

# **METODI DIAGNOSTICI PER LA VALUTAZIONE DELLA STABILITA' IMPLANTARE A CONFRONTO. ANALISI DELLA FREQUENZA DI RISONANZA: CONCETTI E IMPLICAZIONI CLINICHE**

Ilaria Franchini  
Maria Cristina Rossi  
Francesco Zuffetti  
Luca Francetti,\*  
Tiziano Testori,

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE CLINICHE "L.SACCO"  
ISTITUTO ORTOPEDICO GALEAZZI S.p.a.

## **SERVIZIO DI ODONTOSTOMATOLOGIA**

Direttore: **Prof. R.L.Weinstein**

## **REPARTO DI IMPLANTOLOGIA E RIABILITAZIONE ORALE**

Responsabile: **Dr. Tiziano Testori**

## **REPARTO DI PARODONTOLOGIA**

\* Responsabile: **Dr. Luca Francetti**

## **Riassunto**

I diversi metodi di valutazione clinica della stabilità implantare esaminano la qualità e/o la quantità della superficie di contatto osso-impianto (BIC). Le metodiche disponibili nella pratica clinica presentano aspetti negativi: scarse sensibilità e standardizzazione, soggettività, invasività. La prova dell'avvenuta osteointegrazione è ottenibile soltanto mediante indagine istologica. L'analisi della frequenza di risonanza (RFA) mediante un apparecchio elettronico con trasduttore ad elementi piezoceramici (Osstell™) consente una valutazione quantitativa della stabilità implantare. La frequenza di risonanza è direttamente proporzionale al grado di osteointegrazione e dipende dalla rigidità dell'interfaccia impianto-tessuto osseo e del tessuto peri-implantare. Nella pratica clinica la tecnica RFA permette di valutare la stabilità primaria, la stabilità secondaria, la stabilità di impianti non sommersi, il grado di osteointegrazione durante la fase funzionale, gli impianti in fase di fallimento e fornisce indicazioni sul momento favorevole al carico funzionale. La tecnica RFA rappresenta un metodo non invasivo per valutare la stabilità implantare consentendo di adeguare i tempi di guarigione alle condizioni individuali, di guidare le fasi terapeutiche nei casi a rischio di fallimento e di documentare i follow-up a lungo termine.

## **Abstract**

The different methods used to clinically evaluate implant stability examine quality and/or quantity of bone-implant-contact (BIC). However the available clinical methods have negative aspects: low sensibility and standardization, subjectivity and invasivity. Successful osseointegration can only be verified through histological analysis. Resonance frequency analysis (RFA) by the use of piezoelectric transceivers (Osstell™) allows a quantitative evaluation of the implant stability. Resonance frequency is directly proportional to the level of osseointegration and depends on the rigidity of the bone-implant-contact surface and of the peri-implant tissue. In clinical practice the RFA technique allows to evaluate implant primary stability, secondary stability, stability of non-submerged implants any time, level of osseointegration during its functional phase and implants at a risk of failure. Furthermore the technique provides an indication of the right moment to perform functional loading. The RFA technique is a non-invasive method to evaluate implant stability that allows to adjust the healing period in accordance to individual conditions, to guide the therapeutic steps in cases of risk of failure and to record long-term follow-ups.

## **Parole chiave**

osteointegrazione  
stabilità implantare  
analisi della frequenza di risonanza

## **Keywords**

osseointegration  
implant stability  
resonance frequency analysis

## **INTRODUZIONE**

Nel 1977 Brånemark et al. (1) pubblicarono il primo studio longitudinale a lungo termine sugli impianti endossei e dimostrarono che era possibile ottenere l'apposizione diretta di osso sulla superficie dell'impianto. Nel 1986 Albrektsson et al. (2) definirono l'osteointegrazione come "contatto diretto tra la superficie dell'impianto e osso vitale".

Il principio della terapia implantare si basa su questo concetto di osteointegrazione e consiste nell'inserire gli impianti nell'osso e nel mantenerne la stabilità nel tempo anche quando gli impianti sono sottoposti al carico funzionale. Fondamento della riabilitazione implantare è quindi la stabilità dell'impianto. Si distingue stabilità primaria e stabilità secondaria. La stabilità primaria è un fenomeno meccanico correlato alla tecnica chirurgica, alla qualità e quantità di tessuto osseo e alla macrogeometria dell'impianto. La stabilità secondaria è il risultato del processo di guarigione correlato al fenomeno di osteointegrazione, ossia alla formazione di nuovo tessuto osseo e suo rimodellamento a contatto con la superficie implantare. La valutazione della stabilità implantare fornisce indicazioni sull'evoluzione dell'osteointegrazione e sulle possibilità terapeutiche.

