

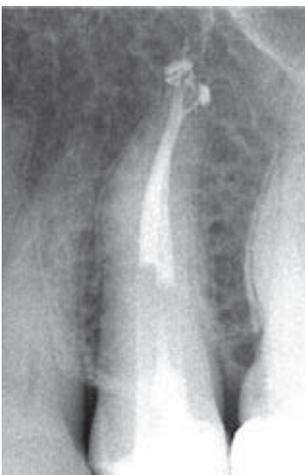
## Sagomatura

*M. Martignoni, M. Lendini*

La terapia endodontica consiste nel trattamento di elementi dentali sia vitali sia necrotici, in modo che i pazienti possano conservare i denti naturali nella funzione e nell'estetica (Figg. 4.112-4.114).

La sagomatura dei canali radicolari è l'obiettivo primario del trattamento endodontico, poiché determina l'efficacia di tutte le procedure successive, ampliando in modo controllato uno o più canali radicolari principali; solo così si potrà avviare la detersione del sistema canalare e, ulteriore requisito indispensabile, sarà possibile ottenere una chiusura tridimensionale dello spazio endodontico con un materiale termoplastico e un cemento sigillante (Figg. 4.115 e 4.116).

Le difficoltà maggiori, in tutti i processi menzionati, sono strettamente correlate con le complessità anatomiche intrinseche del sistema endodontico stesso, il quale, per sua natura, presenta morfologie naturali come canali laterali, accessori, diramazioni, delta apicali e una grande quantità di altre anomalie [1-5] (Figg. 4.117-4.119).



**Fig. 4.112** Elemento dentale 2.4 con canali fusi e diramazione apicale.



**Fig. 4.113** Incisivo laterale superiore. Taglio istologico che rivela la complessità anatomica con presenza di quattro porte di uscita apicali.



**Fig. 4.114** Elemento dentale 2.5 con tre porte di uscita apicali.



**Fig. 4.115** Elemento dentale 3.5 con porte di uscita multiple.



**Fig. 4.116** Elemento dentale 4.6 con ramificazioni apicali.



**Fig. 4.117** Esempi di sagomature in casi anatomicamente complessi.



**Fig. 4.118** Esempi di sagomature in casi anatomicamente complessi.



**Fig. 4.119** Esempi di sagomature in casi anatomicamente complessi.

La sola alesatura meccanica, come è noto, non è sufficiente a offrire un'adeguata pulizia finale, poiché gli strumenti, per quanto tecnicamente evoluti, non riescono a entrare in contatto con tutte le pareti del canale per asportare interamente il materiale nocivo in esso contenuto. La sagomatura rimane, a tutt'oggi, un momento estremamente importante del trattamento canalare, in quanto, in assenza di una strumentazione adeguata, gli irriganti avranno maggiore difficoltà a raggiungere il terzo apicale, determinando quindi una detersione insufficiente. Peraltro, una sagomatura eccessivamente invasiva potrebbe causare l'insorgenza di altre problematiche, come l'indebolimento della radice stessa con conseguente predisposizione alla frattura dell'elemento trattato [6-8].

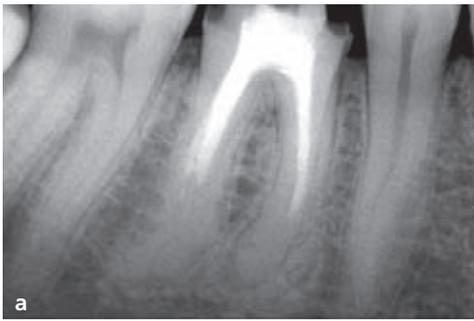
La sagomatura, inoltre, è una parte fondamentale per il processo di riempimento tridimensionale dello spazio endodontico, condizione indispensabile per il mantenimento nel tempo dello stato di disinfezione e controllo della carica batterica residua del comparto anatomico endodontico: in assenza di una corretta morfologia conferita dal processo di alesatura al canale radicolare in senso lato, le procedure di otturazione si riveleranno complesse e, in definitiva, poco efficaci nel perseguire l'obiettivo sopra citato, vanificando quindi tutta l'operazione del trattamento canalare in particolare e, più in generale, la salute e la permanenza dell'elemento dentale nell'arcata del paziente (Figg. 4.120-4.123).

Un fattore secondario, ma che ha rilevanza ai fini del risultato primario, è l'esperienza clinica dell'operatore, sia nelle fasi di pianificazione sia in quelle terapeutiche [9-12].

## Codificazione ed evoluzione dei concetti e delle tecniche di sagomatura

Il processo di ampliamento dello spazio endodontico ha avuto, nel corso degli anni, una rapida e importante evoluzione ed è stato oggetto di numerose revisioni.

Già negli anni Trenta il fatto che il canale radicolare dovesse essere svuotato in progressione dalle parti più coronali verso le parti più apicali era parte del sapere odontoiatrico; a questo si era giunti per ragionamenti intuitivi, tipici di una disciplina che da troppo poco tempo era divenuta scienza.



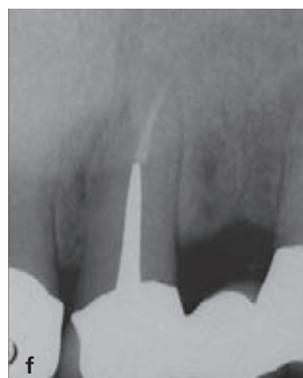
**Fig. 4.120** Prima (a) e dopo (b) il trattamento.



**Fig. 4.121** Elementi dentali 1.4 e 1.7: ripristino morfofunzionale (a) e controllo a distanza (b).



**Fig. 4.122** (a) Radiografia periapicale di un 4.6 necrotico con ampia lesione periapicale fistolizzata. (b) Il controllo a 20 anni del trattamento endodontico, eseguito con la tecnica di Schilder classica.



**Fig. 4.123** Elemento dentale 1.1: presenza di lesione di origine endodontica estesa (a), controlli nel primo anno (b-d), controlli a due (e), cinque (f) e dieci anni (g).

I requisiti per la corretta sagomatura dei canali radicolari sono stati però descritti e codificati con completezza, almeno per il mondo di cultura anglosassone e di riflesso europea, da Schilder nel 1974 (Box 4.1 e 4.2).

Schilder teorizzò alcuni concetti per realizzare un protocollo strumentale, basato sul massimo controllo in tutti i passaggi della tecnica, che potesse essere applicato in tutte le situazioni cliniche [13,14]. La sagomatura, detta anche *tecnica step-back*, secondo Schilder racchiude

#### Box 4.1 Requisiti meccanici della sagomatura secondo Schilder

- Mantenere l'anatomia iniziale, fattore chiave per ottenere il successo a lungo termine del trattamento endodontico.
- Sviluppare una sagomatura tronco-conica continua, come requisito fondamentale necessario per la successiva fase di riempimento tridimensionale dello spazio endodontico: infatti, con la tecnica di Schilder, per l'otturazione canalare si utilizza un cono di guttaperca con un sottile strato di cemento sigillante; il cono, reso plastico dall'apporto di calore, viene compattato con i *pluggers*, ottenendo una scomposizione delle forze verticali applicate in forze laterali che, sfruttando le caratteristiche idrauliche della guttaperca, resa plastica, e del cemento, permettono il riempimento tridimensionale dello spazio vuoto ottenuto con la sagomatura e la detersione; la tecnica offre il giusto controllo solo se la cavità è tronco-conica continua, priva di gradini e di irregolarità.
- Creare una preparazione più piccola apicalmente: la sagomatura, per essere funzionale alla tecnica, deve risultare, in ogni suo diametro trasverso, più piccola apicalmente per raggiungere una naturale forma di contenimento in senso apicale, pur considerando che i canali, come i denti, sono entità tridimensionali che non possono essere completamente standardizzati.
- Mantenere forma e dimensione del forame apicale per ottenere la migliore sagomatura possibile, utilizzando strumenti adeguati di dimensioni via via crescenti, cercando di comprendere la reale anatomia del forame apicale ed effettuando costantemente un'adeguata precurvatura degli strumenti, che devono interagire con il delicato settore del forame, le cui forma e posizione saranno mantenute solo con il controllo continuo della pervietà apicale.
- Mantenere il forame più piccolo possibile è un obiettivo necessario per offrire all'operatore un'otturazione più semplice; si cercherà di misurare, per quanto possibile, la dimensione del forame per poi sviluppare una sagomatura che permetta tutte le operazioni necessarie per completare la disinfezione e l'otturazione tridimensionale; risulta quindi evidente che un forame troppo piccolo non è adeguato alle necessità, mentre allargare un forame già praticabile non è necessario.

#### Box 4.2 Obiettivi biologici della sagomatura secondo Schilder

- Contenere la strumentazione all'interno del canale: non è necessario, infatti, sagomare il canale oltre la sua lunghezza, così come non è necessario allargare il forame qualora esso sia già praticabile. Vi è un'unica eccezione: portare uno strumento sottile oltre la lunghezza di lavoro per mantenere la pervietà del forame apicale.
- Evitare di spingere oltre il forame il materiale prodotto dalla sagomatura o già presente all'interno del canale, che può essere causa di infiammazione postoperatoria o di riattivazione dell'infezione; sarà quindi opportuno cercare di rimuovere dal canale il materiale presente all'interno, mantenendolo in sospensione con un'adeguata irrigazione, ed evitare di spingerlo meccanicamente oltre il forame.
- Rimuovere tutto il tessuto pulpare per ridurre il rischio di lasciare all'interno del canale materiale infetto o suscettibile di colonizzazione batterica in un tempo successivo.
- Detergere e sagomare i canali nella stessa seduta per evitare successive infezioni dei canali stessi.
- Creare uno spazio adeguato a contenere l'eventuale essudato per ridurre l'incidenza di dolori legati alla compressione diretta sui tessuti di sostegno del dente.

in sé alcuni concetti che sono rimasti inalterati negli anni fino a oggi: la pervietà apicale e la realizzazione di una corretta ed estesa cavità d'accesso (Figg. 4.124.126).

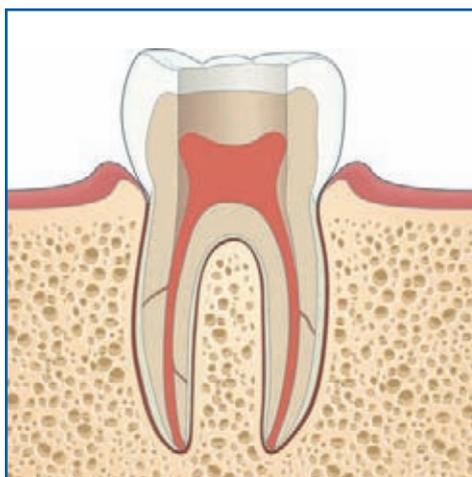
Per pervietà apicale Schilder intendeva l'assenza di ostruzioni a livello del forame apicale, per evitare la creazione accidentale di tappi di detriti compattati o false strade; veniva eseguita con strumenti sottili fatti scorrere al di fuori del canale per l'estensione necessaria a stabilire la pervietà stessa e l'assenza di gradini, normalmente 0,5-1 mm (Fig. 4.127).

L'adeguato ampliamento della cavità di accesso e il suo raccordo con l'imbocco e la parte più coronale del canale, realizzato con un uso importante delle frese di Gates Glidden, erano, secondo Schilder, determinanti ai fini della corretta esecuzione della sua tecnica di sagomatura.

La sagomatura secondo Schilder è stata una tecnica fortemente innovativa e più sicura rispetto al passato: i k-file, utilizzati a lunghezza di lavoro senza rotazione e con movimento di avanti e indietro, difficilmente possono fratturarsi o creare gradini; i reamer, usati passivamente in



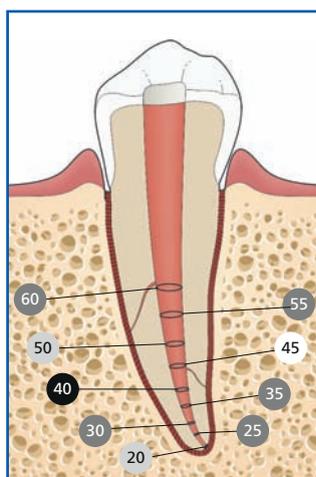
**Fig. 4.124** Schema di cavità d'accesso con interferenze coronali.



**Fig. 4.125** Schema di cavità d'accesso priva di interferenze coronali.



**Fig. 4.126** Cavità d'accesso: si evidenzia la visione di tutti gli imbocchi canalari.



**Fig. 4.127** Schema dei diametri canalari crescenti in direzione apico-coronale funzionali all'ottenimento della tronco-conicità.

rotazione continua e in uscita, sagomano rispettando l'anatomia senza accumulare stress nello strumento stesso, in quanto, sebbene lavorino ruotando in modo continuo, non ingaggiano mai il canale, combaciando con esso perfettamente (Fig. 4.128). Nella tecnica di Schilder, le frese di Gates Glidden trovano larga applicazione per realizzare l'estensione della cavità d'accesso. Esse devono essere utilizzate in modo passivo in uscita dal canale, con un movimento di pennellatura delle pareti, cercando di lavorare su di esse lontano dalle curvature canalari e dalla forzazione. La tecnica di sagomatura secondo Schilder viene spesso descritta come tecnica step-back in quanto prevede di misurare la lunghezza di lavoro per poi sagomare il canale principale solo dopo che si è avuta conferma della lunghezza di lavoro.

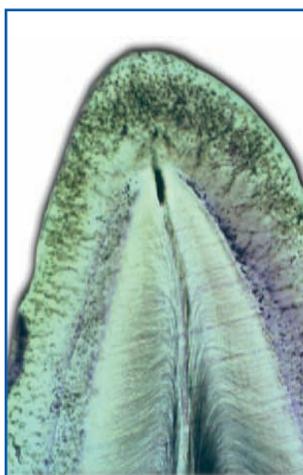
Questa tecnica è stata molto impiegata, con alcune variazioni, sino agli anni Novanta, quando, grazie all'apporto di numerosi autori, si è finalmente evoluta in una tecnica detta *crown-down* (corono-apicale), che sovverte molti insegnamenti tecnici di Schilder, pur non stravolgendone i principi fondanti.

Infatti, contemporaneamente a Schilder, e per questo a lui antitetico, Riitano, con la messa a punto della cosiddetta *tecnica tre tempi*, aveva descritto ampiamente i vantaggi di un approccio alla sagomatura dello spazio endodontico dalla parte coronale verso quella apicale, dividendo il trattamento canalare appunto in tre diverse zone operative e tre diversi tempi: (1) il primo tempo, ovvero la cavità d'accesso; (2) il secondo tempo, che prevede l'eliminazione delle interferenze coronali della parte media del dente, senza interagire con l'apice; (3) il terzo tempo, nel quale veniva presa la lunghezza di lavoro e definita la preparazione finale del canale principale, fino al cosiddetto *limite apicale* [15-17] (Fig. 4.129).

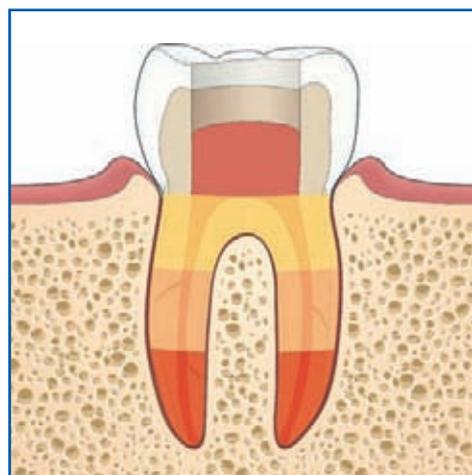
Storicamente, in ogni caso, la suddivisione in "terzi" dello spazio endocanalare (Fig. 4.130) era già stata proposta da Hall nel 1928, il quale consigliava l'opportunità di dividere in terzi



**Fig. 4.128** Sezione triangolare del file reamer e quadrata del k-file.



**Fig. 4.129** Sezione istologica apicale.



**Fig. 4.130** Divisione in terzi della radice: in giallo il terzo coronale, in arancione il terzo medio e in rosso il terzo apicale.

la parte radicolare del dente preso in considerazione, descrivendo quindi un terzo coronale, uno medio e infine un terzo apicale [18,19], schematizzazione adottata in seguito dalla scuola californiana. Anche Wilhelm Balters aveva individuato e pubblicato, nel 1933, una visione della strumentazione canalare con approccio corono-apicale a partire dall'accesso coronale. Con l'avvento dei clinici californiani, supportati da autori di scuola francese e recuperando alcuni passaggi delle sistematiche di strumentazione successive allo scritto di Schilder, la tecnica di approccio corono-radicolare è stata codificata [20-25].

La sagomatura si eseguiva, sempre con strumenti manuali in acciaio, solo dopo aver realizzato un'estesa cavità d'accesso, prima a livello del terzo coronale della radice, poi a livello del terzo medio e quindi a livello del terzo apicale. Questo processo di ampliamento precoce dell'endodonto aveva l'obiettivo di far giungere più facilmente sia gli irriganti, con un flusso corrente più rapido e abbondante, sia gli strumenti che, in un canale coronalmente più ampio, avrebbero mantenuto più facilmente la corretta morfologia del comparto endodontico nella zona del forame apicale. Una peculiarità non irrilevante della tecnica era quella nata dalla considerazione che, come è noto, la patologia pulpare procede normalmente in senso corono-apicale e, per conseguenza, anche le eventuali restrizioni e gli impedimenti di origine infiammatoria presenti nel canale radicolare sarebbero stati maggiori a livello del terzo coronale e medio. Infine, nelle zone vicine al forame radicolare gli strumenti sarebbero giunti senza trasportare detriti infetti, responsabili di problematiche postoperatorie a breve e lunga distanza [26-28]. Come ricordato in precedenza in questo breve excursus di carattere storico, le tecniche di uso degli strumenti in acciaio manuali e rotanti subivano continue evoluzioni e in tale senso lo sviluppo della tecnica delle "forze bilanciate", descritta da Roane nel 1998, si inserisce a buon diritto. Gli strumenti manuali impiegati nelle varie tecniche avevano dimostrato alcuni difetti nelle fasi di sagomatura, per la loro rigidità intrinseca e per la particolare morfologia della punta; gli stessi movimenti di alesatura erano forieri di errori, che compromettevano la regolarità della morfologia canalare dopo il trattamento. Gli strumenti in acciaio proposti da Roane (vedi Capitolo 3) e la modalità di rotazione oraria-antioraria proposta durante le manovre di sagomatura portarono a un sensibile miglioramento delle morfologie conferite ai canali radicolari durante le fasi della strumentazione: infatti, il movimento antiorario, bilanciando la forza di raddrizzamento dello strumento con l'opposizione di una forza verticale, si esplicava in un lavoro espresso prevalentemente sulla parete esterna della curvatura del canale, preservando il tessuto all'interno della curva. Le tecniche dovevano essere portate a termine con lo strumento a lunghezza di lavoro per evitare di creare gradini [29].

