L'autostrada digitale dei dati

La passivita si trova solo validandone l'ingresso in fase di scansione e controllandone l'uscita in produzione.

Autore _ ODT Carmine Meo, ODT Giuseppe Meo, Dott. Fabrizio Crasta, Francesco Biaggini

_Presentazione

Il paziente arriva con un quadro parodontale grave, ormai non recuperabile (Fig. 1). La decisione è netta: bonifica estrattiva completa. Si comincia dall'arcata superiore, per ragioni estetiche e di pianificazione protesica.

_Materiali e metodi

La pianificazione, costruita su RealGuide, sfrutta le ampie aree edentule per distribuire in modo strategico sei impianti JDentalcare a connessione esagonale interna. In chirurgia posizioniamo i MultiUnit Abutment Standard Europa, Ø4,8 mm e vite M1,4. Una scansione intraorale con scanbody a isola, e nelle canoniche 48 ore procediamo al carico immediato (Fig. 2).

Poi si aspetta. L'osteointegrazione chiede i suoi sei mesi. Quando arrivano, si apre la fase che è il vero oggetto di queste pagine: la protesizzazione definitiva.

Perché è qui che la scansione full-arch mostra il suo lato fragile. Le cause sono note e documentate: lo stitching di un numero elevato di immagini, l'assenza di riferimenti robusti, le interruzioni ripetute nella crescita della scansione, un bundle adjustment che non riesce a contenere la deriva. Il drift dimensionale. Un'alterazione della realtà che non si vede a occhio nudo, e che proprio per questo è insidiosa (Fig. 3).

L'alterazione dimensionale è nota, e con lei le contromisure. Negli anni la letteratura ne ha messe a fuoco diverse, e tutte muovono dalla stessa intuizione: se il drift nasce dallo stitching, allora bisogna agire sullo stitching. Ridurlo, ancorarlo, o aggirarlo del tutto. La fotogrammetria, extraorale, sceglie la terza strada. Rinuncia alla ricostruzione per stitching e misura direttamente la posizione dei riferimenti. È un cambio di paradigma, non una correzione: dove non c'è stitching, non c'è deriva da contenere.

Gli scanbody, invece, lavorano dentro il flusso ottico. Alcuni puntano sulla continuità, la CSS Strategy: creano punti di contatto comuni tra i corpi così che la scansione non si interrompa mai del tutto, e la crescita dell'immagine trovi sempre un appiglio, riferimenti stabili e robusti. Altri puntano sulla convergenza: riducono l'area da acqui-

