

# **NUOVE TECNOLOGIE IN ENDODONZIA: MODERNA SINERGIA TRA IRRIGANTI E NUOVE LEGHE**

**Accademia Italiana di Endodonzia (AIE)**

Carlo Piana, Andrea Candotti

Indice:

## **1. Introduzione**

## **2. Approccio moderno all'irrigazione**

- a. Ipoclorito con e senza tensioattivi
- b. Chelanti (*EDTA, Acido Citrico*)
- c. Sostantività (*CHX e Cetrimide*)
- d. Irriganti finali (*Qmix, MTAD, Tetraclean, Tetraclean NA*)
- e. Tecniche di irrigazione (*Macro irrigazione*) (*ANP, US, PIPS*)
- f. Sonendo
- g. Protocolli clinici nell'uso degli irriganti

## **3. SAF**

- a. Protocollo pre-SAF
- b. Protocollo sagomatura e irrigazione mediante SAF
- c. Protocollo ritrattamento mediante SAF

## **4. Nuove leghe**

- a. M-wire (*Protaper Next, Sistemi reciprocanti: Reciproc e WaveOne*)
- b. Gold
- c. Cm wire (*Hyflex CM*)

d. Edm wire (*Hyflex EDM*)

e. Leghe in fase R (*Twisted File, Twisted File Adaptive*)

## **5. Conclusioni**

## **6. Bibliografia**

### **1. Introduzione**

Il trattamento endodontico non solo deve sagomare ed otturare lo spazio endodontico, ma, detergerlo e decontaminarlo, in quanto la sua complessità anatomica può risultare inaccessibile alle tecniche di strumentazione più sofisticate, lasciando la possibilità ai batteri, qualora presenti, di organizzarsi in un biofilm (Molander 1998), inficiando così il risultato finale della nostra terapia.

L'eliminazione dei batteri dal canale radicolare è stata raccomandata per un successo a lungo termine, combinando alla fase di strumentazione diverse soluzioni di irrigazione e farmaci anti-batterici (Gorduysus 2011).

La dissoluzione delle sostanze organiche, dei detriti inorganici e l'azione antibatterica sono a carico degli irriganti, che sono espressione della componente chimica del trattamento endodontico.

Per migliorare la disinfezione canalare, gli irriganti devono permettere:

- Azione antimicrobica e antibatterica anche sul biofilm
- Dissoluzione dei tessuti organici e inorganici
- Mantenimento in sospensione dei residui da strumentazione
- Minima alterazione della struttura dentinale e nessun effetto tossico

Gli irriganti, quindi, sono parte integrante e sinergica di una strumentazione che, attualmente, è divenuta per lo più meccanica. Infatti, l'irrigante penetra in profondità grazie al progressivo allargamento corono-apicale del canale ma allo stesso tempo, lo

strumento ha necessità di essere lubrificato e supportato dai liquidi disinfettanti per ridurre, tra l'altro, il torque di lavoro.

Per una strumentazione più performante, rapida e con maggiore rispetto dello spazio endodontico furono introdotti nei primi anni '90 dei files rotanti in NiTi. Strumenti con forme, trattamento del materiale e modulo di lavoro differenti sono stati progressivamente introdotti, cercando di renderli più performanti e più sicuri durante il loro utilizzo. Recentemente, i progressi nella metallurgia e l'adozione di un movimento reciprocante sono stati combinati per consentire la creazione di sistemi di tipo "single file".

Dagli studi presenti in letteratura emerge che a seconda della situazione clinica e anatomica, possono essere necessarie sistematiche di strumentazione e irrigazione differenti.

Fino a quando i canali sono clinicamente semplici, diritti e stretti, con una sezione tonda, la forma tronco-conica dello strumento può garantire una negoziazione sufficiente del canale e compiere un'adeguata detersione dello spazio endodontico. Tuttavia, gli strumenti rotanti non sembrano riuscire a vincere la sfida nei canali ovali e curvi e nelle complessità anatomiche del sistema radicolare (delta apicali, canali laterali, anastomosi, recessi, etc...) in cui può organizzarsi il **biofilm batterico** (*un'aggregazione complessa di microrganismi fortemente adesa alla superficie, con secrezione di una matrice adesiva e protettiva*).

Per questo motivo, l'uso combinato di nuove leghe molto performanti, soluzioni irriganti di nuova generazione e tecniche evolute di macroirrigazione, stanno cambiando in parte i protocolli clinici.

## 2. Approccio moderno all'irrigazione

### a. Ipoclorito di Sodio con e senza tensioattivi

L'ipoclorito di sodio (NaOCl) risulta ancora ad oggi l'irrigante maggiormente utilizzato in endodonzia con concentrazioni che variano da 0,5 a 6% ed è l'unico che possiede capacità organolitiche, ossia è in grado di dissolvere il tessuto pulpare, inclusa la parte organica dello **smear layer (SM)** (*particelle di dentina incorporate in una massa amorfa di materiale che si forma all'interno delle pareti canalari durante la strumentazione, contrastando gli irriganti, bloccandone o diminuendone la penetrazione all'interno dei tubuli dentinali*) (Haapasalo 2012). Da molti studi in vitro risulta che l'efficacia di NaOCl contro le cellule batteriche del biofilm aumenta all'aumentare della **concentrazione** alla quale viene utilizzato (Clegg 2006, Dunavant 2006). Altrettanto importante risultano essere il **tempo** in cui rimane a contatto con le pareti del canale radicolare e la **temperatura** di utilizzo. Nonostante tali premesse i risultati in vivo dell'ipoclorito di sodio non sono altrettanto soddisfacenti come quelli in vitro ed i limiti principali sono:

- **A)** Scarsa penetrazione periferica di questo irrigante che non permette di raggiungere le regioni più inaccessibili del sistema dei canali radicolari (canali laterali, anastomosi, delta apicali) (Haapasalo 2012, Giardino 2014).
- **B)** L'insufficiente penetrazione nei tubuli dentinali (300 micron circa) dovuta all'alta tensione superficiale nonostante risulti da molti studi che i batteri superano abbondantemente la profondità di 500 micron, fino a raggiungere addirittura gli 800-1000.
- **C)** Inefficacia contro le componenti inorganiche dei detriti intracanalari

A questo proposito, per migliorare i limiti dei punti **A** e **B**, molti autori (Mohammadi 2008, Giardino 2014) sottolineano come sia possibile aumentare l'efficacia

battericida delle soluzioni irriganti incorporando detergenti con **azione tensiottiva**, migliorando quindi la loro bagnabilità aumentando la penetrazione degli irriganti nei tubuli dentinali.

Due prodotti in commercio a base di NaClO modificati con surfattanti (HYPOCLEAN e CHLOR-XTRA) con valori di tensione superficiale significativamente inferiori a NaClO 5,25% puro (rispettivamente 29 e 33 contro i 48 mJ/m<sup>2</sup>) si sono dimostrati nei test in vitro più efficaci nei confronti dei batteri ed in particolar modo nei confronti dell'*e.faecalis*, aumentando la capacità penetrativa nei sistemi radicolari complessi e nei tubuli dentinali. (Giardino 2014).

## ***b. Chelanti***

Per agenti chelanti si intendono quelle sostanze chimiche in grado di legare ioni metallici formando un complesso stabile e solubile.

In ambito endodontico vengono utilizzati per superare i limiti esposti nel punto **C**, aiutando gli irriganti nella rimozione della parte inorganica dello **SM** e degli smear plugs (parte dello smear layer che si deposita all'imbocco dei tubuli dentinali formando dei "tappi"), legando ioni calcio, e permettendo così una maggiore penetrazione degli irriganti stessi all'interno dei tubuli dentinali. I chelanti maggiormente usati sono **EDTA** (acido etilenediaminotetracetico) e **Acido Citrico**.

### ***EDTA***

L'**EDTA** viene utilizzato solitamente nella percentuale del 17% ed è utile nella rimozione dello **SM** legando a se le componenti inorganiche della dentina. L'utilizzo di **EDTA** fa aumentare di conseguenza l'azione antibatterica degli irriganti negli strati più profondi della dentina (Hapaasalo 1987, Orstavic 1990).