La cosiddetta *tecnica delle forze bilanciate* si realizzava in tre principali azioni:

- si portava lo strumento nel canale, che veniva ingaggiato con una piccola rotazione oraria fino a che lo strumento non urtava contro le pareti;
- si operava la fase di sagomatura facendo ruotare lo strumento in senso antiorario per circa 180°, cercando di mantenerlo contemporaneamente nella stessa posizione imprimendo una decisa pressione verticale per bilanciare la sua spinta a uscire dal canale, determinata dall'orientamento delle spire;
- si rimuovevano i detriti accumulati tra le spire ruotando ed estraendo lo strumento con un movimento in senso orario, per raccogliere fuori dal canale il materiale nocivo.

La tecnica delle forze bilanciate, piuttosto sofisticata e di non facile applicazione, offriva indubbi vantaggi se eseguita correttamente ed era applicabile in molte situazioni cliniche [30,31].

Tale movimento dello strumento endodontico in acciaio può essere tutt'ora utilizzato come utile compendio all'interno di tecniche strumentali differenti e conserva la sua modernità essendo applicabile, in alcune situazioni, anche alle attuali tecniche di sagomatura con strumenti rotanti in nichel-titanio (Ni-Ti).

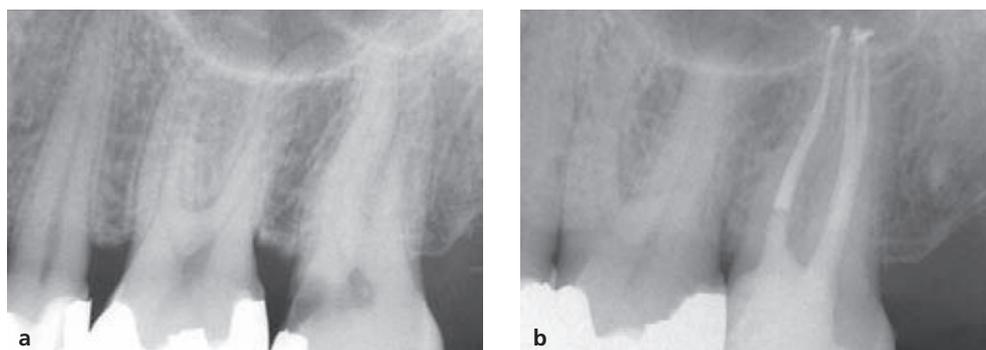
## Sagomatura canalare: concetti generali attuali

### Fasi preliminari

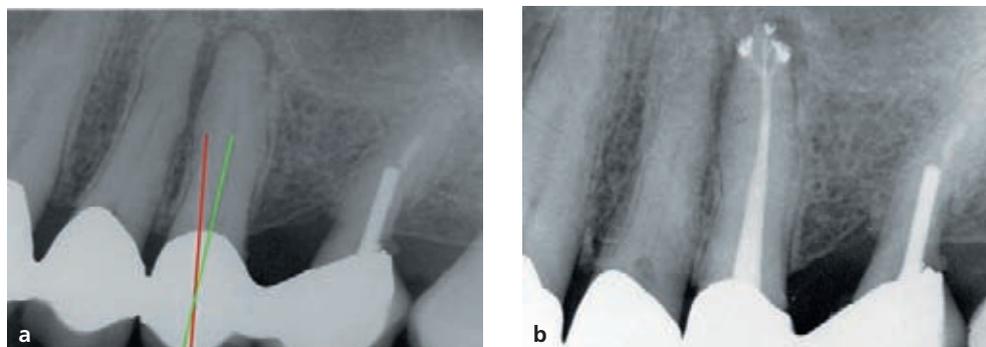
La fase preoperatoria del trattamento endodontico è di fondamentale importanza ai fini del successo del trattamento stesso. È condotta con l'ausilio di una radiografia e in seguito a un'attenta osservazione dell'elemento dentale all'interno del cavo orale.

L'osservazione intraorale fornisce informazioni molto importanti ai fini dell'economia stessa del trattamento endodontico e dei prevedibili risultati (Fig. 4.131):

- le caratteristiche generali del paziente, quali una limitata apertura della bocca o la presenza di strutture anatomiche invadenti (per esempio, una lingua ipertrofica);
- le condizioni generali della corona clinica, quali la presenza di processi cariosi e/o precedenti restauri, una struttura residua, l'eventuale esposizione della camera pulpare, la presenza di fratture o linee di cracking;
- la presenza di inclinazioni anomale dell'elemento da trattare o degli elementi contigui, che possono interferire con numerose fasi del trattamento, *in primis* con il posizionamento corretto della diga;
- la presenza di coperture protesiche preesistenti che, oltre a costituire una significativa interferenza, possono trarre in inganno l'operatore nei casi in cui sia stata modificata l'inclinazione della corona clinica rispetto all'orientamento naturale, ovviamente rimasto inalterato, e della radice sottostante (Fig. 4.132).



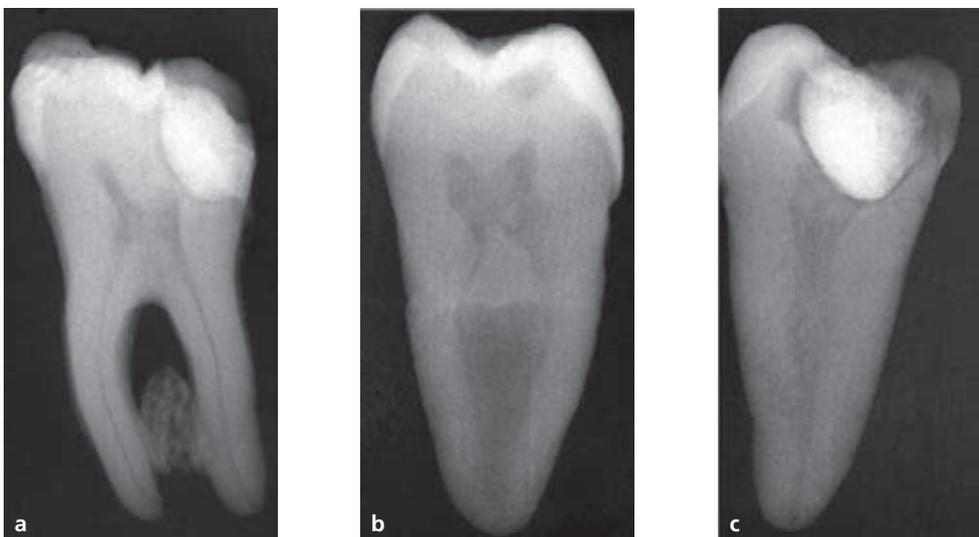
**Fig. 4.131** Trattamento canalare in 2.7 con canali particolarmente lunghi. **(a)** Radiografia preoperatoria. **(b)** Radiografia postoperatoria.



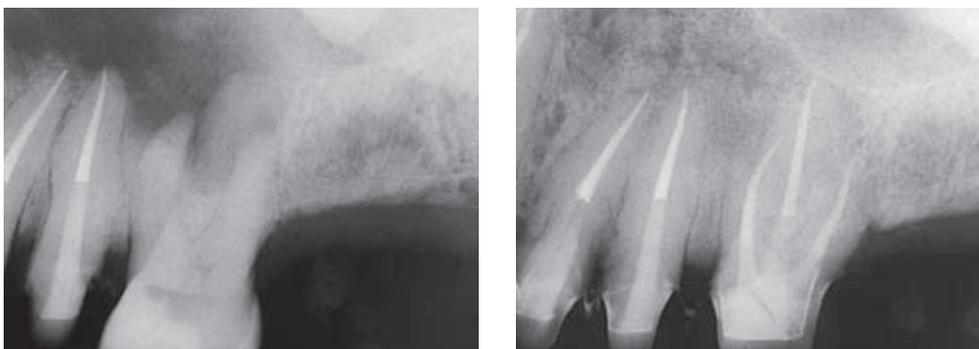
**Fig. 4.132** **(a)** Immagine radiografica di un caso in cui la corona clinica protesica ha un orientamento (*linea rossa*) differente da quello naturale della radice (*linea verde*). Nelle fasi di apertura della camera pulpare è quindi necessario tener conto di questi parametri. **(b)** Radiografia postoperatoria.

L'osservazione della radiografia, invece, comprende un accurato esame della morfologia ossea, di quella parodontale e l'analisi più prettamente endodontica. Quest'ultima prevede la verifica che la camera pulpare ma soprattutto lo spazio endodontico siano pervi, l'analisi della lunghezza complessiva del dente e la valutazione delle curvature radicolari presenti [32] (Figg. 4.133 e 4.134).

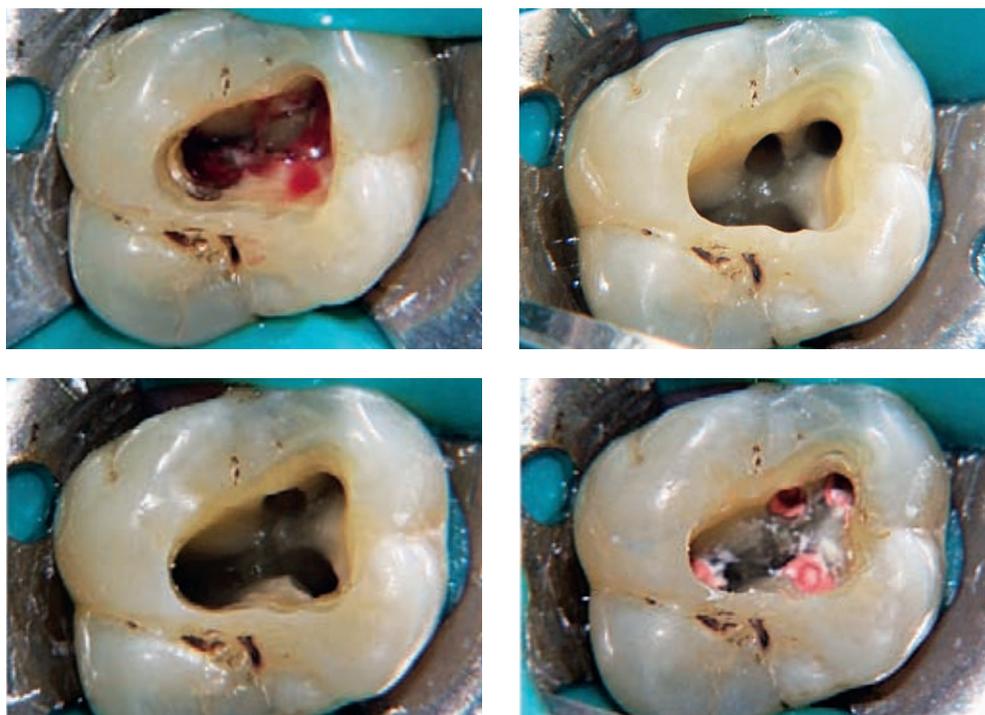
La corretta apertura della camera pulpare, pur rispettosa delle residue strutture dentali, deve assicurare la facile identificazione di tutti gli imbocchi canalari e la rimozione di tutte le interferenze primarie, che possano impedire un adeguato e rettilineo accesso ai canali (Fig. 4.135). In questa fase è di fondamentale importanza aiutarsi nella visione con sistemi di ingrandimento ottico o, meglio, con un microscopio operatorio che garantisce anche una perfetta illuminazione del campo di osservazione [33,34] (Figg. 4.135 e 4.136). In presenza di ampie distruzioni coronali si deve procedere a una ricostruzione preendodontica per ottenere il facile posizionamento della diga, l'isolamento del campo operatorio da infiltrazioni e contaminazioni indesiderate e un adeguato bacino, per contenere un sufficiente volume di irriganti che assicurino efficaci azioni di lubrificazione, di veicolazione dei detriti, di detersione e di disinfezione [35] (Fig. 4.137).



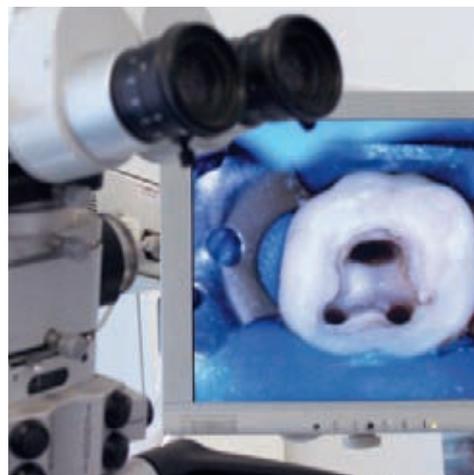
**Fig. 4.133** Molare inferiore: l'immagine radiografica con proiezione tradizionale (a) e le immagini delle singole radici dopo sezione; la mesiale (b) e la distale (c), sono viste in proiezione mesio-distale.



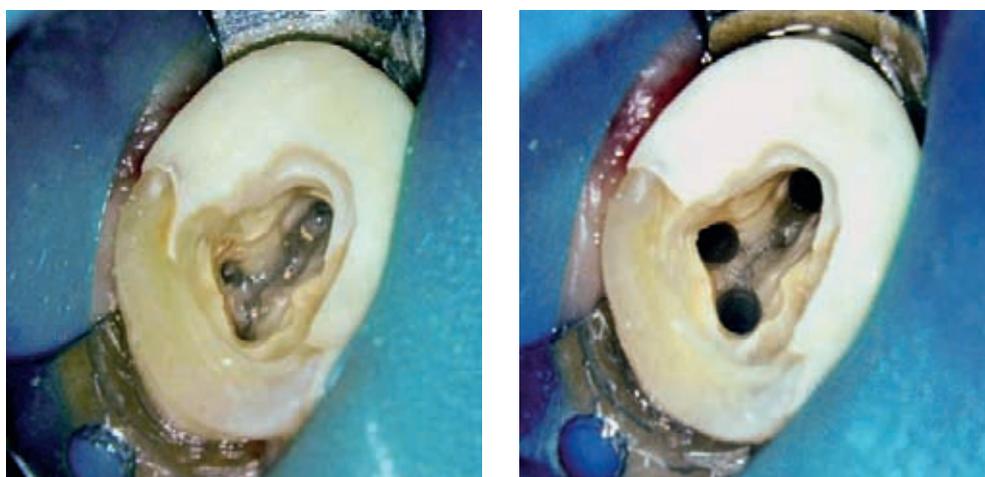
**Fig. 4.134** Ripristino morfofunzionale di 2.4, 2.5, 2.6.



**Fig. 4.135** La sequenza di immagini mostra una corretta esecuzione dell'apertura della cavità di accesso, rispettosa delle strutture anatomiche ma funzionale a un accesso non forzato degli strumenti endodontici e alle tecniche di otturazione canalare.



**Fig. 4.136** L'uso del microscopio operatorio nelle fasi di apertura e rifinitura della cavità di accesso assicura una visione ottimale di tutti i particolari.



**Fig. 4.137** La ricostruzione pre-endodontica ripristina le strutture perimetrali, consente un ottimo isolamento del campo e il posizionamento della diga, facilita le operazioni di strumentazione e, soprattutto, di detersione e disinfezione del volume endodontico.

## Anatomia e clinica

I moderni concetti clinici di sagomatura endodontica sono basati sul presupposto della conservazione dell'anatomia, sia nella porzione radicolare del canale sia, soprattutto, nella sua porzione apicale [36-39].

La conservazione di tutte le curvature presenti nel canale prima della strumentazione è attualmente considerata un obiettivo primario del trattamento endodontico, in quanto è indice del necessario rispetto del rapporto fra le strutture radicolari e quelle limitrofe e costituisce, oltre al primario risultato funzionale, anche un importante parametro visivo nella valutazione "estetica" della qualità del trattamento.

La valutazione funzionale del mantenimento delle curvature si basa sul rispetto ottenuto delle anatomie originarie come presupposto di un'azione conservativa delle procedure di strumentazione. Questo concetto è di fondamentale importanza per il conseguimento del successo a lungo termine del trattamento endodontico [40] (Fig. 4.138).

Per progettare e quindi eseguire una corretta strumentazione endodontica, risulta quindi irrinunciabile un attento esame della radiografia periapicale, analogica o digitale, dell'elemento dentale interessato, eseguita con una tecnica radiologica corretta e con l'uso di centratori endodontici che assicurano una ripetibilità dell'esame nelle diverse fasi del trattamento. In alcune situazioni, potrebbe essere opportuno effettuare ulteriori esami radiologici, cambiando l'angolo di proiezione dei raggi X, al fine di evidenziare particolari importanti. In casi particolarmente complessi si è recentemente affermato l'uso della radiologia volumetrica attraverso le apparecchiature TC *cone beam* (tomografia computerizzata a fascio conico) [41]. Questa tecnologia permette di ricostruire tridimensionalmente il volume indagato onde evidenziare particolari anatomici sia endodontici sia periradicolari, esiti di traumi o patologie che non potrebbero essere completamente visibili in una tradizionale indagine radiografica bidimensionale [42-45]. L'analisi delle radiografie preoperatorie deve naturalmente essere integrata da un'attenta osservazione clinica per poter essere sfruttata appieno: è quindi necessario, prima di iniziare un trattamento endodontico, alternare l'osservazione dei particolari "in bianco e nero" e di quelli "a colori".