Fig. 1

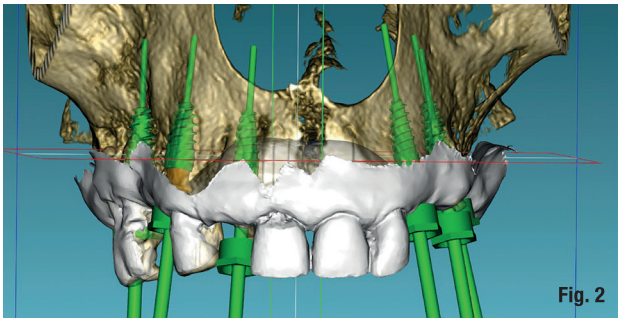
Fig. 2

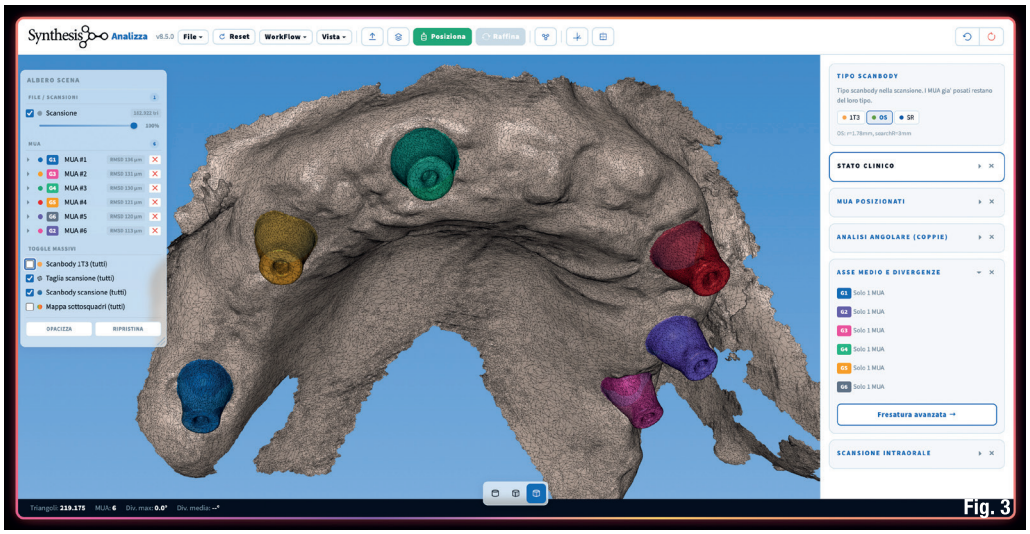

Fig. 3

sire, e con lei il numero di fotogrammi necessari. Meno immagini, meno cuciture, meno deriva.

Nella nostra pratica le abbiamo provate quasi tutte. Oggi usiamo quella che, alla prova dei mesi e dei casi, si è dimostrata la più stabile e la più conveniente da portare in studio: ScanLogiQ.

La ragione per cui ci siamo fermati qui è che ScanLogiQ non sceglie una sola delle due strade. Le tiene insieme, e ci aggiunge una terza cosa che le altre non hanno. Gli scanbody che usiamo, a connessione MultiUnit Standard Europa, hanno una forma a bandiera: i riferimenti geometrici convergono verso un'area ridotta di scansione. È convergenza, nel senso più letterale, riduzione dell'area e quindi del numero di immagini. Ma quegli stessi corpi, trovando punti di contatto comuni, attivano anche la continuità della CSS Strategy. Due meccanismi nello stesso gesto (Fig. 4).

La terza cosa, quella che secondo noi fa la differenza, non è ottica. È metrologica.

Un'osservazione sola non basta. Questo lo sa chiunque misuri qualcosa per mestiere. Un calibro lo si appoggia due volte, una livella si controlla girandola, un peso si verifica. Misurare significa ripetere, e confrontare. Quello che la scansione full-arch chiede da sempre, e che raramente riceve, è proprio questo: non un'immagine, ma una prova che quell'immagine regga.

ScanLogiQ lo fa con un gesto semplice. L'area di scansione ridotta, quella su cui i riferimenti sono già convergiti, non viene acquisita una volta (Fig. 5).

Viene acquisita quattro. Quattro screenshot dello stesso oggetto ridotto, quattro osservazioni indipendenti dello stesso dato. Non è ridondanza, è metrologia: la robustezza non nasce dalla singola acquisizione fortunata, ma dalla convergenza di più acquisizioni sullo stesso valore.

È quello che abbiamo fatto sul nostro paziente. Quattro screenshot dell'area di scansione ridotta, caricati poi su AssistLogiQ, il software che governa la procedura. Da lì ricaviamo un unico file, dimensionalmente garantito, sul quale il laboratorio può lavorare con serenità.

Fig. 4

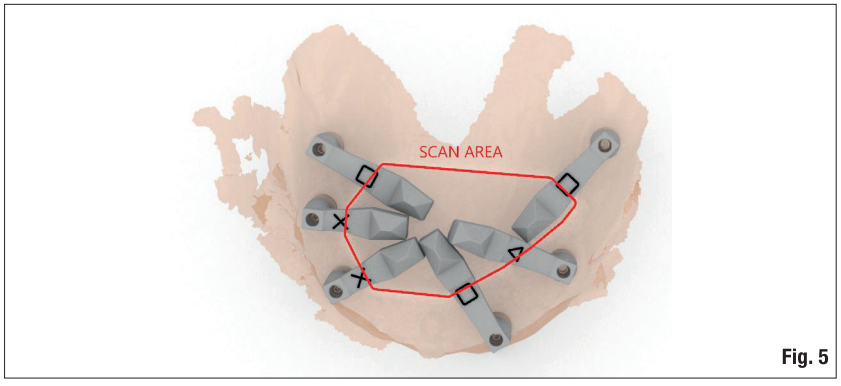

Fig. 5

Quella serenità, nei primi casi, l'avevamo cercata anche altrove. Il sistema genera in automatico un file di prova, e all'inizio lo usavamo: fresavamo la barra in metallo povero e la verificavamo con una prova di Sheffield modificata.

