

Studio sul comportamento alla fatica della sistemica implantare BICON®

Enrico GHERLONE*, Luigi PARACCHINI**, Leonardo TARGETTI***, Alberto MASCARDI*

* Istituto Scientifico Universitario San Raffaele – Milano, Servizio di Odontoiatria, direttore E. Gherlone

** European Commission, JRC, Institute for Health and Consumer Protection (IHCP), Ispra (VA)

*** Libero professionista, Firenze

RIASSUNTO

La biofunzionalità degli impianti dentali è un aspetto molto importante e poco studiato. La sua valutazione può essere condotta in vari modi ma, l'adottare test da laboratorio come lo sono le prove a fatica dove i provini sono sottoposti a continui cicli di carico, certamente è un metodo sicuro ed affidabile. Il presente lavoro ha voluto considerare la verifica strutturale sulla sistemica implantare BICON® mediante test a fatica. I risultati ottenuti sono stati molto interessanti. Hanno dimostrato come l'impianto BICON® sia in grado di resistere in modo ottimo ai continui carichi e scarichi non solo in condizioni simili al funzionamento fisiologico, ma anche in situazioni ben più gravose.

PAROLE CHIAVE

Impianto dentale – Fatica – Fixture – Abutment – Carico – Deformazione – Biofunzionalità

ABSTRACT

The biofunctionality of the dental implants is a very important aspect a little studied. His evaluation could be conducted by means of different methods. To adopt laboratory test like fatigue test where samples are submitted to continuous cycles of load, certainly it is a sure and reliable method. The present work has considered the structural behaviour of the BICON® dental implants by means of fatigue test. The results obtained have been very interesting. They shown like the BICON® dental implants have a good behavior under continuous loads and unloading, as for example during physiological conditions but also under serious conditions.

KEY WORDS

Dental implant – Fatigue – Fixture – Abutment – Stress – Strain – Biofunctionality

INTRODUZIONE

Appare chiaro a tutti, come sia molto importante avere un controllo assoluto sulla biofunzionalità degli impianti dentali ^[1,2], al fine di garantire un corretto funzionamento durante l'importante funzione com'è quella masticatoria. Molti lavori, circa la verifica strutturale degli impianti dentali, sono stati condotti peccando forse un po' troppo di monotematicità. Secondo il nostro punto d'osservazione, l'approccio corretto alla valutazione strutturale di un impianto dentale deve, sì considerare la capacità alla resistenza ai carichi statici, ma altresì dovrà tener conto del comportamento sotto l'effetto di sollecitazioni dinamiche ^[3-6]. Con l'approccio alla valutazione del comportamento sotto l'effetto di un carico dinamico, è stato possibile valutare l'effettivo stato di stress e/o deformazione durante l'azione fisiologica della masticazione ^[7-10]. I test a fatica sono un ottimo approccio per la conoscenza specifica sull'argomento, riproducono per un determinato numero di cicli il reale funzionamento della fixture e dell'abutment, tengono conto delle condizioni al contorno applicando carichi che possono variare tra un minimo ed un massimo, ma soprattutto sono test prolungati nel tempo in grado di fornire indicazioni di quando e come fallirà l'insieme. Un'attenta analisi bibliografica condotta sulla letteratura internazionale ^[11-16] ha dimostrato come l'argomento, forse per il suo difficile approccio, forse per lo scarso interesse, sia stato poco studiato e di conseguenza poco si sa sul reale comportamento dell'impianto e dell'abutment durante l'applicazione di ripetuti carichi nel tempo come lo sono i test a fatica. In questo studio abbiamo voluto prenderci carico di analizzare la sistemica implantare BICON® dal punto di vista del comportamento alla fatica, considerando due filosofie d'accoppiamento: una fixture da 5 millimetri

di diametro accoppiata ad un abutment diritto e, una fixture da 5 millimetri di diametro accoppiata ad un abutment inclinato a 15 gradi. I test sono stati condotti considerando un carico applicato per tempi lunghi tanto da simulare le condizioni di funzionamento per molti anni. Le valutazioni post test sono state eseguite mediante analisi metallografiche, esaminando le parti critiche nelle quali le variazioni di sezione potevano essere il veicolo delle rotture con conseguente cedimento dell'insieme.

