

# Analisi biomeccanica dello sforzo e dell'affossamento dell'abutment nella sistemica implantare BICON®

Luigi Paracchini, Emilio Balbo, Alberto Murtas

Scopo del presente lavoro è quello di analizzare il comportamento biomeccanico dell'abutment e della fixture nella sistemica BICON® sottoposta a carichi esterni verticali che schiacciano il moncone nella sede conometrica dell'impianto con un particolare riguardo allo sforzo e all'affossamento. Gioca un ruolo fondamentale circa l'analisi biomeccanica le diverse forze applicate e il diverso comportamento tra il cono interno ed esterno del sistema perno-moncone.

**Parole chiave:** Impianto dentale; Fixture; Abutment; Sforzo; Affossamento; Coefficiente di attrito; Biomeccanica; Analisi FEA.

## Introduzione

Argomento spesso di difficile trattazione, la biomeccanica implantare ha da sempre affascinato il mondo dell'odontoiatria. Calcolatori performanti, software ad hoc (Finite Element Analysis-FEA) e personale specializzato sono gli ingredienti essenziali per ottenere risultati validi e spendibili. Le tipologie implantari moderne hanno differenti parti accoppiate tra loro che, se caricate con forze esterne, manifestano comportamenti altrettanto diversi<sup>1-3</sup>. Capita a volte però che alcuni comportamenti portano al cedimento improvviso della struttura implantare causando danni irreparabili e notevoli disagi al portatore<sup>1-3</sup>. A fronte di tutto ciò materiali tecnologicamente avanzati e forme progettate con i più raffinati criteri dell'ingegneria moderna hanno portato sicurezza ed affidabilità. Esistono però an-

cora tanti dubbi ed incertezze circa il comportamento biomeccanico di un impianto dentale inserito in una sede biologica. Non solo questo aspetto complica di molto l'approccio biomeccanico ma eventi spot, a volte non messi in preventivo durante la progettazione, possono complicare maledettamente il lavoro dei bioingegneri con ricadute sul dentista. Tesoro di molte esperienze fatte da casistiche cliniche, alcune tipologie di impianti dentali si sono messi al riparo da eventi catastrofici cercando di limitare al minimo il numero di componenti in gioco, usando materiali ad alta resistenza e adottando forme geometriche compatte. È il caso dell'impianto BICON® che è composto da una fixture e da un abutment ancorati tra loro da un accoppiamento conometrico, come presente nelle protesi dell'anca per fissare la testa femorale allo stelo protesico. Scopo della presente trattazione è quello di in-

dagare il comportamento biomeccanico dell'abutment e della fixture caricata da forze esterne<sup>1-3</sup> con una particolare attenzione allo studio dell'affossamento del moncone all'interno dell'impianto. Gioca un ruolo fondamentale sullo studio le diverse forze applicate e il diverso comportamento tra il cono interno ed esterno del sistema perno-moncone.

### Materiali e metodi

Lo studio, qui di seguito presentato, ha considerato l'importante aspetto del comportamento biomeccanico dell'abutment e della fixture nella sistematica implanta-

re BICON®, quando sulla parte apicale del moncone sono applicati carichi necessari ad accoppiare le due diverse parti. In particolare, una fixture da 4 mm di diametro e 11 mm di altezza ed un abutment con gambo da 2 mm sono stati esaminati. La tecnica, adoperata per valutare il comportamento biomeccanico del moncone e dell'impianto, è stata l'analisi FEA.

I modelli matematici, usati per l'analisi FEA, sono stati realizzati con Solid Works 2003 SPO in ambiente Windows XP Professional Edition-SP1 partendo dai profili (abutment e fixture) attraverso operazioni di rivoluzione. Generati i modelli 3D, simmetrici rispetto all'asse centrale, per il calcolo teorico FEA solamente un quarto è stato considerato (Fig. 1a). L'operazione di dis-

Fig. 1 a) Modello 3D della sistematica implantare BICON®. b) Modello 3D con mesh composta da elementi tetraedrici a 10 nodi ed elementi di contatto.