L' **EDTA** ha però un discreto impatto nei livelli di erosione dentinale sulle pareti del canale radicolare (Qian 2011) contribuisce quindi alla disgregazione dello SM e facilita la rimozione del biofilm nelle zone canalari non strumentate, ma può provocare una marcata erosione dentinale, e non sappiamo ancora quanto questo possa essere pericoloso per la dentina radicolare ed il dente stesso. (Hapaasalo 2012). A questo proposito un articolo di Sen del 2009 analizzava le differenti concentrazioni di EDTA e sottolineava come, una bassa concentrazione a partire dal 1%, sia clinicamente sufficiente a rimuovere lo smear layer causando una minore erosione e quindi raccomandabile.

Non vi è inoltre concordanza in letteratura su quali siano i tempi di utilizzo dell'EDTA ma la maggior parte dei protocolli consigliano tempistiche non superiori ai 5 minuti.

### *Acido citrico*

L'altro chelante che viene utilizzato in associazione agli irriganti è l'**acido citrico**, in un range di concentrazioni che variano dall'1% fino al 50%. (Loel 1975).

L'**acido citrico** rispetto ad EDTA possiede anche un effetto antibatterico, mentre le capacità di rimozione dello smear layer risultano praticamente indifferenti tra i due chelanti (Scelza 2003) e comunque non complete nel terzo medio e apicale da parte di entrambi (Takeda 1999).

Per quanto riguarda la problematica della demineralizzazione dentinale l'**acido citrico** al 10% rispetto a EDTA al 17% risulta, in diversi range di tempo, marcatamente più aggressivo (Machado-Silveiro 2004).

### **c. Sostantività**

La ricerca della possibilità di utilizzare nuove sostanze ha messo in evidenza un'altra caratteristica: la **sostantività**. Questa viene intesa come il contatto prolungato tra un

materiale ed un substrato, con un legame maggiore e più duraturo di quanto ci si aspetterebbe da un semplice meccanismo di deposizione. Tale proprietà permette agli irriganti che la posseggono di mantenere a lungo termine una attività antimicrobica sulle pareti canalari, prevenendo una reinfezione del sistema canalare stesso. (Mohammadi 2009).

I due prodotti che presentano maggiormente questa caratteristica sono la **clorexidina (CHX)** ed il **cetrimide**.

### *CHX*

La **clorexidina** è un disinfettante di sintesi chimica, idrofobica e lipolitica, ad azione antisettica ad ampio spettro d'azione, attiva verso gram - e gram + (maggiore sui secondi) ed anche verso miceti e virus con capsida.

Per la sua maggiore azione nei confronti dei gram + rispetto a gram -, l'utilizzo di **CHX** come medicazione intermedia è preferibile nei ritrattamenti rispetto che alle infezioni endodontiche primarie. Viene utilizzata solitamente in una percentuale del **2%**. Ha un'azione di tipo battericida, agisce infatti aumentando drasticamente la permeabilità della membrana cellulare batterica alterandone la struttura proteica, ciò provoca la precipitazione di diverse macromolecole citoplasmatiche e la susseguente morte per lisi della cellula batterica stessa.

#### Principali caratteristiche della **clorexidina**:

- Uccide i batteri del biofilm ma non è in grado però di distruggere la struttura del biofilm stesso e non ha potere di dissoluzione sul tessuto organico residuo (Hapaasalo 2012).
- L'effetto di CHX può essere fortemente inibito anche se non impedito del tutto dalla presenza di residui dentinali e più in particolare dalla matrice organica. (Portenier 2002)

- L'attività antimicrobica, se rapportata all'NaOCl, è inferiore, in presenza o meno di smear layer, in un periodo inferiore o pari a 60 minuti, allungando i tempi i due irriganti si equivalgono. (Zagar 2015)
- La durata della sostantività può variare come riportato nella review di Mohammadi del 2009: secondo White (1997) fino a 72h; Leonardo (1999) fino a 48h; Rosenthal (2004) 10 min di applicazione fino a 12 settimane; Khademi (2006) 5min applicazione fino a 4 settimane; Mohammadi (2009) 8-12h.
- L'associazione di NaOCl e CHX ne aumenta l'azione antibatterica immediata ma non migliora la sostantività di essa nel tempo (Giardino 2013).
- Il contatto diretto tra CHX e NaOCl dovrebbe essere evitata a causa della formazione di precipitati, tra i quali la paracloroanilina che sembra avere effetti cancerogeni e mutogeni, inoltre questa associazione può provocare cambiamenti cromatici nelle strutture dentali. Tuttavia, se si optasse per l'uso combinato di CHX 2% e NaOCl 5.25% quest'ultimo deve essere introdotto per primo nel canale radicolare e poi "annullato" da un intermediario (soluzione salina) prima dell'utilizzo di CHX.
- La CHX svolge la sua azione antimicrobica ottimale lavorando in un range di ph tra 5.5 e 7.

### *Cetrimide*

Il **cetrimide** è un surfattante cationico con attività antimicrobica e con la capacità di far diminuire la stabilità meccanica del biofilm: è presente in combinazione con NaOCl nell' HYPOCLEAN e in associazione alla clorexidina in CITREXIDIN e CLOREXIMID. In soluzione allo 0,2% si è dimostrato simile, per quanto riguarda la sostantività alla CHX al 2%. (Ferrer-Luque 2014).

#### Caratteristiche di **cetrimide**:

- L'aggiunta di cetramide nelle soluzioni irriganti si è dimostrata aumentare l'effetto antibatterico contro E. faecalis nei tubuli dentinali (Wang 2012).



- Non ha effetto sulle proprietà chelanti di EDTA e acido citrico ma se usato in combinazione con irriganti e chelanti ne migliora l'efficacia antibatterica. (Poggio 2015).

#### ***d. Irriganti finali***

Rientrano in questa categoria varie soluzioni di nuova generazione che vengono proposte come irrigante da utilizzare al termine delle procedure di sagomatura e detersione avendo le due principali caratteristiche degli irriganti precedentemente descritti, ovvero: capacità antibatteriche e decalcificanti per la disgregazione/rimozione dello smear layer.

Questi irriganti presentano combinazioni tra agenti antibatterici, chelanti, tensioattivi e antibiotici sfruttando inoltre le caratteristiche di sostantività di alcuni agenti chimici.

Ad oggi i quattro irriganti finali maggiormente studiati, anche se non ancora presenti in commercio in Europa sono:

- **QMix** ( EDTA + CHX + detergente ad azione surfattante)
- **MTAD** ( antibiotico(doxicillina) + acido citrico + detergente (tween 80))
- **Tetraclean** ( antibiotico(doxicillina) + acido citrico + cetrimide + detergente (propilene glicolico))
- **Tetraclean NA** ( acido citrico + cetrimide + detergente(propilene glicolico))

#### *Qmix*

**QMix** risulta avere ottime caratteristiche battericide in vitro (Stojicic 2011) paragonabili a quelle di NaOCl 6% nei confronti di e.faecalis e molti batteri del biofilm (Ma 2011) ma naturalmente non possiede capacità di dissoluzione del tessuto pulpare.

## *MTAD*

**MTAD** possiede un certo grado di SOSTANTIVITA' poiché contiene tetracicline, le quali si attaccano prontamente alla dentina e ne vengono rilasciate gradualmente senza perdere la loro capacità antibatterica. A parità di concentrazione si è visto, però, come questa sia inferiore a quella della clorexidina. (Mohammadi 2008).