Funzionava. Ma dopo i primi casi quel passaggio ci è apparso per quello che era diventato, una conferma di qualcosa che già sapevamo. Lo abbiamo abbandonato. La fiducia nel dato, quando il dato è validato a monte, rende superflua la verifica a valle (Fig. 6).

Il file unico che AssistLogiQ restituisce presenta gli scanbody IPD ProCam riposizionati tramite geometrie NURBS, riconoscibili e immediatamente utilizzabili in laboratorio. Da qui in avanti il caso entra nella sua fase fisica (Fig. 7).

In laboratorio il file unico trova la sua destinazione.

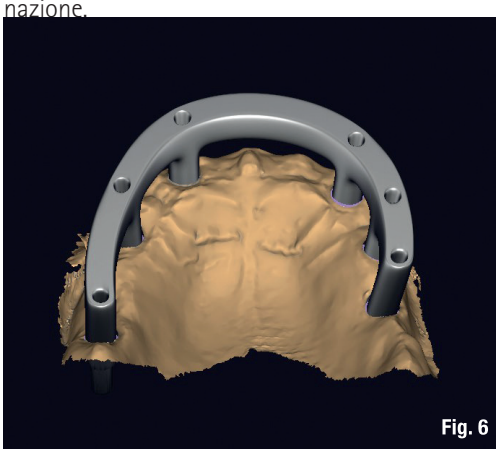
Fig. 6

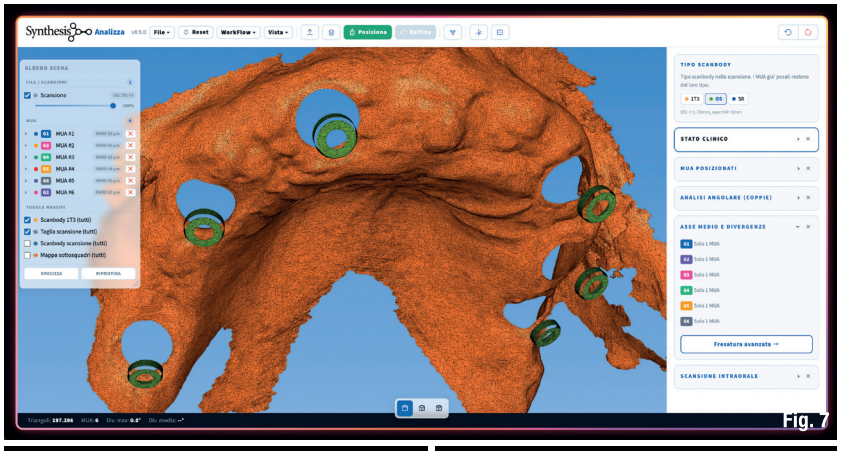

Fig. 7

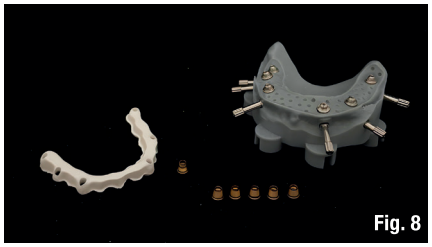
Fig. 8

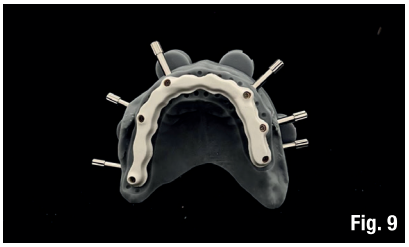
Fig. 9

Gli scanbody ProCam riposizionati vengono accoppiati con le librerie per i Custom TiBase IPD, e da quel momento il progetto smette di essere una scansione e diventa un manufatto.

La scelta protesica è una split bar, tipo iBar, in zirconia Ice plus di Zirkonzahn da 1900 MPa: una barra primaria splittata, pensata per accogliere la sua controparte naturale (Figg. 8, 9).