MATERIALI e METODI

I test a fatica presentati in questo lavoro, sono stati eseguiti sulla sistemica implantare BICON® accoppiando delle fixture da 5 millimetri di diametro e 11 millimetri d'altezza con abutment dritti ed inclinati a 15 gradi. La macchina, impiegata per le prove ed espressamente dedicata alla conduzione di verifiche strutturali con carichi ciclici, è stata di tipo idraulico (INSTRON 4400) ed assistita, sia da un sistema a ricircolo d'olio con la funzione di mantenere costante la pressione idraulica nei corpi pneumatici preposti al trasferimento dei carichi durante tutta la simulazione, sia da un sistema computerizzato per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati. I carichi applicati durante i test sono stati rispettivamente: per la prima serie di prove carichi compresi tra i 50 e i 200 N; per la seconda serie di prove carichi compresi tra i 50 e i 500 N; per la terza serie di prove carichi compresi tra i 50 e i 1000 N. I carichi scelti per la prima serie di prove hanno voluto simulare le reali forze fisiologiche di scambio tra i denti durante la normale funzione masticatoria, mentre, per quanto ha riguardato la seconda e la terza serie di test, i carichi imposti hanno voluto far chiarezza circa il comportamento dell'insieme fixture/abutment quando bruscamente s'innalzano, a parità di numero di cicli, le forze in gioco. La durata d'applicazione dei carichi è stata quantificata in 5 milioni di cicli per le prime due condizioni di carico qui sopra illustrate, che, tenendo conto di una frequenza d'applicazione della forza sul singolo elemento dentale pari ad 1 ciclo al secondo (1 Hz), si è stati certi di simulare uno stato reale di funzionamento dell'insieme fixture/abutment di 15 anni. Per la terza condizione di carico i test sono durati 3 milioni di cicli, così deciso per accorciare i tempi di prova e comunque tali da simulare un reale funzionamento di 9 anni. Si ricorda che i test condotti con i parametri sopra illustrati hanno impegnato per un anno la macchina di prova, tenendo occupato sia personale, che infrastrutture. Lo schema d'applicazione dei carichi, secondo la direzione della freccia, è stato rappresentato in figura 1a e 1b. Per poter garantire il corretto trasferimento dei carichi tra la macchina e l'insieme fixture/abutment durante lo schiacciamento ciclico, gli impianti dentali BICON®, accoppiati ai rispettivi abutment, sono stati annegati in una resina acrilica (ACRIFIX-STRUERS) dalle caratteristiche meccaniche simili a quelle dell'osso corticale (modulo d'elasticità normale $E=15000$ MPa, coefficiente di Poisson $\nu=0.3$). Il provino di resina acrilica, contenente l'impianto ed accoppiato all'abutment, è stato vincolato alla macchina di prova mediante semplici pinze, visibili in figura 2a e 2b.

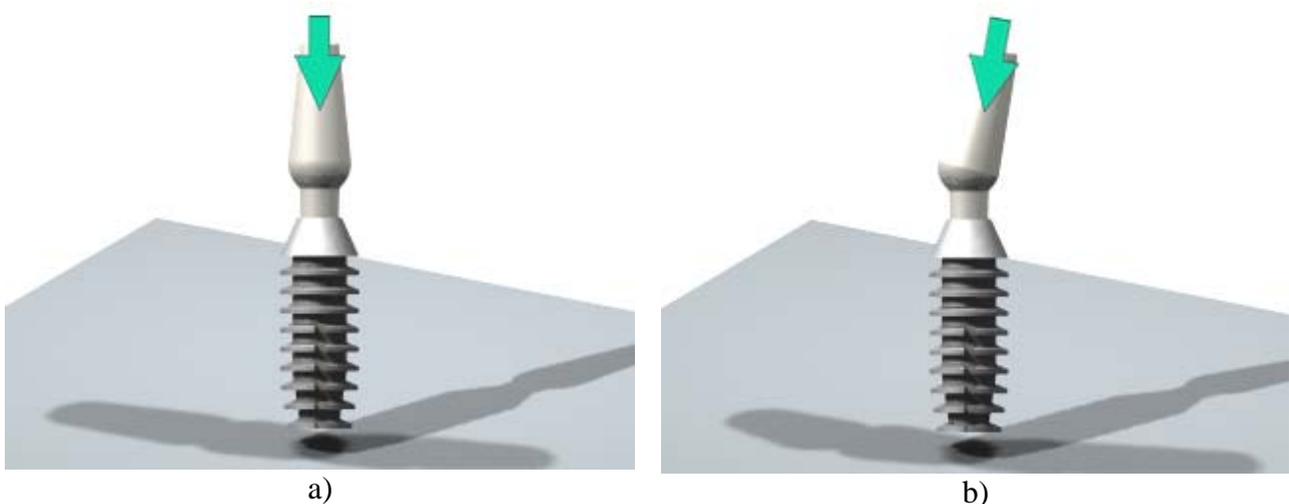


Fig. 1: schema d'applicazione dei carichi ciclici rappresentato dalla freccia: a) carichi sull'insieme fixture/abutment a 0 gradi; b) carichi sull'insieme fixture/abutment a 15 gradi.

