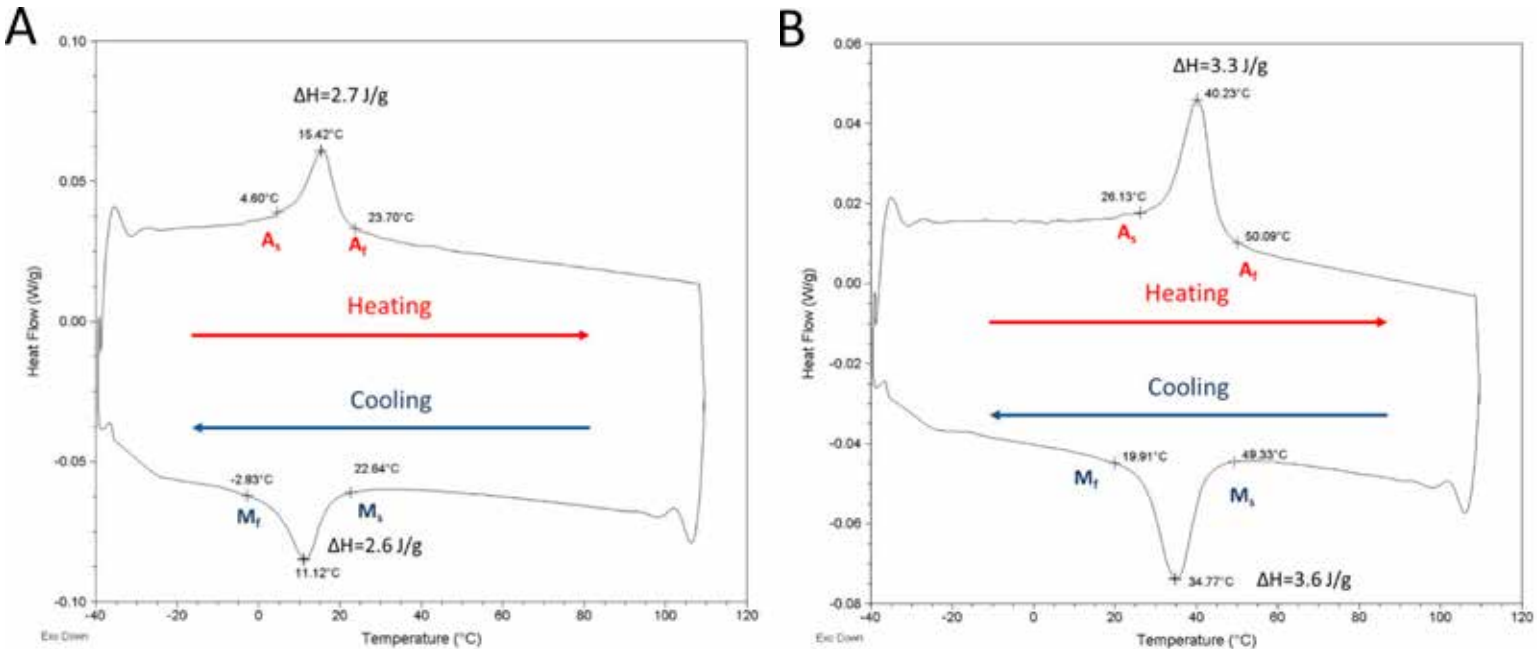

Fig. 11 Scansioni DSC degli strumenti Procodile (A) e Procodile Q (B): flusso di calore per unità di massa di campione (in ordinata) vs. temperatura (in ascissa) per la trasformazione diretta (raffreddamento – cooling) e inversa (riscaldamento – heating). La variazione complessiva di entropia per unità di massa associata a ciascuna trasformazione (ΔH) è indicata sui grafici

Strumento	Trasformazione diretta (raffreddamento)			Trasformazione inversa (riscaldamento)		
	Ms (°C)	M_f (°C)	ΔH (J/g)	As (°C)	Af (°C)	ΔH (J/g)
Procodile	22.64	-2.83	2.6	4.60	23.70	2.7
Proc-Q	49.33	19.91	3.6	26.13	50.09	3.3

Tab. 1 Temperature caratteristiche di inizio e fine trasformazione ed entalpie di trasformazione degli strumenti Procodile e Procodile Q, ottenute dalle scansioni DSC