La completa valutazione visiva, unita alle necessarie conoscenze dell'anatomia endodontica e all'esperienza, permetterà al clinico di costruire mentalmente un modello tridimensionale dell'elemento dentale e quindi di anticipare i problemi e le difficoltà che dovrà affrontare, limitando i rischi intrinseci alla strumentazione e aumentando le percentuali di successo.

Questo processo mentale è particolarmente importante perché la radiografia tradizionale (consueto metodo di indagine) mostra un'immagine in sole due dimensioni; l'osservazione clinica può dare altre utili informazioni sulla tridimensionalità della struttura dentale, ma solo attraverso l'integrazione dell'osservazione con le conoscenze è possibile collegare tutti i dati. Per esempio, nella valutazione di un molare inferiore, che presenta radiograficamente accentuate curvature delle radici mesiali in senso mesio-distale, deve essere inserito il dato che molto fre-

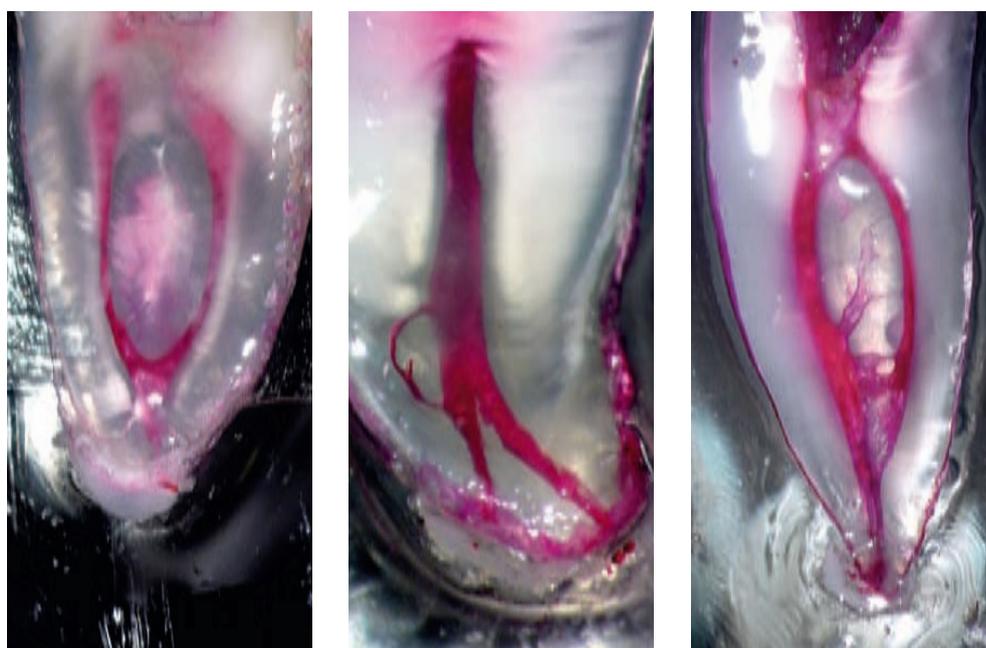


**Fig. 4.138** Ripristino morfofunzionale (a) e controllo a distanza di 1.4 e 1.6 (b).

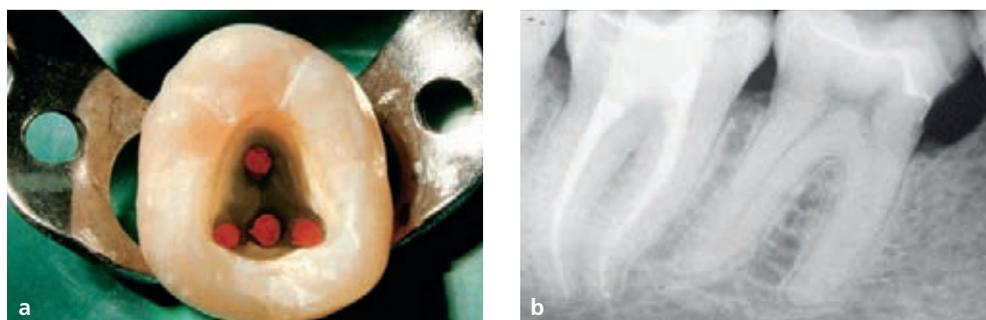
quentemente queste tendono a convergere, in direzione corono-apicale, l'una verso l'altra: quella vestibolare in direzione linguale e quella linguale in direzione vestibolare, spesso confluendo in un unico canale nel terzo apicale. Semplificando, il risultato diagnostico da ipotizzare, per ciascuna radice, sarà una curvatura nel terzo medio del canale in senso mesio-distale più una curvatura nella zona mesio-apicale in senso vestibolo-linguale (o linguo-vestibolare) e un'altra curvatura, in senso opposto e per ciascuna radice, nella zona di confluenza dei canali (Fig. 4.139).

La somma delle curvature porta il loro numero totale ad almeno tre nelle tre direzioni dello spazio, ma potrebbero essere di più se si considerano alcune zone di passaggio intermedio (Fig. 4.140). Se si applica una valutazione ragionata degli effetti della strumentazione in canali come questi, si ottiene un'importante mappatura delle aree pericolose nelle quali si avrà un elevato rischio di gravi o, spesso, irreversibili alterazioni dell'anatomia canalare.

L'apertura della camera pulpare, quando non viene correttamente eseguita, determina interferenze primarie [46] che possono, da un lato, generare un maggior affaticamento degli strumenti canalari rotanti, e dall'altro far compiere agli strumenti stessi percorsi scorretti che si tradurrebbero in una deformazione delle strutture anatomiche intracanalari (vedi in precedenza, *Morfologia dentale e accesso allo spazio endodontico*).



**Fig. 4.139** Sezioni istologiche su denti trasparenti: si notano le ramificazioni canalari.



**Fig. 4.140** In presenza di anatomie complesse, un'adeguata visione del pavimento della camera pulpare aiuta a reperire tutti gli imbocchi canalari (a). In questo caso, nonostante la presenza di curvature multiple, alcune delle quali con ridotto raggio di curvatura, è stata eseguita una strumentazione con conicità .06 sino al terzo apicale (b).

Tutte queste conseguenze, facilmente evitabili con l'esecuzione corretta delle fasi di accesso primario, sono spesso causa di gravi danni anatomici e/o di frattura degli strumenti. In simili casi, si può parlare francamente di errore dell'operatore che ha avuto troppa fretta di iniziare la strumentazione endodontica, dimenticando di assicurarsi di avere un accesso ai canali rettilineo e adeguatamente ampio con una procedura tanto semplice e veloce quanto fondamentale.

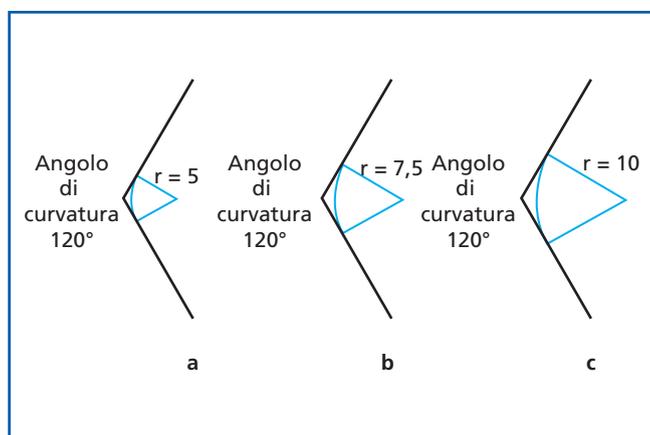
## Sistemi di analisi delle curvature

Il problema dell'analisi e della determinazione della severità delle curvature radicolari e quindi canalari è stato ampiamente dibattuto in letteratura e le relative classificazioni si sono basate su osservazioni anatomiche e radiografiche, misurazioni geometriche e analisi matematiche [47-56]. I vari tipi di analisi proposti sono basati su indagini bidimensionali [57-63] e su analisi multidimensionali [64-74].

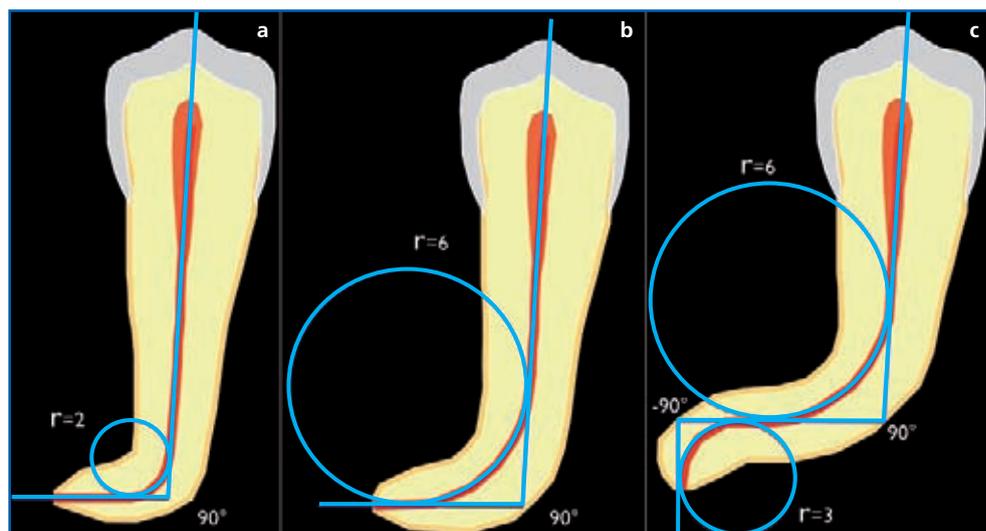
Quando si parla di curvature in un piano bidimensionale, come quelle viste per esempio su un disegno o una radiografia per determinarne la severità, si devono considerare due parametri:

- *angolo di curvatura*: convenzionalmente si intende l'angolo formato dalle linee d'asse del canale radicolare prima e dopo la curvatura;
- *raggio di curvatura*: raggio della curva che raccorda le due linee d'asse del canale radicolare.

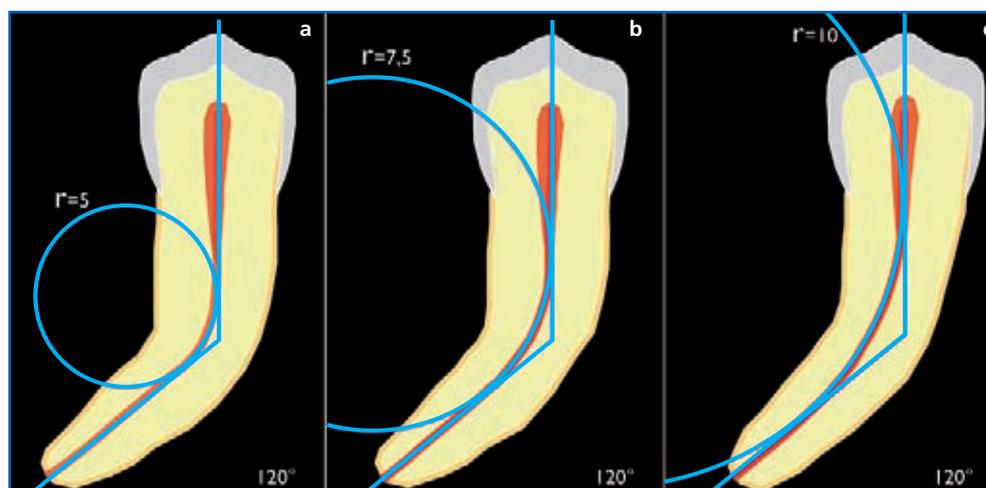
Considerare insieme questi due valori è importante perché il solo angolo di curvatura non può identificare la reale difficoltà della curva se non si considera insieme il suo raggio di curvatura. Si immagini che la curva sia semplicemente un raccordo fra due linee che, se proseguissero, si interseccherebbero in un punto con un dato angolo. Di conseguenza, curve fra linee intersecantisi con il medesimo angolo possono avere raggi di curvatura completamente diversi ed essere quindi più o meno severe (Figg. 4.141 e 4.142). Geometricamente la curvatura si esprime come  $1/r$ , cioè come l'inverso del suo raggio. Di conseguenza, minore è il raggio, maggiore – cioè più severa – sarà la curvatura. Al contrario, una curvatura minore – cioè più morbida – fra due linee incidenti anche con lo stesso angolo avrà un raggio maggiore (Fig. 4.143). Un altro importante dato da tenere in considerazione è la frequente presenza di curvature multiple anche sullo stesso piano dimensionale.



**Fig. 4.141** Il disegno dimostra che ad angoli di curvatura uguali (120°) possono corrispondere raggi di curvatura molto diversi. Minore è il raggio di curvatura, più brusco è il cambio di direzione e quindi più critica sarà la curvatura ai fini delle difficoltà di strumentazione e delle sollecitazioni applicate agli strumenti.



**Fig. 4.142** I disegni (a) e (b) presentano un angolo di curvatura uguale e pari a  $90^\circ$ . L'andamento dei canali e quindi il grado di difficoltà della strumentazione sono però visibilmente molto diversi. Questo è dato dal differente raggio di curvatura: (a) presenta infatti una curvatura di  $90^\circ$  con raggio molto piccolo, quindi la curva risultante è brusca, stretta ed estremamente rischiosa; (b) ha sempre una curvatura di  $90^\circ$  ma con raggio molto più grande, quindi la curva risultante è molto più morbida, larga, facilmente percorribile e, in definitiva, molto più facile ai fini della strumentazione, (c) Presenta invece due curvature canalari sempre di  $90^\circ$  ma di segno opposto: prese singolarmente la prima è più facile (*raggio grande*), la seconda è più difficile (*raggio piccolo*), ma considerate insieme rappresentano una situazione estremamente difficile da affrontare, che richiede quindi molta prudenza.



**Fig. 4.143** Le tre immagini della figura rappresentano tre radici apparentemente molto simili: infatti l'angolo di curvatura canalare è in tutte di  $120^\circ$ . In (a) il raggio di curvatura è però piccolo e quindi la curva è più stretta e difficile; in (b) il raggio è più grande (infatti il cerchio risultante è solo parzialmente visibile nel disegno) e quindi la curva è più morbida e meno critica; in (c) il raggio è molto grande (infatti il cerchio risultante si estende ampiamente fuori dal disegno) e quindi la curva, ai fini della strumentazione, è veramente facile e potrebbe quasi essere assimilata a una retta. Si deve tenere sempre presente, però, che i disegni, come le immagini radiografiche, rappresentano solo due piani dello spazio e che, quindi, queste radici, immaginate tridimensionalmente, potrebbero avere altre curve, con angoli e raggi di curvatura differenti, su altri piani dello spazio, elevando il loro grado di difficoltà ai fini della sagomatura strumentale.

Quando invece si parla di curvature multidimensionali, come si riscontra frequentemente nella realtà anatomica, si deve considerare che, clinicamente, è possibile conoscerle realmente solo attraverso sistemi di indagine radiografica tridimensionale. Questo profilo del canale, che può essere definito elicoidale, presenta più curvature orientate su diversi piani dello spazio, rappresenta una notevole difficoltà per l'operatore e costituisce un severo impegno strutturale per gli strumenti usati per la sua sagomatura [75].

## Lunghezza di lavoro

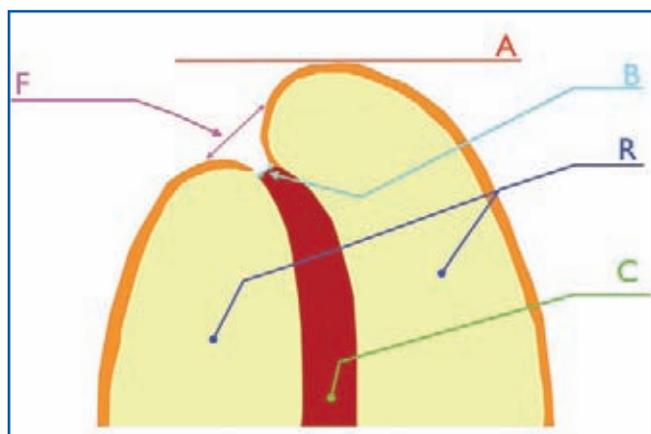
### Limite apicale e concetto di lunghezza di lavoro variabile

Secondo la terminologia approvata dall'American Association of Endodontists [76] si definiscono come (Fig. 4.144):

- *apice anatomico*, il vertice geometrico della radice, determinato morfologicamente;
- *apice radiografico*, l'apice anatomico visualizzato in radiografia;
- *forame apicale*, l'apertura del canale radicolare sulla superficie esterna della radice che non necessariamente coincide con l'apice anatomico, in quanto dipende dalla curvatura apicale del canale all'interno della radice.

Esiste un consenso generale sul fatto che il trattamento endodontico dovrebbe essere effettuato all'interno dei confini del canale radicolare. La costrizione apicale è indicata come confine anatomico [77,78]. Tale confine è descritto istologicamente come il passaggio tra dentina intraradicolare e cemento extraradicolare (Figg. 4.144 e 4.145); spesso questo confine ha connotazioni non uniformi, sia per variazioni anatomiche sia per modificazioni legate agli eventi patologici che si sono verificati attorno ai tessuti di sostegno dell'elemento dentale. Non esiste consenso sulla determinazione reale di questo limite e diversi autori hanno proposto metodi clinici, istologici, statistici e radiografici [79-83].

Dal punto di vista clinico, ciascuna delle varie metodiche proposte si rivela singolarmente inefficace a evidenziare questo confine e ciò rende la scelta del limite apicale assai empirica e, in pratica, la risultante di un processo di analisi multifattoriale basato su una serie di osservazioni e di misurazioni che possono rendere questo processo il meno fallace possibile.