La controparte, fresata in zirconia Initial di GC, completa la struttura e viene rifinita esteticamente con tecnica di pitturazione superficiale e infiltrazione. È la parte che il paziente vedrà; tutto il resto, la metrologia, gli screenshot, il file garantito, sta sotto, invisibile, a reggere proprio questo. Le anatomie del definitivo non sono state inventate da zero. Vengono direttamente dal provvisorio, importato e riposizionato tramite scanbody IPD Reverse, e riaccoppiato anch'esso attraverso AssistLogiQ. Il provvisorio, che il paziente ha portato e validato per mesi nella funzione e nell'estetica, diventa così il riferimento del definitivo. Nulla si perde nel passaggio. Tutti i passaggi fisici avvengono su modello stampato con Anycubic M7 Max e resina del medesimo produttore, montato su articolatore Artex e analoghi da stampa 3D AB-AN-003D, anch'essi IPD AbutmentCompatibili.com (IPD Dental Group). La filiera fisica, come quella digitale, resta dentro componenti dei quali conosciamo geometrie e tolleranze.

Ed è qui che il caso tocca un secondo asse, distinto da quello dimensionale. Fino a questo punto abbiamo parlato di passività, un fatto puramente meccanico: quanto bene la struttura si appoggia agli impianti senza precaricarne le connessioni. È la condizione che governa la sopravvivenza del dispositivo e delle connessioni implantari nel tempo, e l'abbiamo presidiata a monte, con la metrologia della scansione e il file garantito.

Ma una struttura passiva non è ancora una struttura funzionale. Resta l'occlusione: i contatti dinamici, lo schema dei movimenti, tutto ciò che in CAD viene progettato come geometria virtuale e che deve ritrovarsi fedele al banco. È un piano gnatologico, non più metrologico, e ricade sulla salute del paziente per una via propria, il carico funzionale corretto, l'assenza di interferenze, la protezione delle connessioni dai sovraccarichi dinamici. Una struttura dimensionalmente perfetta ma occlusalmente sbagliata carica male, e a lungo termine quel carico si scarica proprio sulle connessioni che la passività aveva protetto.

Il trasferimento del modello in articolatore è il punto in cui questo secondo asse si gioca, e troppo spesso è incustodito. La basetta d'aggancio sposta il riferimento, l'articolatore aggiunge

il suo errore intrinseco, l'orientamento di stampa imposto da basi ingombranti compromette la geometria dei denti. I contatti verificati al banco non corrispondono più a quelli progettati in CAD. L'anello finale vanifica tutto.

Per presidiare anche questo tratto abbiamo usato DACOS Omni (Metadac FZE, dacos.dental; sistema ideato da Antonello Croce) nella versione dedicata al nostro Artex, il sistema di trasferimento in articolatore basato sul protocollo Zero-Drift Transfer (Fig. 10).

Non agisce su una singola variabile, ma sull'intera catena di errore. Una geometria di stampa con zona di contatto protetta, che lascia stampare il modello in posizione ottimale senza sacrificare la resa dei denti agli ingombri della base. Un aggancio magnetico modulare a footprint compatto, che permette di scegliere la posizione dei magneti ed evitare l'interferenza con gli analoghi implantari, il punto dove i sistemi a base ingombrante rendono impraticabili proprio i casi full-arch come il nostro. Una calibrazione del sistema direttamente in articolatore, prima del primo utilizzo, con un calibratore stampato sulla stessa stampante e resina dei modelli paziente, così da rimuovere dall'equazione anche l'errore dello specifico setup. E librerie CAD dedicate, che integrano il protocollo nel software già in uso senza strumenti esterni né regolazioni manuali.

Così i due assi si chiudono insieme. La passività, statica e meccanica, validata in ingresso. L'occlusione, dinamica e funzionale, presidiata in trasferimento. Due sopravvivenze distinte dello stesso dispositivo, e nessuna delle due lasciata alla speranza (Fig. 11). La radiografia di controllo finale è un atto dovuto, parte del protocollo di verifica. Ma quando la guardiamo, dopo un percorso costruito così, non cerchiamo sorprese: cerchiamo conferme. E le troviamo. L'immagine mostra quello che i sistemi di contenimento e validazione del drift promettono di rendere possibile, la stabilità dimensionale e quindi la passività della protesi. Non una passività sperata, ma una passività misurata lungo tutto il percorso (Fig. 12).