Test di fatica ciclica dinamica a temperatura intracanalare

La stima delle dimensioni del campione è stata calcolata a priori mediante il software G*Power 3.1.9.2 (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Germany). Un totale di venti strumenti Procodile e Procodile Q lunghi 25 mm, dieci di ogni tipo e tutti di diametro di punta 25 e conicità 0.6 sono stati testati per verificare la resistenza a fatica ciclica dinamica. Ogni strumento è stato ispezionato mediante stereomicroscopio (Leica EZ-4D, Wetzlar, Germany) per verificare l'assenza di difetti o deformità prima dell'esperimento e nessuno strumento è stato scartato. Ciascuno strumento è stato fatto ruotare all'interno di un canale artificiale fino alla frattura utilizzando un dispositivo custom-made appositamente progettato e costruito per test di fatica ciclica dinamica a temperatura controllata (domanda di brevetto Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia nr. 102020000008560). Il canale artificiale possiede la stessa geometria e conicità degli strumenti testati con un diametro maggiorato di circa 150 µm e presenta una curvatura lunga 5 mm con un raggio di 5 mm e un angolo di 60° e il centro della curvatura è a 5 mm dalla punta dello strumento testato. La placchetta in acciaio inossidabile contenente il canale artificiale si muove assialmente su e giù con una velocità di 8 mm/s simulando l'escursione dello strumento durante l'impiego clinico. L'intera placchetta con il canale e lo strumento in fase di test sono immersi in una vasca contenente acqua osmotizzata proveniente da una vasca termostata a 35 ± 1. Una pompa elettrica garantisce un continuo ricambio di acqua (1200 l/h) nella vasca consentendo il mantenimento costante della temperatura. La temperatura è inoltre controllata costantemente da una sonda termica per l'intera durata della prova. Un software gestisce tutte le fasi di avviamento e controllo del test, mentre una videocamera registra l'intera prova permettendo di calcolare il tempo di frattura (TtF). Il manipolo del motore endodontico è fissato in un supporto disegnato per garantire ripetibilità di posizionamento del manipolo e l'inclinazione dello strumento rispetto al canale artificiale. Per questi test gli strumenti sono stati inseriti nella posizione standard (0°) nel canale artificiale. È stato utilizzato il motore endodontico EndoPilot (Komet, Brasseler GmbH & Co., Lemgo, Germany) con movimento reciprocante ReFlex Dynamic.

Per ogni strumento è stato calcolato il tempo di frattura ed è stata misurata la lunghezza del frammento fratturato mediante digital imaging con uno stereomicroscopio Leica EZ-4D (Leica, Wetzlar, Germany) e il software Fiji (National Institutes of Health, Bethesda, MD, US) per verificare ulteriormente il corretto posizionamento dello strumento nel canale artificiale.

Il test di Bartlett condotto per mezzo del software Stata 11 (StataCorp, College Station, Texas, USA) ha confermato che le varianze dei gruppi, con distribuzione normale, fossero omogenee. I dati sono stati poi analizzati statisticamente con un'analisi della varianza omoschedastica con il metodo ANOVA applicando una soglia di significatività al 95%.

I valori medi di tempo alla frattura, misurati in secondi, sono pari a 303 ± 18.5 sec per gli strumenti Procodile Q 25.06 e 220 ± 18.4 per gli strumenti Procodile 25.06. **I Procodile Q 25.06 mostrano significativamente una maggior resistenza alla fatica ciclica rispetto ai Procodile 25.06 (P <0.5).**

Test di resistenza torsionale
Un totale di venti strumenti Procodile e Procodile Q lunghi 25 mm, dieci di ogni tipo e tutti di diametro di punta 25 e conicità 0.6 sono stati testati per la resistenza torsionale.
Il carico torsionale è stato applicato fino alla frattura per stimare la resistenza torsionale finale media e l'angolo di rotazione degli strumenti utilizzando un dispositivo fatto su misura prodotto secondo l'ISO 3630-1 e già utilizzato in precedenti studi pubblicati. Ogni strumento è stato ispezionato per verificare l'assenza di difetti o deformità prima dell'esperimento mediante uno stereomicroscopio (SZR-10; Optika, Bergamo, Italia) e nessuno strumento è stato scartato.
Ciascuno strumento è stato fissato a 3 mm dalla punta utilizzando un mandrino collegato ad una cella di carico sensibile alla coppia; dopodiché il gambo dello strumento è stato fissato in un mandrino contrapposto atto a essere ruotato con un motore passo-passo. Il gambo di Procodile e Procodile Q è stato ruotato in senso antiorario ad una velocità di 2 giri al minuto fino alla separazione dello strumento. Il carico di coppia (Ncm) e la rotazione angolare (°) sono stati monitorati continuamente utilizzando un tensiometro (Sabri Dental Enterprises, Downers Grove, IL) a temperatura ambiente (21 ± 1 °C) e sono stati registrati la massima resistenza torsionale alla frattura e l'angolo di rotazione.
I dati sono stati prima verificati con il test di Kolmogorov-Smirnov per la normalità della distribuzione e con il test di Levene per l'omogeneità delle varianze. I dati sono stati poi analizzati statisticamente mediante test di analisi della varianza e il test Student-Newman-Keuls per confronti multipli (Prism 5.0; GraphPad Software, Inc, La jolla, CA) con un livello di significatività stabilito al 5% ($P < 05$).
La deviazione media e standard del carico massimo di coppia di Procodile e Procodile Q è stata rispettivamente di 0,82 ± 0,07 Ncm e 1,67 ± 0,16 Ncm.
L'angolo di rotazione fino alla frattura è stato simile per entrambi gli strumenti con un valore medio e una deviazione standard di 312,91 ± 32° per Procodile e 298,66 ± 25° per i Procodile Q.
I Procodile Q hanno mostrato una maggiore resistenza alla frattura torsionale ($P <0.5$), supportando un maggior carico massimo a frattura.
Nessuna differenza significativa è stata riscontrata confrontando la rotazione angolare necessaria alla frattura di Procodile e Procodile Q ($P >.05$).