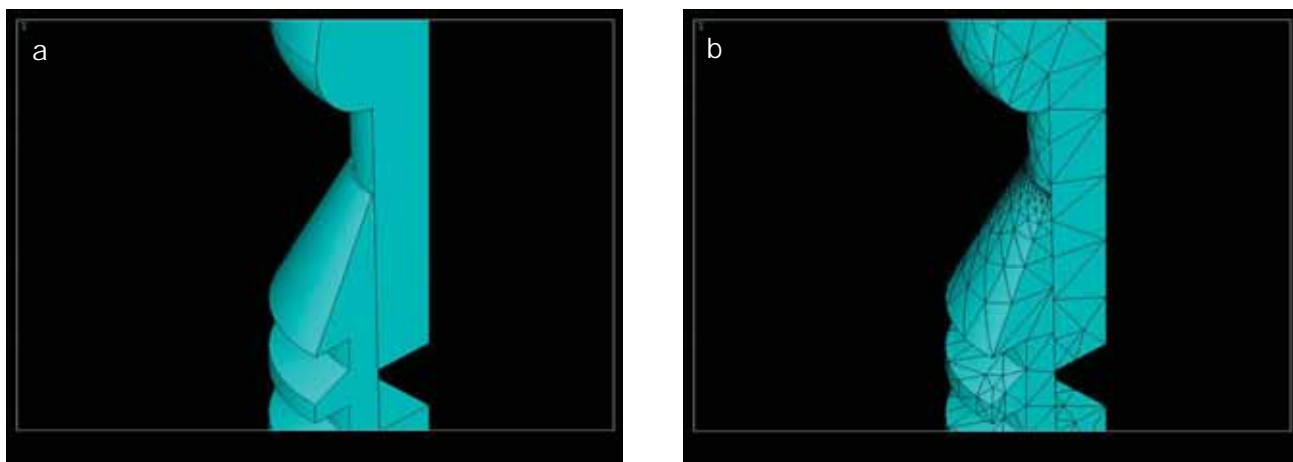
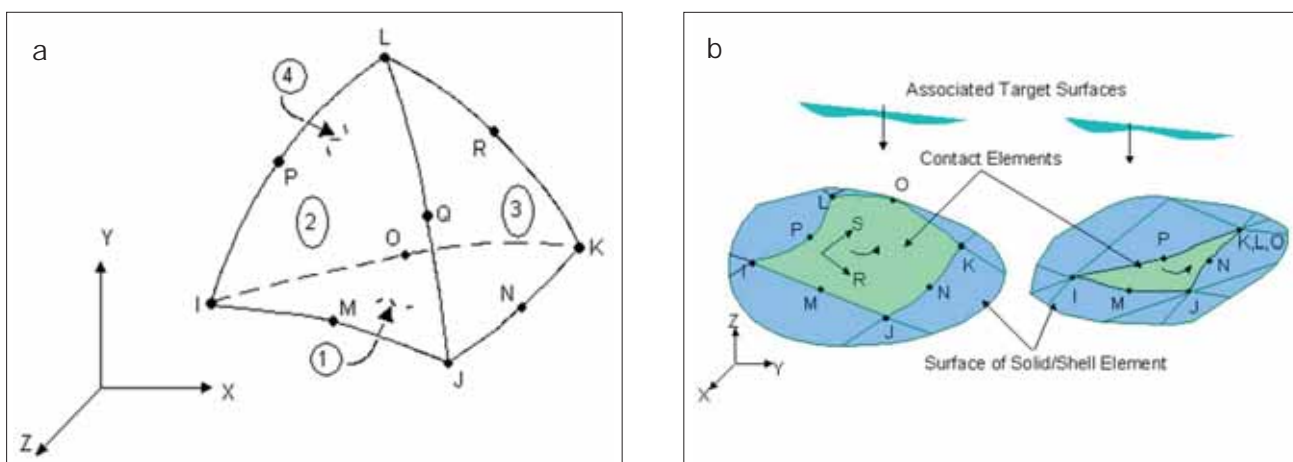
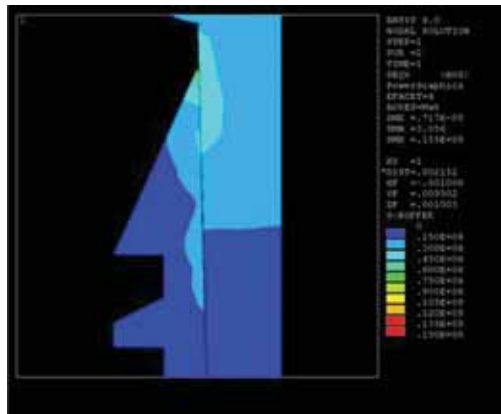
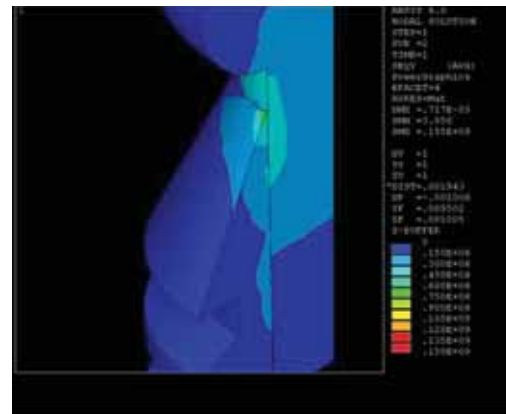


Fig. 2 a) Elemento tetraedrico a 10 nodi usato per discretizzare l'abutment e la fixture. b) Elemento di contatto usato per discretizzare l'accoppiamento conometrico.