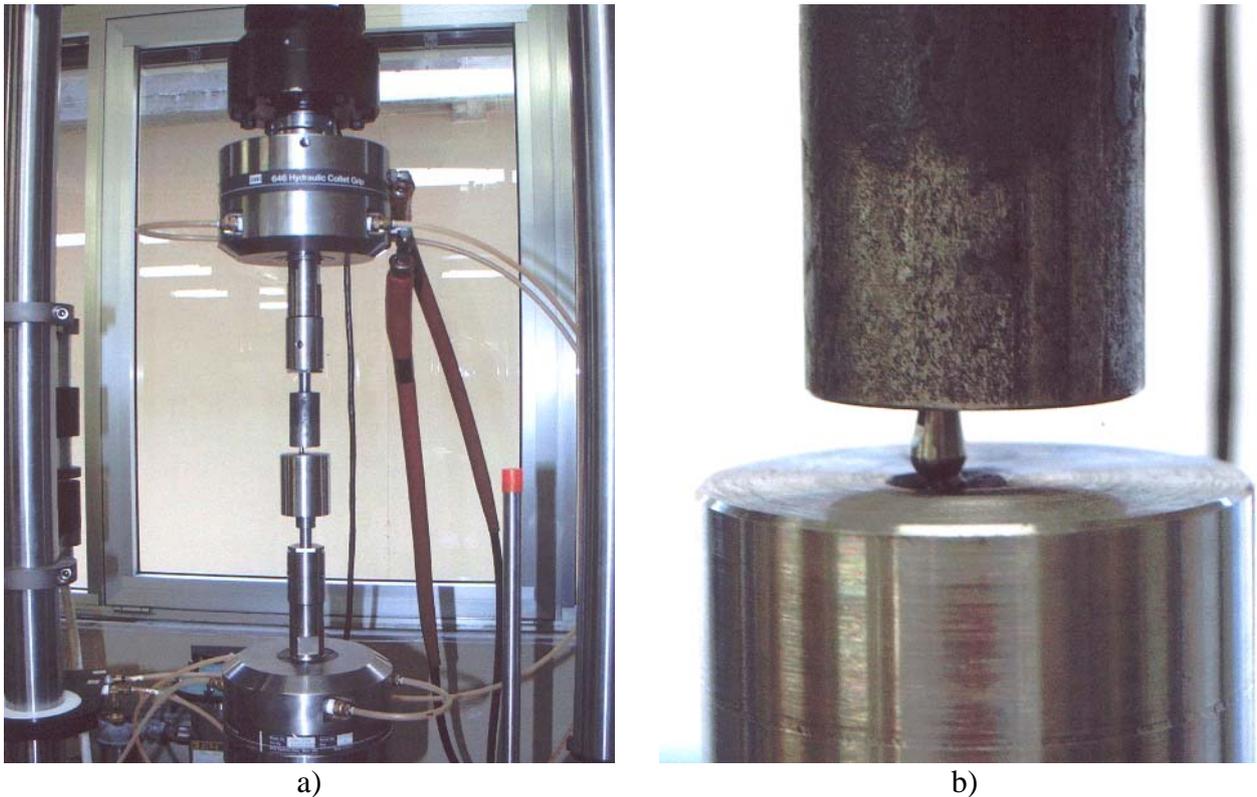


Fig. 2: pinze per l'aggrappaggio dei provini alla macchina: a) vista complessiva della macchina impiegata per i test a fatica; b) particolare dell'insieme impianto dentale/abutment/provini/controprovini.

A conclusione dei 5 milioni di cicli, i provini composti dalla resina acrilica, dall'impianto e dall'abutment sono stati controllati mediante analisi metallografiche al microscopio ottico a riflessione (LEICA 301 DM RME). Le preparazioni metallografiche, ottenute su due piani perpendicolari tra loro e passanti per l'asse longitudinale dell'impianto come rappresentato in figura 3, sono state conseguite mediante la lucidatura dei provini attraverso una serie di passaggi alle carte abrasive e alle tele con sospensioni diamantate.

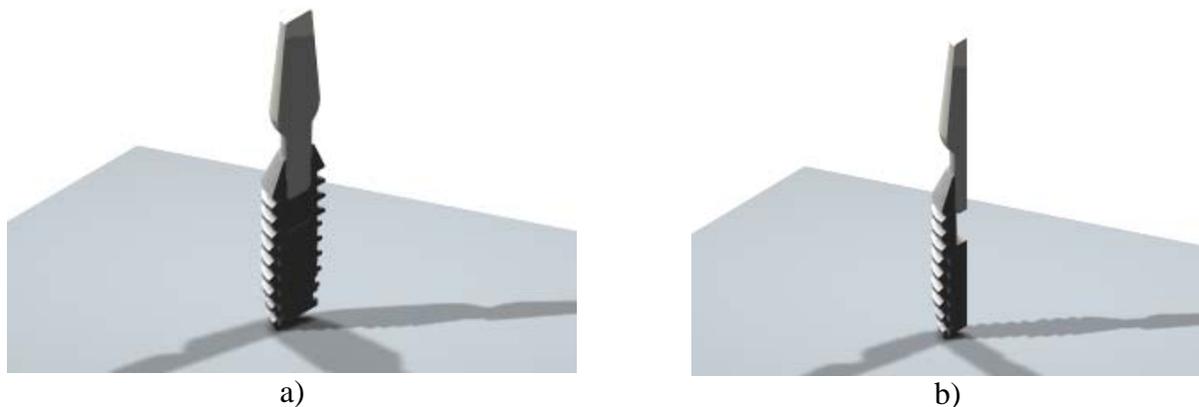


Fig. 3: rappresentazione schematica dei piani d'analisi metallografia sui provini contenenti impianto ed abutment: a) piano 1; b) piano 2.