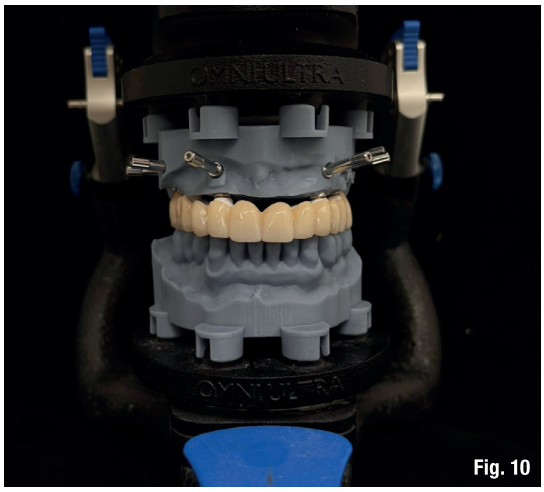

Fig. 10

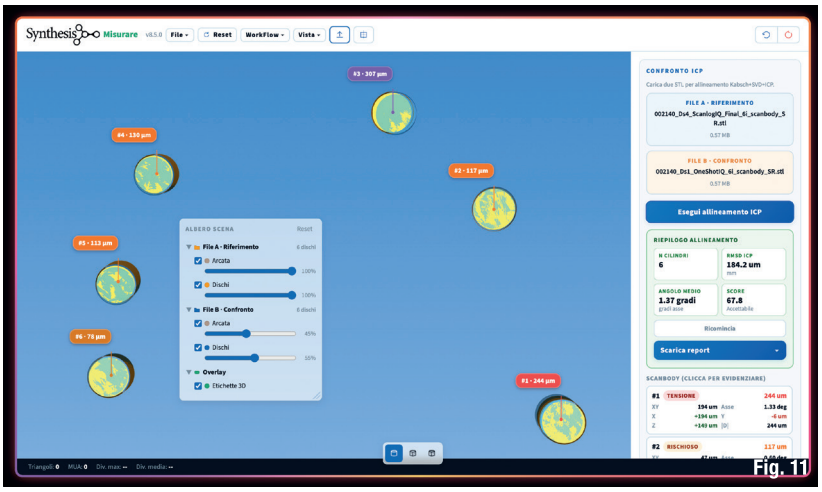

Fig. 11

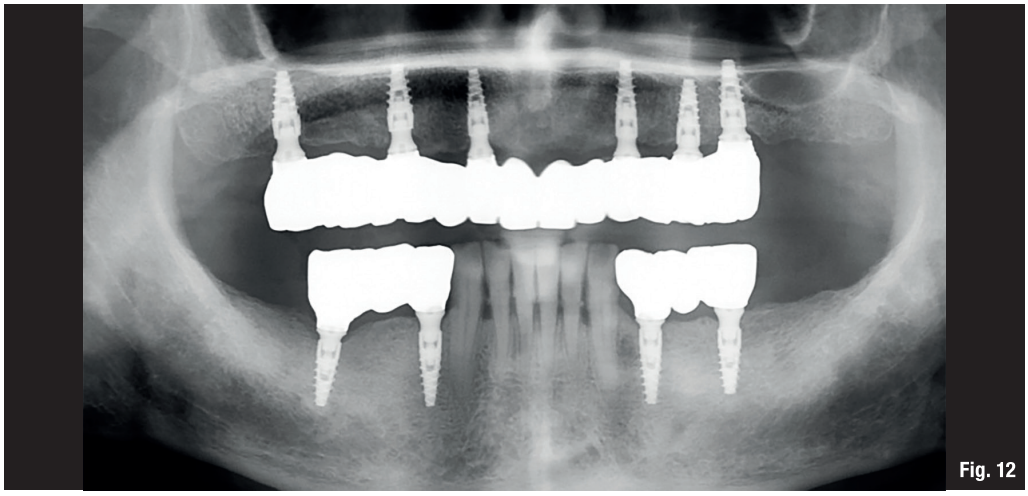
Fig. 12

Focus tecnico e analisi dei dati

Qui finisce il caso clinico e comincia la riflessione che ci sta più a cuore.