La terapia implantare oggi è caratterizzata dall'evoluzione rapida e continua nella tecnologia dei materiali utilizzati, nella macro- e microgeometria, nel trattamento di superficie dell'impianto, e nelle tecniche chirurgiche sempre più sofisticate. La tendenza attuale è rispondere a esigenze di ripristino funzionale ed estetico sempre più complesse limitando i rischi e aumentando i successi, in tempi sempre più ridotti.

Nella pratica clinica nasce l'esigenza, confermata dal gran numero di procedimenti descritti di valutazione intra- o post-operatoria, di disporre di un metodo diagnostico rapido, di facile applicazione e non invasivo, che consenta di valutare la stabilità dell'impianto e il grado di osteointegrazione.

## **METODI**

### **METODI DI VALUTAZIONE CLINICA DELLA STABILITA' IMPLANTARE**

I diversi metodi di valutazione clinica della stabilità implantare esaminano la qualità e/o la quantità della superficie di contatto osso-impianto (BIC). Le tabelle I e II presentano in modo schematico i metodi di valutazione non invasivi e invasivi, evidenziandone soprattutto gli svantaggi che ne limitano l'applicabilità nell'ambito clinico quotidiano. Quasi tutti i metodi finora disponibili in ambito clinico sono poco sensibili (prova di percussione), troppo influenzabili dall'operatore (Periotest®), troppo invasivi ovvero irreversibili (esame istologico, prova di espianto), difficilmente standardizzabili nella pratica quotidiana o ancora poco adatti per eseguire un follow-up clinico a breve termine (tecnica radiologica) (3). La validità dell'analisi radiologica è limitata perlopiù alla valutazione non invasiva dell'entità della perdita ossea a livello della cresta peri-implantare nei follow-up a lungo termine (4).

La prova inconfutabile dell'avvenuta osteointegrazione è ottenibile soltanto mediante indagine istologica ovvero la valutazione della struttura, della qualità e della quantità dell'osso all'interfaccia: in un impianto osteointegrato è chiaramente apprezzabile il contatto diretto osso-superficie implantare, con osso secondario depositato a contatto con il titanio.

### **ANALISI DELLA FREQUENZA DI RISONANZA**

L'analisi della frequenza di risonanza (RFA) consente di eseguire una valutazione quantitativa della stabilità dell'impianto derivando da questa le necessarie conclusioni sul grado di osteointegrazione (5).

L'analisi della frequenza di risonanza mediante un apparecchio elettronico (Osstell™) con trasduttore ad elementi piezoceramici utilizza la proprietà fisica della piezoelettricità di convertire energia elettrica in energia cinetica e viceversa.

Il funzionamento consiste in un test di piegatura del sistema osso-impianto in cui viene applicata una forza di leva microscopica in grado di eccitare il trasduttore. Un modulatore di frequenza invia un segnale sinusoidale ad uno degli elementi piezoceramici su una banda di frequenza compresa tra 5 e 15 kHz in passi da 25 Hz. Il primo elemento piezoceramico del trasduttore oscilla in funzione della rigidità dell'unità osso-impianto. Ad una determinata frequenza si verifica la rispettiva variazione dell'ampiezza. Questa causa la deformazione del secondo elemento piezoceramico che genera un flusso di corrente intercettato dal ricevitore come risonanza. L'andamento temporale della frequenza di risonanza dell'impianto è stato verificato su un impianto annegato in un blocco di resina autoindurente (5).

La stabilità implantare viene misurata collegando il trasduttore direttamente all'impianto o al pilastro mediante serraggio manuale o con dispositivo meccanico. Il trasduttore deve essere applicato perpendicolarmente alla mandibola, senza contatto con denti adiacenti o tessuti molli circostanti (fig. 4.5). La prima misurazione rappresenta un valore importante per l'interpretazione dei dati successivi, misurazioni ripetute con il trasduttore nella stessa posizione consentono un confronto significativo dei risultati.

