

RUOLO DELLA STAMPA 3D IN FASE DIAGNOSTICA E NELLA PREPARAZIONE CHIRURGICA DEI CASI COMPLESSI

Una precisa valutazione pre-chirurgica con questa tecnologia può consentire interventi complessi con notevole riduzione dei rischi, dei tempi e con pazienti ben informati sulla procedura chirurgica pianificata

PAROLE CHIAVE

stampa 3D, cisti odontogena, enucleazione chirurgica, lesioni osteolitiche, consenso informato

KEY WORDS

3D printing, odontogenic cyst, surgical enucleation, osteolytic lesions, informed consent

Leonardo Palazzo^{1,2}

Cristina Rossi^{1,2}

Alessandro Fioroni¹

Domenico Guerra¹

Nazario Russo³

Riccardo Rossi⁴

¹Servizio di Odontoiatria di Gubbio (PG),

Responsabile. Dr. Mario Guerra

²Dipartimento di Scienze Chirurgiche e Biomediche;

Sezione di Odontoiatria clinica, protesica, preventiva e di comunità, Università degli Studi di Perugia

³ Direttore Scuola di Specializzazione EIMS HEI UFP,

Università Degli Studi di Cagliari

⁴ Professore aggregato in Medicina Legale, Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma, Istituto di Sanità Pubblica, Sezione di Medicina Legale

Corrispondente: l.palazzo69@gmail.com

La Stampa 3D è una tecnologia di fabbricazione additiva che consente di realizzare un oggetto tridimensionale partendo da dati informatici: un raggio laser solidifica strati di resina liquida. Viene utilizzata in molti campi: dall'industria all'arte e si sta diffondendo anche in medicina. Attualmente, grazie alle stampanti 3D¹⁻⁷, abbiamo la possibilità di ricostruire fisicamente le strutture anatomiche visibili nelle immagini radiologiche (**tomografia computerizzata, RM, ecografia 3D**). L'obiettivo è di poter inserire questa tecnologia nei piani di trattamento complessi per studiare le variabili anatomiche e morfologiche nella fase di planning preoperatorio riducendo la durata dell'intervento, le complicanze intraoperatorie, migliorare la comunicazione medico-paziente e ridurre il contenzioso medico-legale. Si evidenzia

ROLE OF 3D PRINTING IN DIAGNOSTIC PHASE AND IN SURGICAL PREPARATION OF COMPLEX CASES

un largo uso, in ortopedia⁸⁻¹¹, di repliche anatomiche per la gestione di fratture complesse (per selezionare il mezzo di osteosintesi più adatto) e per la realizzazione di guide chirurgiche di perforazione al fine di facilitare il posizionamento delle viti nei trattamenti di stabilizzazione vertebrale. La letteratura evidenzia che i principali campi di applicazione della tecnologia additiva, oggi, sono nella chirurgia orale e maxillofaciale¹²⁻¹⁵, ma c'è una notevole diffusione anche in altri settori:

- cardiocirurgia^{16,17}, dove vengono realizzate repliche anatomiche di strutture cardiache con patologie congenite;
- chirurgia oncologica per la diagnosi e la programmazione chirurgica di lesioni tumorali renali^{18,19,20} e pancreatiche (Figure 1, 2);
- chirurgia toracica, per lo studio di lesioni tracheali;
- neurochirurgia²¹ per la diagnosi di vasculopatie cerebrali;
- urologia per il trattamento radioterapico e chirurgico di adenocarcinomi prostatici;
- chirurgia dei trapianti d'organi (fegato e cuore), dove è importante capire bene l'anatomia e la distribuzione nello spazio delle relative strutture da trapiantare. Nelle varie pubblicazioni viene messa in risalto l'importanza delle repliche come strumento di comunicazione. In effetti, questo nuovo ausilio diagnostico migliora la qualità della comunicazione medico paziente finalizzata all'acquisizione del consenso informato. A tal proposito, il paziente attraverso la visione del modello può comprendere meglio l'entità della lesione, i rischi dell'iter terapeutico, incrementando altresì la sua adesione al

trattamento, nell'ottica di una auspicabile limitazione del ricorso indiscriminato al contenzioso medico-legale. In letteratura c'è il suggerimento di utilizzare tale tecnologia additiva nel percorso formativo dei medici nelle scuole di specializzazione per accorciare le curve d'apprendimento per i giovani medici in formazione.