## *Tetraclean e Tetraclean NA*

**Tetraclean** è concettualmente simile a MTAD ma se ne differenzia per alcuni aspetti: La quantità di antibiotico (doxicillina) è ridotta ad un terzo (50mg/5ml contro i 150mg/ml dell'MTAD), oltre all'acido citrico vi è CETRIMIDE ed il detergente utilizzato è propilene glicolico. In vari studi in vitro Tetraclean risulta più efficace di MTAD contro i batteri del biofilm per merito del cetrimide e del diverso tensiottivo (propilene glicolico) che permette, come si evince da vari studi di Giardino e coll., una penetrazione nei tubuli dentinali di molto superiore a quella di NaOCl. **Tetraclean NA** è la medesima combinazione di Tetraclean privata della componente antibiotica, ed è stato studiato poiché Tetraclean poteva dare problemi di colorazione, sensibilità e resistenza batterica all'antibiotico stesso (Haznedaroglu 2001).

### *e. Tecniche di irrigazione ( Macro irrigazione )*

Permettono il trasporto, la vibrazione, il riscaldamento, l'implementazione e più in generale la gestione degli irriganti di cui abbiamo parlato ed in particolare dell' NaClO.

La semplice attivazione manuale (file, coni di guttaperca) o meccanica ( file, strumenti sonici, brush rotanti) nel tempo è stata sostituita da metodiche più performanti, tra queste, quelle che ad oggi sembrano dare i risultati migliori sono:

- **ANP** (irrigazione a pressione apicale negativa)

- **US** (attivazione ultrasonica)
- **PIPS** (attivazione dell'irrigante con il laser)

## *ANP*

**ANP:** Questa sistematica, denominata ENDOVAC, unisce una siringa da irrigazione (con macrocanula per zone coronali e microcanula per zone apicali) al sistema di aspirazione del riunito, riuscendo quindi a rilasciare ed aspirare l'irrigante continuamente, garantendo un flusso costante di nuovo irrigante nel terzo apicale e limitando al minimo il rischio di estrusione dello stesso. (Desai 2009).

Inoltre, con questa tecnica si evita il fenomeno del VAPOR LOCK (formazione di una bolla d'aria che ostacola la penetrazione dell'irrigante a valle della stessa (terzo apicale), riducendone il ricambio e quindi l'azione.

Posizionando la cannula aspirante in zona apicale si avrà il controllo sul fatto che l'irrigante arriverà esattamente dove arriva il termine della cannula aspirante e non oltre.

Le cannule aspiranti oggi in commercio hanno un diametro di 0,32 mm. e richiedono quindi che i canali abbiano un diametro di almeno 35 ISO e conicità 04. Studi di Susin (2010) e de Gregorio (2012) hanno sottolineato come questa metodica assicuri un elevato volume di irrigante nella zona apicale garantendo quindi una buona rimozione dei detriti in una porzione solitamente di difficile accesso da parte delle soluzioni.

## *US*

**US:** Le metodiche di irrigazione ultrasonica prevedono vibrazioni con frequenze comprese tra 25 e 40 kHz (inferiori sono soniche).

Vantaggi delle metodiche ultrasoniche:

- Le vibrazioni producono uno **STREAMING ACUSTICO** che genera uno shear stress in grado di dislocare i detriti sia organici che inorganici nei canali strumentati.
- Miglioramento della **PENETRAZIONE INTRATUBULARE** nel terzo apicale (Paragliola 2010)
- Aumento della **TEMPERATURA** dell'irrigante con conseguente miglioramento della capacità antibatterica e di detersione.
- L'effetto **CAVITAZIONE** (seppur risulti significativo solo a livello della punta dello strumento) che consiste nella formazione di micro bolle che vanno via via ingrandendosi prima di collassare provocando piccole implosioni che producono un'agitazione irregolare del liquido, risultando la principale ragione, insieme allo streaming acustico, della rimozione dei detriti dalle pareti canalari.

Attualmente le tecniche di implementazione con ultrasuoni si dividono in due tipologie:

**L'irrigazione ultrasonica passiva (PUI)** in cui l'attivazione ed il potenziamento dell'irrigante non prevede il contatto della lima ultrasonica con le pareti canalari (passiva). Viene inserito l'irrigante all'interno del canale con una siringa e successivamente viene attivato con gli inserti ultrasonici, i quali non devono presentare angoli di taglio per evitare alterazioni alla forma canalare.

**L'irrigazione ultrasonica attraverso ago (UNI)** in cui l'attivazione dell'irrigante è contemporanea all'irrigazione. Questa metodica prevede che lo stesso ago (25 G) con cui si rilascia l'irrigante possa vibrare a frequenze ultrasoniche permettendo un continuo ricambio dell'irrigante stesso con maggior abbattimento della carica batterica (Carver 2007). Rispetto alla precedente vi è però un maggior rischio di estrusione oltre apice e quindi, i protocolli proposti, consigliano di non avvicinarsi oltre 5 mm all'apice stesso.

Per quanto riguarda la PUI il protocollo prevede tre cicli di agitazione da venti secondi l'uno per ogni canale, rinnovando ogni volta l'irrigante. (Plotino 2007, Van der Sluis 2007).

### *PIPS*

**PIPS:** L'utilizzo del laser in endodonzia è stato proposto e analizzato alla fine degli anni 90 (Kimura 2000) in seguito si è arrivati all'idea di far interagire gli irriganti ed il laser all'interno del canale radicolare. Il meccanismo di azione sugli irriganti (in particolare con l'ipoclorito di sodio) da parte del laser portano a vaporizzazione del liquido con effetti di microcavitazione, turbolenza, aumento di temperatura e migliorano le prestazioni intrinseche di NaOCl.

La più recente tecnica di fotoattivazione è la PIPS (Photo Induced Photoacoustic Streaming) che utilizza un **laser Erbium: YAG** in modalità pulsata ( emissione di luce intermittente) con impulsi di breve durata (50 microsecondi) creando onde fotoacustiche utili nella rimozione di smear layer e detriti.

Vi sono ancora alcune limitazioni all'utilizzo del laser in endodonzia tra cui la più importante è il rischio di estrusione oltre apice di NaOCl,, anche se studi più recenti lasciano ben sperare sulle potenzialità di questa tecnica soprattutto per la detersione del terzo apicale (Arslan 2014).

### ***f. Sonendo ( Gentlewave system – Multisonic Ultracleaning technology)***

E' un sistema di nuovissima generazione che utilizza una miscela di soluzioni irriganti e onde sonore ad ampio spettro che vengono propagate nella soluzione di irrigante stesso, rimuovendo microrganismi, detriti e tessuti pulpari con una velocità

decisamente superiore (addirittura 8X) alle altre metodiche e che sembra raggiungere le zone più difficoltose del complesso sistema canalare in un tempo molto rapido.

Viene utilizzato un manipolo sterile con inserto monouso che permette la propagazione delle onde, dalla camera pulpare attraverso tutto il sistema canalare (tutti i canali nei denti pluriradicolati) con un minimo o nullo pretrattamento meccanico degli stessi.

Dai pochi studi attualmente pubblicati, i principali vantaggi di questa metodica sono:

- Elevata capacità di dissoluzione tissutale (superiore a US e ANP) (Hapaasalo 2014) e drastica riduzione dei detriti intracanalari (Molina 2015)
- Capacità di creare una pressione negativa indipendentemente dalle dimensioni e dell'anatomia del canale, con indubbi vantaggi in termini di efficacia e sicurezza (Hapaasalo 2015, Charara 2016)

### ***g. Protocolli clinici nell'uso degli irriganti***

Gli irriganti usati per detergere i canali infetti dovrebbero essere utilizzati in modo tale da poter esprimere la loro piena potenzialità antibatterica senza inattivarsi reciprocamente, quindi, se si impiega una soluzione di ipoclorito durante la strumentazione, si dovrebbe evitare che la sua efficacia venga ridotta dall'uso simultaneo di EDTA o acido citrico. Per questo motivo una volta terminata la sagomatura e l'utilizzo di ipoclorito i canali possono essere risciacquati abbondantemente con EDTA o acido citrico. Dopo questi due passaggi, ad oggi, il miglior irrigante finale sembra ancora essere la clorexidina, specialmente nei ritrattamenti, dove ci si deve aspettare la presenza di un'alta percentuale di batteri Gram+ nello spazio endodontico.