Dopo l'ultimo passaggio del provino metallografico sulla tela con la sospensione diamantata più fine (5 μm di granulometria), la superficie speculare ottenuta è stata attaccata chimicamente

mediante una soluzione acida a base d'acido fluoridrico portando, attraverso questo passaggio, in luce la natura strutturale sia della fixture, sia dell'abutment.

RISULTATI

L'analisi dei risultati, ottenuti dai test a fatica sulla sistemica implantare BICON[®], è stata riassunta attraverso il confronto di tutte le sezioni metallografiche tratte dai provini in esame (la figura 4 mostra dove gli ingrandimenti a 100X, cerchiatura nera, mediante il microscopio a riflessione LEICA 301 DM RME, sono stati condotti). Per analizzare con ordine tutte le fotografie rappresentate in figura 5, 6 e 7, procederemo per punti, in modo da facilitarne la spiegazione. Va ricordato che tutti test sono stati condotti mediante tre distinti cicli ovvero: prima serie di prove con carichi compresi tra 50 e 200N con una media diversa da zero e pari a 125N; seconda serie di prove con carichi compresi tra 50 e 500N con una media diversa da zero e pari a 275N; terza serie di prove con carichi compresi tra 50 e 1000N con una media diversa da zero e pari a 525N.

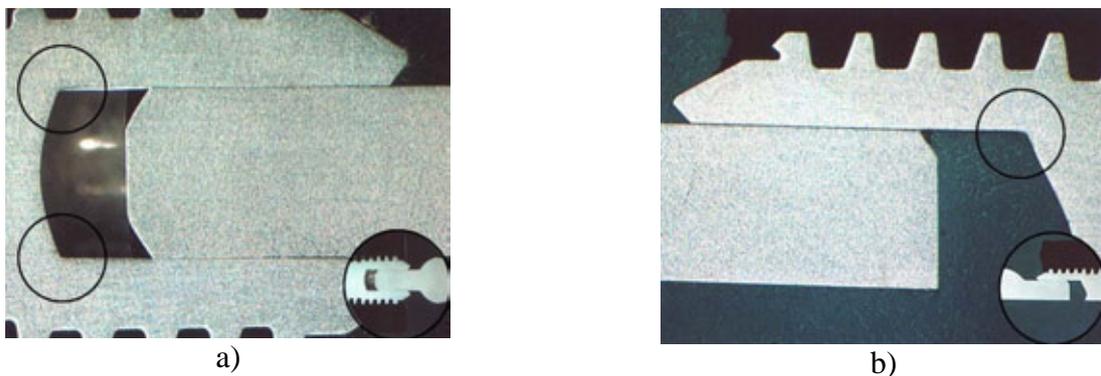
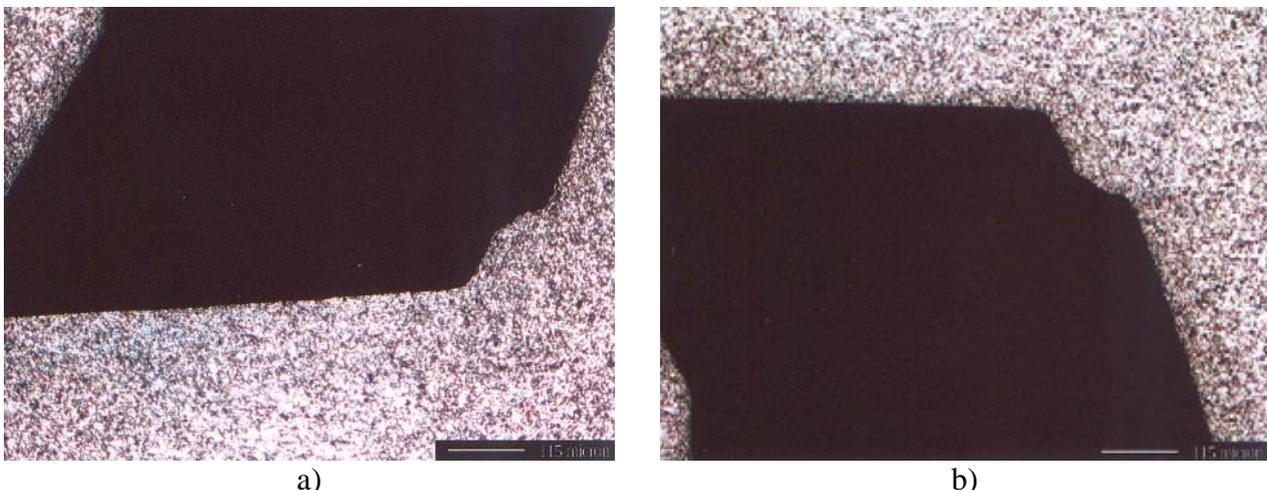


Fig. 4: schema d'analisi metallografia a 6X sull'insieme fixture/abutment: a) provino tagliato lungo il piano 1; b) provino tagliato lungo il piano 2.