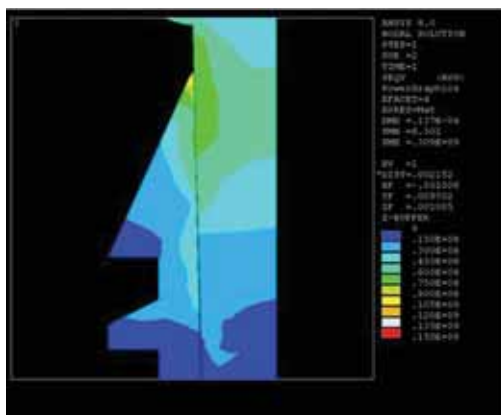




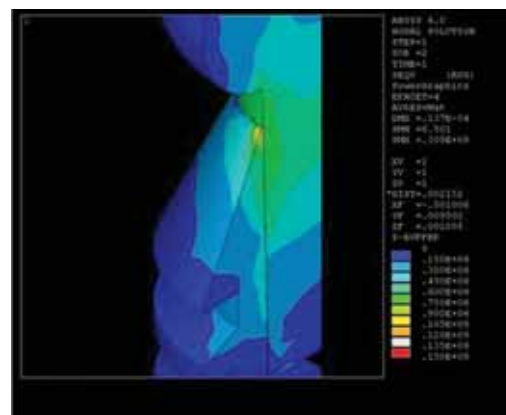
Caso con F=100 N (distribuzione dello stress)



Caso con F=100 N (distribuzione dello stress)



Caso con F=200 N (distribuzione dello stress)

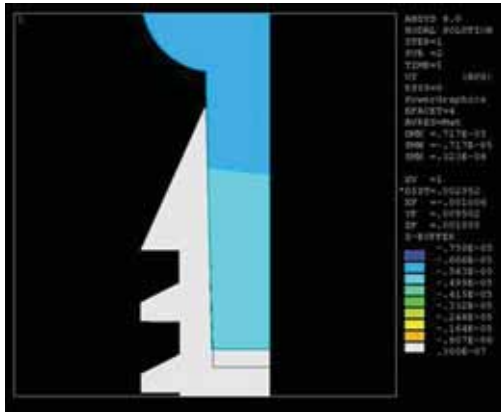


Caso con F=200 N (distribuzione dello stress)

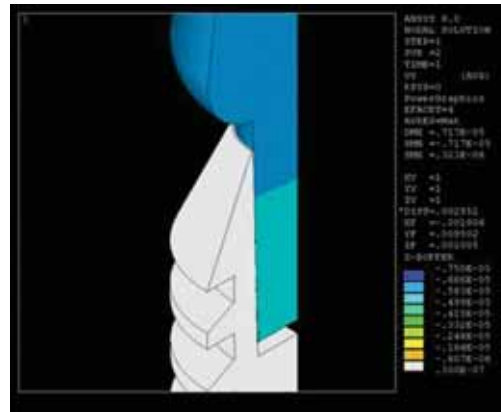
Fig. 3 Distribuzione dello stress su impianto BICON® 4.11 con moncone gambo 2 con forze da 100 N e da 200 N.

cretizzazione in elementi finiti (Fig. 1b), così come tutta la parte di calcolo, è stata condotta mediante Ansys 8.0 UP20030930 in ambiente Windows XP Professional Edition-SP1. Gli elementi impiegati per eseguire la mesh sulla fixture e sull'abutment sono stati tetraedri a 10 nodi come mostrato in figura 2a (punti I-R), mentre elementi di contatto (Fig. 2b) sono stati impiegati per trattare la conometria tra abutment e fixture. I materiali in gioco, sia dell'abutment, sia della fixture (titanio di grado 5), sono stati considerati lineari, elastici e isotropi (modulo d'elasticità normale  $E = 1,1 \text{ E } 11 \text{ Pa}$  e coefficiente di Poisson  $\nu = 0,3$ ).

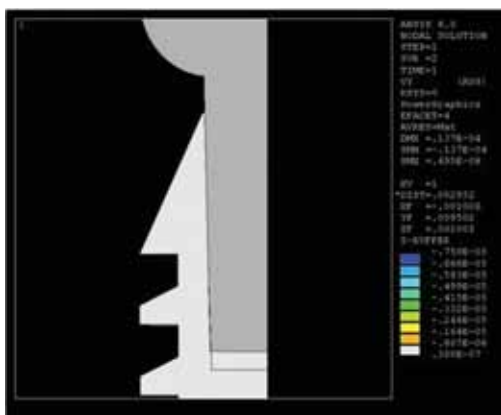
Due sono state le direzioni intraprese in questo studio. Nella prima parte del lavoro è stata studiata la distribuzione dello sforzo e l'affossamento di un sistema perno-moncone caricato da forze statiche verticali crescenti (10, 40, 100 e 200 N) ed applicate alla sommità dell'abutment al fine di forzare il movimento verticale del gambo all'interno dell'impianto (si ricorda che lo scorrimento di un abutment conometrico in titanio di grado 5, così com'è il caso della sistematica impiantare BICON® all'interno di una fixture conometrica, anch'essa di titanio grado 5, porta ad un coefficiente di attrito pari a 0,5 dal valore dimensionale<sup>1</sup>). La secon-