IL CICLO DI PROTOTIPAZIONE RAPIDA

La Stampa 3 D è un sistema di prototipazione rapida (RPS) progettata per creare modelli fisici tridimensionali (3D) solidi e dettagliati in grado di replicare accuratamente strutture anatomiche complesse partendo da un'immagine radiografica. Le fasi del ciclo di prototipazione rapida si possono riassumere come:

- acquisizione immagini DICOM;
- segmentazione 3D;
- generazione del file STL;
- stampa del modello 3D;
- pulizia modello e finitura.

L'acquisizione delle immagini radiologiche

avviene secondo lo standard DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*, immagini e comunicazione digitali in medicina) che definisce i criteri per la comunicazione, la visualizzazione, l'archiviazione e la stampa di informazioni di tipo biomedico. Un file DICOM, oltre all'immagine vera e propria, include anche un'intestazione. Le informazioni contenute nell'intestazione DICOM sono molteplici, per esempio: dati relativi al paziente e dati relativi all'esame radiologico, come il tipo di scansione, posizione e dimensione dell'immagine. Una volta acquisita, l'immagine DICOM viene trasferita in software certificati a uso medico per la lettura e la segmentazione.

La **segmentazione** è quel processo che permette di identificare tutte le strutture di proprio interesse all'interno delle immagini DICOM bidimensionali. Le strutture identificate sulle diverse slices della CBCT si possono estrapolare dalle DICOM e tramite specifici algoritmi vengono poi ricostruite in 3D, ovvero tutte le strutture che sono state identificate strato per strato sulla TC vengono poi giustapposte dal software per creare il modello tridimensionale virtuale dell'anatomia del paziente.

La segmentazione può essere eseguita in diversi modi:

- può essere **automatica**, come gli algoritmi di ricostruzione 3D, (SSD o volume rendering) genericamente standard all'interno dei software dei dispositivi di tomografia computerizzata;



1. Replica anatomica di un rene con lesione tumorale



2. Replica anatomica di un pancreas con lesione tumorale

- oppure viene fatta con software certificati che permettono di identificare le strutture anatomiche di interesse e può essere **semiautomatica**, cioè si va a impostare un filtro con un intervallo di valori di intensità luminosa e il software legge sulla CBCT e rappresenta quindi solo le strutture che hanno quel range (se parliamo di TC i valori sono riconducibili alle diverse densità dei tessuti di Hounsfield, se, invece, di Cone Beam sono valori di intensità luminosa riparametrizzati secondo scale proprie di ciascun apparecchio, se invece ci riferiamo alla RMN, invece, i valori sono correlati all'intensità del segnale dell'idrogeno dei tessuti);
- se le immagini non sono molto nitide, come ad esempio in presenza di artefatti a stella per la presenza di impianti dentali, o in caso di TC molto rumorose che utilizzano parametri di scansione bassi, da 7-8 mAs fino a 80 kV, non è possibile effettuare la segmentazione semiautomatica ma è necessario procedere con quella **manuale**. Con la segmentazione manuale si ha la possibilità di andare con il cursore del mouse a disegnare il profilo della struttura che si desidera identificare slice per slice.

È possibile ricostruire anche più strutture differenti, ad esempio si può identificare la mandibola, salvare lo slot, e andare poi a identificare manualmente o con modalità semiautomatica, un'altra struttura, come una lesione all'interno della mandibola precedentemente evidenziata. Una volta estrapolata anche la lesione, in questo caso, si avranno due file tridimensionali, della mandibola e della lesione, ricostruite perfettamente nella stessa posizione in cui si presentano sulla TC. La sovrapposizione è automatica: i software medici certificati assicurano che le strutture identificate ed estrapolate siano riportate nello spazio esattamente come sono collocate nella TC, certificando che le

strutture segmentate sull'immagine DICOM vengano realmente ricostruite senza distorsioni di forma, posizione e dimensioni. Il file tridimensionale, ancora digitale così com'è, è già di ausilio per la diagnosi clinica poiché permette di visualizzare in 3D l'anatomia del paziente: una determinata struttura può essere navigata, ruotata nello spazio, messa in trasparenza per evidenziarne altre, come le lesioni o i fasci vascolo-nervosi.

Dopo aver effettuato la segmentazione e aver estrapolato la struttura di interesse, trasformando l'immagine bidimensionale in 3D, il file DICOM può essere esportato in diversi formati, come ad esempio JPG, o può essere riesportato in DICOM, o ancora in più formati volumetrici tra i quali OBJ, STEP, o STL (*Standard Triangulation Language*) per poter essere stampato.