Se è ancora presente ipoclorito nel canale, la clorexidina eventualmente aggiunta precipiterà in forma di massa rosso-brunastra. Quindi l'irrigazione con clorexidina deve essere copiosa e prolungata, se si vuole ottenere una efficace azione antibatterica e se si vuole evitare la discolorazione del dente provocata dai precipitati

menzionati. Ancor meglio sarebbe lavare abbondantemente con soluzione fisiologica dopo l'utilizzo di NaOCl e asciugare usando coni di carta assorbente, prima del lavaggio finale con clorexidina.

Di seguito alcuni protocolli proposti:

### **GIARDINO 2007**

1. Irrigare abbondantemente con NaOCl 5,25% durante la strumentazione per rimuovere il fango dentinale mentre si forma.
2. Allargare il canale ad almeno una preparazione a conicità .06 e diametro apicale 25 (oppure sagomare a conicità maggiori).
3. Utilizzare dispositivi ( ad esempio: ultrasuoni, sistemi sonici, dispositivi a ricambio forzato) per favorire la disgregazione del biofilm e la maggior penetrazione degli irriganti.
4. Utilizzare EDTA per un minuto al termine della strumentazione per eliminare la parte inorganica del fango dentinale.
5. Sostituire o incrementare quest'ultimo passaggio con l'uso, per 5 minuti, di irriganti a base antibiotica.

### **PLOTINO- GRANDE 2014**

1. Utilizzo di NaOCl 5.25% durante la strumentazione del canale.
2. Attivazione di NaOCl con ultrasuoni durante tutta la strumentazione e dopo l'ultimo strumento utilizzato con 3 cicli da 20 secondi l'uno.
3. Al termine della strumentazione lavaggio con EDTA 17%
4. Lavaggio finale con CHX 2% preceduto da lavaggio con alcool, soluzione salina o acqua distillata per evitare l'interazione tra CHX e NaOCl.  
(Krishnamurthy 2010).

## **SIE (MANUALE DI ENDODONZIA 2013)**

1. Durante la sagomatura utilizzare NaOCl 5-6% possibilmente riscaldato. (in teoria NaOCl 5% esplica la sua azione battericida dopo un minuto. (Dunavant 2006))
2. Al termine della sagomatura utilizzare EDTA 17% dopo rimozione di NaOCl veicolandolo tramite agitazione e lasciandolo agire per 1-3 min.
3. Rimuovere EDTA completamente (in quanto inattiva NaOCl) e irrigare ripetutamente con NaOCl mediante metodiche di agitazione e attivazione.

### **3. SAF (Self Adjusting File)**

I risultati ottenuti dagli studi in vitro in canali ovali e curvi, pur utilizzando strumenti rotanti di nuova generazione, sono lungi dall'essere convincenti. Tale insoddisfazione è dovuta ad una concezione di base che ignora la forma 3D dei canali stessi, poiché gli strumenti a sezione tronco-conica sembra che siano stati progettati per detergere e modellare i canali come se fossero universalmente stretti, diritti e con sezioni trasversali rotonde.

La metodica SAF è un sistema che punta a superare tali limiti. Essa, infatti, è costituita da un file concepito come un cilindro vuoto, le cui pareti sono costituite da un sottile reticolo a “spina di pesce” in NiTi con una superficie esterna ruvida (Fig. 2). Esso è azionato da un manipolo e una testina predisposti (chiamata *RDT3*, Fig. 1) e una pompa di irrigazione (VATEA) che fornisce un flusso continuo di irrigante.



*Fig. 1 Testina RDT3 che permette al SAF di assumere un moto reciprocante verticale*

*Fig. 2 Struttura del SAF con il caratteristico aspetto a “spina di pesce”*

Lo strumento ha una punta asimmetrica (“a becco di flauto”) rispetto al suo asse longitudinale, in contrasto alle punte centrate di tutti i files rotanti convenzionali. La sua compressibilità consente al file di adattarsi alla forma della sezione trasversale del canale. Infatti, quando inserito in un canale di forma ovale, lo strumento SAF verrà deformato, comprimendosi in una direzione ed espandendosi nell'altra.

*Fig. 3 Dettaglio della flessibilità e dell'elasticità dello strumento SAF*

### Protocollo pre-SAF

Il preflaring con strumenti pre-SAF dipende del grado di difficoltà dei canali dopo un'iniziale valutazione della lastra periapicale (Tab. 1 – 4)

#### FASI di pre-allargamento:

- allargamento degli orifizi canalari, utilizzando uno strumento rotante ad elevata conicità per permettere un accesso diretto al canale e azionare il file lungo l'asse verticale (tipo *Pre-SAF OS*).

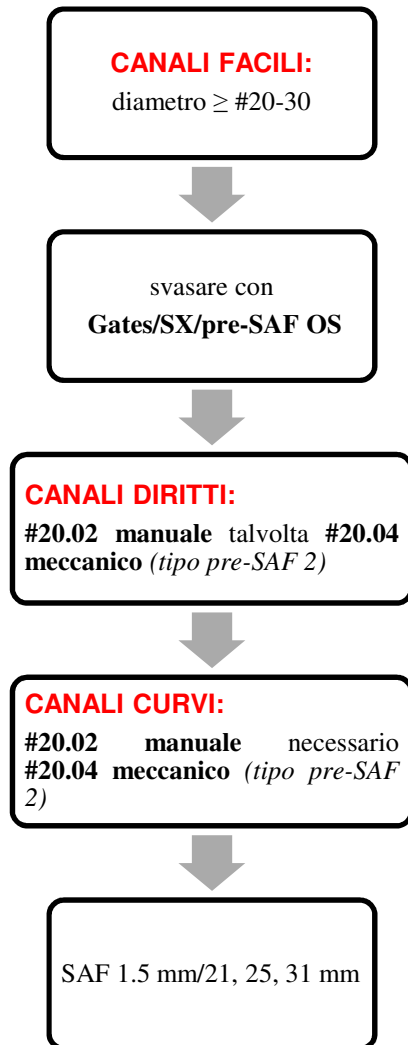
*Fig. 4 Strumenti Pre-SAF per il Preflaring del canale*

- Stabilire la lunghezza di lavoro
- Selezionare un file SAF con lunghezza e diametro appropriati:
  - **A)** *Lunghezza della porzione lavorante*: pari almeno alla distanza dall'orifizio canalare all'apice.
  - **B)** *Diametro*:
    - SAF 1.5 mm:**  $\emptyset < \text{ISO \#30}$
    - SAF 2.0 mm:**  $\emptyset \geq \text{ISO \#35}$

*Fig. 5 Dimensioni e diametri dei SAF disponibili in commercio*

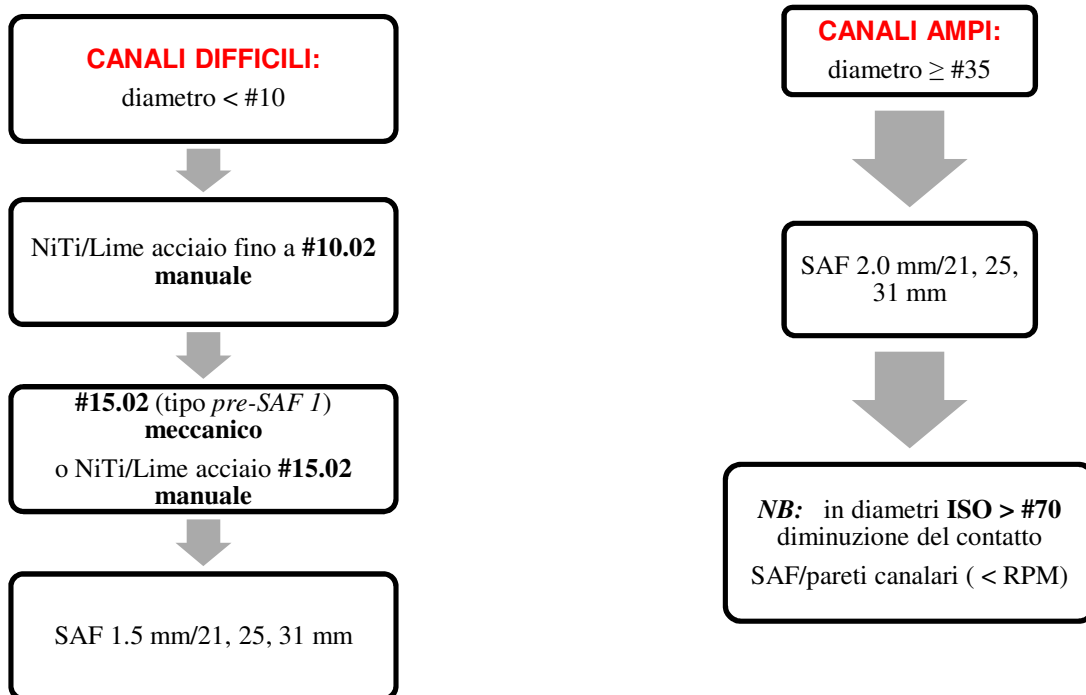
I tentativi di utilizzare il SAF solo come un "dispositivo di finitura" o come un dispositivo di irrigazione dopo una preparazione circolare iniziale più ampia del #20/04 non consentirà al SAF di detergere adeguatamente i recessi canalari e di sagomare in modo minimamente invasivo, facilitando al contrario la formazione di microcracks e l'estrusione di detriti.