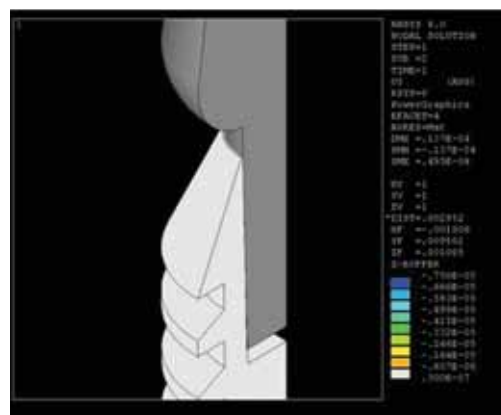
Caso con F=100 N (distribuzione dello stress)



Caso con F=100 N (distribuzione dello stress)



Caso con F=200 N (distribuzione dello stress)



Caso con F=200 N (distribuzione dello stress)

Fig. 4 Distribuzione dell'affossamento su impianto BICON® 4.11 con moncone gambo 2 con forze da 100 N e da 200 N.

Tabella 1 Valori dello sforzo, calcolato in  $N/mm^2$ , sulla sistemica BICON® in relazione ad un sistema di forze crescenti e ad un coefficiente di attrito di 0,5.

Posizione	Forza da 10 N	Forza da 40 N	Forza da 100 N	Forza da 200 N
A	0 $N/mm^2$	0 $N/mm^2$	30 $N/mm^2$	75 $N/mm^2$
B	0 $N/mm^2$	30 $N/mm^2$	45 $N/mm^2$	150 $N/mm^2$
C	0 $N/mm^2$	0 $N/mm^2$	30 $N/mm^2$	60 $N/mm^2$
D	0 $N/mm^2$	0 $N/mm^2$	30 $N/mm^2$	30 $N/mm^2$
E	0 $N/mm^2$	0 $N/mm^2$	30 $N/mm^2$	30 $N/mm^2$

da parte del lavoro ha invece evidenziato lo sforzo e l'affossamento del moncone in relazione al cambio di coefficiente di attrito tra le superfici interne conometriche dell'insieme fixture-abutment con una forza statica verticale costante di 100 N (si ricorda che approssimativamente 1 Kg corrisponde a 10 N).

## Risultati

I risultati ottenuti dall'analisi FEA nella prima parte del lavoro, sono stati qui presentati. In figura 3 è possibile osservare la distribuzione dello sforzo, valutato secondo von Mises, su sistemi implantari caricati da 100 e 200 N.

In figura 4 è visibile la distribuzione dell'affossamento sempre a proposito dei carichi da 100 e da 200N. Per una miglior comprensione dei risultati schematizzati nelle figure 3 e 4, nelle tabelle 1 e 2 e nelle figure 5 e 6 sono stati raccolti e riassunti in modo più dettagliato la distribuzione dello sforzo e dell'affossamento.

I risultati ottenuti invece nella seconda parte del lavoro sono stati qui esposti. In figura 7 è possibile osservare la distribuzione dello sforzo, valutato secondo von MISES, su sistemi implantari caricati da 100 N e con variazioni del coefficiente di attrito (coefficiente di attrito pari a 0,1, 0,3 e 0,6).

Nella figura 8 sono state rappresentate le distribuzioni dell'affossamento sul sistema BICON® caricato con 100 N e con variazioni del coefficiente di attrito (co-

efficiente di attrito pari a 0,1, 0,3 e 0,6).

Per una miglior comprensione dei risultati schematizzati nelle figure 7 e 8, nelle figure 9 e 10 e nelle tabelle 3 e 4 sono stati raccolti e riassunti in modo più dettagliato la distribuzione dello sforzo e dell'affossamento.

## Discussione e conclusione

I risultati ottenuti dall'analisi biomeccanica mediante verifica FEA, hanno fornito importanti informazioni circa lo sforzo e l'affossamento del moncone nella sede conometrica della fixture. Analizzando i dati provenienti dalla prima parte dello studio è possibile stabilire che lo stress di 150 N/mm<sup>2</sup>, che si ingenera nel punto B schiacciando l'abutment con una forza da 200 N, è ben al di sotto del limite allo snervamento del materiale, aspetto che offre sicurezza ed affidabilità. Considerando la forza da 200 N, che è stata la condizione più gravosa tra quelle studiate, possiamo osservare che l'affossamento massimo del moncone, oltre al quale non si può più andare, all'interno della sede del perno è di 75 mm. Sotto i 200 N l'affossamento è praticamente irrilevante (vedi tabelle 2 e 4).

Circa lo stress non ci sono variazioni se si passa da un coefficiente di attrito da 0,1 a 0,6, al contrario l'affossamento risente invece della variazione di attrito. È chiaro che più il coefficiente di attrito è basso più le due superfici scivolano e più l'abutment scorre nella sede conometrica. Se il coefficiente di attrito è alto c'è più resistenza offerta e meno affon-

Tabella 2 Valori dell'affossamento, calcolato in mm, sulla sistematica BICON® in relazione ad un sistema di forze crescenti e ad un coefficiente di attrito di 0,5.