IL FORMATO STL

È uno dei principali formati usati nell'ambito della stampa 3D. Un file STL rappresenta un solido la cui superficie è stata discretizzata in triangoli. Esso consiste delle coordinate X, Y e Z ripetute per ciascuno dei tre vertici di ciascun triangolo. Questo formato presenta dei vantaggi, quali la semplicità, in quanto risulta molto facile da generare e da processare, mentre a suo sfavore presenta una geometria approssimata e la sua struttura dati, che pur risultando semplice, può presentare la ripetizione dello stesso vertice più volte. La qualità di stampa 3D è intrinsecamente legata alla densità del numero dei triangoli presenti.

Il formato STL può essere poi importato nel software CAD con il quale si può modificare il nostro oggetto, disegnare ad esempio una protesi o una placca su misura, o può essere importato nelle stampanti 3D che sono in grado di riconoscerlo. Importato all'interno dei software di slicing delle stampanti, l'oggetto sarà discretizzato in tante sezioni (*slices*), proprio perché la stampante 3D è una metodica additiva, ovvero l'oggetto viene creato aggiungendo uno strato dopo l'altro in base a quelle slices che ha precedentemente prodotto partendo dal modello virtuale.

La stampante lo interpreterà quindi in Gcode per poter iniziare la stampa.

Senza la generazione del file STL quindi, non è possibile stampare in 3D il modello realizzato. Prima di stampare dobbiamo assicurarci che i file STL che rappresentano tutte le varie strutture del modello anatomico rispettino i requisiti per essere letti e processati correttamente dalla stampante 3D;

ad esempio, tutte le superfici devono essere chiuse e quindi rappresentare dei volumi, ecc.-

La stampante 3D riconosce il file STL importato e quindi può essere avviata la stampa dell'oggetto. Tutte le stampanti 3D lavorano in produzione additiva ovvero creano l'oggetto aggiungendo materiale durante il processo di stampa.

LA TECNOLOGIA ADDITIVA

La **tecnologia additiva**, a differenza di quella sottrattiva, permette di costruire parti monoblocco anche complesse eliminando gli scarti di materia prima e riducendo le operazioni di post lavorazione e assemblaggio dei componenti con un conseguente vantaggio di riduzione dei costi e dei tempi. La prototipazione rapida può essere classificata in: metodo additivo, quello più comunemente utilizzato, e metodo sottrattivo, meno efficace del primo. Le più frequenti tecnologie adottate in campo odontoiatrico sono le seguenti.

- **Modellazione a deposizione fusa (FDM):** lavora su un principio "additivo" rilasciando il materiale su strati. Un filamento plastico o un filo metallico è srotolato da una bobina, che fornisce il materiale a un ugello di estrusione, con il quale è possibile gestire il flusso. L'ugello è riscaldato per poter sciogliere il materiale e può essere guidato sia in direzione orizzontale che verticale da un meccanismo di controllo numerico, cioè seguendo un percorso tracciato da un software CAM.
- **Sinterizzazione laser selettiva (SLS):** fa uso di un laser per sinterizzare, fondere polveri di diversi materiali, dagli elastomeri al nylon. La macchina stende strato dopo strato le polveri su una tavola che si abbassa progressivamente, la funzione del laser è saldare fra loro le piccole particelle solide. Il principale vantaggio di questa tecnologia sta nel fatto che si possono impiegare vari tipi di materie prime che sono in grado di restituire elevate rese meccaniche e termiche. I prototipi ottenuti con questa tecnologia sono più resistenti rispetto a quelli ricavati con la tecnica della Stereolitografia SLA, ma la superficie porosa conferisce a essi un aspetto finale grezzo e meno gradevole. Per migliorare l'aspetto estetico e tattile sono necessarie finiture personalizzate dopo il processo produttivo. Con questa tecnologia, che è molto precisa dal momento che gli strati sono di appena 0,1 mm, è possibile creare prototipi strutturali, per verifiche di montaggio, test di ingombro e di forma.
- **PolyJet:** il principio di funzionamento della stampa

**IL FORMATO
STL PUÒ ESSERE
IMPORTATO
NEL SOFTWARE
CAD CON
IL QUALE SI PUÒ
MODIFICARE
IL NOSTRO
OGGETTO,
DISEGNARE AD
ESEMPIO
UNA PROTESI
O UNA PLACCA
SU MISURA**

in 3D con resine PolyJet è simile a quello di una tradizionale stampante a getto d'inchiostro, solo che la stampante 3D deposita strati di resina liquida (fotopolimeri) sul piano di stampa. Gli strati di materiale vengono immediatamente solidificati tramite una luce UV per dare forma e consistenza all'oggetto. Il piatto di stampa si abbassa per permettere la stratificazione dei layer (16µm o 32µm). Al termine del processo di stampa deve essere rimossa la resina di supporto dall'oggetto: generalmente si rimuove per azione meccanica con getto d'acqua ad alta pressione (idropulitrice) accompagnato da un bagno in soluzione con soda la 2% per circa 30 minuti se ci sono zone particolarmente difficili da raggiungere. I modelli anatomici vengono poi rifiniti con spazzole ed eventualmente con spray lucidante per aumentare la trasparenza.