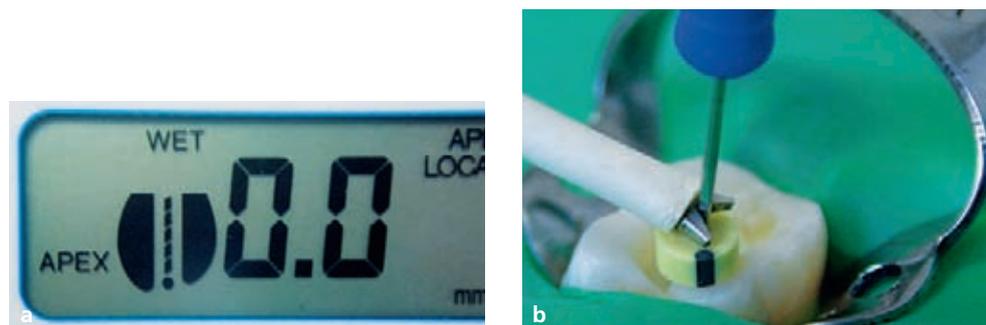
**Fig. 4.144** Disegno schematico dell'area apicale. A, apice radiografico; B, costrizione apicale; C, canale radicolare; F, forame apicale; R, pareti radicolari.



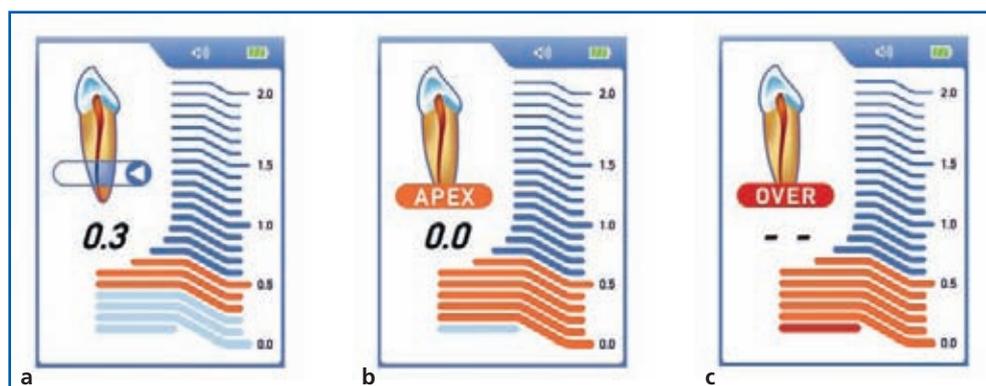
**Fig. 4.145** Sezione anatomica apicale: comparandola con il disegno schematico di Figura 4.144, si nota la difficoltà a distinguere le diverse componenti.

Come spesso accade in endodonzia, la tecnologia assume una significativa importanza nella pratica clinica: il rilevatore elettronico d'apice permette, infatti, di introdurre il concetto di apice elettronico che, completando e integrando i concetti di apice anatomico e radiografico, consente al clinico di ottenere risultati affidabili.

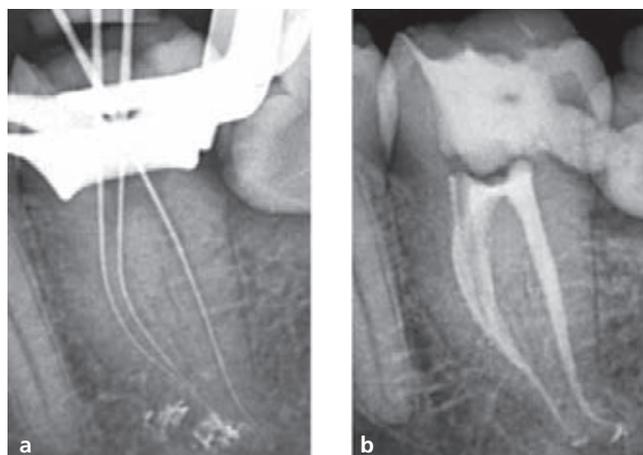
Si può, quindi, affermare che attualmente si dispone, oltre che della sensibilità clinica, di due metodologie strumentali sinergiche per la misurazione della lunghezza di lavoro: quella elettronica (Figg. 4.146 e 4.147) e quella visiva, attraverso l'osservazione della radiografia con strumenti endodontici inseriti nel canale radicolare (Fig. 4.148).



**Fig. 4.146** (a) La lettura elettronica indica che l'apice dello strumento è all'apice elettronico. (b) Lo strumento è il più possibile rettilineo rispetto all'asse del canale. Effettuata la misurazione elettronica, si posiziona lo stop in gomma dello strumento contro un punto di repere sicuro; la tacca disegnata sullo stop, orientata rispetto all'asse della precurvatura applicata allo strumento, permette spesso di correlarla tridimensionalmente con la curvatura del canale.



**Fig. 4.147** In molti rilevatori apicali – nelle figure in esempio da (a) a (c) – vengono indicati la distanza dall'apice (non sempre attendibile secondo la bibliografia), il raggiungimento dell'apice elettronico e il suo superamento.



**Fig. 4.148** (a) Radiografia intraoperatoria, effettuata con una proiezione disto-mesiale che evidenzia il design dei canali e suggerisce la confluenza dei canali mesiali, poi confermata clinicamente. (b) Radiografia postoperatoria.

Fermo restando che la determinazione iniziale della lunghezza di lavoro deve essere eseguita preliminarmente alla completa strumentazione canalare, il concetto base che l'operatore deve sempre tenere presente è che la lunghezza di lavoro non è un valore invariabile, ma che, al contrario, si modifica – generalmente in termini riduttivi rispetto a quello iniziale – durante le varie fasi della sagomatura, che tendono, anche se in misura ridotta rispetto al passato, a ridurre i vari gradi di curvatura del canale, accorciando di fatto la lunghezza di lavoro reale. Da questo importante assioma derivano tre indicazioni pratiche:

- è importante eliminare precocemente tutte le interferenze coronali e, per quanto possibile, quelle nell'area di imbocco canalare per almeno 2-3 mm in direzione apicale, in modo che lo strumento possa essere inserito nella maniera più rettilinea possibile e che, quindi, anche la misurazione iniziale della lunghezza sia più precisa e soggetta a variazioni meno significative;
- è necessario ripetere la misurazione elettronica della lunghezza di lavoro durante le fasi della strumentazione e in particolare prima di eseguire la sagomatura finale del terzo apicale;
- è consigliabile non portare mai in apice strumenti a conicità aumentata senza aver aggiornato la lunghezza di lavoro, per evitare di alterarne irrimediabilmente il diametro e la forma.

### Determinazione elettronica

Già nel 1916 era presente in letteratura un lavoro scientifico che proponeva di utilizzare la corrente elettrica per determinare la lunghezza di lavoro [84]; studi teorici successivi hanno permesso la realizzazione dei primi localizzatori elettronici dell'apice [85,86]. Attraverso una continua evoluzione, si dispone oggi di strumenti precisi e affidabili in un'altissima percentuale di casi [87].

I rilevatori elettronici d'apice (ERCLMD, Electronic Root Canal Length Measurement Devices) rappresentano uno strumento utile per individuare, anche se indirettamente, il limite apicale più adatto per il trattamento canalare. Il principio su cui si basa la maggior parte dei localizzatori d'apice è che i tessuti umani hanno determinate caratteristiche, schematizzabili per mezzo di una combinazione di componenti elettrici. Misurando le proprietà elettriche del modello di circuito equivalente (per esempio, resistenza e impedenza) è possibile rilevare il limite apicale del canale, tenendo presente che esistono variabili, come per esempio il diametro apicale, che possono influenzare la precisione dello strumento [88].

La maggior parte dei localizzatori d'apice moderni è capace individuare il punto in cui si trovano i tessuti del legamento parodontale, esternamente al canale radicolare. Molti studi suggeriscono che dovrebbero essere sottratti 0,5 mm dalla lunghezza del file quando il dispositivo suggerisce che si è raggiunto il contatto con il legamento parodontale (lettura zero). Ciò non significa che la costrizione sia stata individuata ma che lo strumento è all'interno del canale e vicino al legamento parodontale [89]. Non è opportuno fidarsi in modo assoluto delle misurazioni millimetriche di distanza dal forame, poiché questo valore può essere inesatto [90].

Gli strumenti che misuravano valori di resistenza erano negativamente influenzati dalla presenza di soluzioni conduttive nei canali. Questa era una situazione ben definita di interferenza, la si poteva riconoscere clinicamente e la si poteva evitare ripulendo e asciugando i canali. Gli strumenti che valutano capacitance e che impiegano alte frequenze sono invece molto sensibili a interferenze assai più complesse, che hanno spesso a che fare con la geometria del sistema e si verificano in circostanze assai più imprevedibili. L'affidabilità generale di questi strumenti anche in presenza di differenti irriganti è però documentata da numerosi lavori [91,92].

Il diametro reale dell'apice, in particolare se superiore a 0,7 mm, influisce negativamente sulla precisione dei rilevatori apicali. Questa deficienza può essere parzialmente compensata

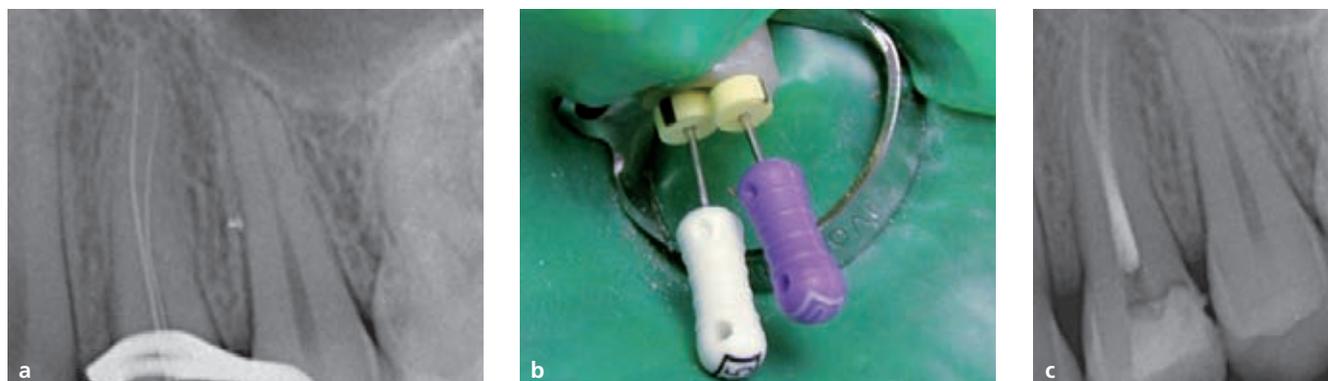
utilizzando, per la lettura, strumenti di dimensioni apicali il più vicino possibile a quelle del diametro apicale presente [93,94].

L'allargamento precoce del terzo medio del canale e le procedure di prestrumentazione influiscono positivamente sulla precisione nella determinazione della lunghezza di lavoro [95]. La conoscenza dell'anatomia della regione apicale, l'uso prudente del mezzo radiografico e l'impiego corretto e ragionato della localizzazione elettronica vanno combinati per ottenere risultati prevedibili [96].

### Determinazione visiva

Spesso l'eccellenza si ottiene attraverso le sinergie di fattori diversi che moltiplicano geometricamente il proprio valore. L'uso combinato del misuratore elettronico e della radiografia intraoperatoria con strumenti inseriti nel canale per la determinazione della lunghezza di lavoro iniziale (Fig. 4.149) presenta infatti diversi vantaggi.

- Il misuratore elettronico consente di portare con buona precisione uno strumento nell'area apicale, riducendo la necessità di ripetere l'esame radiografico [97]; un errore di 2 mm, sia esso in eccesso o in difetto, nella posizione dello strumento rispetto all'apice radiografico rende l'esame inaffidabile, a causa delle distorsioni che si creano nella trasposizione di un volume tridimensionale anatomico in un'immagine bidimensionale come quella radiografica; per esempio, uno strumento che è oltre l'apice di 2 mm potrebbe in realtà essersi curvato in asse con la linea di osservazione ed essere in realtà oltre l'apice di 3 mm o più.
- In presenza di apici alterati, il rilevatore apicale permette di portare con maggiore sicurezza all'apice strumenti di diametro apicale maggiore e più adatto a impegnarlo, riducendo il rischio che, durante l'esecuzione della radiografia, lo strumento possa essere spinto oltre l'apice.
- La prima radiografia intraoperatoria, oltre a confermare visivamente la lunghezza di lavoro, evidenzia perfettamente l'anatomia endodontica, seguendo la linea delle curvature percorse dallo strumento inserito nel canale; inoltre, la posizione anomala dello strumento rispetto all'anatomia canalare può segnalare la presenza di un canale accessorio o di una biforcazione nel terzo apicale [98].
- L'utilizzo della TC *cone beam* nella determinazione della lunghezza di lavoro in casi complessi sembra poter dare ottimi risultati ed è probabile che in futuro la diffusione e la semplificazione della tecnica possano consentire un suo reale utilizzo clinico [99].
- Il ripetuto controllo elettronico durante la strumentazione consente di modificare la lunghezza di lavoro sulla base delle variazioni determinate dalla sagomatura e di preparare quindi il terzo apicale in maniera ottimale.



**Fig. 4.149** (a,b) L'inserimento di strumenti diversi, per tipo o misura, facilita la successiva lettura della radiografia intraoperatoria. (c) Radiografia postoperatoria.

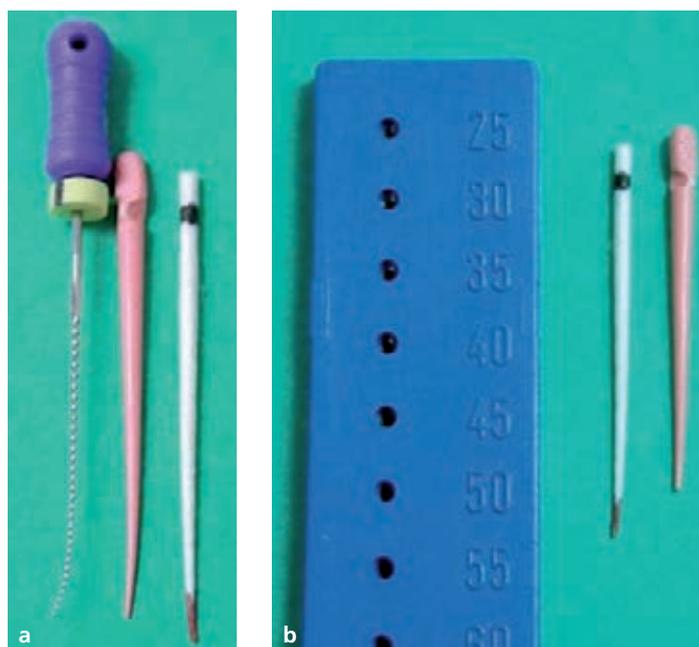
- La radiografia per il controllo dei coni master o dei verificatori permette di verificarne il corretto alloggiamento nell'intera lunghezza di lavoro e, soprattutto, nel terzo apicale. Se in questa fase dovesse presentarsi un inatteso e difficilmente controllabile sanguinamento, possibile conseguenza di un'errata valutazione della lunghezza di lavoro, è possibile controllarlo empiricamente, asciugando prima il canale con coni di carta assorbente a una lunghezza di lavoro ridotta, e quindi inserendone altri che invece arrivino alla profondità predeterminata. In alcuni casi, questi coni di carta saranno asciutti sino a un certo limite e presenteranno invece una piccola parte apicale umida o imbevuta di sangue. Questo indica la parte di cono di carta che si spinge oltre l'apice e la sua misurazione identifica la necessaria misura della decurtazione del cono master di guttaperca per mantenerlo all'interno del canale. Per essere ragionevolmente certi è opportuno ripetere la procedura e, infine, eseguire una nuova radiografia di controllo, prima di procedere all'otturazione del canale [100-102] (Fig. 4.150).

Il controllo radiografico del trattamento endodontico completato rappresenta il suo passo finale ed è un importante mezzo di paragone, insieme con i controlli a distanza, nella valutazione del successo a breve e lungo termine [103,104].

## Concetto di conicità continua

La sagomatura canalare rappresenta, nell'endodonzia moderna, una fase molto importante attraverso cui l'operatore consegue una serie di risultati che gli permetteranno di porre le basi del successo del trattamento:

- la rimozione primaria dei tessuti pulpari e delle interferenze canalari [105];
- la facilità di accesso all'area apicale, presupposto per la sua rifinitura efficace e non invasiva;
- l'adeguatezza delle procedure di irrigazione per ottenere buoni livelli di detersione e disinfezione dei volumi endodontici [106-109];



**Fig. 4.150** (a) File con cui si è determinata la lunghezza di lavoro e relativo cono master di pari lunghezza. In presenza di sanguinamento, si asciuga il canale e quindi si inserisce un nuovo cono di carta assorbente della lunghezza di lavoro precedentemente stimata. La parte di cono presumibilmente oltre l'apice sarà segnalata dalla presenza di fluidi. È opportuno ripetere più volte la manovra per maggiore sicurezza. (b) Si procede all'accorciamento del cono master con l'aiuto di una filiera e si esegue quindi una nuova radiografia di controllo.