*Tabella 1 Protocollo Pre-SAF  
CANALI FACILI*



*Tabella 2 Protocollo Pre-SAF  
CANALI MODERATI*





### Protocollo sagomatura e irrigazione mediante SAF

La sostituzione totale dell'irrigante nella parte apicale avviene entro 30 secondi. Pertanto, in 4 min di azione del SAF, l'ipoclorito di sodio nella parte apicale del canale viene sostituito completamente almeno 8 volte.

## Protocollo ritrattamento mediante SAF

**Metodo 1** (Shemesh 2012) – *Strumenti rotanti in NiTi seguiti da SAF senza solvente:*

**Metodo 2** (Kfir 2012; Solomonov 2012) – *Strumenti rotanti in NiTi seguiti da SAF con solvente*

*Tabella 7 Protocollo Ritrattamento SAF - Con solvente*

## 4. Nuove leghe

Gli strumenti in acciaio sono rigidi e spesso inadatti poiché causano un eccessivo allargamento apicale in canali curvi e sottili. L'introduzione di leghe Ni-Ti ha portato proprietà superiori degli strumenti in termini di duttilità, affaticamento, elasticità, biocompatibilità e resistenza alla corrosione.

Tuttavia, i files Ni-Ti presentano un rischio 10 volte più elevato di separazione, contrariamente alle lime in acciaio che, invece, presentano preventivamente segni di deformazione plastica.

La flessibilità dei file Ni-Ti è il risultato delle fasi cristallografiche presenti nella lega e dei diversi trattamenti termici, meccanici e chimici. Le leghe utilizzate nel trattamento canalare contengono circa il 55% di Nichel e 45% di Titanio.

La struttura cristallografica a temperatura ambiente sotto vuoto è l'Austenite. Tale configurazione cambia sia in funzione della temperatura sia degli stress di taglio, come avviene durante le fasi di sagomatura, diventando Martensite; la lega torna alla sua forma originale quando lo stress viene rimosso. I recenti sviluppi metallurgici hanno migliorato le proprietà degli strumenti rotanti utilizzando nuove leghe con speciale trattamento termico e nuovi processi di produzione (Gambarini 2008).

L'introduzione sul mercato delle “*leghe in fase R*” e “*M-Wire*” ne sono un esempio. Queste leghe sono processate termomeccanicamente in modo da avere una maggiore flessibilità alla temperatura corporea (Montalvao 2014).

A seconda dei processi termomeccanici subiti, nelle leghe con eccesso di Ni, si può formare una fase martensitica intermedia, detta *fase R*, prima della trasformazione da austenite a martensite.

### *a. M-Wire*

La lega *M-Wire* è composta da Nitinol 508, che ha subito un metodo di trattamento termomeccanico del filo grezzo secondo specifiche sollecitazioni di trazione e

temperatura. Satish B. Alapati et al. nel 2009 hanno analizzato la lega M-Wire, riferendo che, in diverse fasi essa contiene austenite, martensite e R-fase, in proporzioni differenti. Essi hanno dimostrato anche che la lega M-Wire ha temperature di trasformazione più elevate rispetto ai fili NiTi convenzionali e un minore modulo elastico.

## PROTAPER NEXT

I *ProTaper Next* (PTN) sono una quinta generazione di sistema NiTi. Il sistema PTN (Fig. 6) è composto da tre strumenti base (X1, X2, X3) più due accessori (X4, X5) realizzati con la lega “M-Wire” e comprende un design a conicità variabile e una sezione rettangolare decentrata che migliorano la resistenza e la flessibilità lungo la parte attiva. Il design dello strumento fornisce un movimento serpeggiante mano a mano che progredisce nel canale radicolare (Fig. 7).



*Fig. 6 Serie ProTaper Next*

*Fig. 7 Andamento “serpeggiante” caratteristico dei ProTaper Next*

### SISTEMI RECIPROCANTI: Reciproc E WaveOne

Un nuovo concetto di sagomatura per i files NiTi è stato recentemente introdotto mediante l'adozione di movimenti di lavoro reciprocanti con un unico file. Due di questi file system, *WaveOne* (Dentsply Dental Specialties Tulsa, Tulsa, OK) (Fig. 8)

e *Reciproc* (VDW, Monaco di Baviera, Germania) (Fig.9), sono entrambi in lega NiTi M-Wire che ne aumenta la flessibilità e ne migliora la fatica ciclica.

*Fig. 8 Serie WaveOne Primary, Small e Large*

*Fig. 9 Serie Reciproc R25, R40, R50*

Il *Reciproc 25* presenta una doppia lama tagliente con geometria a forma di S, mentre *WaveOne* è caratterizzato da una sezione trasversale triangolare modificata con piani radiali a livello della punta e una sezione trasversale a triangolo convesso nella porzione media e coronale dello strumento. La geometria apicale di *WaveOne* comporta una minore efficienza di taglio e un minor spazio libero per la fuoriuscita dei detriti.

Il moto alternato permette una distanza angolare inferiore rispetto alla rotazione continua, fornendo valori di stress minori. Pertanto, uno strumento reciprocante presenta una resistenza maggiore alla fatica ciclica (Wan 2011). Tuttavia, per

progredire verso l'apice, necessita di una maggiore pressione da parte dell'operatore, taglia meno efficacemente di un file in rotazione continua di simili dimensioni, e sembra meno performante nella fuoriuscita coronale di detriti al di fuori del sistema endodontico.

Seppur studi presenti in letteratura dimostrano come i sistemi reciprocanti siano in grado di asportare una maggior quantità di dentina canalare nell'unità di tempo (Capar 2014), sembra però che essi comportino un maggior strato di smear layer e di compattazione dei detriti a livello del terzo apicale e dei recessi canalari rispetto agli altri strumenti in rotazione continua (Poggio 2014). Ciò si riflette anche in una maggiore estrusione periapicale di detriti che sono in grado di provocare maggior dolore postoperatorio (J. Caviedes-Bucheli 2016).

*Fig. 10 Sezioni trasverse di R25 (a) e WaveOne Primary (b) (J. Caviedes-Bucheli 2016)*

### ***b. Gold***

I *Protaper Gold* (PTG) sono prodotti con una sezione trasversale a forma triangolare convessa e una conicità progressiva, la stessa dei *Protaper Universal* (PTU). I PTG sono realizzati con processi metallurgici mediante nuovi trattamenti termici. Essi hanno 2 fasi di trasformazione specifiche (*austenite [A] - fase R e fase R - martensite [M]*) mentre i PTU hanno un processo di trasformazione a una fase (Uygun 2015). La trasformazione martensitica si verifica quindi, attraverso una lavorazione monofasica

(A-M) o bifasica (A-R e R-M) a seconda dei trattamenti termomeccanici sulla lega. La conversione a 1 fase avviene nelle leghe NiTi ricche di Nichel, mentre quella a 2 fasi avviene in seguito a trattamenti termici aggiuntivi. Questi ultimi formano precipitati fini di  $Ti_3Ni_4$  nella matrice austenitica. A causa di essi, la fase-R è formata in preferenza alla martensite per la presenza di fini particelle di  $Ti_3Ni_4$ . Perciò, la lega necessita di un raffreddamento supplementare per formare la martensite, ed è per questo che la trasformazione martensitica si verifica in 2 fasi (A-R e R-M) (Sarkar 2005). Questi potrebbero essere i motivi di una maggiore resistenza alla fatica ciclica rispetto ai PTU.

