

La fotogrammetria come alternativa all'impronta in implantoprotesi

Una novità per rilevare in modo preciso e affidabile la posizione degli impianti.

◆ **Corrispondenza**
Correspondence
Riccardo Aiuto
riccardo.aiuto@alice.it

■ **Riccardo Aiuto**¹
■ **David Peñarrocha-Oltra**²
■ **Rubén Agustín-Panadero**³

¹ Odontoiatra presso l'Istituto Stomatologico Italiano e Dottorando in Chirurgia Orale

² Professore Associato di Chirurgia Orale, Università di Valencia

³ Professore Associato di Protesi e Occlusione, Università di Valencia

⁴ Professore Ordinario di Chirurgia

■ **María Peñarrocha-Diago**⁴
■ **Dino Re**⁵
■ **Miguel Peñarrocha-Diago**⁶

Orale, Università di Valencia

⁵ Professore Aggregato, Università degli Studi di Milano, Direttore del Reparto Universitario presso l'Istituto Stomatologico Italiano

⁶ Cattedratico di Chirurgia Orale, Direttore della Facoltà di Odontoiatria, Università di Valencia

L'implantologia rappresenta oggi uno dei trattamenti maggiormente realizzati per la riabilitazione dei pazienti edentuli o parzialmente edentuli.

La letteratura scientifica dimostra che una corretta passivazione della protesi a supporto implantare migliora la prognosi a lungo termine della terapia stessa, poiché aumenta sensibilmente la sopravvivenza degli impianti¹⁻⁵.

Una volta inseriti gli impianti, la prassi per la realizzazione del manufatto protesico prevede di rilevare impronte di precisione grazie all'utilizzo di transfer, al fine di costruire modelli fedeli alla situazione clinica. Per ottenere una sovrastruttura che possa calzare senza tensioni, è dunque necessario portare a termine una corretta impronta, registrando, oltre alla posizione degli impianti, i tessuti duri e molli⁶.

Le tecniche d'impronta, però, risultano spesso laboriose, richiedono lunghi appuntamenti e sono generalmente poco gradite dal paziente^{7,8}.

Una valida alternativa per ovviare a questi inconvenienti è rappresentata dal digitale che, nono-

Photogrammetry as an alternative to impression taking in oral implantoprosthesis

A new technology for accurately and reliably recording the implant positions.

Today oral implantology is one of the most common treatments for the rehabilitation of totally or partially toothless patients. Scientific literature shows that a correct passivation of the implant supported prosthesis enhances the long term outcome of oral therapy because it significantly increases the implant survival rate¹⁻⁵.

According to the conventional protocol for the manufacturing of a prosthetic object, after the placement of implants, a precision impression is taken, by means of transfers, in order to create models which faithfully reproduce the clinical situation.

In order to obtain a tension-free fitting superstructure it is therefore necessary to take a correct impression, recording not only the implant positions, but hard and soft tissues as well⁶.

But impression taking techniques are usually complex and time-consuming, they require long sessions and are not generally

well-accepted by patients. An efficient alternative to avoid these disadvantages is offered by digital technology, whose applications are increasingly implemented in the dentistry field, though still not on a widespread basis. Intraoral scanners, in particular, provide a 3D mapping of the oral cavity in a quick and comfortable procedure, without any dimensional changes as usually occurs with conventional impression-taking materials^{7,9-11}.

Photogrammetry is another new technique for the accurate and reliable recording of implant positions. This technology is based on the geometrical properties of objects and on their position in space, both defined by specific photographic images.

Photogrammetry is useful in various fields of science and technology: it applies mainly to topography, but it is also used in medicine to enhance the accuracy of certain procedures both in surgical (neurosurgery and plastic surgery) and radiological treatment^{12,13}.