La tecnica RFA analizza la prima frequenza di risonanza del trasduttore fissato all'impianto o al pilastro. Il valore della frequenza di risonanza è automaticamente convertito nell'indice ISQ (= Implant Stability Quotient), un valore compreso tra 1 e 100. Il rapporto tra RFA e ISQ è lineare. La frequenza di risonanza è direttamente proporzionale al grado di osteointegrazione e connessa alla rigidità dell'unità osso-impianto osservabile a tre livelli (6):

1. rigidità dell'impianto (materiale e macrogeometria),
2. rigidità dell'interfaccia impianto-tessuto osseo (superficie di contatto osso-impianto),
3. rigidità del tessuto peri-implantare (densità ossea / tessuto connettivo).

Variazioni della frequenza di risonanza di un impianto derivano da possibili modificazioni del tessuto peri-implantare e del suo contatto con la superficie implantare.

Per una corretta valutazione clinica bisogna considerare sia il valore ISQ che l'aspetto del grafico. Un basso valore ISQ non rappresenta necessariamente una situazione di rischio, anche il grafico fornisce indicazioni importanti.

I seguenti valori sono di riferimento in prima fase chirurgica:

<b>ISQ <math>\geq</math> 65</b>	stabilità primaria ideale
<b>ISQ &lt; 55</b>	impianti clinicamente stabili ad alto rischio di fallimento

Valori ISQ elevati al momento dell'inserimento dell'impianto tendono a diminuire col tempo e a stabilizzarsi dopo il carico; valori ISQ bassi tendono ad aumentare soprattutto in seguito al carico funzionale. I risultati di misurazione si presentano in un picco distinto di larghezza variabile (fig. 1). Valori ISQ inferiori a 40 o superiori a 95 indicano una misurazione errata (fig. 2).

Misurazioni errate possono essere dovute a:

- trasduttore a contatto con denti contigui, tessuto molle, lingua del paziente,
- tessuto intrappolato tra trasduttore e impianto o tra pilastro e impianto,
- impianto completamente incapsulato in tessuto fibroso (clinicamente mobile: è impossibile misurare la stabilità),
- vite del trasduttore non sufficientemente avvitata (10 Ncm),
- pilastro in posizione errata o vite del pilastro non sufficientemente serrata.

## APPLICAZIONI CLINICHE

Nella pratica clinica lo strumento trova le seguenti applicazioni:

- valutazione della stabilità primaria in prima fase chirurgica,
- valutazione della stabilità secondaria in seconda fase chirurgica,
- valutazione della stabilità in impianti non sommersi,
- valutazione del grado di osteointegrazione in fase funzionale,
- valutazione prognostica di impianti a rischio di fallimento,
- indicazione del momento favorevole per il carico funzionale (ad es. carico immediato).

Le misurazioni effettuate nei diversi momenti di una terapia implantare (posizionamento dell'impianto, connessione del pilastro di guarigione, connessione protesica, follow-up) sono riassumibili graficamente nell'andamento di curve correlate alla stabilità implantare espressa in RFA (Hz) (resonance frequency) o ISQ (implant stability quotient).

L'andamento delle curve della frequenza di risonanza nei 12 mesi di follow-up mostra una lieve diminuzione dei valori nei primi mesi successivi all'intervento da ricondurre al rimodellamento marginale dell'osso, documentato radiologicamente (7; 8; 9). In seguito al carico funzionale tali valori tendono lentamente ad aumentare per riavvicinarsi a quelli della stabilità primaria misurata al momento del posizionamento degli impianti (5).

Nell'ambito di studi clinici sono state riscontrate differenze iniziali della frequenza di risonanza e della stabilità primaria in impianti in tessuto osseo di diversa densità (5; 7; 8; 10; 11). Dopo 12 mesi successivi all'intervento e dopo il carico funzionale i valori si sono avvicinati rientrando in una fascia ristretta. Inoltre le misurazioni rivelano che gli impianti inseriti nell'osso poco denso del mascellare mostrano un maggiore aumento della stabilità rispetto agli impianti inseriti nell'osso più denso della mandibola (12; 13; 14; 15).

I valori della frequenza di risonanza e l'andamento delle curve permettono di effettuare una valutazione della stabilità implantare durante la fase funzionale e una valutazione prognostica di impianti a rischio (3; 13). Valori che diminuiscono più o meno rapidamente dopo il posizionamento dell'impianto e dopo il carico protesico indicano il fallimento dell'impianto a medio o lungo termine (14; 15). Dati clinici rivelano che gli impianti falliti hanno un valore ISQ di stabilità primaria inferiore a 50 al momento del loro posizionamento (14).