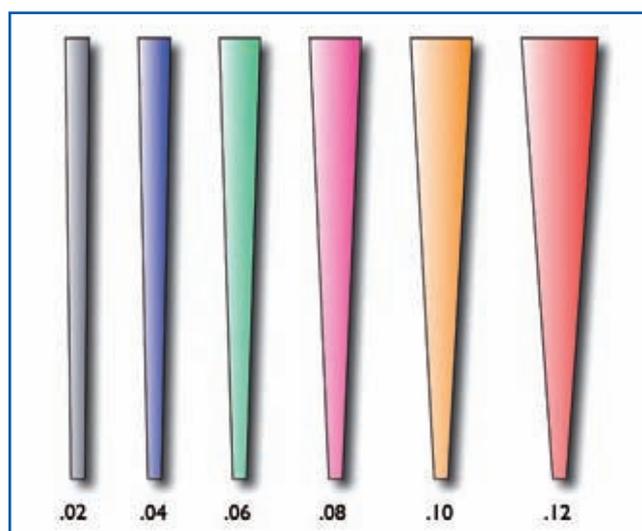
- il controllo della densità e della stabilità del riempimento endodontico limitando il rischio di dislocamento apicale durante le fasi di otturazione e aumentando le caratteristiche di tridimensionalità che influiscono pesantemente sulla qualità del sigillo [110].

La sagomatura realizzata con strumenti in acciaio a conicità .02 presupponeva l'uso di un elevato numero di strumenti manuali di diametro apicale crescente, utilizzati a lunghezze di lavoro decrescenti, e di alcuni strumenti rotanti, sempre in acciaio, il cui impiego era limitato al terzo coronale del canale. Questa procedura, nonostante la sua precisa schematizzazione, era estremamente dipendente dalle caratteristiche dell'operatore, che imprimeva una notevole personalizzazione al risultato finale. Inoltre, le caratteristiche stesse degli strumenti utilizzati potevano influire pesantemente sulla conservazione dell'anatomia radicolare, particolarmente nelle aree a rischio come quelle vicine alla forcazione e all'apice radicolare. La tronco-conicità finale era ottenuta attraverso numerosi passaggi di strumenti molto diversi fra loro per capacità di taglio e, soprattutto, flessibilità, introducendo un'ulteriore variabile negativa.

La sagomatura realizzata con strumenti rotanti in Ni-Ti a conicità aumentata, sia che si utilizzi una tecnica crown-down oppure no, ha, invece, caratteristiche molto diverse:

- il numero degli strumenti utilizzati in ciascuna delle varie sequenze operative disponibili è limitato e la tendenza attuale è orientata a un'ulteriore semplificazione, fino al monostumento;
- le caratteristiche intrinseche di questi strumenti li portano ad autocentrarsi sull'asse mediano canalare, con una migliore conservazione dell'anatomia preesistente;
- la tronco-conicità canalare è determinata dalla conicità stessa degli strumenti e appare quindi molto più standardizzata rispetto al passato (Fig. 4.151).

Quindi, i concetti generali della sagomatura e i suoi obiettivi non sono cambiati, mentre l'evoluzione dei mezzi per realizzarla e delle relative tecniche applicative ha spostato il risultato finale verso una prevedibilità e una costanza dei risultati maggiori, introducendo un concetto di conicità preformata e prestabilita dal tipo di strumento a conicità aumentata utilizzato. Ciò ha reso possibile anche uno sviluppo verso la standardizzazione dei materiali e delle tecniche di otturazione, che attualmente presentano coni di guttaperca e otturatori termoplastici con conicità e diametro apicale uguali a quelli dei vari strumenti in Ni-Ti.



**Fig. 4.151** Schematizzazione di strumenti con uguale diametro apicale e conicità crescenti. È intuitivo che a maggiori conicità corrispondano caratteristiche di rigidità maggiori. La scelta del tipo di conicità degli strumenti è quindi influenzata dall'anatomia e dalle necessità cliniche.

## Sagomatura con strumenti rotanti in Ni-Ti

L'avvento della lega Ni-Ti non ha cambiato i concetti e le richieste della sagomatura così come sono state descritte precedentemente, ma ha sostanzialmente modificato la realizzazione della sagomatura in endodonzia [111].

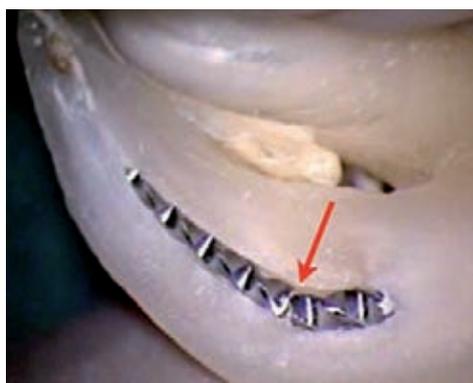
La superelasticità della lega ha permesso la realizzazione di strumenti di dimensioni e conicità elevate, che possono essere utilizzati in rotazione meccanica continua o alternata con specifici motori endodontici dedicati, dotati di un preciso controllo della velocità di rotazione e della quantità di torque applicabile allo strumento [112].

Gli strumenti in Ni-Ti sono numerosi e variano per forme, dimensioni, sezioni e per caratteristiche di superficie e di taglio. Ciò che li accomuna è la superelasticità in condizioni di lavoro controllate, ma anche la risposta al lavoro cui sono sottoposti. Il taglio della dentina avviene, infatti, in rotazione continua e, più recentemente, anche in rotazione alternata. Questo sottopone la loro struttura a una serie di stress torsionali e a un accumulo di fatica ciclica o, più realisticamente, a una combinazione delle due componenti (Fig. 4.152). In questo senso sono strumenti più suscettibili all'usura che, quando si realizza, può portare alla deformazione plastica e/o alla frattura dello strumento [113].

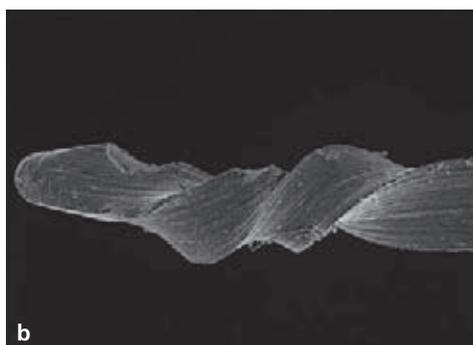
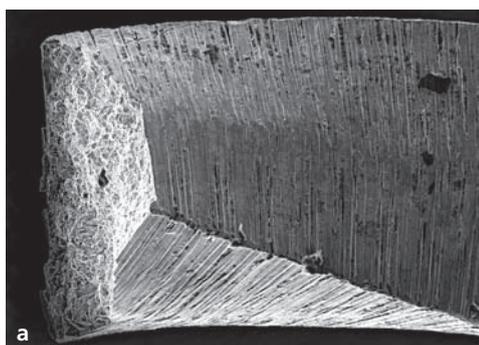
Gli strumenti sottili resisteranno male a un eccesso di carico torsionale e invece sopporteranno meglio la fatica ciclica, mentre gli strumenti con una massa importante saranno più resistenti al carico torsionale, ma risponderanno peggio alla fatica ciclica. Anche nell'ambito dello stesso strumento la parte più sottile, apicale, sarà maggiormente suscettibile al carico torsionale e allo stesso tempo accetterà meglio la fatica ciclica, mentre la parte importante in volume dello strumento risulterà maggiormente adatta a sopportare le forze torsionali e meno la fatica ciclica [114]. Risulta quindi chiaro che la punta sottile degli strumenti non dovrebbe essere sottoposta a un elevato carico torsionale, pena la frattura (Figg. 4.153 e 4.154).



**Fig. 4.152** Gli strumenti rotanti o reciprocanti in Ni-Ti sono sottoposti a stress elevati nelle aree di curvatura canalari, specie se multiple e di angolo differente, visualizzate in rosso nell'immagine.



**Fig. 4.153** Immagine di un campione di ricerca in cui si è verificata la frattura (freccia), dovuta alla fatica dello strumento Ni-Ti nel punto di massima curvatura del canale.



**Fig. 4.154** (a) Immagine al SEM di uno strumento realizzato con leghe Ni-Ti tradizionali, fratturato a causa di uno stress torsionale. (b) Immagine al SEM di uno strumento realizzato con leghe Ni-Ti più recenti: anche in presenza di stress elevati questi tendono a deformarsi plasticamente senza arrivare immediatamente alla frattura.

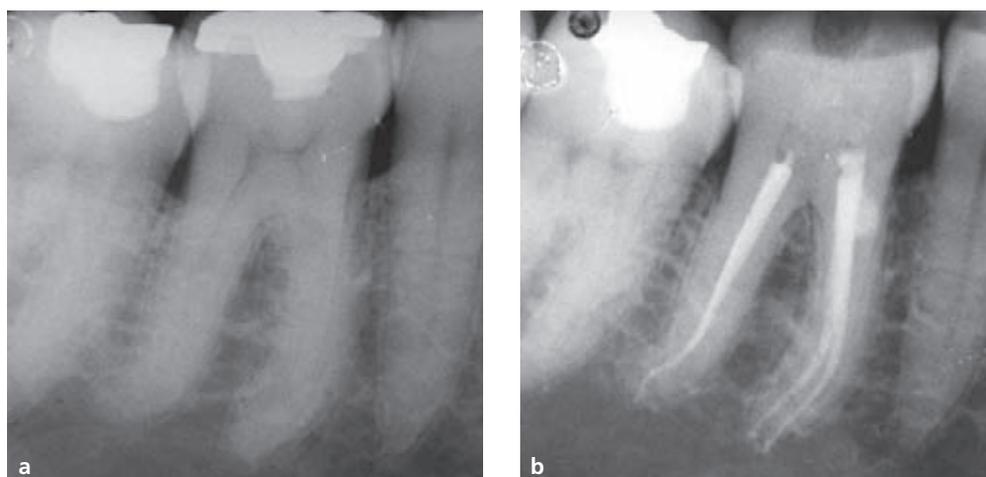
## Indicazioni cliniche

La determinazione della dimensione del limite apicale di strumentazione rappresenta il cardine dell'argomento affrontato di seguito. Come già menzionato, durante la sagomatura la lunghezza di lavoro di un canale, misurata prima della strumentazione, subisce quasi sempre una riduzione di valore determinata dagli effetti stessi dell'alesatura, ovvero il progressivo addolcimento delle curvature che porta la forma canalare a essere più rettilinea e, pertanto, più corta in termini di lunghezza. In aggiunta, la conicità aumentata della maggior parte degli strumenti attuali, considerata la rigidità e la memoria elastica, accresce esponenzialmente il rischio di modificare pesantemente il diametro e la forma del forame apicale [115].

Per questo motivo, devono essere tenuti in considerazione altri due parametri fondamentali: la conicità da conferire al canale sagomato e la dimensione finale del diametro apicale.

La scelta della conicità finale deve essere determinata attraverso l'analisi preventiva di importanti fattori che, in alcuni casi, possono anche essere in antitesi.

- L'anatomia canalare nel suo complesso: una radice di modesto volume non può essere indebolita da sagomature con conicità elevata, la presenza di curvature di grado elevato e/o multiple consiglia l'uso di strumenti meno conici e più flessibili che hanno un minore impatto sul design originale del canale (Fig. 4.155) e lavorano con uno stress strutturale minore risultando, quindi, esposti a un minore rischio di frattura [116].
- La detersione e disinfezione del volume endodontico: recenti lavori di ricerca hanno evidenziato come la quantità di flusso degli irriganti, particolarmente nel terzo apicale, sia pesantemente influenzata dalla conicità della sagomatura, il cui valore ottimale sembra essere di almeno .06 (Fig. 4.156); la lunghezza del canale e la presenza di curvature sono altre variabili da considerare per valutare la possibile azione degli irriganti in rapporto all'anatomia presente, alla conicità ottenuta, ai tempi e alle metodologie di irrigazione [117-119].

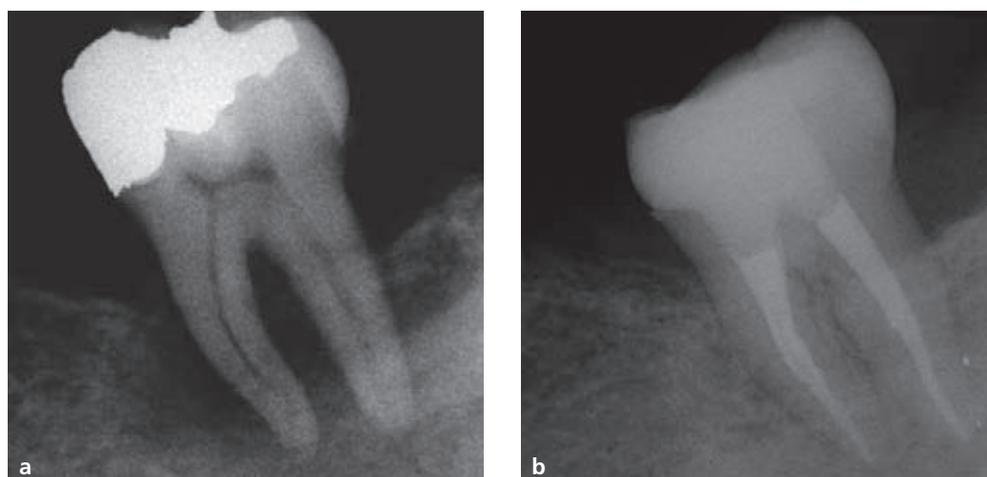


**Fig. 4.155** (a) La radiografia preoperatoria mostrava una notevole lunghezza e la stenosi dei canali radicolari, insieme alla presenza di curvature multiple. La scelta di strumentazione è stata: canali mesiali (terzo coronale .08, terzo medio .06, terzo apicale .04 con diametro apicale .30) e canale distale (.08, terzo medio .06, terzo apicale .04 con diametro apicale .25). (b) Radiografia di controllo a 1 anno.

- Il diametro apicale: alcuni lavori scientifici hanno recentemente correlato l'incremento dell'allargamento del diametro apicale oltre il .35 con la riduzione della carica batterica residua [120]. Questo parametro deve essere valutato anche sulla base della situazione clinica di vitalità, necrosi o ritrattamento del canale interessato. La recente introduzione di leghe Ni-Ti modificate ha permesso di costruire strumenti generalmente più flessibili, anche con diametro apicale aumentato e, quindi, più sicuri per un utilizzo in aree così delicate come quelle apicali, tuttavia particolarmente esposte al rischio di un errore iatrogeno [121]. Quindi, nonostante questi strumenti consentano di rettificare e strumentare un apice, quando indicato dalle necessità cliniche, si tratta pur sempre di un'azione delicata e pesantemente vincolata all'esperienza dell'operatore, che dovrà considerare anche le difficoltà di sigillo di un apice di diametro ampio.
- La possibilità di scelta della tecnica di otturazione: per esempio la tecnica verticale di condensazione e compattazione di materiali termoplastici è indicata in presenza di conicità maggiori, mentre le tecniche con materiali termoplastici veicolati da carrier si adattano perfettamente a canali con sagomatura meno conica [122].

### Possibile sequenza tipo

L'endodonzia è da sempre caratterizzata dal notevole influsso della tecnologia, continuamente in rapida evoluzione, a essa applicata. L'introduzione degli strumenti rotanti in Ni-Ti ha, se possibile, esasperato questa situazione rispetto a un passato caratterizzato dagli strumenti in acciaio, che continuano comunque a essere presenti sul mercato. Oggi sono disponibili numerosissime tipologie di strumenti che, in alcuni casi, presentano l'unica caratteristica comune di essere realizzati in leghe Ni-Ti, soggette, a loro volta, a una recente differenziazione legata a nuove e innovative metodologie metallurgiche di preparazione. Gli strumenti differiscono per molte variabili (ampiamente descritte nel Capitolo 3) e sono



**Fig. 4.156** (a) La radiografia preoperatoria di un 3.6 necrotico mostrava un'ampia lesione di chiara origine endodontica, confermata dall'assenza di sondaggio parodontale. Al fine di migliorare le condizioni di detersione e disinfezione, la scelta di strumentazione è stata: canali mesiali (terzo coronale .10, terzo medio .08, terzo apicale .04 con diametro apicale .40) e canale distale (.10, terzo medio .06, terzo apicale .04 con diametro apicale .40). (b) Radiografia di controllo a 1 anno che mostra una buona guarigione della lesione periradicolare. Confrontando le due radiografie si può comunque apprezzare l'importante alterazione delle anatomie canalari in conseguenza delle scelte strumentali.

raggruppati, dalle case produttrici, in sequenze operative, spesso molto diverse fra loro sia per scelte tecniche sia per filosofia di base. Quest'ultima affermazione è confermata dal fatto che, sebbene la maggior parte delle sequenze operative possano essere considerate, anche se spesso non in maniera assoluta, di tipo crown-down con un utilizzo iniziale di conicità maggiori nel terzo coronale e medio e conicità minori, successivamente, nel terzo apicale, alcune case produttrici hanno invece progettato la propria sequenza operativa per ottenere una sagomatura progressiva e simultanea del canale con strumenti iniziali a conicità e diametro apicale ridotti, seguiti successivamente da strumenti con l'incremento di tali caratteristiche.

Ai fini della sagomatura pura, la caratteristica più importante è la conicità degli strumenti utilizzati per ottenerla. Anche in questo ambito, si annota la disponibilità di una maggioranza di strumenti che dispongono di una conicità continua nella loro parte lavorante e di altri che, invece, per la stessa area utilizzano una conicità variabile.

Data questa ampiezza nell'offerta di strumenti e di sequenze operative, è molto difficile schematizzare una sequenza tipo se non basandosi sul criterio delle conicità strumentali, applicate al canale sulla base dell'evidenza clinica e anatomica.