As earlier mentioned, dentistry is one of the fields where this particular technology may be used: for instance, in the past it was applied to analyse dental arch shape and position of teeth in the maxillary bone,

stante la diffusione ancora modesta, sta assistendo a un aumento sempre maggiore delle sue applicazioni in campo odontoiatrico. In particolare, gli scanner intraorali permettono di ottenere una mappatura tridimensionale della bocca in modo rapido e confortevole per il paziente, senza variazioni dimensionali, come invece accade con i comuni materiali da impronta^{7,9-11}.

La fotogrammetria è un'altra novità per rilevare in modo preciso e affidabile la posizione degli impianti; questa tecnologia si basa sulle proprietà geometriche degli oggetti e sulla loro ubicazione nello spazio, entrambe determinate da specifiche immagini fotografiche.

La fotogrammetria è utile in svariati ambiti della scienza e della tecnica: si applica principalmente alla topografia, ma è impiegata anche in medicina per aumentare la precisione di alcuni interventi in ambito sia chirurgico (neurochirurgia e chirurgia plastica) che radiologico^{12,13}. Come anticipato, anche in odontoiatria è possibile applicare questa particolare tecnologia: in passato, ad esempio, si sono studiate la forma delle arcate dentarie e la posizione dei denti nell'osso mascellare, e in ortodonzia è stato possibile quantificare l'effetto di un disgiuntore per l'espansione rapida del palato¹⁴⁻¹⁷.

In implantologia la fotogrammetria ha inoltre permesso di compiere alcune ricerche sulla precisione delle tecniche d'impronta, dove è stata analizzata la discrepanza tra alcuni modelli di studio ottenuti con materiali diversi²². Nel 1999 Jemt e Bäck²³ hanno proposto la fotogrammetria come alternativa alle tecniche d'im-

pronta convenzionali; tuttavia, da allora non ci sono più state evoluzioni nella sua applicazione in implantoprotesi. La qualità più importante di questo sistema è la precisione, fattore chiave per una buona riuscita dell'impronta di posizione. Pertanto il suo sviluppo può essere di grande interesse per migliorare la terapia implantare e renderla ancora più sicura e predicibile.

L'obiettivo dell'articolo è descrivere la tecnica per rilevare la posizione degli impianti ai fini della riabilitazione protesica, esemplificando i passaggi con la descrizione di un caso clinico.

PICcamera®

La PICcamera® (PICdental, Madrid, Spagna) è una speciale fotocamera stereoscopica, cioè dotata di due obiettivi paralleli, capace di registrare la posizione degli impianti nel cavo orale grazie al principio della fotogrammetria. Il processo avviene mediante due fotocamere, appositamente costruite per l'utilizzo nell'ambulatorio odontoiatrico, che rilevano la posizione degli impianti tramite speciali abutment codificati (PICabutment®) i quali vengono precedentemente avvitati sugli impianti stessi.

Le fotocamere sono inoltre dotate di particolar flash a raggi infrarossi che illuminano costantemente l'oggetto in analisi ed eliminano le ombre prodotte dalla luce ambientale.

La PICcamera® cattura 50 foto tridimensionali ogni 2 abutment, con una media di 10 scatti al secondo e un errore inferiore a 10 micron.

or to quantify the effect of an orthodontic rapid palatal expander for maxillary enlargement¹⁴⁻¹⁷.

In implantology, this technology has allowed to carry out research on the accuracy of impression-taking techniques and to analyse discrepancies between study models obtained using different materials²². In 1999 Jemt and Bäck²³ proposed the use of photogrammetry as an alternative to conventional impression-taking techniques; however, since then, there have been no further innovations for its application in oral implantoprosthesis. The most outstanding property of this system is its accuracy, a key factor for successfully taking impressions. It is therefore very worthwhile developing the system to improve implant therapy and make it safer and more predictable.

This contribution describes the implant position recording technique for the purposes of prosthetic rehabilitation; the reported clinical case exemplifies the steps of the procedure.