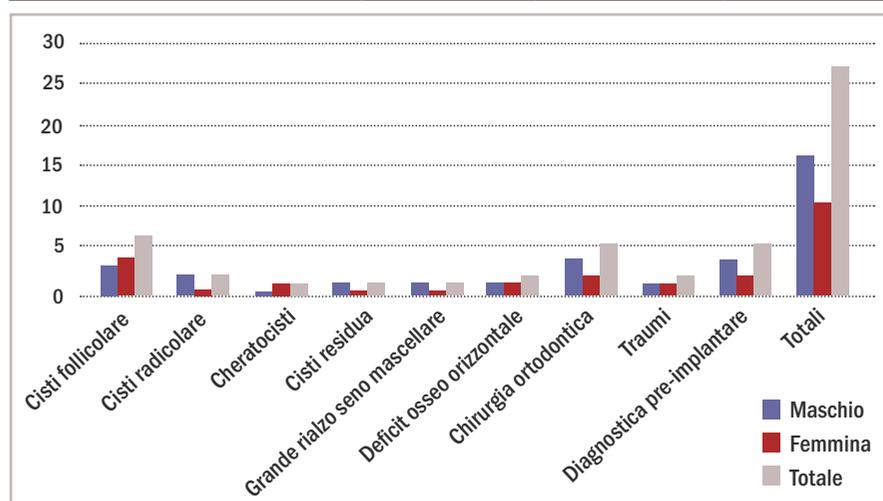
- **Stereolitografia (SLA):** è stata la prima tecnica di RP resa commercialmente disponibile, a partire dal 1987: è attualmente la più diffusa. Essa coinvolge quattro differenti tecnologie: laser, ottica, chimica dei fotopolimeri e software.

La stereolitografia (SLA) è una delle prime tecnologie di prototipazione rapida (RP) disponibili in commercio e la più popolare tra le tecnologie RP attualmente utilizzate, principalmente nel settore dell'odontoiatria che è stato il primo settore a fare un uso concreto della stampa 3D in ambito medico. Nel 1988, Hull e il sistema 3D dell'azienda hanno sviluppato la prima stampante 3D denominata appunto "apparato SLA". I materiali utilizzati in questo sistema devono essere in qualche modo fragili e leggeri, per questo motivo sono comunemente usati acrilici e resine epossidiche⁵. Purtroppo, la stereolitografia è più costosa di altre tecniche a causa dei materiali utilizzati, della stampante e della manutenzione dei dispositivi. Il suo fondamento risiede nella polimerizzazione di un monomero liquido sottoposto a una radiazione luminosa. Il processo è suddiviso in tre fasi principali, a partire dal file STL del modello CAD tridimensionale:

- **preparazione del file:** esecuzione dello slicing e generazione dei supporti;
- **fotopolimerizzazione:** il fascio di una sorgente laser a gas o allo stato solido (potenze: qualche centinaio di mW) viene focalizzato, mediante un sistema di ottiche sulla superficie della vasca che contiene il monomero allo stato liquido. Questo si reticola e solidifica. Il movimento del fascio nel piano X-Y consente la realizzazione della prima

Tabella 1 - Distribuzione degli interventi per tipologia e per sesso

	Pazienti maschi	Pazienti femmine	Totale pazienti
Cisti follicolare	3	4	7
Cisti radicolare	2	0	2
Cheratocisti	0	1	1
Cisti residua	1	0	1
Grande rialzo seno mascellare	1	0	1
Deficit osseo orizzontale	1	1	2
Chirurgia ortodontica	4	2	6
Traumi	1	1	2
Diagnostica pre-implantare	4	2	6
Totali	17	11	28



sezione del pezzo su una piastra di acciaio forata (elevatore). A questo punto l'elevatore trasla verso il basso, per consentire che un film di monomero liquido ricopra la sezione appena realizzata. Ottenuto il corretto livellamento, il processo si ripete, in modo da ottenere un nuovo strato aderente a quello sottostante. Per ragioni di tempo, il laser non solidifica integralmente le sezioni, ma solo i loro perimetri interni e esterni, nonché alcune linee che li congiungono. Perciò, al termine di questa fase, la parte prodotta (*green part*) contiene ancora liquido intrappolato: per tal motivo, la sua consistenza meccanica viene migliorata con un post-trattamento ultravioletto;