- Serie di prove con carichi compresi tra 50 e 200N

I risultati ottenuti da questa serie di prove hanno fornito l'andamento più vicino alla realtà della sistemica implantare BICON[®], ossia il comportamento dell'insieme abutment/fixture durante la fase fisiologica della masticazione. I test, condotti alla frequenza di 1 Hz per 5 milioni di cicli, non hanno minimamente intaccato, durante l'intera prova, la struttura del materiale come ben si può osservare dalla figura 5. L'analisi metallografica, sulle due diverse tipologie d'accoppiamento, non mostra segni di cedimento nel materiale soprattutto nelle sezioni critiche poste in corrispondenza del cambio di geometria sul fondo conico interno, sede dell'alloggiamento dell'abutment.



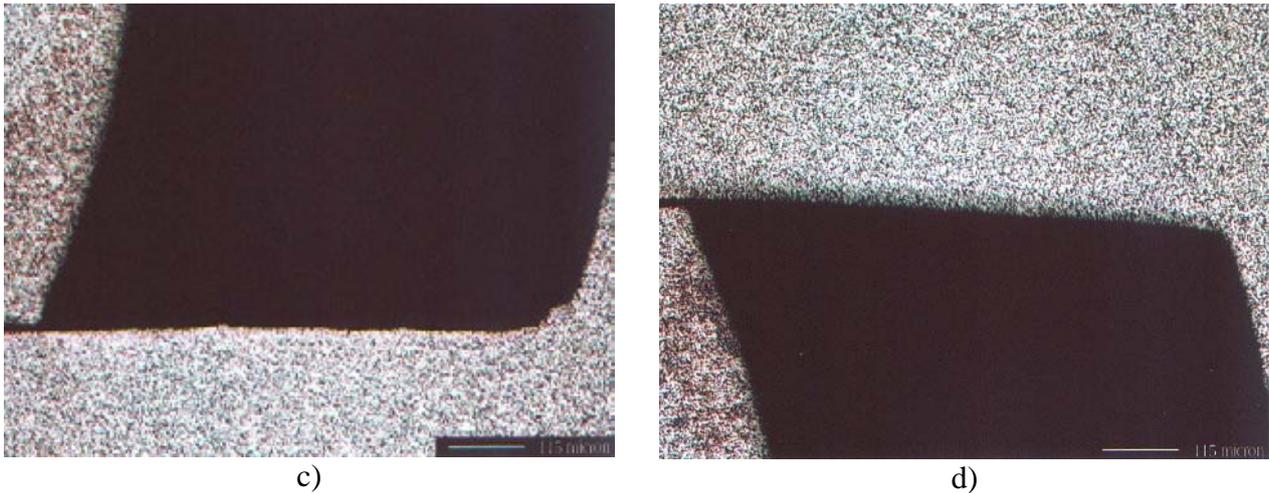


Fig. 5: sezioni metallografiche a 100X ottenute dall'analisi dei provini caricati dalla prima serie di carichi: a) provino con fixture ed abutment dritto sezionati lungo il piano 1; b) provino con fixture ed abutment dritto sezionati lungo il piano 2; c) provino con fixture ed abutment inclinato a 15° sezionati lungo il piano 1; d) provino con fixture ed abutment inclinato a 15° sezionati lungo il piano 2.