Posizione	Forza da 10 N	Forza da 40 N	Forza da 100 N	Forza da 200 N
A	0 N/mm <sup>2</sup>	0,248 N/mm <sup>2</sup>	5,8 N/mm <sup>2</sup>	75 N/mm <sup>2</sup>
B	0 N/mm <sup>2</sup>	0,248 N/mm <sup>2</sup>	5,6 N/mm <sup>2</sup>	75 N/mm <sup>2</sup>
C	0 N/mm <sup>2</sup>	1,64 N/mm <sup>2</sup>	4,99 N/mm <sup>2</sup>	75 N/mm <sup>2</sup>
D	0 N/mm <sup>2</sup>	1,64 N/mm <sup>2</sup>	4,99 N/mm <sup>2</sup>	75 N/mm <sup>2</sup>
E	0 N/mm <sup>2</sup>	1,64 N/mm <sup>2</sup>	4,99 N/mm <sup>2</sup>	75 N/mm <sup>2</sup>

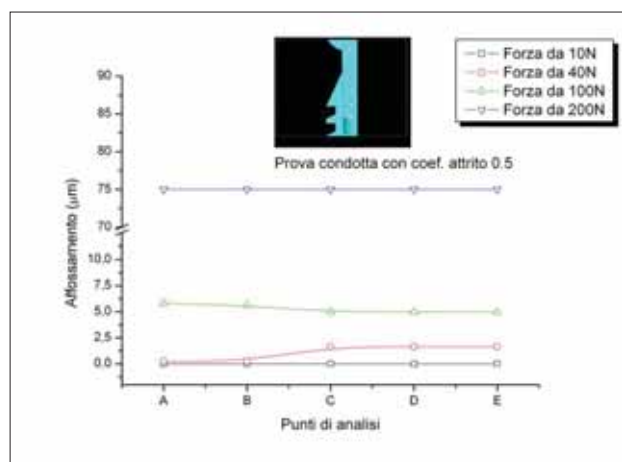


Fig. 5: andamento dell'affossamento, calcolato nei punti significativi A, B, C, D ed E, con forze crescenti (10, 40, 100 e 200N) ed un coefficiente di attrito tra le parti conometriche di 0.5 (si ritiene che 0.5 possa essere un valore accettabile tra parti in titanio grado 5 che scorrono una sull'altra).

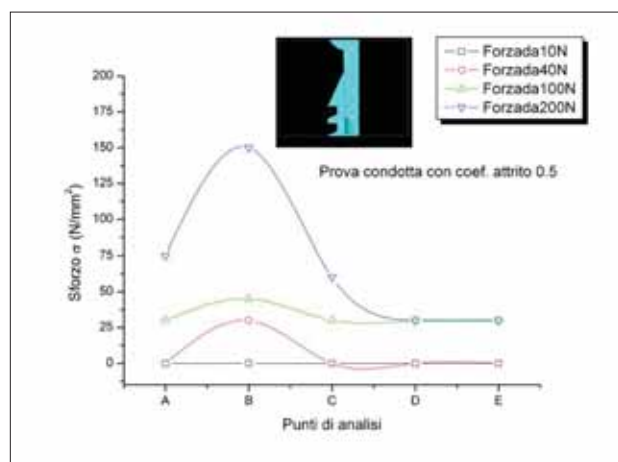


Fig. 6: andamento dello sforzo, calcolato nei punti significativi A, B, C, D ed E, con forze crescenti (10, 40, 100 e 200N) ed un coefficiente di attrito tra le parti conometriche di 0.5 (si ritiene che 0.5 possa essere un valore accettabile tra parti in titanio grado 5 che scorrono una sull'altra).

damento I dati confermano tuttavia che con un coefficiente di attrito basso, l'affossamento massimo rientra nell'ordine dei 7,5 mm.

Va inoltre ricordato che durante il normale uso della sistemica implantare BICON®, l'abutment va reso solido con la sede conometrica interna della fixture mediante la sollecitazione inferta da un martelletto chirurgico che pesa mediamente 250 g. A fronte di ciò il martelletto chirurgico, che pesa di 250 g e che cade da una distanza di 15 cm dall'abutment con una velocità iniziale di 1 m/sec (velocità che simula mediamente la sollecitazione che l'odontoiatra esegue per rendere solido l'abutment alla fixture), trasmette una forza di contatto pari a 158,75 N e che fa affondare il moncone nella sede conometrica della fixture di 59.58 mm (si tenga conto che il diametro medio di un capello è variabile dai 40 agli 80 mm). Considerando tuttavia un affossamento di 59,58 mm a fronte di una forza di 158,75 N si ritiene di essere ben al di sotto le tolleranze dimensionali di impianti che avvalendosi di viti come mezzi di giunzione hanno gap a partire da 120 µm.