PICCAMERA®

The PICcamera® (PICdental, Madrid, Spain) is a special stereoscopic camera (i.e. with two parallel lenses) for photographing implant positions within the oral cavity by means of the photogrammetry principle. Two cameras, specifically designed to be used in the dental practice,

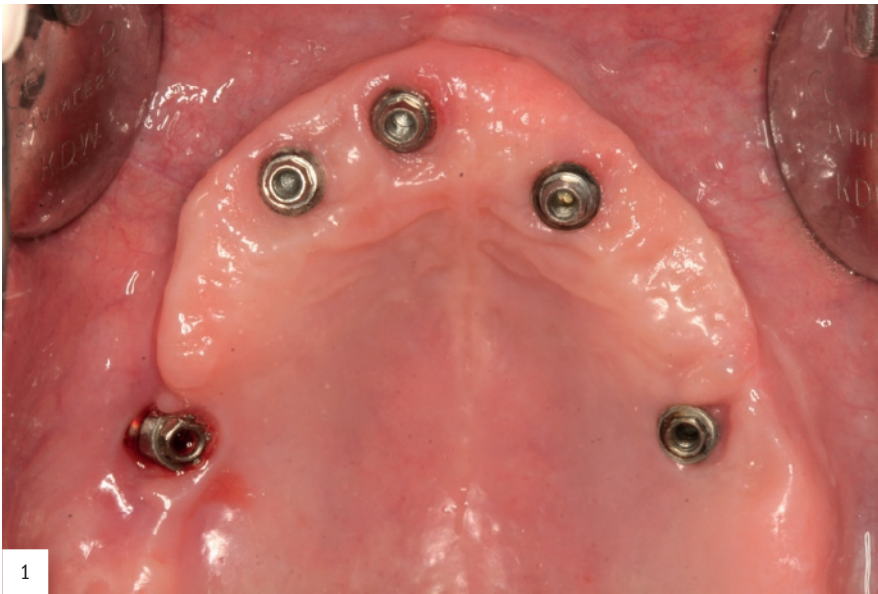
record the implant positions by means of special coded abutments (PICabutment®) previously screwed onto the implants.

The cameras are equipped with a special infra-red light which constantly illuminates the object concerned, neutralizing the shadows created by ambient light. The PICcamera® takes fifty 3D pictures every two abutments, with an average of 10 photos per second and errors of less than 10 microns. All the distances and angles are then processed by special software which can calculate the corresponding averages, providing the position of each implant in the form of vectors.

The PICfile® (PICdental) archive contains information regarding the geometry of implants and the corresponding components, which will then be used by the CAD software.

CLINICAL CASE

The use of PICcamera® to detect the position of implants in the dental arch in order to manufacture the prosthesis is described in this clinical case. First of all it was necessary to enter the following information in the software: analysed dental arch, implant position and data (brand, version, platform diameter, healing caps...), the PICabutment® code used, and the personal and medical history data of the patient. At the end of the period required for osseointegration to take place, the



1
1. Arcata superiore da improntare
1. Upper arch of which a dental impression should be taken

L'insieme delle distanze e degli angoli viene poi processato da un apposito software in grado di calcolare le relative medie, fornendo così la posizione di ogni impianto in forma vettoriale. L'archivio PICfile® (PICdental) contiene informazioni riguardanti la geometria degli impianti e la loro componentistica, che saranno poi utilizzate dal software CAD.

Caso clinico

In questo caso clinico viene illustrato l'utilizzo della PICcamera® per rilevare la posizione degli im-

pianti nell'arcata e realizzare quindi la protesi. È stato necessario anzitutto indicare al software dedicato l'arcata dentaria in oggetto, la posizione degli impianti, i dati a essi relativi (marca, modello, diametro della piattaforma, tappi di guarigione ecc.), il codice del PICabutment® utilizzato, oltre ai dati anagrafici e anamnestici del paziente.

Atteso il periodo necessario per l'osteointegrazione, è stata rilevata la posizione di cinque impianti inseriti nell'arcata superiore (Figura 1).