- **post-trattamento:** rimozione dei supporti, passaggio in alcol e post-curing, ovvero il completamento della reazione di fotopolimerizzazione delle parti già solidificate dal laser e reticola il monomero liquido rimasto intrappolato all'interno. Il post curing consiste nell'esposizione alla luce ultravioletta per un tempo dipendente dalla complessità della parte e dal tipo di resina. Al termine si ottiene la cosiddetta red part.
- Il futuro di tale tecnologia sarà il **Bioprinting**: non

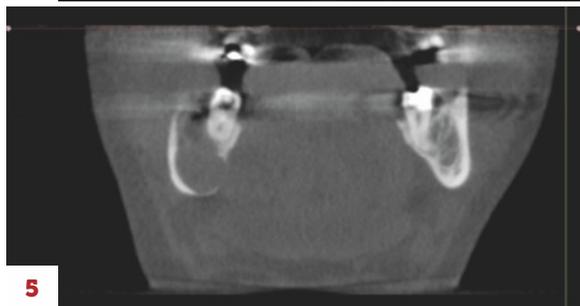
- 3. Ortopantomografia
- 4. Cone Beam
- 5. Cone Beam: cross sections



3



4



5

più repliche anatomiche in resina ma tessuti o organi creati “ad personam”, partendo dalle stesse cellule dell’individuo ricevente.

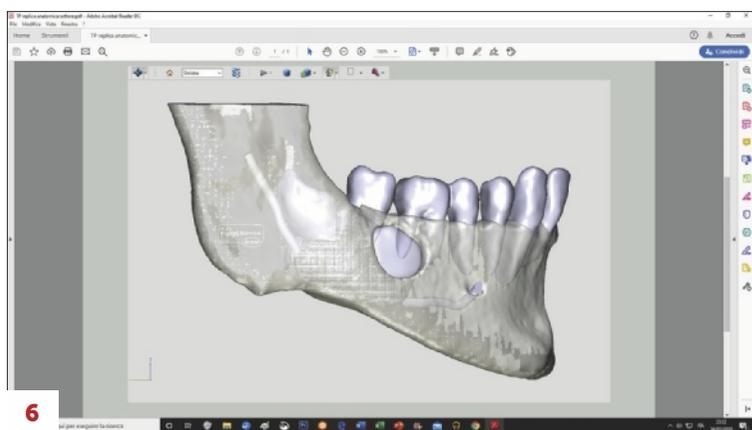
SCOPO DEL LAVORO

La Stampa 3D è una tecnologia di fabbricazione additiva che consente di ricostruire fisicamente le strutture anatomiche visibili nelle immagini radiologiche. L’obiettivo del nostro studio è di evidenziare l’importanza di questa tecnologia nella fase di planning preoperatorio dei casi chirurgici complessi.

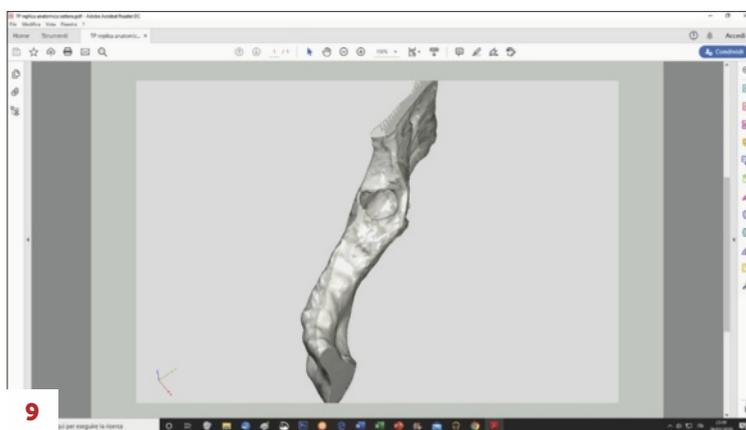
MATERIALI E METODI

Nel nostro studio abbiamo selezionato un gruppo di 28 pazienti in cui il piano di trattamento chirurgico è stato programmato con l’ausilio della Stampa 3D. Sono stati eseguiti interventi di cistectomia, apicectomia, estrazione chirurgica di ottavi in inclusione ossea totale e di chirurgia ortodontica e implantare (Tabella 1). Per tutti gli interventi è stata eseguita una simulazione chirurgica preoperatoria su