*Fig. 11 Serie ProTaper Gold*

### ***c. CM wire***

La lega *Controlled Memory* (CM) degli Hyflex è ottenuta trattando termicamente i fili in NiTi con lo scopo di spostare la transizione tra austenite/martensite a circa 50°C, ottenendo una microstruttura martensitica stabile alla temperatura corporea (de Arruda Santos 2013). Ciò conferisce ai files un'elevata resistenza alla fatica e la possibilità di essere facilmente piegati durante l'uso, recuperando la loro forma originale una volta oltrepassata la temperatura di trasformazione.

## HYFLEX CM

Gli Hyflex CM presentano una percentuale più bassa di nichel (Ni 52 %) rispetto al 54,5-57 Ni% degli strumenti rotanti NiTi disponibili commercialmente (Zinelis 2010), anche se ciò non sembra influire sulle proprietà meccaniche degli strumenti (Frick 2005). Sembrerebbe, piuttosto, che il ruolo cruciale venga ricoperto dai trattamenti termici subiti da questi strumenti, che garantisce agli Hyflex CM un aumento di flessibilità statisticamente significativo (Testarelli 2011). Il produttore sostiene che essi siano fino al 300% più resistenti alla fatica. Se sottoposti ad eccessiva resistenza/sollecitazione potrebbero essere deformati plasticamente e recuperare la loro forma in seguito alla sterilizzazione in autoclave (Peters, 2012).

### *Fig. 12 Serie Hyflex CM*

Studi recenti (Poggio 2015) hanno riscontrato, però, che gli Hyflex CM siano meno efficaci nella detersione delle pareti canalari nella rimozione dello smear layer rispetto ad altri strumenti con lega NiTi tradizionale (Mtwo e Revo-S). Gli autori hanno proposto come motivazione di tale insuccesso la sezione trasversale e le scanalature dello strumento che si presentano variabili nella progressione dei diametri e delle conicità degli strumenti della serie di strumentazione.

#### *d. EDM wire*

Di recente, ulteriori trattamenti sono stati sperimentati nella produzione dei nuovi HyFlex EDM (Coltène/Whaledent). La caratteristica principale di questi file è che sono realizzati mediante un processo di lavorazione per elettroerosione che la rimozione del materiale tramite scariche elettriche pulsanti che fluiscono tra un elettrodo ed il pezzo, entrambi immersi in un mezzo dielettrico (Daneshmand 2013). La corrente elettrica scioglie e sublima parzialmente piccole parti del materiale in modo ben controllato e ripetibile (Jameson 2001). Il materiale viene quindi rimosso superficialmente lasciando una superficie isotropa, caratterizzata da crateri regolarmente distribuiti (Guo 2013). L'analisi frattografica della fatica degli strumenti con lega EDM dimostra una superficie di frattura a partenza dagli angoli taglienti dello strumento, con un aspetto simile alla lega CM, dove si notano ampie zone di propagazione della fatica (striature di affaticamento del metallo) che rallentano la diffusione della frattura e zone infossate più centrali rispetto ai CM, sinonimo di un sovraccarico improvviso che ha causato il cedimento della struttura. La presenza di

più siti di crack è nota per migliorare la durata alla fatica ciclica di un materiale, in quanto le sollecitazioni applicate sono ripartite tra tutte le fessure, riducendo così la localizzazione della deformazione e la velocità di propagazione della fatica.

### HYFLEX EDM

Prototipi EDM dimostrano un ulteriore miglioramento nella resistenza in confronto ai file CM. Il confronto con strumenti CM della stessa dimensione e conicità ha rivelato un aumento fino a circa 700% della resistenza. Poiché entrambi i file EDM e CM sono fabbricati con lo stesso materiale, il miglioramento è probabilmente correlato alla lavorazione per elettroerosione.

*Fig. 14 File 25 Hyflex EDM*

#### ***e. Leghe in fase R***

La tecnologia “fase R” del trattamento termico ottimizza le proprietà degli strumenti NiTi conferendo loro il 70% in più di flessibilità ed una resistenza alla fatica ciclica 2-3 volte superiore rispetto agli altri strumenti rotanti. Lo strumento viene creato mediante torsione invece che essere fresato. Questo processo ottimizza la struttura della superficie del NiTi ed impedisce l’accumulo di micro-fratture, rendendo lo

strumento più resistente. La realizzazione di strumenti endodontici mediante fresatura si è visto danneggiare l'integrità del metallo, incidendo sulla possibile separazione dello strumento stesso. L'avanzato trattamento di condizionamento della superficie, secondo i produttori, ne completa la fabbricazione, rispettando la morfologia della struttura portante dello strumento. I test hanno dimostrato un'elevata resistenza alla flessione degli strumenti in lega R, come *Twisted File*, *Twisted File Adaptive*, *K3* e *K3XF* (Pérez-Higueras 2013), (Gambarini 2008), (Elnaghy 2014).

## TWISTED FILE

*Twisted File* (TF) è stato il primo strumento (2008) ad utilizzare la tecnologia R-Phase. Tale caratteristica metallurgica permette migliori doti in termini di superelasticità e basso modulo elastico rispetto alle leghe in fase austenitica (Hayashi 2007). Di conseguenza, il processo di fabbricazione di questa lega permette una maggiore deformazione a un determinato torque. Quest'ultima caratteristica comporta, però, una minore resistenza alla torsione con maggiore incidenza di separazione del file e un pattern di frattura tipico delle leghe con stessa sezione (segni di abrasione circolare con fossette deformate vicine al centro di rotazione). Un'ulteriore causa potrebbe essere la breve distanza tra la porzione apicale dello strumento e l'attacco al manipolo (lunghezza: 23 mm ) rispetto ad altri strumenti (lunghezza: 25 mm), poiché: minore è la distanza, più alta è la formazione di stress (Park 2010).



### *Fig. 15 Serie di Twisted File*

In alcuni studi gli strumenti TF hanno dimostrato una maggiore flessibilità rispetto a PTN, adatti quindi a sagomare i canali curvi. Dall'altro lato, però, questi ultimi si presentano più resistenti agli stress torsionali e necessitano di un maggior numero di cicli di carico per separarsi ( $P < .05$ ) (Elnaghy 2014). Il motivo di tale differenza sembrerebbe essere riconducibile soprattutto alla differenza di sezione, poiché i TF presentano una geometria a triangolo equilatero che comporta, quindi, una scarsa distanza tra la mediana di ogni lato e il centro dello strumento, mentre i PTN, con la loro sezione rettangolare, presentano un core centrale più robusto. Inoltre, l'asimmetria assiale dei PTN permette una diminuzione degli stress applicati sullo strumento.

### TWISTED FILE ADAPTIVE

La Tecnologia AdaptiveMotion si basa su un algoritmo studiato per operare unitamente agli strumenti *Twisted File Adaptive* (TFA) (SybronEndo, Orange, CA). Esso è un sistema endodontico che utilizza una rotazione continua, combinata a un movimento alternato. Il motore permette una rotazione continua quando il file viene sottoposto a uno stress applicato minimo/nulla mentre utilizza un moto alternato quando, al contrario, il carico sullo strumento è maggiore. I produttori affermano che

questa tecnologia con un motore che “adatta” la tipologia di rotazione al torque registrato sullo strumento, unito al design del file prodotto con lega in “fase R”, aumenta la rimozione dei detriti e la flessibilità, e consente al file di adattarsi a forze di torsione intracanalari e alla quantità di pressione collocata sul file stesso.