Nell'endodonzia attuale l'importanza degli strumenti manuali in acciaio si è sensibilmente ridotta rispetto al passato e il loro uso, generalmente limitato agli strumenti di diametro apicale inferiore, è confinato ad alcune fasi o situazioni specifiche, in particolar modo a quelle dove sia indicata una precurvatura dello strumento:

- nelle fasi di sondaggio iniziale del canale si possono utilizzare i k-file nei diametri .06, .08 in presenza di diametri canalari ridotti e, normalmente, nel diametro .10, che rappresenta un ottimo compromesso fra la capacità di percorrere un canale inesplorato e la visibilità radiografica nella determinazione della lunghezza di lavoro; la precurvatura applicata al terzo apicale di questi strumenti permette più facilmente di superare curve strette, restringimenti del lume canalare o di imboccare biforcazioni canalari profonde; strumenti con diametri maggiori, generalmente non superiori al .30-.35, possono essere utilizzati quando la situazione clinica lo richieda;
- nei casi in cui si sia persa la lunghezza di lavoro, a causa di accumuli apicali di detriti o di sgorbiature o a causa di gradini delle pareti, l'uso attento di strumenti in acciaio k-file nei diametri minori permette all'operatore di riaprire il canale; anche gli h-file nei diametri .08 e .10 possono essere utili in queste situazioni, ma il loro uso deve essere estremamente prudente, date le caratteristiche di maggiore aggressività;
- nel superamento di ostacoli iatrogeni e nelle fasi iniziali dei ritrattamenti in genere si fa ancora un uso importante dei file in acciaio, sia k sia h, ma sempre nei diametri minori.

La programmazione della sequenza di strumentazione deve prevedere, quindi, un'accurata prestrumentazione (*preflaring*) con strumenti in acciaio impiegati manualmente e/o con strumenti meccanici in lega Ni-Ti a conicità .02; tale fase è stata anche denominata *glide path* (sentiero percorribile) [123,124].

Per un adeguato allargamento del terzo coronale si impiegheranno preferibilmente strumenti a conicità elevata (.12, .10); successivamente si affronterà il terzo medio con strumenti a conicità media (.08, .06) e quello apicale con strumenti più flessibili a conicità meno marcate (.04, .06), fino ad arrivare alla strumentazione e alla rettifica dell'apice vero e proprio. Anche in questo frangente, il diametro di punta prescelto – da un minimo .20-.25 ISO fino anche a .30-.35 ISO o maggiori, misure che, secondo le più recenti indicazioni della letteratura, sono utili per garantire un'irrigazione e una detersione corrette del terzo apicale – dovrà essere compatibile con la conicità del terzo apicale dopo che questo sia stato misurato (*gauging*) con strumenti idonei; quindi si potranno scegliere strumenti con allargamenti progressivi di conicità dallo .04 in su.

Gli strumenti in Ni-Ti percorrono e lavorano facilmente nelle curvature ampie e regolari, mentre sono particolarmente stressati dalle curve strette e multiple. Da questo fatto deriva un utile suggerimento tecnico, valido in tutte le situazioni ma importantissimo nei casi in cui nel canale siano presenti più curvature di segno opposto e, magari, con angolatura ridotta: mentre lavora nel canale, qualsiasi strumento in Ni-Ti non deve rimanere fermo ma deve essere continuamente mosso dall'operatore con piccoli movimenti verticali, sia nelle fasi di penetrazione nel canale sia in quelle di allargamento. Questi continui movimenti verticali evitano la concentrazione dello stress in un punto singolo dello strumento (quello corrispondente alla zona di maggiore curvatura del canale) e lo distribuiscono su una superficie più ampia, allungando la vita dello strumento e riducendone il rischio di frattura. Per visualizzare meglio questa situazione si può provare a rompere un pezzetto di filo metallico di alcuni centimetri. Se lo si afferra con due pinze ai suoi estremi e gli si applicano movimenti di flessione alternata, non sarà possibile romperlo perché lo stress sarà distribuito su tutta la superficie del frammento, mentre se si riduce la distanza del punto di presa delle pinze a pochi millimetri si otterrà la concentrazione dello stress in un punto preciso e sarà possibile quindi fratturare facilmente il metallo con lo stesso tipo di sforzo.

### Strumenti reciprocanti

Sulla base di questi assunti la ricerca ha cercato di limitare le problematiche legate alle rotture e sono stati proposti motori a controllo di torque con movimenti reciprocanti. Le prove in vitro hanno suffragato la validità di questa modalità di azione, in termini di sollecitazione meccanica dello strumento in Ni-Ti [125-128].

Recentemente, poi, sono stati proposti strumenti dedicati a questa tipologia di movimento. In aggiunta, si sta esplorando la possibilità di sagomare un canale radicolare utilizzando un unico strumento rotante in Ni-Ti, con l'obiettivo non solo di semplificare le procedure, ma anche di garantire il massimo della sicurezza per quanto riguarda il rischio di infezioni crociate [129-131].

Il tipo di movimento più opportuno da imprimere a un monostrumento tramite il motore endodontico sembra essere, attualmente quello reciproco.

Questo tipo di movimento era stato oggetto di parecchi studi in campo endodontico negli anni Sessanta e già allora si era dimostrato interessante per quanto riguarda la capacità di taglio e la rapidità di sagomatura. Allora veniva utilizzato con strumenti in acciaio e un motore dedicato (Giromatic); il movimento permesso allo strumento era di 45° reciprocante per lato. Recentemente vari autori hanno verificato la possibilità di sagomare i canali con un solo specifico strumento, utilizzato con movimento reciprocante, realizzato in una particolare lega Ni-Ti, chiamata M-wire, ottenuta con un procedimento termico che sembrerebbe garantire maggiore flessibilità, maggiore resistenza alla fatica ciclica e alla fatica torsionale e buone capacità di taglio [132,133].

I motori utilizzati per l'uso degli strumenti reciprocanti sono dedicati ed esprimono una precisa quantità di rotazione per avere la giusta quantità di taglio, con ingaggio delle lame e una minore quantità di controrotazione, onde evitare un eccessivo carico torsionale sullo strumento, predisponendolo alla frattura.

Gli strumenti reciprocanti potrebbero essere direttamente utilizzati nel canale non strumentato, dopo aver eseguito la misurazione della lunghezza di lavoro. Nei casi particolarmente complessi o, comunque, quando si desidera maggiore sicurezza nella percorribilità del canale, si esegue una prestrumentazione manuale o, meglio, meccanica. La scelta fra le diverse misure di strumento singolo da utilizzare dovrebbe essere fatta sulla base delle radiografie, sul tipo di dente e sul reperto clinico al momento del sondaggio del canale. Sarà necessario, per il tipo di movimento dello strumento che tende a produrre molti detriti e per la rapidità con cui si sagomano i canali, dedicare molto tempo e attenzione all'irrigazione in modo da ottenere un migliore livello di detersione.

Tab. 4.1 **Schema che correla la presenza delle principali caratteristiche anatomiche con l'indice di difficoltà della sagomatura del canale**

	Canali semplici	Canali medi	Canali complessi	Canali anomali o alterati
Camera pulpare stenotica	x	x	x	x
Canale stenotico		x	x	x
Interferenze coronali		x	x	x
Interferenze intracanalari			x	x
Interferenze apicali			x	x
Riassorbimenti interni				x
Riassorbimenti esterni			x	x
Perforazioni radicolari				x
Canale rotondo	x	x	x	x
Canale ovalare		x	x	x
Canale lungo		x	x	x
Curvature angolo/raggio ↑	x	x	x	x
Curvature angolo/raggio ↓			x	x
Curvature terzo medio			x	x
Curvature terzo apicale			x	x
Forame apicale <.40	x	x	x	x
Forame apicale >.40 <.70			x	x
Forame apicale >.70				x
Forame apicale anomalo/alterato				x

## Pianificazione della sagomatura

Quanto sopra esposto rende quindi estremamente difficile e aleatorio schematizzare i canali in categorie legate alla presenza di determinate caratteristiche, quali la forma rotondeggiante o ovalare del canale o la presenza di curvature che, nella maggior parte dei casi, non sono presenti singolarmente e la cui coesistenza può modificare i criteri di valutazione del grado di difficoltà. La schematizzazione presentata ha quindi caratteristiche semplificative e indicative, lasciando al clinico la valutazione caso per caso (Tab. 4.1).

### Canali semplici

La definizione di canale semplice è certamente restrittiva, non basata su caratteristiche facilmente schematizzabili e sicuramente non universalmente riconosciute. Forse sarebbe più appropriato parlare di canali con un basso indice di difficoltà, visto che l'esperienza insegna che esistono sempre incognite che possono influire sul risultato finale. Si utilizzerà, quindi, questa definizione basandosi su parametri clinici per semplicità di trattazione.

È possibile definire *semplice* un canale (sia quello di un elemento dentale monoradicolato e monocanalare sia quello di un dente pluricanalare e mono- o pluriradicolato) che radiograficamente appare ben visibile, senza apparenti curvature lungo il percorso, totalmente rappresentato sino al limite apicale; clinicamente avrà forma rotondeggiante oppure ovalare, sarà ampio, abbastanza lineare, comunque privo di confluenze, di curvature strette e di altre interferenze intracanalari.

La ragionevole certezza di trovarsi in una simile situazione si avrà solo dopo aver sondato il canale con uno strumento manuale di diametro apicale adeguato a percorrere l'intera lunghezza di lavoro. Per chiarire meglio questo concetto si deve considerare che, basandosi sulla radiografia preoperatoria e con l'ausilio del rilevatore apicale, è opportuno eseguire sempre il sondaggio iniziale del canale con uno strumento di conicità .02 e diametro apicale sottile (in genere .08 o .10) senza, quindi, incorrere in rischi particolari. In canali giudicati particolarmente ampi, come per esempio gli incisivi centrali superiori, i premolari inferiori o le radici palatine e distali dei molari, onde evitare un'inopportuna fuoriuscita accidentale oltre l'apice dello strumento, durante le prime fasi del sondaggio o durante l'esecuzione della radiografia intraoperatoria, è bene portare alla lunghezza di lavoro presunta strumenti sempre di conicità .02, ma con diametro apicale più consistente, per esempio un ISO 15, addirittura un ISO 20 o maggiori a seconda della situazione clinica [134,135].

In questi casi più semplici (Fig. 4.157), una volta saggiata la lunghezza di lavoro e confermata la tipologia del canale, si potrà facilmente effettuare la sagomatura con un numero ridotto di strumenti anche con conicità elevata ma, preferibilmente, di diametro apicale non superiore a .20-.25, portandoli direttamente alla lunghezza di lavoro, che deve essere, visto la tipologia di conicità impiegate, strettamente mantenuta per evitare di deformare o, semplicemente, allargare eccessivamente l'apice. In tale situazione clinica si applica, con sufficiente sicurezza di risultati, anche il concetto di monostrumento. Questo presuppone l'uso di un solo strumento in Ni-Ti, di adeguata conicità (almeno .06) con cui si effettua in pochi passaggi la completa strumentazione del canale. È opportuno quindi procedere alla rettifica dell'apice, effettuandone contemporaneamente la lettura del diametro apicale, utilizzando strumenti manuali in Ni-Ti con conicità .02 di diametro apicale crescente, fino a verificare un impegno dello strumento a circa 1 mm dalla piena lunghezza di lavoro. Si applica quindi allo strumento una leggera pressione, contemporaneamente a una rotazione in senso orario, per portarlo alla piena lunghezza di lavoro. A questo punto, lo strumento con conicità .02 e inserito in un canale strumentato a conicità maggiore sarà vincolato esclusivamente nell'apice del canale e il suo diametro corrisponderà perfettamente al diametro apicale. La prova di questo impegno è data dal ritorno elastico (*effetto molla*) in rotazione oraria dello strumento al rilascio di una leggera controrotazione antioraria applicata per un quarto di giro. Per evitare una modifica del diametro apicale, lo strumento non deve poi essere estratto, ma ruotato in senso antiorario fino

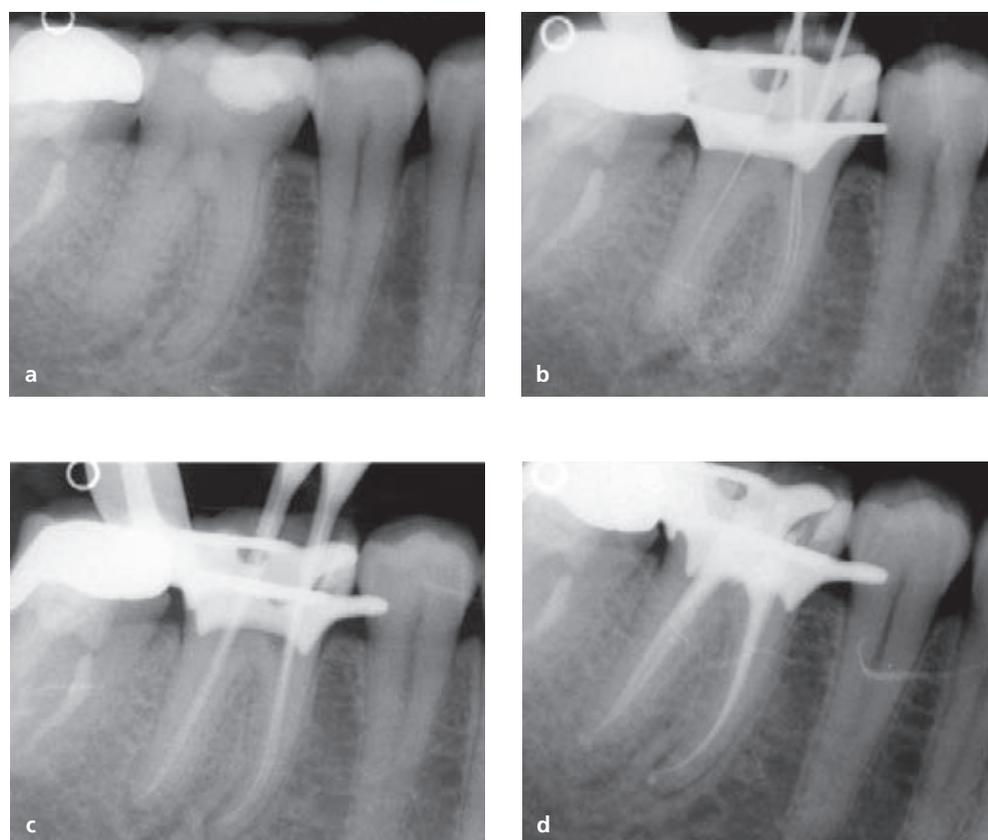


**Fig. 4.157** Un caso semplice con canali non lunghi, privi di curvature e di diametro ampio.

a liberarlo completamente [136-138]. Un'altra metodica per la lettura del diametro apicale denominata *visual gauging* è stata descritta con l'utilizzo di strumenti rotanti in Ni-Ti [139]. Nei casi semplici la sagomatura completa del canale si ottiene in tempi veramente brevissimi, tuttavia non bisogna dimenticare che, invece, i tempi di detersione e disinfezione del volume endodontico (che non è mai così semplice come potrebbe apparire) non cambiano, sono dipendenti dalla metodologia strumentale di esecuzione e devono essere quindi mantenuti per garantire le percentuali di successo.

### Canali medi

Si possono definire *medi* i canali dove le alterazioni o le interferenze coronali possono influenzare l'accesso apicale; una volta eliminate, si può giungere alla determinazione della lunghezza di lavoro e procedere alla sagomatura indicativamente come nei casi di canali semplici [140]. In queste circostanze, la radiografia intraoperatoria ha una notevole importanza perché, oltre a confermare visivamente il dato della lunghezza di lavoro elettronica, permette di acquisire molte informazioni sulla forma del canale e sull'eventuale presenza e severità di curvature apicali non precedentemente evidenziate, che potrebbero modificare il livello di complessità ipotizzato (Fig. 4.158).



**Fig. 4.158** La radiografia preoperatoria **(a)** potrebbe indicare questo caso come difficile. In realtà una buona apertura della camera pulpare e l'eliminazione delle interferenze coronali permettono di accertare, con l'inserimento dei primi strumenti di sondaggio, la percorribilità dei canali. La prima radiografia intraoperatoria **(b)** conferma l'assenza di curvature di difficile strumentazione, quindi, canali di media difficoltà affrontati in questo modo: canali mesiali (terzo coronale .10, terzo medio .08, terzo apicale .06 con diametro apicale .25) e canali distali (.10, terzo medio .08, terzo apicale .06 con diametro apicale .25). **(c)** Prova dei coni master. **(d)** Radiografia di controllo postoperatoria.

## Canali complessi

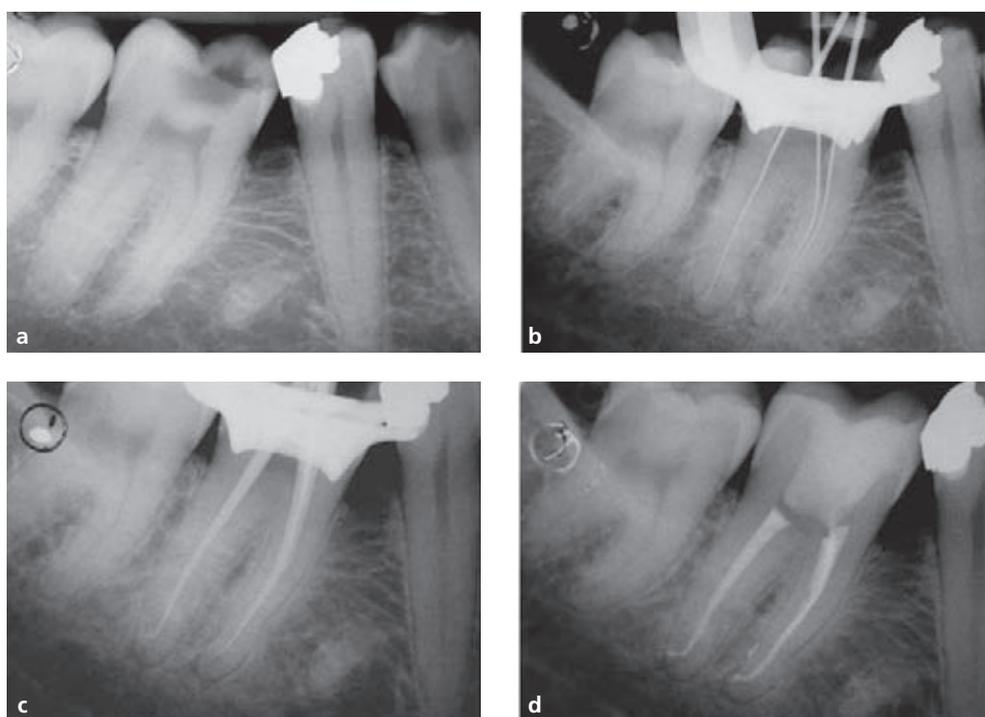
Per quanto riguarda la definizione di canale *complesso* valgono le stesse considerazioni generali del precedente paragrafo, con la differenza che la buona abitudine alla prudenza consiglia di valutare le caratteristiche del canale; è prudente fare una considerazione più generale sulle peculiarità di ogni singolo canale, con maggiore attenzione alla lunghezza, alla presenza di curvature o di confluenze e all'osservazione radiografica di zone di canale non visibile.