L'interpretazione del valore ISQ fornisce indicazioni sulle possibilità di trattamento. Gli impianti con valori ISQ superiori a 60 sono candidati al carico immediato, mentre valori inferiori a 45 denotano un alto rischio di fallimento. Gli impianti con valori tra 45 e 60 sono destinati a un tempo di guarigione più o meno lungo prima del carico funzionale, che dipende dell'andamento della curva della frequenza di risonanza e quindi dalla loro stabilità misurata nel tempo. Secondo Sennerby & Meredith (1998) (14; 15) la maggioranza degli impianti posizionati nella mandibola (> 50%) sono destinati al carico immediato, mentre solo una minoranza (< 25%) degli impianti posizionati nella mascella è destinata a questo tipo di trattamento (figura 3).

La figura 4 propone la sequenza di immagini di un trattamento implantare e mette in evidenza la rilevanza clinica delle misurazioni della frequenza di risonanza.

## CONCLUSIONI

L'analisi della frequenza di risonanza rappresenta un metodo non invasivo per determinare quantitativamente nella pratica clinica la stabilità implantare. La metodica consente di adeguare i tempi di guarigione alle condizioni individuali, di guidare le fasi terapeutiche in casi a rischio di insuccesso e di documentare i follow-up a lungo termine.

Tuttavia i dati pubblicati fino ad oggi non considerano nel dettaglio le caratteristiche implantari che possono influenzare direttamente la rigidità del complesso osso-impianto quali la lunghezza, il diametro, la macro- e microgeometria (16). Anche la struttura dell'osso corticale con spessore e densità variabili può condizionare l'esito della valutazione alterando il risultato. Inesplorata anche

l'influenza dei fluidi orali (saliva, sangue) a contatto con il trasduttore sull'esito delle misurazioni. Inoltre nei follow-up le misurazioni della frequenza di risonanza richiedono la rimozione della protesi. Questo causa inevitabilmente una ferita chirurgica nel tessuto perimplantare con conseguenti modifiche soprattutto dei tessuti parodontali sottili in seguito a un nuovo processo di guarigione a contatto con la connessione protesica. La procedura richiede inoltre un dispendio di tempo e di attenzione particolare nei casi più complessi.

## BIBLIOGRAFIA

1. Brånemark PI, Hanson BO, Adell R Osteointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a ten-year period. *Scand J Plast Reconstr Surg* 1977; 16: 1-132
2. Albrektsson T, Hansson T, Lekholm U Osteointegrated dental implants. *Dent Clin North Am* 1986; 30:151-74
3. Meredith N Assessment of implant stability as a prognostic determinant. *Int J Prosthodont* 1998; 11(5): 491-501. Review.
4. Hermann JS, Schoolfield JD, Nummikoski PV et al. Crestal bone changes around titanium implants: a methodologic study comparing linear radiographic with histometric measurements. *Int J Oral Maxillofac Impl* 2001; 16: 475-85
5. Glauser R, Meredith N Metodi diagnostici per la valutazione della stabilità dell'impianto. *Quintessence Int* 2002; 1-2: 3-15
6. Meredith N, Alleyne D, Cawley P Quantitative determination of the stability of the implant-tissue interface using resonance frequency analysis. *Clin Oral Implants Res* 1996; 7(3): 261-7
7. Friberg B, Sennerby L, Lindèn B, Gröndahl K, Lekholm U Stability measurements of one-stage Branemark implants during healing in mandibles : a clinical resonance frequency analysis study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1999; 28: 266-272
8. Friberg B, Sennerby L, Meredith N, Lekholm U A comparison between cutting torque and resonance frequency measurements of maxillary implants: a 20-month clinical study. *Int J Oral Maxillofac Surg* 1999; 28:297-303
9. Testori T, Del Fabbro M, Parenti A, Francetti L, Weinstein RL Impianti a carico immediato in mandibole edentule. Studio longitudinale prospettico. *Dental Cadmos* 2002; 3: 65-79
10. Meredith N, Book K, Friberg B, Jemt T, Sennerby L Resonance frequency measurements of implant stability in vivo. A cross-sectional and longitudinal study of resonance frequency measurement on implants in edentulous and partially dentate maxilla. *Clin Oral Impl Res* 1997; 8: 226-233
11. Huang HM, Lee SY, Yeh CY, Lin CT Resonance frequency assessment of dental implant stability with various bone quality: a numerical approach. *Clin Oral Implants res.* 2002; 13(1): 65-74
12. Rasmusson L, Stegersjo G, Kahnberg KE, Sennerby L Implant stability measurements using resonance frequency analysis in the grafted maxilla: a cross-sectional pilot study. *Clin Implant dent Relat Res* 1999; 1(2): 70-4
13. Meredith N A review of nondestructive test methods and their application to measure the stability and osseointegration of bone anchored endosseous implants. *Crit Rev Biomed Eng* 1998; 26(4): 275-91
14. Sennerby L, Meredith N Resonance frequency analysis: Measuring implant stability and osseointegration. *Compend Contin Educ Dent* 1998 May; 19(5): 493-498, 500, 502
15. Sennerby L, Meredith N Diagnostic de la stabilité D'un implant par l'analyse de sa fréquence de résonance. *Implant* 1999; 5 : 93-100
16. O'Sullivan D, Sennerby L, Meredith N Measurements comparing the initial stability of five designs of dental implants: a human cadaver study. *Clin Implant Dent Relat Res* 2000; 2(2): 85-92