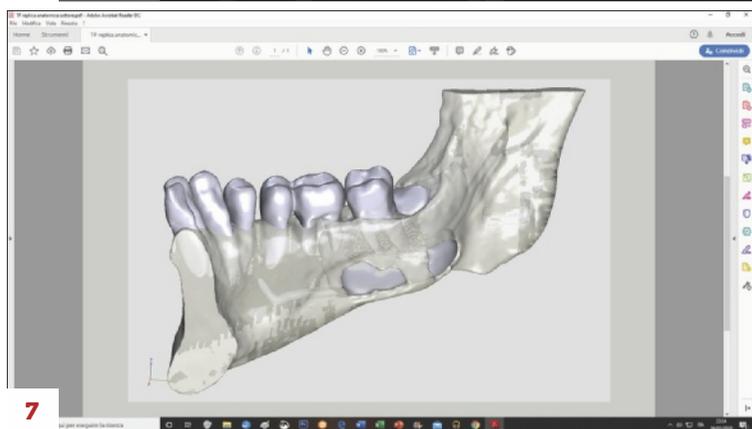
modelli in resina bicolore in rapporto 1:1 all’anatomia del paziente con evidenziazione delle strutture utili alla diagnosi: nervi, seni, denti inclusi, cisti. Presentiamo un caso clinico esemplificativo gestito con questa metodica. Si presenta alla nostra osservazione un paziente di anni 55, in buone condizioni di salute. In corso di esame obiettivo si evidenzia una modica tumefazione dolorabile alla palpazione in zona 47-46. Si richiedono ortopantomografia e Cone Beam (Figure 3-5) che evidenziano un’ampia area di radiotrasparenza con bordi netti in zona emimandibolare inferiore di destra. Dagli esami eseguiti, sembra che la cisti sia a diretto contatto con il nervo alveolare: il canale mandibolare potrebbe essere schiacciato (come avviene usualmente) o addirittura inglobato nella formazione cistica (evento più raro e meno auspicabile). Considerata l’ampia area di radiotrasparenza, come supporto diagnostico abbiamo richiesto la realizzazione di una replica anatomica dell’emilato mandibolare destro, inviando i file Dicom della Cone Beam del paziente al reparto 3D della Leone Spa, Firenze-Italia. La stampante 3D impiegata per realizzare il modello anatomico è una Connex350 Objet della Stratasys Ltd che sfrutta una tecnologia additiva di tipo polyjet ad altissima risoluzione; stratifica infatti layer con spessori fino a 16µm. Le ricostruzioni tridimensionali virtuali e la replica anatomica (Figure 6-15) evidenziano un diretto contatto della cisti con gli elementi 46, 47, 48 e con il canale mandibolare: il nervo alveolare passa nell’area di radiotrasparenza. La replica anatomica è realizzata infatti in resina bimeriale: osso rappresentato in resina trasparente, elementi dentali e nervo in resina bianca, mentre la cisti in resina digitale ovvero ottenuta miscelando le altre due resine secondo una percentuale stabilita. Il piano di trattamento prevede un intervento di cistectomia e avulsione chirurgica degli elementi sopraindicati. Si tratta di un caso complesso con elevati rischi intraoperatori di frattura mandibolare e danno neurologico. La replica anatomica ci consente di spiegare al paziente la complessità dell’intervento e l’elevata probabilità di danno, di fare un planning preoperatorio con simulazione dell’intervento in modo da poter ridurre al minimo le complicanze intraoperatorie, i tempi dell’intervento e la morbilità postoperatoria. Viene eseguita un’incisione vestibolare intrasulcolare in corrispondenza dell’elemento 4.7 che continua fino a raggiungere l’elemento 4.5 ed è effettuato uno scarico distale di pochi millimetri. L’elevazione di un lembo mucoperiosteo permette un