Queste ultime sarebbero un indice di canale stenotico e, come tale, difficile da strumentare (Fig. 4.159).

Si analizzano ora tali caratteristiche in maniera separata, considerando che, se prese singolarmente, costituiscono un elemento di rischio, ma la loro varia associazione eleva tale livello con una funzione più geometrica che matematica.

**Lunghezza del canale.** Può apparire come la meno importante, ma si deve considerare che questa caratteristica, anche quando presente singolarmente, impegnerà severamente lo strumento, che avrà un'ampia superficie di contatto con il canale, determinando un'elevata produzione di detriti, i quali aumenteranno ulteriormente la superficie di attrito, elevando la temperatura di esercizio dello strumento stesso e peggiorando, quindi, il suo livello di prestazioni standard, con aumentato rischio di frattura. Lo stesso risultato si otterrà se si utilizzerà uno strumento di conicità eccessiva, sottoponendolo a una fatica elevata. In casi come questi si raccomandano l'uso abbondante di lubrificanti, come l'EDTA in gel, i lavaggi ripetuti e abbondanti con gli irriganti, la frequente pulizia delle spire dello strumento e l'applicazione, da parte dell'operatore, di una pressione di lavoro modesta per non inserire un'ulteriore variabile negativa.

**Presenza e posizione di curvature.** Specialmente se multiple, di segno opposto e di angolo ridotto con raggi di curvatura piccoli, sono generalmente considerate tra le caratteristiche più negative [141]. La curvatura deve essere affrontata con prudenza, utilizzando strumenti flessibili e quindi con conicità non troppo accentuate. Lo scopo, in queste situazioni, non sarà quello di eliminarle, ma di centrare la sagomatura sull'asse mediano del canale, mantenendo



**Fig. 4.159** Le caratteristiche del caso – canali lunghi con diametri canalari ridotti, se non stenotici **(a)**, presenza di curvature ad angolo e raggio di curvatura ridotti confermati dalla radiografia intraoperatoria **(b)** e sospetto di confluenze – suggeriscono indici di maggiore difficoltà nella strumentazione che è stata così realizzata: canali mesiali (terzo coronale .08, terzo medio .06, terzo apicale .04 con diametro apicale .30) e canale distale (.08, terzo medio .06, terzo apicale .04 con diametro apicale .25). **(c)** Prova dei coni master. **(d)** Radiografia di controllo postoperatoria.

le curvature e rispettando l'anatomia del canale per non indebolire inopinatamente la struttura radicolare e per evitare un eccessivo assottigliamento della parete radicolare in alcune aree. In casi simili, l'effetto della strumentazione potrebbe determinare, immediatamente o con il tempo, un'erosione o una perforazione della parete. L'utilizzo degli strumenti in Ni-Ti, che, per le loro caratteristiche intrinseche, tendono ad autocentrarsi sull'asse centrale del canale, facilita questo compito, ma impegna l'operatore nella scelta dello strumento adatto alla situazione clinica. In particolar modo, in queste situazioni lo strumento deve essere mosso assialmente lungo il canale, per evitare la concentrazione di stress, e deve essere pulito frequentemente, mentre il canale deve essere abbondantemente irrigato e non deve essere applicata un'eccessiva pressione di lavoro. La fretta in endodonzia non è mai buona consigliera ma, in queste situazioni, è fonte di rischi ancora maggiori.

**Diametri canalari ridotti o stenosi del lume.** Oltre alle difficoltà tecniche di strumentazione assimilabili a quelle evidenziate per i canali di grande lunghezza, queste caratteristiche introducono un'ulteriore variabile legata alla durezza della dentina secondaria che lo strumento dovrà affrontare. Questa peculiarità impegnerà severamente le caratteristiche tecniche dello strumento in Ni-Ti, come la capacità di taglio e la resistenza alla fatica e alla torsione. Le indicazioni per ottenere una corretta sagomatura riducendo il livello di rischio sono quelle di effettuare un corretto *preflaring*, anche meccanico, con strumenti in Ni-Ti dedicati, salire gradualmente di conicità con gli strumenti, scegliere strumenti dotati di lame taglienti e non piallanti, controllare attentamente la loro temperatura di esercizio, con le metodiche più volte citate, e ridurre ulteriormente la pressione di lavoro.

### Canali anomali o alterati

Le interferenze anatomiche, gli apici di forma anomala, larghi o deformati introducono variabili diverse da quelle trattate finora e che possono penalizzare significativamente il risultato finale, se non sono affrontate con pazienza e delicatezza [142-144].

Le interferenze anatomiche possono essere varie.

- Restringimenti improvvisi del canale fino a vere e proprie occlusioni parziali o totali, derivate in genere da processi infiammatori cronici dell'organo pulpare, che possono essere affrontati con strumenti manuali in acciaio con conicità .02 e diametro apicale ridotto (.06, .08, .10); spesso risulta utile l'uso di punte ultrasoniche o subsoniche sottili, generalmente coadiuvato dalla visione ad alto ingrandimento o microscopica. L'introduzione di strumenti rotanti in Ni-Ti è assolutamente da evitare prima di aver conseguito la completa ricanalizzazione del lume e avere eseguito una radiografia intraoperatoria per verificare la situazione. In seguito valgono le indicazioni riportate per la sagomatura dei canali a diametro ridotto.
- Gli allargamenti improvvisi del canale possono essere dovuti a residui di fenomeni di riassorbimento interno o esterno e sono particolarmente pericolosi per il ridotto spessore, in queste aree, delle pareti canalari, che facilmente possono perforarsi, autonomamente o per manovre anche non brusche dell'operatore. Anche in questi casi è fondamentale sondare il canale oltre l'ostacolo e procedere a una delicata sagomatura meccanica solo se e quando si è ottenuta manualmente un'adeguata canalizzazione. L'area del riassorbimento interno non deve essere strumentata direttamente, ma detersa adeguatamente con lavaggi intracanalari.
- Un'altra interferenza anatomica importante si ha quando la separazione del canale principale in due o più canali avviene nel terzo medio. In questi casi si deve allargare adeguatamente il terzo coronale e medio prima della bi- o triforcazione, avendo cura di mantenere pervio l'accesso ai singoli canali. A questo punto si procede a un *preflaring* manuale e meccanico (che in questi casi può essere estremamente efficace), completando quindi la sagomatura con strumenti rotanti in Ni-Ti di conicità 0.4 o 0.6.

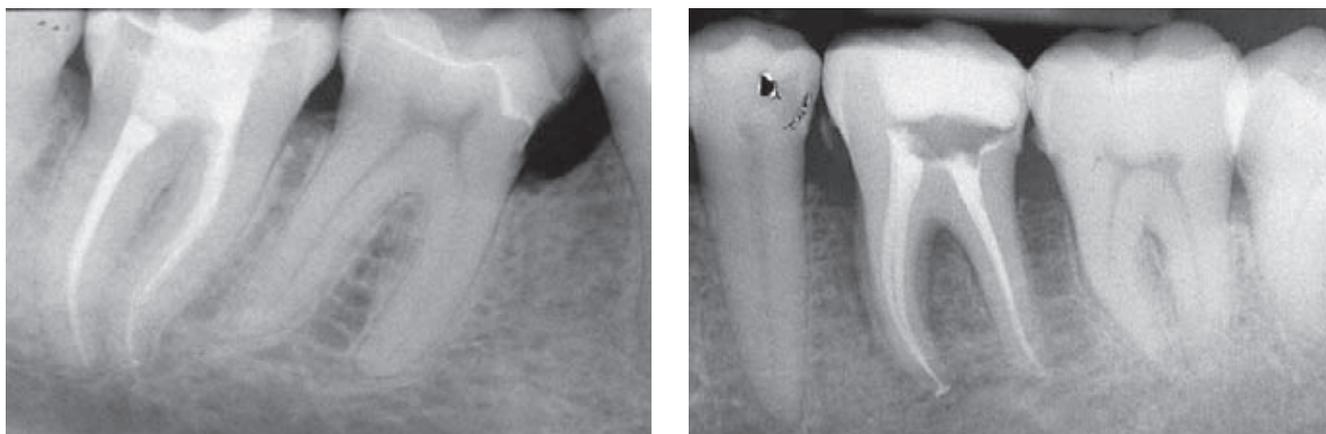
Il diametro elevato e la forma gravemente alterata del forame apicale condizionano la sagomatura del canale, perché aumentano il livello di difficoltà nell'ottenimento di una sua otturazione tridimensionale ed ermetica. L'obiettivo in queste situazioni è aumentare la troncoconicità del canale senza indebolire eccessivamente la struttura radicolare e soprattutto senza deformare ulteriormente il forame apicale. In questi casi, l'utilizzo attento e non alla piena lunghezza di lavoro di strumenti dotati di conicità importanti, anche superiori a .08, ma con diametro apicale non superiore a .25 o .30, può essere indicato soprattutto se si dispone di strumenti in Ni-Ti di ultima generazione, con caratteristiche della lega tali da assicurare una maggiore flessibilità rispetto agli strumenti tradizionali. La delicata operazione di rettifica del forame apicale può quindi essere eseguita manualmente o meccanicamente, con strumenti di diametro aumentato ma con conicità ridotta, in genere non superiore a .04, per essere sicuri che la loro azione si espliciti esclusivamente a livello apicale. Se il diametro apicale è superiore a .50, la tecnica di otturazione prevede l'uso di materiali a base di MTA (Mineral Trioxide Aggregate), qui citati esclusivamente ai fini delle modifiche a volte necessarie nella sagomatura, per permettere di introdurre sino al terzo apicale i carrier e gli strumenti tipici di questa tecnica, trattata oltre nel capitolo.

## Sagomatura e otturazione canalare

Anche all'interno delle singole sequenze strumentali sono oggi disponibili strumenti con diverse conicità, che permettono di variare di conseguenza la sagomatura canalare.

I criteri su cui fondare questa scelta sono quelli basati *in primis* sull'analisi preventiva dell'anatomia radicolare, ma, naturalmente, anche sulle informazioni che l'operatore raccoglie durante le varie fasi della strumentazione stessa.

Si consideri, però, che il fine ultimo della sagomatura, come più volte ripetuto anche in questa sede, è, in definitiva, creare uno spazio deterso e con ridotta carica batterica, atto a ricevere un'otturazione ermetica e tridimensionale. Questo presuppone, da parte dell'operatore, la familiarità con due o più tecniche di otturazione che abbiano diverse caratteristiche di adattabilità con situazioni anatomiche differenti (Fig. 4.160). La sinergia fra le caratteristiche della sagomatura e la scelta della tecnica di otturazione offre indubbi vantaggi in termini di qualità ottenibile dal sigillo e di conservazione dell'anatomia e inserisce, all'interno del trattamento endodontico, un ulteriore fattore di sicurezza, che influisce in maniera significativa sulla qualità e sulla percentuale di successo a lungo termine.



**Fig. 4.160** La strumentazione e la tecnica di otturazione applicata sono state uguali in entrambi i casi: canali mesiali: terzo coronale .08, terzo medio .06, terzo apicale .04 con diametro apicale .25 e otturazione con guttaperca veicolata da carrier diametro .25; canale distale: .08, terzo medio e terzo apicale .06 con diametro apicale .25 e otturazione con tecnica di condensazione e compattazione verticale della guttaperca calda.

## Bibliografia

1. Bjørndal L, Carlsen O, Thuesen G et al. External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized x-ray microtomography. *Int Endod J* 1999;32:3-9.
2. Mannocci F, Peru M, Sherriff M et al. The isthmuses of the mesial root of mandibular molars: a micro-computed tomographic study. *Int Endod J* 2005 Aug;38(8):558-63.
3. Yilmaz Z, Tuncel B, Serper A, Calt S. C-shaped root canal in a maxillary first molar: a case report. *Int Endod J* 2006 Feb;39(2):162-6.
4. Cleghorn BM, Christie WH, Dong CC. Root and root canal morphology of the human permanent maxillary first molar: a literature review. *J Endod* 2006 Sep;32(9):813-21.
5. Fan B, Pan Y, Gao Y et al. Three-dimensional morphologic analysis of isthmuses in the mesial roots of mandibular molars. *J Endod* 2010 Nov;36(11):1866-9.
6. Ida RD, Gutmann JL. Importance of anatomic variables in endodontic treatment outcomes: case report. *Endod Dent Traumatol* 1995;11:199-203.
7. Siqueira JF, Araujo MCP. Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation techniques for cleaning the apical third of root canals. *J Endodon* 1997;23:499-502.
8. Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. *Int Endod J* 2003;36:93-9.
9. Pettiette MT, Metzger Z, Phillips C, Trope M. Endodontic complications of root canal therapy performed by dental students with stainless-steel K-files and nickel-titanium hand files. *J Endod* 1999;25:230-4.
10. Yared GM, Dagher FE, Machtou P, Kulkarni GK. Influence of rotational speed, torque and operator proficiency on failure of Greater Taper files. *Int Endod J* 2002 Jan;35(1):7-12.
11. Yared G, Bou Dagher F, Kulkarni K. Influence of torque control motors and the operator's proficiency on ProTaper failures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003 Aug;96(2):229-33.
12. Mesgouez C, Rilliard F, Matossian L et al. Influence of operator experience on canal preparation time when using the rotary Ni-Ti ProFile system in simulated curved canals. *Int Endod J* 2003 Mar;36(3):161-5.
13. Schilder H. Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am* 1967;Nov:723-44.
14. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 1974 Apr;18(2):269-96.
15. Riitano F. Fundamental concepts and instruments in endodontics. *Mondo Odontostomatol* 1976 Jan-Feb;18(1):28-43.
16. Riitano F. La sistematica "3 tempi". *Dent Cadmos* 1976 Apr;44(4):10-20.
17. Riitano F. Mechanical and chemical evacuation of the root canal. *Riv Ital Stomatol* 1982;51(5):447-52.
18. Hall EM. Pulpless tooth problems. Detroit: Detroit Dental Manufacturing. 1928.
19. Perrini N. Storia anatomica dei canali radicolari. Milano: Edizioni SIE; 2010.
20. Goerig AC, Michelich RJ, Schultz HH. Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. *J Endod* 1982 Dec;8(12):550-4.
21. Marshall FL, Pappin I. A crown-down pressure less preparation root canal enlargement technique. *Technique manual*. Portland, Ore, Oregon Health Sciences University; 1980.
22. Scianamblo MJ. La preparation de la cauité endodontique. *Real Clin* 1993;4:9.
23. Scianamblo MJ. A contemporary approach to cleaning and shaping of the root canal system emphasizing early coronal enlargement. In: Castellucci A. *Endodontics*. Vol. 2. Firenze: Il Tridente; 2005. pp. 470-501.
24. Ruddle CJ. Endodontic canal preparation: breakthrough cleaning and shaping strategies. *Dent Today* 1994 Feb;13(2):44,46,48-9.
25. Ruddle CJ. Root canal therapy: rationale for treatment. *J Calif Dent Assoc* 1997 Nov;25(11):766-7.
26. Buchanan LS. Paradigm shifts in cleaning and shaping. *J Calif Dent Assoc* 1991 May;19(5):23-6, 28-33.
27. Buchanan LS. The art of endodontics: cleaning and shaping the root canal system. The apical preparation. Part IV of a four-part series on cleaning and shaping root canals. *Dent Today* 1994 Jan;13(1):50,52.
28. West JD, Roane JB, Goerig AC. Cleaning and shaping the root canal system. In: Cohen S, Burns RC. *Pathways of the pulp*. 6th ed. St. Louis: The C.V. Mosby Company; 1994. pp. 160-205.
29. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG Jr. The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals. *J Endod* 1985;11:203-11.
30. Kyomen SM, Caputo AA, White SN. Critical analysis of the balanced force technique in endodontics. *J Endod* 1994;20:332-7.
31. Harlan AL, Nicholls JI, Steiner JC. A comparison of curved canal instrumentation using nickel-titanium or stainless steel files with the balanced-force technique. *J Endod* 1996 Aug;22(8):410-3.
32. Castellucci A. *Endodonzia*. Vol. 1. Bologna: Ed. Martina; 1996. pp. 91-107.
33. Buhrlay LJ, Barrows MJ, BeGole E, Wenckus CS. Effect of magnification locating the mb2 canal in maxillary molars. *J Endod* 2002;28:324-7.
34. Wu D, Shi W, Wu J et al. The clinical treatment of complicated root canal therapy with the aid of a dental operating microscope. *Int Dent J* 2011 Oct;61(5):261-6.
35. Jensen AL, Abbott PV, Castro Salgado J. Interim and temporary restoration of teeth during endodontic treatment. *Aust Dent J* 2007 Mar;52(1 Suppl):S83-99.
36. Luiten DJ, Morgan LA, Baumgartner JC, Marshall JG. A comparison of four instrumentation techniques on apical canal transportation. *J Endod* 1995;1995:26-32.
37. Pertot WJ, Camps J, Damiani MG. Transportation of curved canals prepared with Canal Master-U, Canal Master-U-NiTi, and stainless steel K-type files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995;79:504-9.
38. Jardine SJ, Gulabivala K. An in vitro comparison of canal preparation using two automated rotary nickel-titanium instrumentation techniques. *Int Endod J* 2000;33:381-91.