*Fig. 16 Serie Twisted File Adaptive: ML e SM*

Il design del TF Adaptive si basa sulla tecnologia del Twisted File. La tecnica TF Adaptive è fondamentalmente una tecnica a 3 strumenti, progettata per poter sagomare tutti i canali. In studi che confrontano i sistemi reciprocanti e tradizionali (Reciproc, WaveOne, Twisted File Adaptive e Protaper Next), il sistema TFA è quello che presenta un grado inferiore di rimozione di dentina canalare e nel terzo apicale, minore trasporto canalare e una migliore centratura del canale (Gergi 2014) (Gergi 2015) (Liu 2016).

Per questi strumenti vengono proposte due tipologie di sequenze strumentali che si basano su concetti diversi: 1) approccio Crown-down, (sequenza medium-large, ML) per i canali medio-grandi, dove uno strumento di grande conicità è in grado di raggiungere più facilmente la lunghezza di lavoro con uno stress minimo; 2) approccio Step back (sequenza SMALL, SM), passando da strumenti di dimensioni più piccole a strumenti di dimensioni più grandi e con maggior conicità, per i canali

più difficili. Questa seconda sequenza viene consigliata, in quanto è più facile e più sicuro in un canale complesso eseguire una preparazione tronco-conica dopo che è stato effettuato un pre-allargamento iniziale con uno strumento dalla conicità ridotta.

## 5. Conclusioni

La completa strumentazione e detersione delle complessità anatomiche dei canali radicolari è, ad oggi, oggettivamente impossibile da ottenere. Studi in vitro non sono in grado di dimostrare, né con il SAF né con altre metodiche, l'ottenimento di una totale detersione del canale. Il vantaggio della metodica SAF è però quello di permettere, più degli altri, di strumentare i canali ovali.

Sono ancora pochi gli studi che trattano il concetto di detersione e CFU microbiologiche post-sagomatura, preferendo analisi sulle performance degli strumenti in termini di canali curvi, trasporto canalare e smear layer residuo.

Unito a ciò, il complesso ambiente chimico dei canali non permette agli irriganti e alle medicazioni di esercitare il loro pieno potenziale (sia in vivo sia in vitro) contro gli svariati microrganismi presenti in essi.

Il modo in cui gli irriganti vengono veicolati all'interno dei canali rimane un nodo fondamentale per poterli sfruttare appieno, così come precisi protocolli sulle concentrazioni, temperature e tempi di impiego.

Il concetto di "sostantività" risulta sicuramente il più stimolante riguardo agli irriganti, facendo conseguentemente immaginare come CHX e CETRIMIDE potranno essere le sostanze su cui basare le future ricerche, considerando come ormai assodato il fatto che le *combinazioni* di irriganti siano il futuro per quanto riguarda la parte chimica del trattamento canalare.

L'attivazione ultrasonica degli irriganti sembra essere ancora la metodica più valida per quanto riguarda l'attivazione meccanica degli irriganti, anche se le nuovissime prospettive come il PIPS o quelle utilizzando onde sonore ad ampio spettro veicolate

all'interno dei canali, lasciano sognare l'attualmente utopica totale disinfezione senza o con minima strumentazione meccanica.

## 6. Bibliografia

- Alapati, S.B. et al., 2009. Metallurgical characterization of a new nickel-titanium wire for rotary endodontic instruments. *Journal of Endodontics*, 35(11), pp.1589–1593.
- Arslan, H. et al., 2014. Effect of photon-initiated photoacoustic streaming on removal of apically placed dentinal debris. *International Endodontic Journal*, 47(11), pp.1072–1077.
- Berrutti, E., Gagliani, M. e AA.VV. *Manuale di endodonzia*, SIE, 2013
- Çapar, İ.D. et al., 2014. Comparative study of different novel nickel-titanium rotary systems for root canal preparation in severely curved root canals. *Journal of Endodontics*, 40(6), pp.852–856.
- Caviedes-Bucheli, J. et al., 2016. The influence of two reciprocating single-file and two rotary-file systems on the apical extrusion of debris and its biological relationship with symptomatic apical periodontitis. A systematic review and meta-analysis. *International Endodontic Journal*, 49(3), pp.255–270.
- Charara, K. et al., 2016. Assessment of Apical Extrusion during Root Canal Irrigation with the Novel GentleWave System in a Simulated Apical Environment. *Journal of Endodontics*, 42(1), pp.135–139.
- Clegg, M.S. et al., 2006. The effect of exposure to irrigant solutions on apical dentin biofilms in vitro. *Journal of Endodontics*, 32(5), pp.434–437.
- Daneshmand, S., Kahrizi, EF., Abedi, E., Abdolhosseini, MM., 2013. Influence of machining parameters on electro discharge machining of NiTi shape memory alloys. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8, 3095–104.

- de Arruda Santos, BE., L., de Azevedo Bahia, MG., Las Casas BE., de EB, VTLBBM., 2013. Comparison of the Mechanical Behavior between Controlled Memory and Superelastic Nickel-Titanium Files via Finite Element Analysis. *Journal of Endodontics*, 39(11):1444–7.
- De Gregorio, C. et al., 2012. Efficacy of irrigation systems on penetration of sodium hypochlorite to working length and to simulated uninstrumented areas in oval shaped root canals. *International Endodontic Journal*; 45(5):475-81
- Desai, P., Himel, V., 2009. Comparative safety of various intracanal irrigation system. *Journal of Endodontics*; 35(4):545-9
- Dunavant, T.R. et al., 2006. Comparative evaluation of endodontic irrigants against *Enterococcus faecalis* biofilms. *Journal of Endodontics*, 32(6), pp.527–531.
- Elnaghy, A.M. & Elsaka, S.E., 2014. Assessment of the mechanical properties of ProTaper Next Nickel-titanium rotary files. *Journal of Endodontics*, 40(11), pp.1830–1834.
- Frick, CP., Ortega, AM., Tyber, J., et al., 2005. Thermal processing of polycrystalline NiTi shape memory alloys. *Mater Sci Eng A*, 405:34–49
- Gambarini, G., Gerosa, R., de Luca, M., Garala, M., Testarelli, L., 2008. Mechanical properties of a new and improved nickel-titanium alloy for endodontic use: an evaluation of le exhibility,” *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology*, vol. 105, no. 6, pp. 798–800.
- Gambarini, G., Grande, NM., Plotino, G., Somma, F., Garala, M., De Luca, M., Testarelli, L., 2008. Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. *Journal of Endodontics*; 34(8):1003-5.
- Gergi, R. et al., 2015. Effects of three nickel titanium instrument systems on root canal geometry assessed by micro-computed tomography. *International Endodontic Journal*, 48(2), pp.162–170.

- Gergi, R., Arbab-Chirani, R., Osta, N., Naaman, A., 2014. Microcomputed tomographic evaluation of canal transportation instrumented by different kinematics rotary nickel-titanium instruments. *Journal of Endodontics*; 40 (8):1223-7
- Giardino, L. et al., 2013. Effect of sodium hypochlorite on the substantivity of chlorhexidine. *Int J of clinical dentistry*. January 6(2)
- Giardino, L. et al., 2014. Antibacterial power of sodium hypochlorite combined with surfactants and acetic acid. *Braz dent J* 25(4): 289-294
- Gorduysus, M. et al., 2011. A comparison of three rotary systems and hand instrumentation technique for the elimination of *Enterococcus faecalis* from the root canal. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc*, 37(3), pp.128–133.
- Guo, Y., Klink, A., Fu, C., Snyder, J., 2013. Machinability and surface integrity of Nitinol shape memory alloy. *Manufacturing Technology* 62, 83–6.
- Haapasalo M, Ørstavik D, 1987. In vitro infection and disinfection of dentinal tubules. *J Dent Res*; 66: 1375-9.
- Haapasalo, M. et al., 2015. Apical pressure created during irrigation with the GentleWave system compared to conventional syringe irrigation. *Clinical Oral Investigations*.
- Haapasalo, M., Shen, Y., 2012. Current therapeutic options for endodontic biofilms. *Endodontic Topics* 22, 79-98.
- Haapasalo, M., Wang, Z. et al, 2014. Tissue dissolution by a novel multisonic ultracleaning system and sodium hypochlorite. *International Endodontic Journal*; 40(8):1178-81.
- Hayashi, Y., Yoneyama, T., Yahata, Y., et al., 2007. Phase transformation behaviour and bending properties of hybrid nickel-titanium rotary endodontic instruments. *International Endodontic Journal*, 40:247–53.
- Haznedaroglu, F., Ersev, H., 2001. Tetracycline HCl solution as a root canal irrigant. *Journal of Endodontics*; 27(12):738-40