Una scansione precisa, e quindi la posizione certa degli impianti, è solo metà del lavoro. La metà visibile. L'altra accade dopo, in produzione, dove ogni fresatura, ogni materiale, ogni passaggio fisico introduce variabili che nessuna scansione può prevedere. La fresatura ha le sue tolleranze, la zirconia sinterizza e ritira, il modello stampato e l'articolatore hanno la loro fedeltà e i loro limiti.

Immaginiamo il flusso come un'autostrada di dati. I dati fisici entrano nel digitale da un casello di ingresso, la scansione intraorale, ed escono da un casello di uscita, la produzione del dispositivo. Presidiare un solo casello, per quanto bene, lascia l'altro aperto. E da un casello incustodito passano le variabili che nessuno ha contato: errori invisibili, che diventano complicazioni biomeccaniche quando il manufatto è ormai in bocca.

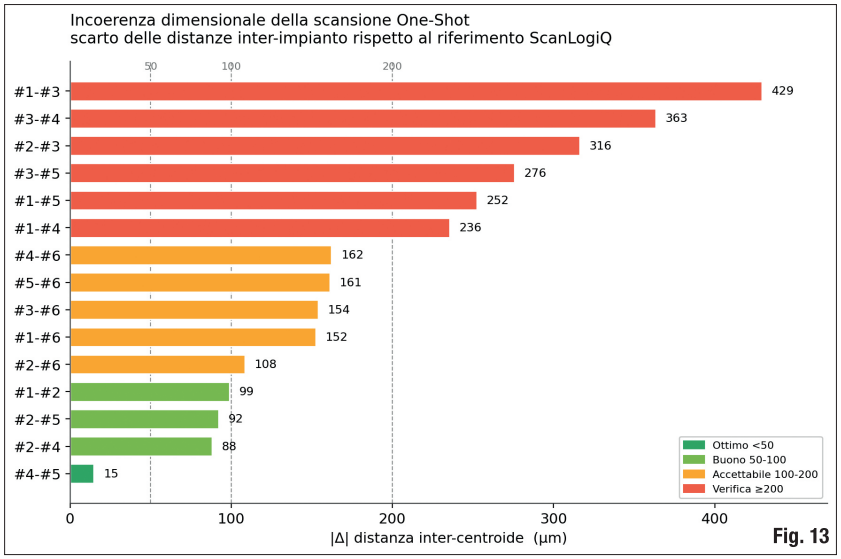

Fig. 13

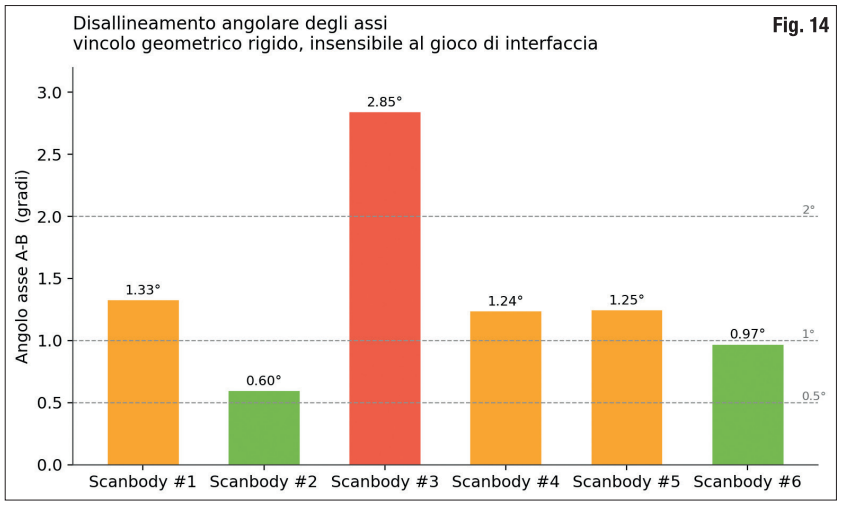

Fig. 14

Per questo non basta validare la scansione. Va validato l'intero workflow, ingresso e uscita e ogni processo che vive tra i due caselli, comprese le fasi fisiche al banco, dal modello al trasferimento in articolatore.