Una volta rimossi i tappi di guarigione, sono stati avvitati i PICabutment® su ogni impianto ed è stata collocata la PICcamera® a 15-30 cm dalla bocca del paziente, con un'angolazione massima di 45° rispetto agli appositi abutment (Figura 2). Soltanto se ben posizionata, la fotocamera inizia una sequenza automatica di 50 scatti fotografici ogni due impianti.

In questo caso, sono state scattate 250 immagini in meno di 2 minuti, ottenendo informazioni sugli angoli e le distanze fra gli impianti in forma vettoriale (archivio vettoriale PICfile® - PICdental Madrid, Spagna).

In seguito è stata rilevata anche un'impronta in alginato per conoscere le informazioni sui tessuti molli del paziente. Il modello in gesso ottenuto da quest'ultima impronta è stato quindi digitalizzato grazie a uno scanner 3D e, insieme al PICfile® con i dati relativi alla posizione degli impianti, inserito nello speciale software Exocad (Exocad



2. PICabutment®
2. PICabutment®

position of five implants inserted in the upper dental arch was recorded (Figure 1).

After removing the healing caps, the PICabutment® were screwed onto each implant and the PICcamera® was positioned at 15-30 cm from the patient's mouth at a maximum angle of 45° to the special abutments (Figure 2).

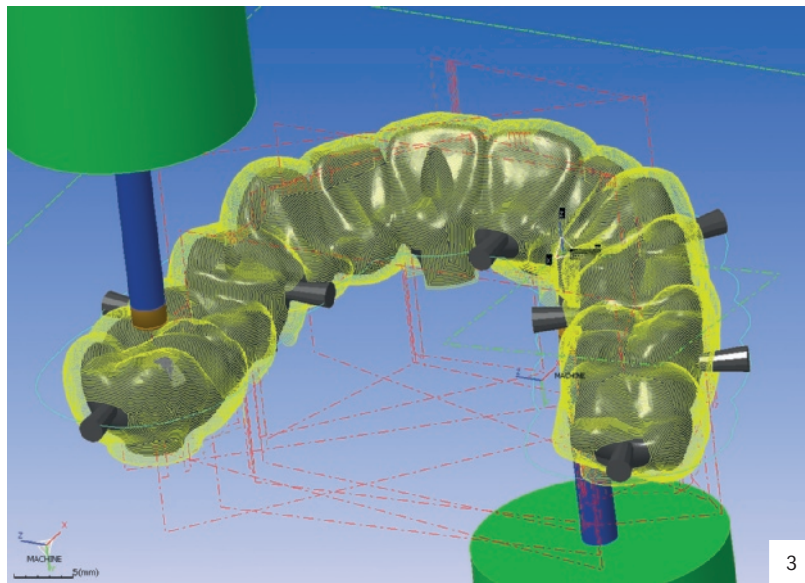
Only if correctly positioned, the camera starts an automatic sequence of 50 clicks every two implants. In the reported case, 250 images were taken in less than 2 minutes; information on angles and distances between implants was obtained in the form of vectors (PICfile® vector archive - PICdental Madrid, Spain).

Afterwards an alginate impression was taken in order to collect information about the patient's soft tissues.

The stone model obtained from this impression was digitalized using a 3D scanner and these data were entered, together with the data on the implant position contained in the PICfile®, in the special Exocad software (Exocad GmbH, Darmstadt, Germany) which superimposes the implant information from the photogrammetry over the information on the soft tissues from the study model (Best-fit®) (Figure 3).

The scan of the lower arch model, obtained by means of common

3. Modello digitale
3. Digital model



4. Modello stereolitografico e sovrastruttura
4. Stereo-lithographic model and superstructure

GmbH, Darmstadt, Germania), con il quale è possibile sovrapporre le informazioni sugli impianti provenienti dalla fotogrammetria e quelle sui tessuti molli date dal modello di studio (Best-fit®) (Figura 3).