□ Serie di prove con carichi compresi tra 50 e 500N

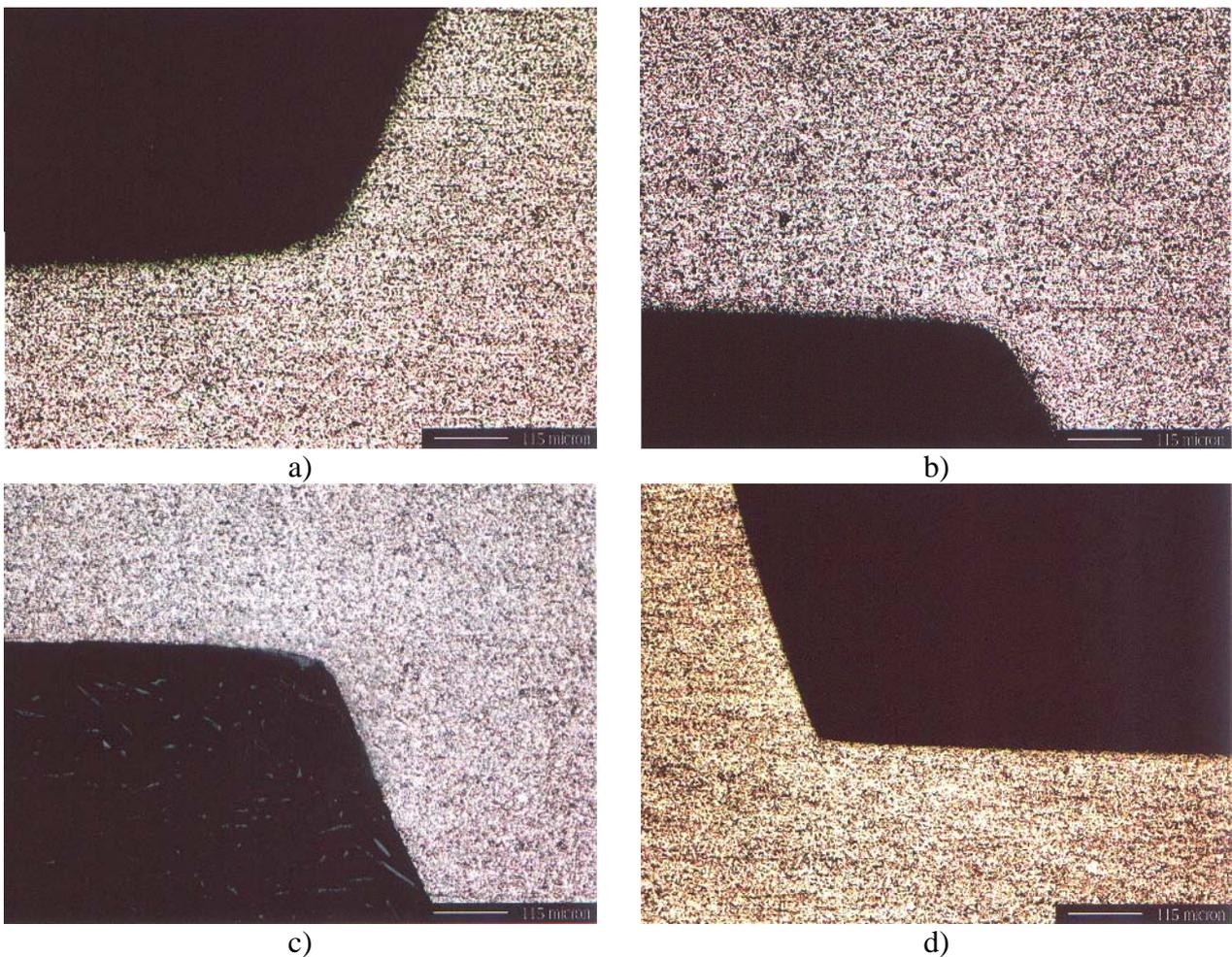


Fig. 6: sezioni metallografiche a 100X ottenute dall'analisi dei provini caricati dalla seconda serie di carichi: a) provino con fixture ed abutment dritto sezionati lungo il piano 1; b) provino con fixture ed abutment dritto sezionati lungo il piano 2; c) provino con fixture ed abutment inclinato a 15° sezionati lungo il piano 1; d) provino con fixture ed abutment inclinato a 15° sezionati lungo il piano 2.

I risultati ottenuti da questa serie di prove hanno avuto lo scopo di scostarsi leggermente rispetto alla realtà ma che ha significato, da parte nostra, il poter dare uno sguardo a carichi ancora possibili, in particolari condizioni fisiologiche. Le sezioni metallografiche, rappresentate in modo chiaro in figura 6, non mostrano segni di cedimento del materiale costituente sia l'impianto (Ti6Al4V), sia il moncone (Ti6Al4V). La struttura del materiale è compatta anche nelle zone critiche in corrispondenza del fondo dell'alloggiamento conico adibito all'inserimento dell'abutment.

□ Serie di prove con carichi compresi tra 50 e 1000N

Appare evidente come la valutazione condotta sui provini, caricati da forze che superano di molto la reale condizione fisiologica, sia servita alla verifica strutturale dell'insieme fixture/abutment in condizioni di lavoro estremo, irraggiungibile nella realtà. Il perché aver considerato questa serie di carichi così estrema, è stata tutta nella voglia di verificare fino a che punto era possibile spingersi per procurare cedimento del materiale. È stata per noi un'enorme sorpresa aver osservato che, dopo una serie di 3 milioni di cicli alla frequenza di 1 Hz e non a 5 milioni di cicli come quelli usati per le due serie precedenti, si ricorda che 3 milioni di cicli alla frequenza di 1 Hz corrispondono in realtà ad un funzionamento per 9 anni, l'insieme fixture/abutment non ha mostrato alcunché di cedimenti a livello strutturale ed è stato così deciso, per accorciare soprattutto i tempi di prova, di interrompere il test, avendolo considerato a tutti gli effetti un risultato di grande significatività.