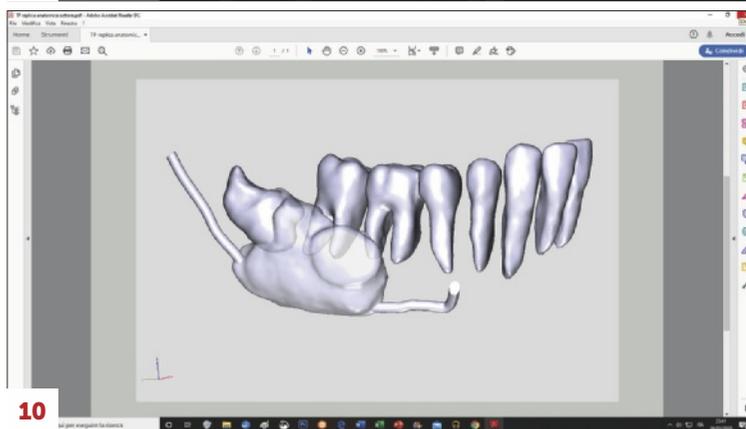
6



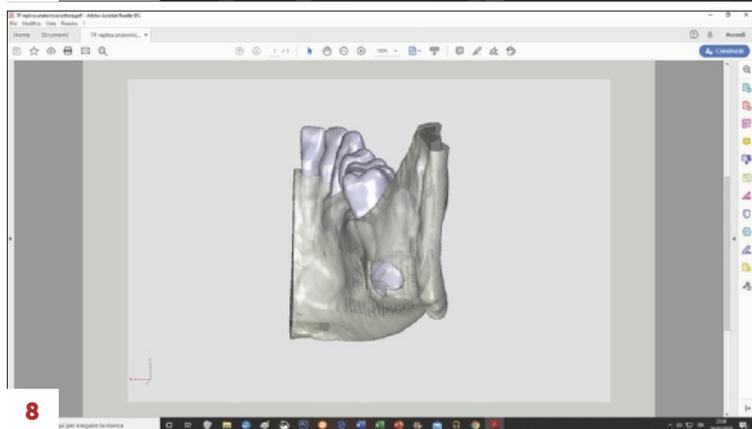
9



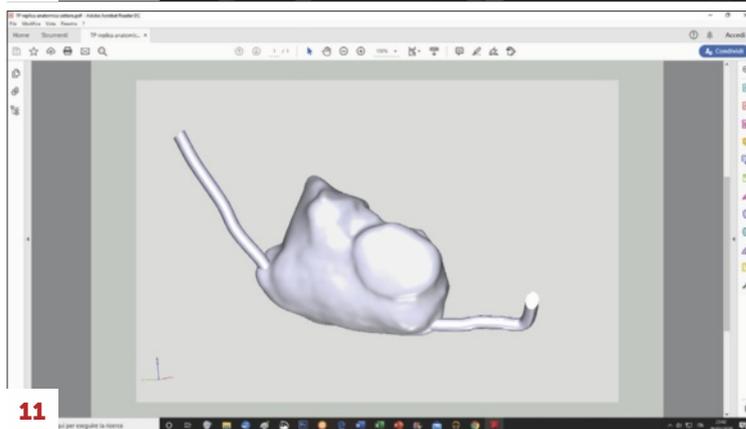
7



10



8



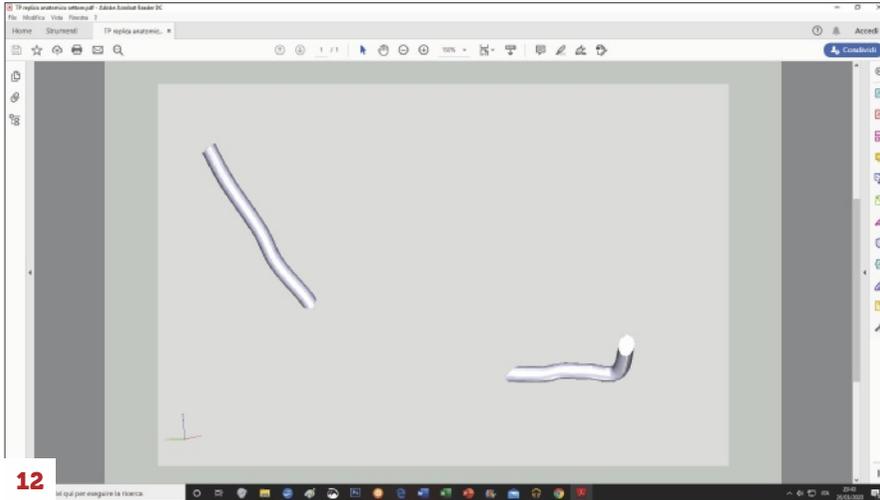
11

facile accesso alla componente ossea, che si presenta fenestrata in zona vestibolare come ben rilevabile sulla replica anatomica.