La scansione del modello dell'arcata inferiore, ottenuto sempre grazie all'uso di comuni idrocolloidi irreversibili, fornirà i riferimenti occlusali con l'antagonista. Così è possibile iniziare le fasi della progettazione protesica in sinergia con il laboratorio odontotecnico predisposto che ha fabbricato una struttura metallica in Cr-Co. Per

irreversible hydrocolloids, provides occlusal references to the antagonist arch. At this point it was possible to begin designing the prosthesis in synergy with the selected dental laboratory which, in the meantime, had made a Co-Cr metal framework. In order to manufacture the prosthesis, the dental laboratory used a 3D printer (Object 250R Eden, Israel) which converts the digital file in stereo-lithographic models containing implant analogs (Figure 4). The metal superstructure passivation was checked with a screw strength test, a Sheffield test, with a probe and with the help of magnification; an orthopantomography was also taken (Figure 5). After assessing the accuracy of the work, the prosthesis was completed at the dental lab and delivered to the patient (Figure 6).

DISCUSSION

For successful rehabilitation it is essential to manufacture an implant-supported prosthesis with tension-free connectors. This is possible only through a meticulous prosthodontic phase that ensures the correct passivation of components. This important phase of treatment depends on the accuracy of clinical

la realizzazione della protesi, il laboratorio si è servito di una stampante 3D (Object 250R Eden, Israele) che trasforma il file digitale in modelli stereolitografici contenenti le repliche degli impianti (Figura 4).

La passivazione della sovrastruttura metallica è stata verificata con un test di resistenza delle viti, con il test di Sheffield, con una sonda e con l'ausilio degli ingrandimenti; è stata eseguita anche una radiografia panoramica (Figura 5). Accertata la precisione del lavoro, la protesi è stata quindi ultimata dal laboratorio e consegnata al paziente (Figura 6).

Discussione

Confezionare una protesi su impianti libera da tensioni nei connettori, è indispensabile per il successo della riabilitazione. Una situazione simile si può ottenere solo grazie a una fase prosthodontica scrupolosa, che favorisca la giusta passivazione dei componenti.

A sua volta, questa importante fase della terapia dipende dalla precisione con cui si realizzano i





5. Prova metallo
5. Metal framework try-in
6. Protesi avvata
6. Screwed prosthesis

passaggi sia clinici che di laboratorio, dove possono verificarsi errori non sempre evidenti^{1,18}. Diversi autori, tra i quali Balshi (già nel 1986), Jemt⁸ e Rubenstein¹⁹, hanno dimostrato, attraverso studi in vitro, l'importanza di rilevare impronte precise al fine di evitare pericolose tensioni sulle protesi avvate.

Tuttavia il dibattito sul quale sia la tecnica d'impronta più affidabile è ancora acceso: Lee e collaboratori⁶ hanno studiato l'argomento con una revisione della letteratura dalla quale si evince che nel 35% dei casi la miglior tecnica sia la pick-up,

nel 15% quella a cucchiaio chiuso, mentre il restante 50% dei campioni non ha mostrato risultati significativi.

Per quanto concerne il numero di impianti, se essi sono pari o inferiori a 3 non sembrano esserci differenze significative fra le tecniche, mentre con 4 o più impianti è preferibile l'uso del cucchiaio aperto^{6,20}.

La fotogrammetria permette di conoscere in modo esatto i dati metrici di un oggetto, ovvero la sua forma e la sua posizione, elaborando le informazioni di molteplici fotogrammi, che indicano una situazione nello spazio rispetto a un sistema di riferimento.

L'impiego di speciali fotocamere e di un software dedicato rende possibili questi calcoli, che consentono di tracciare la posizione degli impianti nella bocca del paziente e, successivamente, di sviluppare un file digitale.