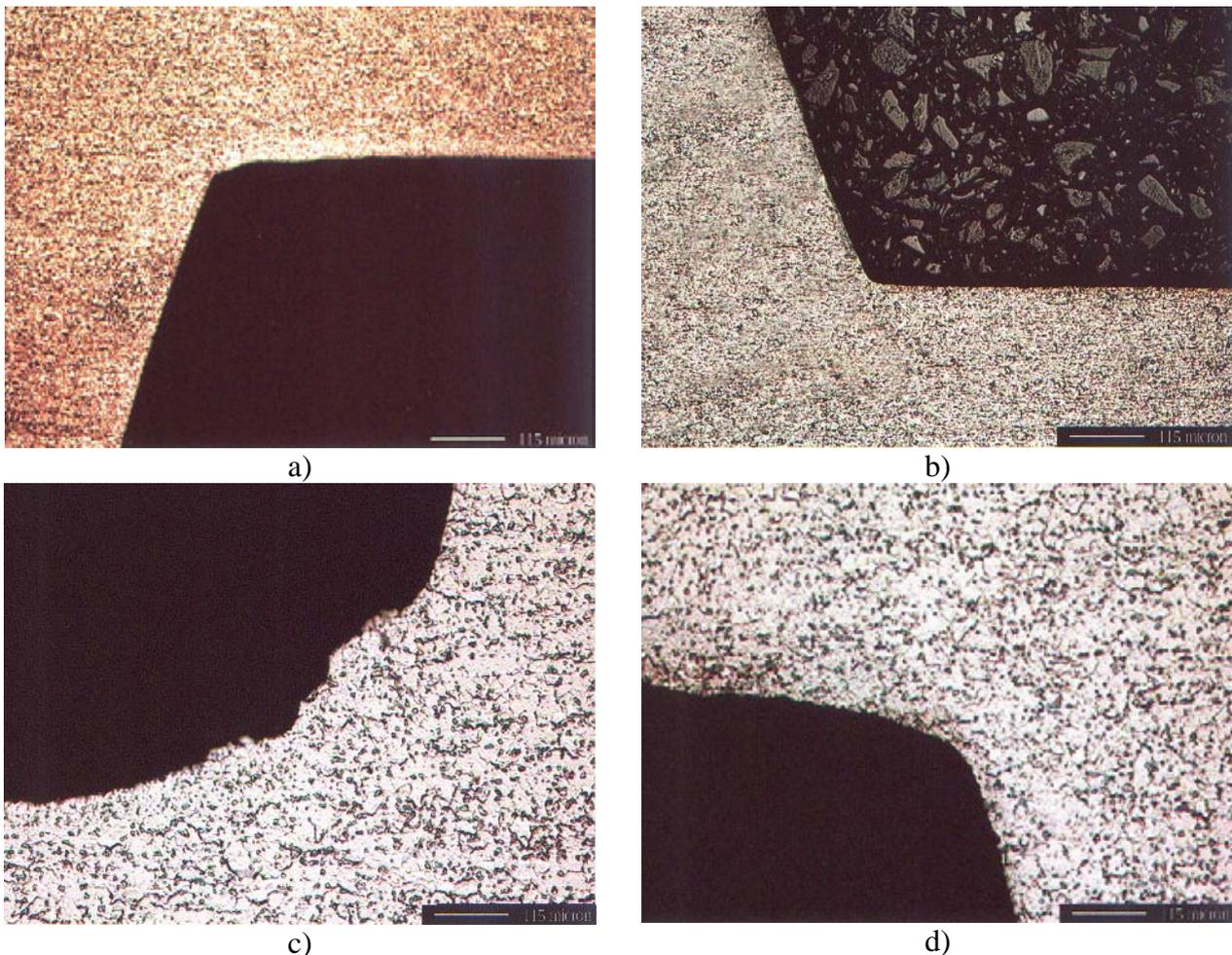


Fig. 7: sezioni metallografiche a 100X ottenute dall'analisi dei provini caricati dalla terza serie di carichi: a) provino con fixture ed abutment diritto sezionati lungo il piano 1; b) provino con fixture ed abutment diritto sezionati lungo il piano 2; c) provino con fixture ed abutment inclinato a 15° sezionati lungo il piano 1; d) provino con fixture ed abutment inclinato a 15° sezionati lungo il piano 2.