Tabella I: Metodi non invasivi di valutazione clinica della stabilità implantare.

	<b>Metodo</b>	<b>Valutazione</b>	<b>Vantaggi</b>	<b>Svantaggi</b>
<b>Prova di Percussione</b>	Percussione con manico di strumento	Qualitativa; Risonanza e smorzamento dell'impianto nell'osso: Suono chiaro Suono cupo	Semplice Poco costoso	Soggettivo; Scarsa sensibilità
<b>Analisi radiologica</b>	RX-endorali	Quantitativa e qualitativa; Radiotrasparenza lungo superficie osso-impianto e livello osso marginale.	Semplice Poco costoso	Bidimensionale; Poco standardizzabile; Non per follow-up brevi (<6 weeks)
<b>Periotest®</b>	Elettronico Sequenza di impulsi Perno su manipolo	Quantitativa; Smorzamento del parodonto Mobilità del dente		Soggettivo; Scarsa sensibilità; Valori bassi – poco significativi
<b>Misurazione della resistenza al taglio (Osseo-Care®)</b>	Chirurgico ad es. mediante maschiatore	Quantitativa; Resistenza al taglio del sito implantare, densità ossea		Limitato all'intervento chirurgico
<b>Reverse-torque-test</b>	Prova di inversione della coppia di serraggio di 20 N/cm dell'impianto esposto	Quantitativa; Svitamento dell'impianto		Deformazione dell'osso; provocazione di fallimenti; Falsi positivi su impianti > 13 mm

Tabella II: Metodi invasivi di valutazione clinica della stabilità implantare

	<b>Metodo</b>	<b>Valutazione</b>	<b>Vantaggi</b>	<b>Svantaggi</b>
<b>Analisi istologica</b>	Prelievo con tecnica di molaggio	Qualità e quantità ossea (istomorfometria)	Alta qualità	Invasivo
<b>Removal Torque Measurement (prova di espianto)</b>	Prova di disinserimento applicazione forza manuale / elettronica su impianto	Quantitativa; Forza necessaria per separare unità osso-impianto		Invasivo; Dipende da geometria implantare

Figura 1: Il picco distinto sul grafico (a) e il picco arrotondato abbinato al valore ISQ > 50 (b) indicano una misurazione corretta.

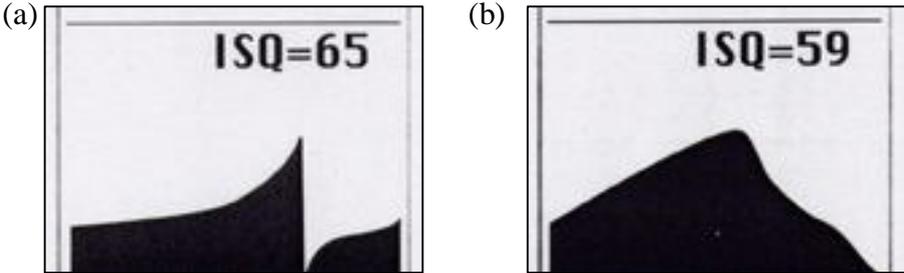


Figura 2: Picchi multipli e valore ISQ < 40 (a) e picco tardivo e valore ISQ > 100 (++) (b) ad indicazione di misurazione errata.