A livello pratico, tutto ciò significa evitare transfer, analoghi di laboratorio, cucchiai, materiali da impronta ecc.²⁴

A differenza delle tecniche tradizionali, la PIC-camera® non è sensibile alla presenza di saliva o di un gemizio ematico, lasciando così maggior agio sia al paziente sia all'operatore. Evitando i consueti passaggi clinici e di laboratorio, si riducono i costi, il numero di appuntamenti e la durata degli stessi, oltre a minimizzare la possibilità d'errore.



and laboratory steps which are prone to errors that are not always obvious^{1,18}.

Many authors, such as Balshi (back in 1986), Jemt⁸ and Rubenstein¹⁹, have shown, by means of in vitro studies, the importance of taking accurate impressions to avoid dangerous tensions being created in screw-retained prostheses.

The debate continues on which technique is most reliable for taking impressions: Lee et al.⁶ reviewed all the literature to study the topic and found that the pick-up technique was the best in 35% of cases, the one with closed tray in 15% of cases, while the remaining 50% of samples did not show significant results.

If there are only up to three implants inserted, any technique may be used as no significant differences were observed, while with four implants or more the use of an open tray is recommended^{6,20}.

Photogrammetry accurately records the metrical data of an object i.e. its shape and position, processing the information provided by multiple photograms that depict

Gli scanner digitali, in realtà, condividono gli stessi vantaggi della fotogrammetria, a eccezione dell'ultimo: anche se l'evidenza clinica è limitata, l'algoritmo del digitale può accumulare errori nell'addizione delle varie informazioni²¹, mentre la somma vettoriale utilizzata dalla PIC-camera® assicura maggiore precisione nell'elaborazione dei dati e, di conseguenza, una protesi con migliore passivazione.

Il digitale in odontoiatria non è più il futuro, ma il presente: adottare le nuove tecnologie per migliorare le cure dei nostri pazienti – anche se non

è sempre facile abbandonare tecniche più assodate – aiuta a semplificare molte procedure, permettendo anche a operatori meno esperti di raggiungere risultati soddisfacenti.

La fotogrammetria, insieme alla tecnologia CAD/CAM, ha dato prova di migliorare la precisione nel rilevare la posizione degli impianti in riabilitazioni complesse, permettendo di costruire sovrastrutture metalliche perfettamente passive. Infine, non è da escludere che questa tecnologia possa fornire spunti per future innovazioni.