CONCLUSIONI

Il completamento delle analisi strutturali, mediante test a fatica, ci ha permesso di stabilire con esattezza la capacità circa il comportamento della resistenza ai carichi in condizioni dinamiche, simili alla realtà. La scelta sulla diversificazione dei carichi è stata dettata dall'osservare, in primo luogo, che cosa poteva capitare al materiale di base costituente fixture ed abutment quando quest'ultimo era caricato da carichi ciclici, a frequenza costante, per un preciso intervallo. L'aumento del carico con il mantenimento costante della frequenza e del numero di cicli ha permesso, in seconda battuta, una verifica strutturale non più in condizioni fisiologiche ma in ogni modo riconducibile a possibili situazioni. L'applicazione forzata verso carichi completamente fuori ogni portata, ha poi permesso un'analisi molto interessante circa una condizione d'ipercriticità. I risultati ottenuti attraverso la valutazione metallografica, nelle tre condizioni di lavoro, hanno dimostrato come la geometria conica sia in grado di non cedere sotto l'azione incessante del carico, di ridistribuire alla geometria circostante stress e deformazione, ma soprattutto di evitare improvvise cadute strutturali deleterie al fine dell'affidabilità dell'impianto dentale. Non solo, ma la geometria conica, a causa della sua forma particolare, permette all'abutment un infossamento micrometrico nella sede della fixture incrementando così man mano, la stabilità nel tempo.

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare la sig.^{ra} Marina Romor per tutta la parte metallografia e fotografica e il dott. Uwe Holzwarth e il sig. Sergio Colpo per la parte di messa a punto dei test di fatica.

CORRISPONDENZA

Prof. Enrico Gherlone, Servizio di Odontoiatria, Ospedale San Raffaele, Via Olgettina 48, Milano.

BIBLIOGRAFIA

1. L.Paracchini, U.Holzwarth, F.Pastoni, E.Gherlone, L.Davini, A. Spreafico, S.Ferraris. Distribuzione degli sforzi in impianti dentali. *Il Dentista Moderno*, Settembre 1999, 57-73.
2. E.Gherlone, L.Paracchini, A.Mascardi. Distribuzione degli sforzi nella mandibola sollecitata da cinque differenti impianti. *Il Dentista Moderno*, Novembre 2001, 103-111.
3. Hoyer SA, Stanford CM, Buranadham S, Fridrich T, Wagner J, Gratton D. Dynamic fatigue properties of the dental implant-abutment interface: joint opening in wide diameter versus standard-diameter hex-type implants. *J Prosthet Dent*. 2001 Jun;85(6):599-607.
4. Zhang C, Leng Y, Chen J. In vitro mechanical integrity of hydroxyapatite coatings on Ti-6Al-4V implants under shear loading. *J Biomed Mater Res*. 2001 Sep 5;56(3):342-50.
5. Cibirka RM, Nelson SK, Lang BR, Rueggeberg FA. Examination of the implant-abutment interface after fatigue testing. *J Prosthet Dent*. 2001 Mar;85(3):268-75.
6. Gratton DG, Aquilino SA, Stanford CM. Micromotion and dynamic fatigue properties of the dental implant-abutment interface. *J Prosthet Dent*. 2001 Jan;85(1):47-52.
7. Mukherjee DP, Dorairaj NR, Mills DK, Graham D, Krauser JT. Fatigue properties of hydroxyapatite-coated dental implants after exposure to a periodontal pathogen. *J Biomed Mater Res*. 2000 Sep;53(5):467-74.
8. McAlarney ME, Stavropoulos DN. Theoretical cantilever lengths versus clinical variables in fifty-five clinical cases. *J Prosthet Dent*. 2000 Mar;83(3):332-43.
9. Boggan RS, Strong JT, Misch CE, Bidez MW. Influence of hex geometry and prosthetic table width on static and fatigue strength of dental implants. *J Prosthet Dent*. 1999 Oct;82(4):436-40.
10. Haynes JA, Rigney ED, Janowski GM. Effects of cyclic bending and physiological solution on plasma-sprayed hydroxylapatite coatings of varying crystallinity. *J Biomed Mater Res*. 1999;48(4):403-10.
11. Patra AK, DePaolo JM, Souza KS, DeTolla D, Meenaghan MA. Guidelines for analysis and redesign of dental implants. *Implant Dent*. 1998;7(4):355-68.

12. Andersson B, Odman P, Lindvall AM, Branemark PI. Five-year prospective study of prosthodontic and surgical single-tooth implant treatment in general practices and at a specialist clinic. *Int J Prosthodont.* 1998 Jul-Aug;11(4):351-5.
13. Andersson B, Odman P, Lindvall AM, Branemark PI. Cemented single crowns on osseointegrated implants after 5 years: results from a prospective study on CeraOne. *Int J Prosthodont.* 1998 May-Jun;11(3):212-8.
14. Piattelli A, Piattelli M, Scarano A, Montesani L. Light and scanning electron microscopic report of four fractured implants. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1998 Jul-Aug;13(4):561-4.
15. Piattelli A, Scarano A, Piattelli M, Vaia E, Matarasso S. Hollow implants retrieved for fracture: a light and scanning electron microscope analysis of 4 cases. *J Periodontol.* 1998 Feb;69(2):185-9.
16. Kim KH, Choi MY, Kishi T. Fracture analysis of cast pure Ti and Ti-6Al-4V alloy for dental use. *Biomed Mater Eng.* 1997;7(4):271-6.