- Jameson, EC., 2001. Electrical discharge machining. Dearborn, MI: Society of manufacturing engineers.
- Kfir, A. et al., 2012. The efficacy of five techniques for removing root filling material: microscopic versus radiographic evaluation. *International Endodontic Journal*, 45(1), pp.35–41.
- Kimura, Y. et al., 2000. Laser in endodontics: a review. *International Endodontic Journal*; 33: 173-85
- Krishnamurthy, S. & Sudhakaran, S., 2010. Evaluation and prevention of the precipitate formed on interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine. *Journal of Endodontics*, 36(7), pp.1154–1157.
- Lim, Y.-J. et al., 2013. Comparison of the centering ability of Wave.One and Reciproc nickel-titanium instruments in simulated curved canals. *Restorative dentistry & endodontics*, 38(1), pp.21–25.
- Liu, W. & Wu, B., 2016. Root Canal Surface Strain and Canal Center Transportation Induced by 3 Different Nickel-Titanium Rotary Instrument Systems. *Journal of Endodontics*, 42(2), pp.299–303.
- Loel DA., 1975. Use of acid cleanser in endodontic therapy. *J Am Dent Assoc*; 90: 148-51.
- Ma, J. et al., 2011. A new noninvasive model to study the effectiveness of dentin disinfection by using confocal laser scanning microscopy. *Journal of Endodontics*; 37:1380-5
- Machado-Silveiro, L.F., Gonzalez-Lopez, S. & Gonzalez-Rodriguez, M.P., 2004. Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *International Endodontic Journal*, 37(6), pp.365–369.
- Maria Ferrer-Luque, C. et al., 2014. Residual activity of cetrimide and chlorhexidine on *Enterococcus faecalis*-infected root canals. *International journal of oral science*, 6(1), pp.46–49.

- Mohammadi, Z. & Abbott, P.V., 2009. Antimicrobial substantivity of root canal irrigants and medicaments: a review. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc*, 35(3), pp.131–139.
- Molander A, Reit C, Dahlén G, Kvist T., 1998. Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *International Endodontic Journal* ;31(1):1-7.
- Molina, B. et al., 2015. Evaluation of Root Canal Debridement of Human Molars Using the GentleWave System. *Journal of Endodontics*, 41(10), pp.1701–1705.
- Montalvão, D., Alçada, FS., Braz Fernandes, FM., de Vilaverde-Correia, S., 2014. Structural characterisation and mechanical FE analysis of conventional and M-Wire Ni-Ti alloys used in endodontic rotary instruments. *Scientific World Journal*, (1):976459.
- Orstavik, D. & Haapasalo, M., 1990. Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Endodontics & dental traumatology*, 6(4), pp.142–149.
- Park, SY., Cheung, GS., Yum, J., et al., 2010. Dynamic torsional resistance of nickel-titanium rotary instruments. *Journal of Endodontics*, 36:1200–4.
- Perez-Higueras, J.J., Arias, A. & la Macorra, de, J.C., 2013. Cyclic fatigue resistance of K3, K3XF, and twisted file nickel-titanium files under continuous rotation or reciprocating motion. *Journal of Endodontics*, 39(12), pp.1585–1588.
- Peters, OA., et al., 2012. An in vitro assessment of the physical properties of novel Hyflex nickel-titanium rotary instruments. *International Endodontic Journal*, 45, 1027–1034
- Plotino, G. et al., 2007. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *Journal of Endodontics*, 33(2), pp.81–95.
- Plotino, G., Grande, N.M., 2015. New technologies to improve root canal disinfection. *Dental Cadmos* 83(8):529-537



- Poggio, C. et al., 2014. Effects of NiTi rotary and reciprocating instruments on debris and smear layer scores: an SEM evaluation. *Journal of applied biomaterials & functional materials*, 12(3), pp.256–262.
- Poggio, C. et al., 2015. Cleaning Effectiveness of Three NiTi Rotary Instruments: A Focus on Biomaterial Properties. *Journal of functional biomaterials*, 6(1), pp.66–76.
- Poggio, C. et al., 2015. Decalcifying capability of irrigating solutions on root canal dentin mineral content. *Contemporary clinical dentistry*, 6(2), pp.201–205.
- Portenier, I. et al., 2002. Inactivation of the antibacterial activity of iodine potassium iodide and chlorhexidine digluconate against *Enterococcus faecalis* by dentin, dentin matrix, type-I collagen, and heat-killed microbial whole cells. *Journal of Endodontics*, 28(9), pp.634–637.
- Qian, W., Shen, Y. & Haapasalo, M., 2011. Quantitative analysis of the effect of irrigant solution sequences on dentin erosion. *Journal of Endodontics*, 37(10), pp.1437–1441.
- Sarkar, S., Ren, X. & Otsuka, K., 2005. Evidence for strain glass in the ferroelastic-martensitic system  $Ti(50-x)Ni(50+x)$ . *Physical review letters*, 95(20), p.205702.
- Scelza, M.F.Z., Teixeira, A.M. & Scelza, P., 2003. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*, 95(2), pp.234–236.
- Sen, B.H., Erturk, O. & Piskin, B., 2009. The effect of different concentrations of EDTA on instrumented root canal walls. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*, 108(4), pp.622–627.
- Solomonov, M. et al., 2012. Self-adjusting files in retreatment: a high-resolution micro-computed tomography study. *Journal of Endodontics*, 38(9), pp.1283–1287.

- Stojicic, S. et al., 2012. Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX. *International Endodontic Journal*, 45(4), pp.363–371.
- Susin, L. et al., 2010. Canal and isthmus debridement efficacies of two irrigant agitation techniques in a closed system. *International Endodontic Journal*, 43(12), pp.1077–1090.
- Takeda, F.H. et al., 1999. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *International Endodontic Journal*, 32(1), pp.32–39.
- Testarelli, L. et al., 2011. Bending properties of a new nickel-titanium alloy with a lower percent by weight of nickel. *Journal of Endodontics*, 37(9), pp.1293–1295.
- Uygun, A.D. et al., 2016. Variations in cyclic fatigue resistance among ProTaper Gold, ProTaper Next and ProTaper Universal instruments at different levels. *International Endodontic Journal*, 49(5), pp.494–499.
- van der Sluis, L.W.M. et al., 2007. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *International Endodontic Journal*, 40(6), pp.415–426.
- Voet, K.C. et al., 2012. Removal of gutta-percha from root canals using the self-adjusting file. *Journal of Endodontics*, 38(7), pp.1004–1006.
- Wan, J. et al., 2011. A comparison of cyclic fatigue resistance in reciprocating and rotary nickel-titanium instruments. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc*, 37(3), pp.122–127.
- Wang, Z. et al., 2012. The effect of detergents on the antibacterial activity of disinfecting solutions in dentin. *Journal of Endodontics*, 38(7), pp.948–953.
- Zargar, N. et al., 2015. The Effect of Smear Layer on Antimicrobial Efficacy of Three Root Canal Irrigants. *Iranian endodontic journal*, 10(3), pp.179–183.
- Zinelis, S., Eliades, T. & Eliades, G., 2010. A metallurgical characterization of ten endodontic Ni-Ti instruments: assessing the clinical relevance of shape

memory and superelastic properties of Ni-Ti endodontic instruments.  
International Endodontic Journal, 43(2), pp.125–134.