Bibliografia/References

1. Wee AG, Aquilino SA, Schneider RL. Strategies to achieve fit in implant prosthodontics: a review of the literature. *Int J Prosthodont* 1999;12:167-78.
2. Heckmann SM, Karl M, Wichmann MG et al. Cement fixation and screw retention: parameters of passive fit. An in vitro study of three-unit implant-supported fixed partial dentures. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:466-73.
3. Windhorn RJ, Gunnell TR. A simple open-tray implant impression technique. *J Prosthet Dent* 2006;96:220-1.
4. Akça K, Cehreli MC. Accuracy of 2 impression techniques for ITI implants. *The Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19:517-23.
5. Cehreli MC, Akça K. Impression techniques and misfit-induced strains on implant-supported superstructures: an in vitro study. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26:379-85.
6. Lee H, So JS, Hochstedler JL, Ercoli C. The accuracy of implant impressions: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2008;100:285-91.
7. Kachalia PR, Geissberger MJ. Dentistry a la carte: in-office CAD/CAM technology. *J Calif Dent Assoc* 2010;38:323-30.
8. Jemt T, Rubenstein JE, Carlsson L, Lang BR. Measuring fit at the implant prosthodontic interface. *J Prosthet Dent* 1996;75:314-25.
9. Freedman M, Quinn F, O'Sullivan M. Single unit CAD/CAM restorations: a literature review. *J Ir Dent Assoc* 2007;53:38-45.
10. Persson ASK, Andersson M, Odén A, Sandborgh-Englund G. Computer aided analysis of digitized dental stone replicas by dental CAD/CAM technology. *Dent Mater* 2008;24:1123-30.
11. Park J-I, Yoon T-H. A three-dimensional image-superimposition CAD/CAM technique to record the position and angulation of the implant abutment screw access channel. *J Prosthet Dent* 2013;109:57-60.
12. Thali MJ, Braun M, Wirth J et al. 3D surface and body documentation in forensic medicine: 3-D/CAD Photogrammetry merged with 3D radiological scanning. *J Forensic Sci* 2003;48:1356-65.
13. Aroeira RMC, Leal JS, De Melo Pertence AE. New method of scoliosis assessment: preliminary results using computerized photogrammetry. *Spine* 2011;36:1584-91.
14. Goellner M, Schmitt J, Karl M et al. Photogrammetric measurement of initial tooth displacement under tensile force. *Med Eng Phys* 2010;32:883-8.
15. Kau CH, Kamel SG, Wilson J, Wong ME. New method for analysis of facial growth in a pediatric reconstructed mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011;139:e285-90.
16. Deli R, Di Gioia E, Galantucci LM, Percoco G. Accurate facial morphologic measurements using a 3-camera photogrammetric method. *J Craniofac Surg* 2011;22:54-9.
17. Marini I, Bonetti GA, Achilli V, Salemi G. A photogrammetric technique for the analysis of palatal three-dimensional changes during rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 2007;29:26-30.
18. Frisardi G, Chessa G, Barone S et al. Integration of 3D anatomical data obtained by CT imaging and 3D optical scanning for computer aided implant surgery. *BMC Med Imaging* 2011;11:5. doi: 10.1186/1471-2342-11-5.
19. Rubenstein JE, Ma T. Comparison of interface relationships between implant components for laser-welded titanium frameworks and standard cast frameworks. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1999;14:491-5.
20. Del'Acqua MA, Arioli-Filho JN, Compagnoni MA, Mollo F de A. Accuracy of impression and pouring techniques for an implant-supported prosthesis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2008;23:226-36.
21. Eliasson A, Ortop A. The accuracy of an implant impression technique using digitally coded healing abutments. *Clin Implant Dent Relat Res* 2012;14 Suppl 1:e30-8.
22. Lie A, Jemt T. Photogrammetric measurements of implant positions. Description of a technique to determine the fit between implants and superstructures. *Clin Oral Implants Res* 1994;5:30-6.
23. Jemt T, Bäck T, Petersson A. Photogrammetry--an alternative to conventional impressions in implant dentistry? A clinical pilot study. *Int J Prosthodont* 1999;12:363-8.
24. Fuster-Torres MA, Albalat-Estela S, Alcañiz-Raya M, Peñarocha-Diogo M. CAD/CAM dental systems in implant dentistry: update. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2009;14:E141-5.

a spatial situation in relation to a reference system.

The use of special cameras and dedicated software provides these calculations which make it possible to trace the position of implant in the patient's oral cavity and, afterwards, to develop a digital file.

From a practical point of view this implies the possibility to avoid the use of transfers, laboratory analogs, trays, impression materials and so on²⁴. Unlike the conventional techniques, the PICcamera® is not sensitive to the presence of saliva or oozing blood, and this is convenient both for the patient and for the technician.

Eliminating the conventional clinical and laboratory steps makes it possible not only to reduce costs and the number and duration of sessions but also to minimize the possibility of error.

In practice, digital scanners have the same advantages of photogrammetry, except for the last one: even though clinical evidence

is limited, the digital algorithm can accumulate errors when adding several items of information²¹ while the vector sum used by the PICcamera® guarantees higher accuracy in the data processing and therefore a better passivation of the prosthesis.

Digital technology in dentistry is no longer the future but the present: adopting new technologies to improve our patients' treatments, even if it is not always easy to give up long established techniques, helps to simplify many procedures, so that even the less experienced technicians can obtain satisfactory results.

Photogrammetry and CAD/CAM technology together have proven to increase accuracy in detecting implant positions in complex rehabilitations, ensuring perfectly passivated metal superstructures. Lastly, it cannot be excluded that this technology will be a starting point for future innovations.