39. Iqbal MK, Maggiore F, Suh B et al. Comparison of apical transportation in four Ni-Ti rotary instrumentation techniques. *J Endod* 2003;29:587-91.
40. Moore J, Fitz-Walter P, Parashos P. A micro-computed tomographic evaluation of apical root canal preparation using three instrumentation techniques. *Int Endod J* 2009 Dec;42(12):1057-64.
41. Neelakantan P, Subbarao C, Subbarao CV. Comparative evaluation of modified canal staining and clearing technique, cone-beam computed tomography, peripheral quantitative computed tomography, spiral computed tomography, and plain and contrast medium-enhanced digital radiography in studying root canal morphology. *J Endod* 2010 Sep;36(9):1547-51.
42. Kottoor J, Velmurugan N, Sudha R, Hemamalathi S. Maxillary first molar with seven root canals diagnosed with cone-beam computed tomography scanning: a case report. *J Endod* 2010 May;36(5):915-21.
43. Kottoor J, Velmurugan N, Surendran S. Endodontic management of a maxillary first molar with eight root canal systems evaluated using cone-beam computed tomography scanning: a case report. *J Endod* 2011 May;37(5):715-9.
44. Zhang R, Wang H, Tian YY et al. Use of cone-beam computed tomography to evaluate root and canal morphology of mandibular molars in Chinese individuals. *Int Endod J* 2011 Nov;44(11):990-9.
45. Patel S, Wilson R, Dawood A, Mannocci F. Detection of periapical pathology using intraoral radiography and cone beam computed tomography – a clinical study. *Int Endod J* 2011 Dec 21.
46. Karaman GT, Onay EO, Ungor M, Colak M. Evaluating the potential key factors in assessing the morphology of mesiobuccal canal in maxillary first and second molars. *Aust Endod J* 2011 Dec;37(3):134-40.
47. Pucci FM, Reig R. *Conductos radicales*, vol. II. Buenos Aires: Medico Quirurgica; 1944. p.319.
48. Schneider SV. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg* 1971;32:271-5.
49. Vertucci FJ. Root canal morphology of mandibular premolars. *J Am Dent Assoc* 1978 Jul;97(1):47-50.
50. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984 Nov;58(5):589-99.
51. Zidell J. Classification of root canal system. In: Ingle JI, Taintor JF, eds. *Endodontics*. 3rd ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1985. p. 246.
52. Ingle JI, Taintor JF, eds. *Endodontics*. 3rd ed. Philadelphia: Lea and Febiger; 1985.
53. Southard DW, Oswald RJ, Natkin E. Instrumentation of curved molar root canals with the Roane technique. *J Endod* 1987;13:479-89.
54. Perrini N, Francini E, Perrini U. Morphological analysis of lower permanent incisor roots. *G Ital Endod* 1991;5(2):32-5.
55. Backman CA, Oswald RJ, Pitts DL. A radiographic comparison of two root canal instrumentation techniques. *J Endod* 1992;18:19-24.
56. Nagy CD, Bernàth M, Szabó J. A comparative study of six methods of shaping the root canals in vitro (abstract). *Int Endod J* 1992;25:29.
57. Nagy CD, Szabó J, Szabó J. A mathematically based classification of root canal curvatures on natural human teeth. *J Endod* 1995 Nov;21(11):557-60.
58. Kartal N, Cimilli HK. The degrees and configurations of mesial canal curvatures of mandibular first molars. *J Endod* 1997 Jun;23(6):358-62.
59. Weine FS, Hayami S, Hata G, Toda T. Canal configuration of the mesiobuccal root of the maxillary first molar of a Japanese sub-population. *Int Endod J* 1999 Mar;32(2):79-87.
60. Schäfer E, Diez C, Hoppe W, Tepel J. Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endod* 2002 Mar; 28(3):211-6.
61. Günday M, Sazak H, Garip Y. A comparative study of three different root canal curvature measurement techniques and measuring the canal access angle in curved canals. *J Endod* 2005 Nov;31(11):796-8.
62. Zheng QH, Zhou XD, Jiang Y et al. Radiographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in Chinese mandibular permanent incisors. *J Endod* 2009 Feb;35(2):175-8.
63. Zhang R, Hu T. Root canal curvature. *Int Endod J* 2010 Jul;43(7):616-8; discussion 618-21.
64. Mayo CV, Montgomery S, Rio C. A computerized method for evaluating root canal morphology. *J Endod* 1986;12:2-7.
65. Berutti E. Computerized analysis of the instrumentation of root canal system. *J Endod* 1993;19:236-8.
66. Nielsen RB, Alyassin AM, Peters DD et al. Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. *J Endod* 1995;21:561-8.
67. Bauman MA, Doll GM. Spatial reproduction of the root canal system by magnetic resonance microscopy. *J Endod* 1997;23:49-51.
68. Dowker SE, Davis GR, Elliot JC. X-ray microtomography: nondestructive three-dimensional imaging for in vitro endodontic studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1997;83:510-6.
69. Dobó-Nagy C, Keszthelyi G, Szabó J et al. A computerized method for mathematical description of three-dimensional root canal axis. *J Endod* 2000 Nov;26(11):639-43.
70. Sonntag D, Stachniss-Carp S, Stachniss V. Determination of root canal curvatures before and after canal preparation (part I): a literature review. *Aust Endod J* 2005 Dec;31(3):89-93.
71. Sonntag D, Stachniss-Carp S, Stachniss C, Stachniss V. Determination of root canal curvatures before and after canal preparation (part II): a method based on numeric calculus. *Aust Endod J* 2006 Apr;32(1):16-25.
72. Estrela C, Reis Bueno M, Sousa-Neto MD, Pécora JD. Method for determination of root curvature radius using cone-beam computed tomography images. *Braz Dent J* 2008;19(2):114-8.
73. Gu Y, Lu Q, Wang H et al. Root canal morphology of permanent three-rooted mandibular first molars – part I: pulp floor and root canal system. *J Endod* 2010 Jun;36(6):990-4.
74. Gu Y, Lu Q, Wang P, Ni L. Root canal morphology of permanent three-rooted mandibular first molars – part II: measurement of root canal curvatures. *J Endod* 2010 Aug;36(8):1341-6.

75. Gu Y, Zhou P, Ding Y et al. Root canal morphology of permanent three-rooted mandibular first molars – part III: an odontometric analysis. *J Endod* 2011 Apr;37(4):485-90.
76. American Association of Endodontists: Glossary. Contemporary Terminology for Endodontics. Fifth Edition, 1994.
77. Kuttler Y. Microscopic investigation of root apexes. *J Am Dent Assoc* 1955;50:544-52.
78. Dummer PM, McGinn JH, Rees DG. The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. *Int Endod J* 1984;17:192-8.
79. Orban B. Why root canal should be filled to the dentino-cemental junction. *J Am Dent Assoc* 1930;16:1086.
80. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J* 1998;31:394.
81. Ounsi HF, Haddad G. In vitro evaluation of the reliability of the Endex electronic apex locator. *J Endod* 1998;24:120.
82. Olson AK, Goerig AC, Cavataio RE, Luciano J. The ability of the radiograph to determine the location of the apical foramen. *Int Endod J* 1991;24:28.
83. Castellucci A. Endodontics. Vol. 2. Firenze: Il Tridente; 2005. pp. 441-48.
84. Custer L. Exact methods of locating the apical foramen. *J Am Dent Ass* 1916;5:815.
85. Suzuki K. Experimental studies on ionophoresis. *J Jpn Stomatol* 1942;16:411-7.
86. Sunada I. New method for measuring the length of the root canal. *J Dent Res* 1962;41:375-87.
87. Stoll R, Urban-Klein B, Roggendorf MJ et al. Effectiveness of four electronic apex locators to determine distance from the apical foramen. *Int Endod J* 2010 Sep;43(9):808-17.
88. Saito T, Yamashita Y. Electronic determination of root canal length by newly developed measuring device. Influences of the diameter of apical foramen, the size of K-file and the root canal irrigants. *Dent Jpn (Tokyo)* 1990;27:65-72.
89. Venturi M, Breschi L. A comparison between two electronic apex locators: an ex vivo investigation. *Int Endod J* 2007 May;40(5):362-73.
90. ElAyouti A, Kimionis I, Chu AL, Lost C. Determining the apical terminus of root-end resected teeth using three modern apex locators: a comparative ex vivo study. *Int Endod J* 2005;38:827-33.
91. Jenkins JA, Walker WA 3rd, Schindler WG, Flores CM. An in vitro evaluation of the accuracy of the root ZX in the presence of various irrigants. *J Endod* 2001 Mar;27(3):209-11.
92. Erdemir A, Eldeniz AU, Ari H et al. The influence of irrigating solutions on the accuracy of the electronic apex locator facility in the Tri Auto ZX handpiece. *Int Endod J* 2007 May;40(5):391-7.
93. Herrera M, Ábalos C, Lucena C et al. Critical diameter of apical foramen and of file size using the Root ZX apex locator: an in vitro study. *J Endod* 2011 Sep;37(9):1306-9. Epub 2011 Jul 16.
94. Siu C, Marshall JG, Baumgartner JC. An in vivo comparison of the Root ZX II, the Apex NRG XFR, and Mini Apex Locator by using rotary nickel-titanium files. *J Endod* 2009 Jul;35(7):962-5.
95. De Camargo EJ, Zapata RO, Medeiros PL et al. Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators. *J Endod* 2009 Sep;35(9):1300-2.
96. Parekh V, Taluja C. Comparative study of periapical radiographic techniques with apex locator for endodontic working length estimation: an ex vivo study. *J Contemp Dent Pract* 2011 Mar 1;12(2):131-4.
97. Ravanshad S, Adl A, Anvar J. Effect of working length measurement by electronic apex locator or radiography on the adequacy of final working length: a randomized clinical trial. *J Endod* 2010 Nov;36(11):1753-6.
98. Kim E, Marmo M, Lee CY et al. An in vivo comparison of working length determination by only root-ZX apex locator versus combining root-ZX apex locator with radiographs using a new impression technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008.
99. Janner SF, Jeger FB, Lussi A, Bornstein MM. Precision of endodontic working length measurements: a pilot investigation comparing cone-beam computed tomography scanning with standard measurement techniques. *J Endod* 2011 Aug;37(8):1046-51.
100. Rosenberg DB. The paper point technique. Part 1. *Dent Today* 2003 Feb;22(2):80-6.
101. Rosenberg DB. The paper point technique, Part 2. *Dent Today* 2003 Mar;22(3):62-4, 66-7.
102. Marcos-Arenal JL, Caplan DJ, Trope M. Evaluating the paper point technique for locating the apical foramen after canal preparation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;108:e101-e105.
103. Santos SM, Soares JA, Costa GM et al. Radiographic parameters of quality of root canal fillings and periapical status: a retrospective cohort study. *J Endod* 2010 Dec;36(12):1932-7.
104. Santos SM, Soares JA, César CA et al. Radiographic quality of root canal fillings performed in a postgraduate program in endodontics. *Braz Dent J* 2010;21(4):315-21.
105. Singla M, Aggarwal V, Logani A, Shah N. Comparative evaluation of rotary ProTaper, Profile, and conventional stepback technique on reduction in Enterococcus faecalis colony-forming units and vertical root fracture resistance of root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010 Mar;109(3):105-10.
106. Pappen FG, Shen Y, Qian W et al. In vitro antibacterial action of Tetraclean, MTAD and five experimental irrigation solutions. *Int Endod J* 2010 Jun;43(6):528-35.
107. Huffaker SK, Safavi K, Spangberg LS, Kaufman B. Influence of a passive sonic irrigation system on the elimination of bacteria from root canal systems: a clinical study. *J Endod* 2010 Aug;36(8):1315-8.
108. Alves FR, Almeida BM, Neves MA et al. Disinfecting oval-shaped root canals: effectiveness of different supplementary approaches. *J Endod* 2011 Apr;37(4):496-501.
109. Vieira AR, Siqueira JF Jr, Ricucci D, Lopes WS. Dentinal tubule infection as the cause of recurrent disease and late endodontic treatment failure: a case report. *J Endod* 2012 Feb;38(2):250-4.
110. Song M, Kim HC, Lee W, Kim E. Analysis of the cause of failure in nonsurgical endodontic treatment by microscopic inspection during endodontic microsurgery. *J Endod* 2011 Nov;37(11):1516-9.
111. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004 Aug;30(8):559-67. Review.

112. Rodrigues RC, Lopes HP, Elias CN et al. Influence of different manufacturing methods on the cyclic fatigue of rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 2011 Nov;37(11):1553-7. Epub 2011 Sep 22.
113. Baek SH, Lee CJ, Versluis A et al. Comparison of torsional stiffness of nickel-titanium rotary files with different geometric characteristics. *J Endod* 2011 Sep;37(9):1283-6. Epub 2011 Jul 16.
114. Lee MH, Versluis A, Kim BM et al. Correlation between experimental cyclic fatigue resistance and numerical stress analysis for nickel-titanium rotary files. *J Endod* 2011 Aug;37(8):1152-7. Epub 2011 May 17.
115. Gambarini G, Plotino G, Grande NM et al. Mechanical properties of nickel-titanium rotary instruments produced with a new manufacturing technique. *Int Endod J* 2011 Apr;44(4):337-41.
116. Plotino G, Grande NM, Melo MC et al. Cyclic fatigue of NiTi rotary instruments in a simulated apical abrupt curvature. *Int Endod J* 2010 Mar;43(3):226-30.
117. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am* 2010 Apr; 54(2):291-312.
118. Brunson M, Heilborn C, Johnson DJ, Cohenca N. Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *J Endod* 2010 Apr;36(4):721-4.
119. Boutsoukis G, Gogos C, Verhaagen B et al. The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Int Endod J* 2010 Oct;43(10):909-16.
120. Fornari VJ, Silva-Sousa YT, Vanni JR et al. Histological evaluation of the effectiveness of increased apical enlargement for cleaning the apical third of curved canals. *Int Endod J* 2010 Nov;43(11):988-94.
121. ElAyouti A, Dima E, Judenhofer MS et al. Increased apical enlargement contributes to excessive dentin removal in curved root canals: a stepwise microcomputed tomography study. *J Endod* 2011 Nov;37(11):1580-4.
122. Van der Borden WG, Wu MK, Wesslink PR. Percentages of gutta-percha-filled canal area observed after increased apical enlargement. *J Endod* 2010 Jan;36(1):139-42.
123. Berutti E, Negro AR, Lendini M, Pasqualini D. Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper rotary instruments. *J Endod* 2004;30(4):228-30.
124. Berutti E, Cantatore G, Castellucci A et al. Use of nickel-titanium rotary PathFile to create the glide path: comparison with manual preflaring in simulated root canals. *J Endod* 2009;35(3):408-12.
125. Wan J, Rasimick BJ, Musikant BL, Deutsch AS. Cutting efficiency of 3 different instrument designs used in reciprocation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010 May;109(5):e82-5.
126. De-Deus G, Moreira EJ, Lopes HP, Elias CN. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. *Int Endod J* 2010 Dec;43(12):1063-8.
127. Franco V, Fabiani C, Taschieri S et al. Investigation on the shaping ability of nickel-titanium files when used with a reciprocating motion. *J Endod* 2011 Oct;37(10):1398-401.
128. Wan J, Rasimick BJ, Musikant BL, Deutsch AS. A comparison of cyclic fatigue resistance in reciprocating and rotary nickel-titanium instruments. *Aust Endod J* 2011 Dec;37(3):122-7.
129. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 2008 Apr;41(4):339-44.
130. De-Deus G, Brandão MC, Barino B et al. Assessment of apically extruded debris produced by the single-file ProTaper F2 technique under reciprocating movement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010 Sep;110(3):390-4.
131. Bürklein S, Hinschitzka K, Dammaschke T, Schäfer E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *Int Endod J* 2011 Dec 22.
132. Berutti E, Chiandussi G, Paolino DS et al. Effect of canal length and curvature on working length alteration with WaveOne reciprocating files. *J Endod* 2011 Dec;37(12):1687-90.
133. Berutti E, Paolino DS, Chiandussi G et al. Root canal anatomy preservation of WaveOne reciprocating files with or without glide path. *J Endod* 2012 Jan;38(1):101-4.
134. Darda S, Manwar N, Chandak M, Shori DD. An in vivo evaluation of two types of files used to accurately determine the diameter of the apical constriction of a root canal: an in vivo study. *J Contemp Dent Pract* 2009 Jul 1;10(4):43-50.
135. Paqué F, Zehnder M, Marending M. Apical fit of initial K-files in maxillary molars assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J* 2010 Apr;43(4):328-35.
136. Berutti E. La misurazione del diametro apicale. *G It Endo* 1997;(11):122-9.
137. Berutti E. Measurement of the apical foramen. *Dent Today* 1998;(17):74-81.
138. Darda S, Manwar N, Chandak M, Shori DD. An in vivo evaluation of two types of files used to accurately determine the diameter of the apical constriction of a root canal: an in vivo study. *J Contemp Dent Pract* 2009 Jul 1;10(4):43-50.
139. Buchanan LS. The X-files: four case reports. *Dent Today* 2009 Jan;28(1):108,110-1.
140. Schmitz Mda S, Santos R, Capelli A et al. Influence of cervical preflaring on determination of apical file size in mandibular molars: SEM analysis. *Braz Dent J* 2008;19(3):245-51.
141. Lopes HP, Chiesa WM, Correia NR et al. Influence of curvature location along an artificial canal on cyclic fatigue of a rotary nickel-titanium endodontic instrument. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011 Jun;111(6):792-6.
142. Yin X, Cheung GS, Zhang C et al. Micro-computed tomographic comparison of nickel-titanium rotary versus traditional instruments in C-shaped root canal system. *J Endod* 2010 Apr;36(4):708-12.
143. Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA. Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *J Endod* 2010 Apr;36(4):703-7.
144. Solomonov M, Paqué F, Fan B et al. The challenge of C-shaped canal systems: a comparative study of the self-adjusting file and ProTaper. *J Endod* 2012 Feb;38(2):209-14.