Solo così, nell'analisi dei rischi che accompagna il dispositivo, possiamo dichiarare che tutti sono stati individuati, ponderati e contenuti. Solo così quel dispositivo è certificabile secondo norma MDR.

ScanLogiQ presidia il primo casello con una metrologia che non si accontenta di guardare una volta. Resta nostra, di tutti noi che operiamo lungo l'autostrada, la responsabilità di tutto ciò che viene dopo. La passività non si spera. Si misura. E si misura due volte: quando il dato entra, e quando il dispositivo esce.

Incoerenza inter-centroide |Δ| (Figg. 12, 13)

Le quindici distanze tra coppie di scanbody, ordinate dalla deriva maggiore alla minore: ogni barra misura quanto la distanza rilevata dalla One-Shot si discosta dal riferimento ScanLogiQ. Il colore segue le soglie cliniche, le tratteggiate a 50, 100 e 200 µm marcano i confini tra ottimo, buono, accettabile e verifica.

È il grafico portante, quello che dimostra la tesi del passive fit: una struttura avvitata si appoggia senza tensioni solo se le distanze tra gli impianti coincidono con quelle reali, ed è proprio questa coincidenza che il grafico misura. Solo quattro coppie su quindici restano sotto i 100 µm, sei sforano i 200, la media è 193,6 µm, appoggiata alla soglia critica. La prova quantitativa che la One-Shot, su questo caso, non garantisce la passività.

In continuità con questa analisi sulle distanze, la Figura 14 approfondisce il comportamento angolare degli scanbody. Il grafico dell'angolo asse misura il disallineamento dell'asse di ciascun cilindro tra le due scansioni, espresso in gradi. Le soglie cliniche di 0,5°, 1° e 2°, rappresentate da linee tratteggiate e codificate cromaticamente, permettono di interpretare la deriva angolare. A differenza delle distanze, l'angolo rappresenta un vincolo puramente geometrico, non influenzato da alcun gioco di interfaccia, e qualsiasi variazione può essere interpretata come deriva ottica in senso stretto. L'analisi isola lo scanbody #3, che presenta un valore di 2,85°, nettamente oltre soglia: nel medesimo punto in cui le figure 1 e 3 avevano già evidenziato la maggiore deriva lineare, la tecnica One-Shot non mostra solo uno scostamento di posizione, ma anche di orientamento. Si tratta di una conferma incrociata che

chiude il ragionamento, poiché lo stesso scanbody risulta critico su tutte e tre le metriche analizzate.

_Conclusione

Il caso che abbiamo raccontato parla di controlli e verifiche, parla di sapere prima, di ridurrei i tempi persi, il discomfort per i pazienti e i momenti d'imbarazzo quando ci troviamo di fonte a inconvenienti prevedibili ma inattesi nelle speranze. È su quei controlli e conferme anticipate che si fonda il giudizio clinico sul dispositivo consegnato.

Il confronto Syntesis-ICP risponde a un'altra domanda, e per noi è quella che vale di più. Non misura la passività che abbiamo ottenuto, ma l'errore che avremmo introdotto seguendo la strada classica, una singola scansione full-arch con scanbody a isola. Quei 193,6 µm di scarto medio sulle distanze inter-implantari, le sei coppie su quindici oltre la soglia di verifica, lo scanbody#3 fuori posizione e ruotato, sono la fotografia di una deriva che non si sarebbe vista sul modello e che si sarebbe scaricata sulle connessioni a manufatto già in bocca. Non un difetto che abbiamo corretto, ma un rischio che abbiamo evitato a monte, e che solo mettendo due strade a confronto diventa visibile e quantificabile.

È questa la ragione dei due caselli. Il drift della full-arch esiste sempre: la differenza non è tra chi lo ha e chi non lo ha, ma tra chi lo misura prima e chi lo scopre dopo. ScanLogiQ presidia il primo casello validando il dato in ingresso, quattro acquisizioni invece di una, prima che il file passi al laboratorio. Il trasferimento al banco presidia il secondo, dove il dato torna oggetto fisico. Tra i due resta una strada intera da sorvegliare, e nessuno strumento ci solleva da quella responsabilità.