Autori:

Luigi Paracchini

Ingeo Snc Via Stazione 80/A, Varallo Pombia (NO)

Emilio Balbo

Odontotecnica Balbo Snc Via Linate 8, Caldogno (VI)

Alberto Murtas

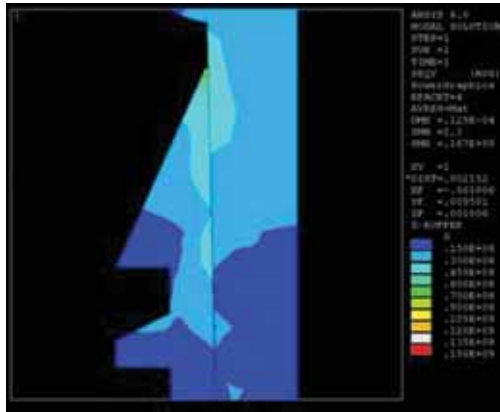
Libero Professionista, Via Matteotti, 38 Sassari (SS)

Indirizzo per la corrispondenza:

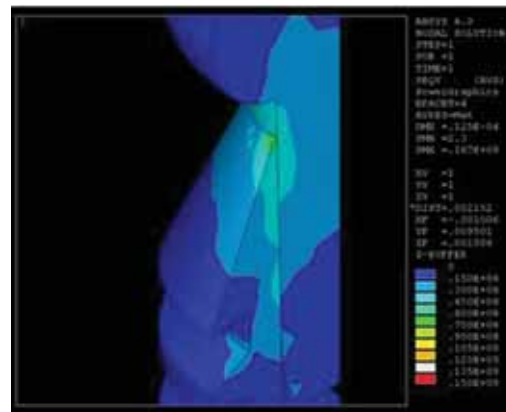
Ingeo Snc, ing. Luigi Paracchini, via Stazione 80/A, 28040 Varallo Pombia (NO).

## Bibliografia

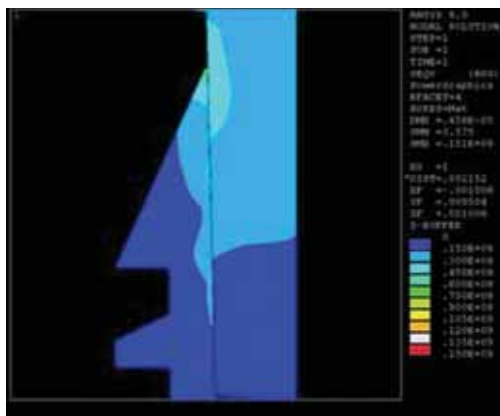
1. Gherlone E, Paracchini L, Mascardi A. Distribuzione degli sforzi nella mandibola sollecitata da cinque differenti impianti. *Il Dentista Moderno*, Novembre 2001; 103-11.
2. Gherlone E, Paracchini L, Mascardi A, Capuano A, Targetti L, Grassi R. Valutazioni geometriche e strutturali tra elementi costituenti impianti dentali. *Il Dentista Moderno*, Maggio 2002;59-70.
3. Gherlone E, Mascardi A, Paracchini L, Targetti L. Studio sul comportamento alla fatica della sistemica implantare BICON. *Il Dentista Moderno*, Febbraio 2003;59-70.



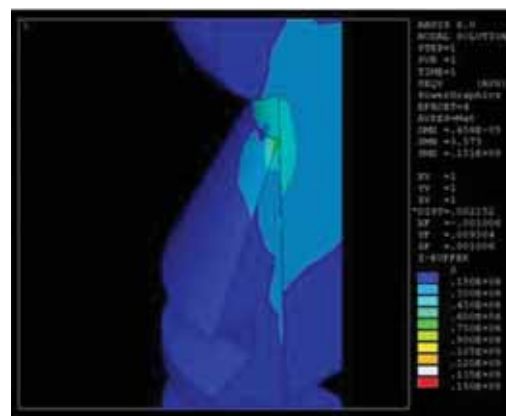
Caso con F=100N e coefficiente di attr. 0.1 (distribuzione dello sforzo)



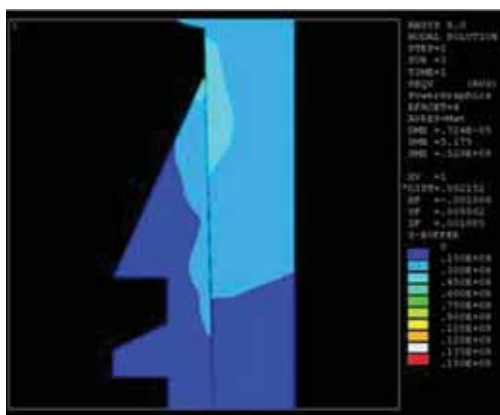
Caso con F=100N e coefficiente di attr. 0.1 (distribuzione dello sforzo)



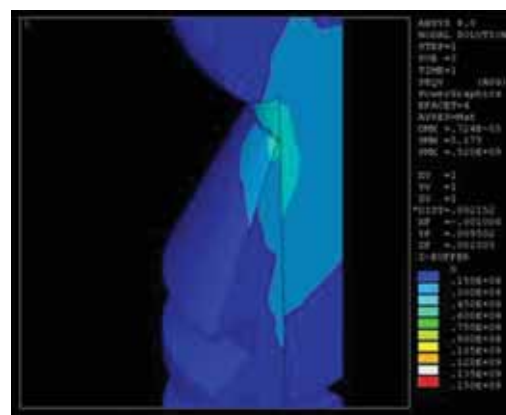
Caso con F=100N e coefficiente di attr. 0.3 (distribuzione dello sforzo)