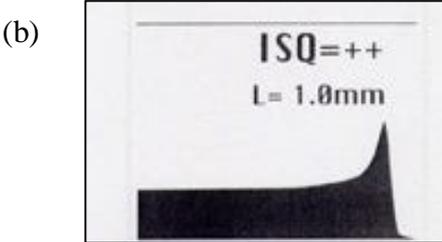
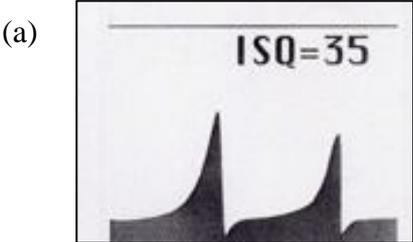
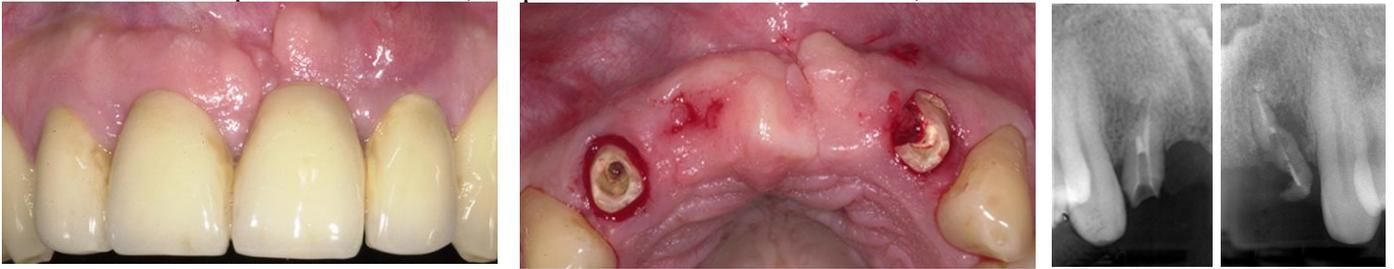


Figura 3: ISQ e tempo di guarigione nella mandibola (●) e nella mascella (◆) (da Sennerby & Meredith, 1998) (14).



Figura 4: Un caso clinico step by step.

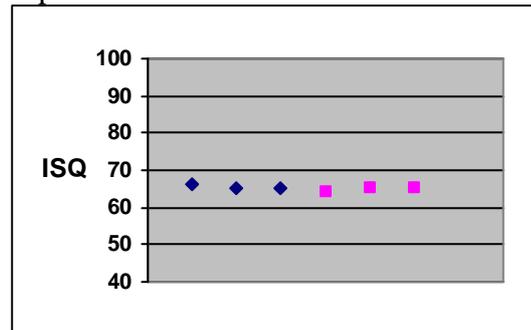
4.1 Caso iniziale: ponte tradizionale, un pilastro con frattura radicolare, uno con una falsa strada.



4.2 Posizione implantare. Gli impianti laterali post-estrattivi sono inseriti dopo avulsione atraumatica delle radici.



4.3 Misurazione della stabilità primaria sui due impianti centrali: 3 misurazioni su ogni impianto



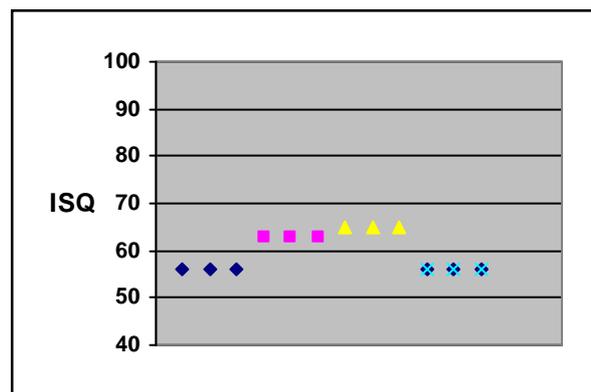
4.4 Carico immediato sui due impianti centrali. In caso di fallimento è possibile realizzare un ponte sugli impianti laterali.



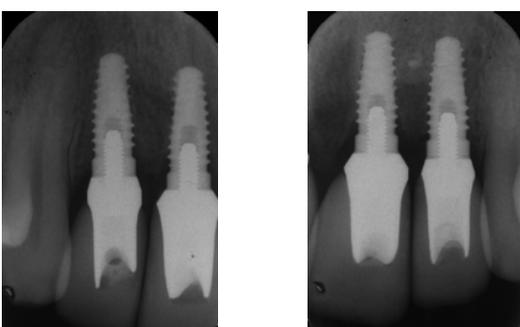
4.5 Posizionamento del trasduttore per la misurazione della stabilità secondaria (6 mesi dopo).



4.6 Stabilità secondaria: su ogni impianto sono state effettuate tre misurazioni.



4.7 Carico funzionale dei quattro impianti.



4.8 Il caso completato.