Ma la rende dichiarabile. Nell'analisi dei rischi che accompagna il dispositivo possiamo scrivere, e documentare, che la deriva dimensionale è stata contenuta a monte e l'occlusione presidiata in trasferimento, e che ogni rischio è stato individuato e ponderato. È la prova che la norma MDR ci chiede e che troppo spesso firmiamo senza poterla portare. La precisione non è un punto di arrivo. È una sorveglianza che non smette mai, da quando il dato entra a quando il dispositivo esce.

_bibliografia

- De Rubertis C, Ferrante F, Stefanelli N, Friuli M, Madaghiele M, Demitri C, Palermo A. The accuracy of intra-oral scanners in full arch implant rehabilitation: a narrative review. Br Dent J. 2023;235(11):887-891.
- Mangano FG, Admakin O, Bonacina M, Lerner H, Rutkunas V, Mangano C. Trueness of 12 intraoral scanners in the full-arch implant impression: a comparative in vitro study. BMC Oral Health. 2020;20:263.
- Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, Logozzo S. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. BMC Oral Health. 2017;17:149.
- Imburgia M, Logozzo S, Hauschild U, Veronesi G, Mangano C, Mangano FG. Accuracy of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. BMC Oral Health. 2017;17:92.
- Revilla-León M, Kois DE, Kois JC. A guide for maximizing the accuracy of intraoral digital scans. Part 1: Operator factors. J Esthet Restor Dent. 2023;35(1):230-240.
- Imburgia M, Kois J, Marino E, Lerner H, Mangano FG. Continuous Scan Strategy (CSS): a novel technique to improve the accuracy of intraoral digital impressions. Eur J Prosthodont Restor Dent. 2020;28(3):128-141.
- Mangano FG, Lerner H, Valle G, Biaggini F, Mangano C, Dybov A. Trueness of extraoral photogrammetry, intraoral photogrammetry and direct intraoral scanning in the full-arch digital implant impression: a comparative in vitro study. J Dent. 2025;165:106269.
- Pozzi A, Carosi P, Gallucci GO, Nagy K, Nardi A, Arcuri L. Accuracy of complete-arch digital implant impression with intraoral optical scanning and stereophotogrammetry: an in vivo prospective comparative study. Clin Oral Implants Res. 2023;34(10):1106-1117.
- ISO 5725-1:1994. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 1: General principles and definitions. Geneva: International Organization for Standardization; 1994.
- Mehl A, Reich S, Beuer F, Güth JF. Accuracy, trueness, and precision: a guideline for the evaluation of these basic values in digital dentistry. Int J Comput Dent. 2021;24(4):341-352.
- Jemt T, Lie A. Accuracy of implant-supported prostheses in the edentulous jaw: analysis of precision of fit between cast gold-alloy frameworks and master casts by means of a three-dimensional photogrammetric technique. Clin Oral Implants Res. 1995;6(3):172-180.
- Jemt T. Failures and complications in 391 consecutively inserted fixed prostheses supported by Brånemark implants in edentulous jaws. Int J Oral Maxillofac Implants. 1991;6(3):270-276.
- Michelinakis G, Apostolakis D, Kamposiora P, Papavasiliou G, Özcan M. The direct digital workflow in fixed implant prosthodontics: a narrative review. BMC Oral Health. 2021;21:37.
- Papaspyridakos P, Chochlidakis K, Kang K, et al. Digital workflow for implant rehabilitation with double full-arch monolithic zirconia prostheses. J Prosthodont. 2020;29:460-465.
- Kim Y, Oh TJ, Misch CE, Wang HL. Occlusal considerations in implant therapy: clinical guidelines with biomechanical rationale. Clin Oral Implants Res. 2005;16(1):26-35.
- Etemad-Shahidi Y, Qallandar OB, Evenden J, Alifui-Segbaya F, Ahmed KE. Accuracy of 3-dimensionally printed full-arch dental models: a systematic review. J Clin Med. 2020;9(10):3357.
- Regolamento (UE) 2017/745 del Parlamento europeo e del Consiglio del 5 aprile 2017 relativo ai dispositivi medici (MDR). Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 117, 5 maggio 2017.