Caso con F=100N e coefficiente di attr. 0.3 (distribuzione dello sforzo)

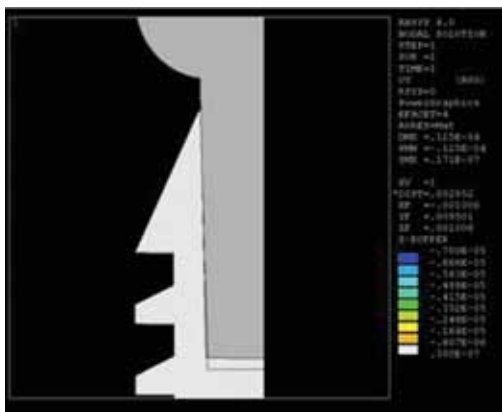


Caso con F=100N e coefficiente di attr. 0.6 (distribuzione dello sforzo)

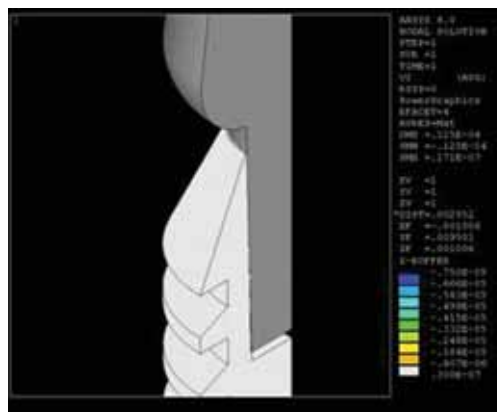


Caso con F=100N e coefficiente di attr. 0.6 (distribuzione dello sforzo)

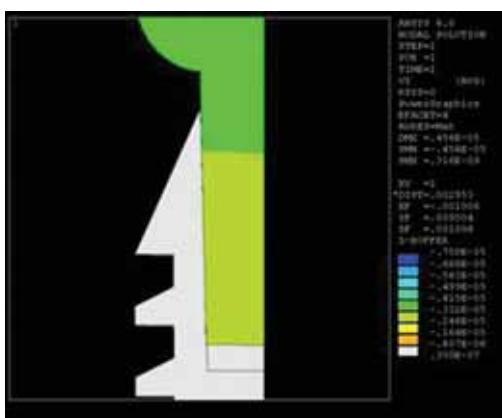
Fig. 7 Distribuzione dello stress su impianto BICON® 4?11 con moncone gambo 2 con forza da 100N e coefficiente di attrito da 0.1, 0.3 e 0.6.



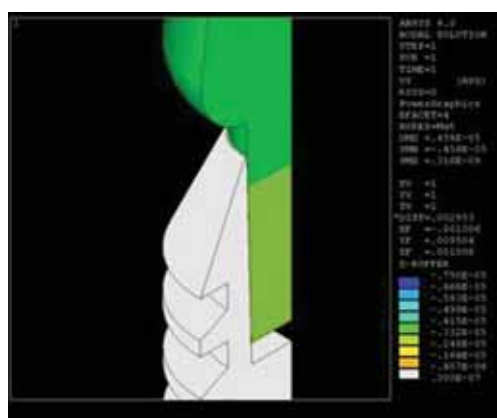
Caso con  $F=100$  N e coefficiente di attr. 0,1 (distribuzione dell'affossamento)



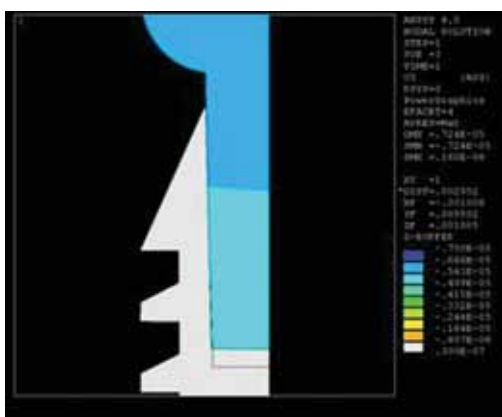
Caso con  $F=100$  N e coefficiente di attr. 0,1 (distribuzione dell'affossamento)



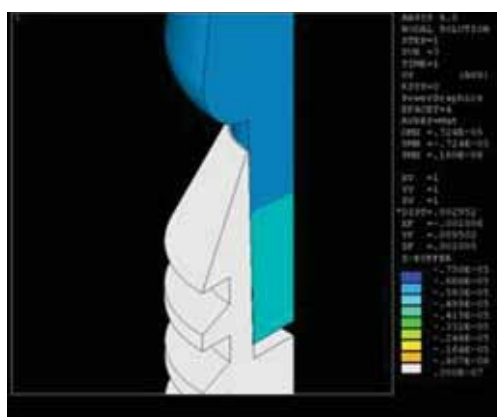
Caso con  $F=100$  N e coefficiente di attr. 0,3 (distribuzione dell'affossamento)



Caso con  $F=100$  N e coefficiente di attr. 0,3 (distribuzione dell'affossamento)



Caso con  $F=100$  N e coefficiente di attr. 0,6 (distribuzione dell'affossamento)



Caso con  $F=100$  N e coefficiente di attr. 0,6 (distribuzione dell'affossamento)

Fig. 8 Distribuzione dell'affossamento su impianto BICON® 4.11 con moncone gambo 2 con forza da 100 N e coefficiente di attrito da 0,1, 0,3 e 0,6.



**Tabella 3** Valori dello sforzo, calcolato in N/mm<sup>2</sup>, sulla sistemica BICON® in relazione alla variazione del coefficiente di attrito e di una forza costante di 100 N.

Posizione	coef. attrito 0,1	coef. attrito 0,2	coef. attrito 0,3	coef. attrito 0,4	coef. attrito 0,5	coef. attrito 0,6
A	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>
B	45 N/mm <sup>2</sup>	45 N/mm <sup>2</sup>	45 N/mm <sup>2</sup>	45 N/mm <sup>2</sup>	45 N/mm <sup>2</sup>	45 N/mm <sup>2</sup>
C	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>
D	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>
E	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>	30 N/mm <sup>2</sup>

**Tabella 4** Valori dell'affondamento, calcolato in mm, sulla sistemica BICON® in relazione alla variazione del coefficiente di attrito e di una forza costante di 100 N.

Posizione	coef. attrito 0,1	coef. attrito 0,2	coef. attrito 0,3	coef. attrito 0,4	coef. attrito 0,5	coef. attrito 0,6
A	7,5 mm	4,99 mm	3,32 mm	2,48 mm	5,8 mm	5,8 mm
B	7,5 mm	4,99 mm	3,32 mm	1,64 mm	5,8 mm	5,8 mm
C	7,5 mm	4,99 mm	2,48 mm	1,64 mm	4,99 mm	5,8 mm
D	7,5 mm	4,15 mm	2,48 mm	1,64 mm	4,99 mm	4,99 mm
E	7,5 mm	4,15 mm	2,48 mm	1,64 mm	4,99 mm	4,99 mm

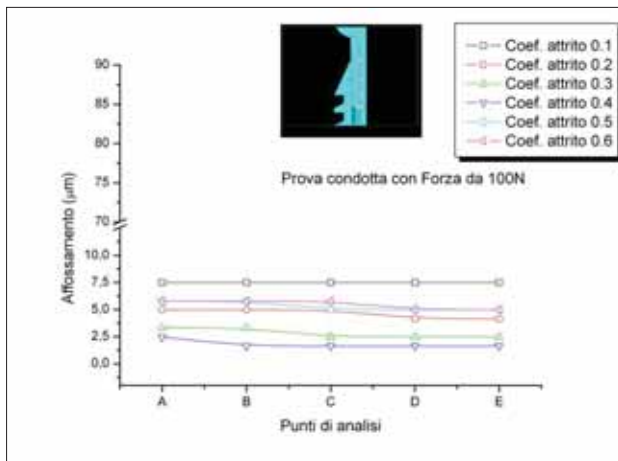


Fig. 9 Andamento dell'affossamento, calcolato nei punti significativi A, B, C, D ed E, con forza da 100N ed una variazione del coefficiente di attrito.

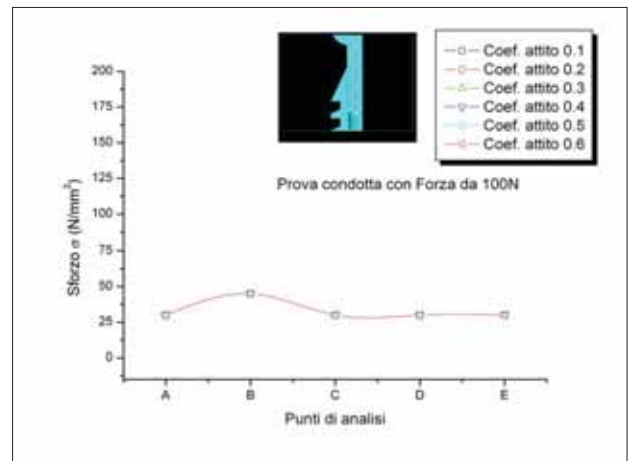


Fig. 10 Andamento dello sforzo, calcolato nei punti significativi A, B, C, D ed E, con forza da 100N ed una variazione del coefficiente di attrito.

## MANCA TITOLO IN INGLESE

Aim of the present work is to analyze the biomechanic behavior of the abutment and of the fixture in the BICON® systematic loaded to vertical loads that crush the abutment in the locking-taper with a particular consideration to stress and ditching. Play a fundamental role about biomechanic analysis the different applied loads and the different behavior between the inside and external cone of the system abutment-fixture.

**Key words:** Dental implant; Fixture; Abutment; Stress; Ditching; Friction coefficient; Biomechanics; FEA analysis.