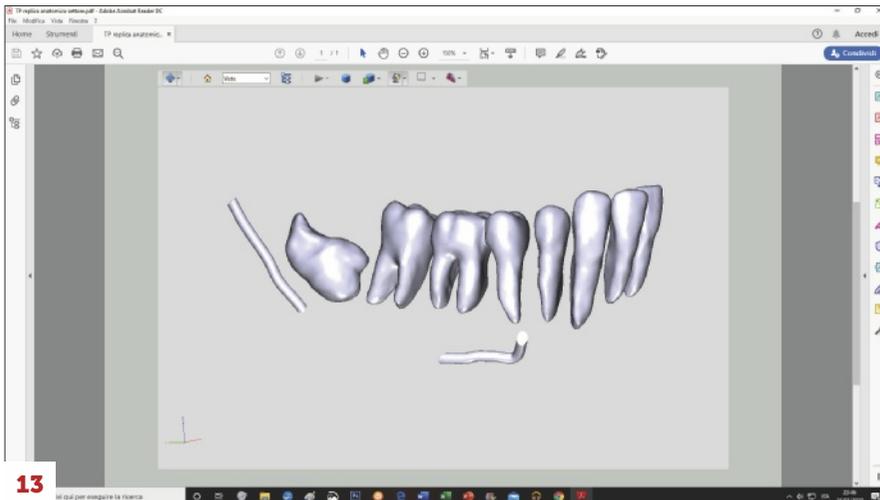
Con una fresa a rosetta di 5 mm di diametro si asporta il tessuto osseo al di sopra della neof ormazione e si espone la parete della cisti. La perforazione della parete cistica porta alla fuoriuscita di materiale giallastro viscoso, si aspira il contenuto e per mezzo di un cucchiaio alveolare di Volkman n si cliva l'intera lesione dai margini ossei. La parete si presenta spessa e ben compatta, ma aderente al nervo alveolare, come da planning prechirurgico sul modello stereolitografico, particolare che complica l'intervento di cistectomia. Le pareti ossee della

cavità residua si presentano pulite e intatte, ma siamo costretti a lasciare qualche residuo di parete cistica (causa spesso di recidiva) sul nervo (Figura 16) per evitare danni permanenti. Il lembo vestibolare è riposizionato in sede con punti di sutura 3/0 in monofilamento riassorbibile. Al paziente è prescritta una terapia antibiotica con 1 g di amoxicillina + acido clavulanico, 2 volte al giorno, per 6 giorni, e una terapia antiflogistica al bisogno, oltre a sciacqui con clorexidina 0,2%. La neof ormazione rimossa è fissata in formalina e inviata al reparto di Istologia e Anatomia patologica dell'Ospedale di Branca (PG) per un'analisi istopatologica, con un'indicazione clinica di cisti odontogena.

- 6. Ricostruzione tridimensionale virtuale: visione vestibolare
- 7. Ricostruzione tridimensionale virtuale: visione linguale
- 8. Ricostruzione tridimensionale virtuale: visione del margine inferiore della mandibola
- 9. Ricostruzione tridimensionale virtuale: visione linguale
- 10. Ricostruzione tridimensionale virtuale senza tessuto osseo
- 11. Ricostruzione tridimensionale virtuale senza tessuto osseo e denti



12



13

- 12. Ricostruzione tridimensionale virtuale senza lesione cistica
- 13. Ricostruzione tridimensionale virtuale: visione della lesione cistica in toto.
- 14. Replica anatomica in resina bicolore: visione vestibolare
- 15. Replica anatomica in resina bicolore: visione linguale
- 16. Fasi dell'intervento di cistectomia e visione del nervo alveolare inferiore
- 17. Follow up rx ad 1 anno dall'intervento di cistectomia



14



15

RISULTATI

La diagnosi fornita dall'anatomopatologo è di cisti odontogena. Nel post-intervento il paziente ha riferito un disturbo della sensibilità del mento e dell'emilabbro inferiore di destra che si è risolto nell'arco di 6 mesi. L'esame radiografico a 12 mesi mostra una fisiologica



16



17

riossificazione (Figura 17). I controlli e il follow-up post-operatori mostrano, quindi, un decorso nella norma, senza particolari complicanze. Tutti gli interventi pianificati con i modelli stereolitografici nel nostro gruppo di pazienti sono stati eseguiti in tempi rapidi e senza danni permanenti.

CONCLUSIONI

La Stampa 3D è un esempio di sistema di prototipazione rapida (RPS) progettata per creare modelli fisici tridimensionali (3D) solidi e dettagliati in grado di replicare accuratamente strutture anatomiche complesse partendo da un'immagine radiografica. La prototipazione rapida (RP) è una tecnologia innovativa che rende possibile la produzione, in poco tempo, di oggetti fisici tridimensionali di geometria comunque complessa, direttamente dal modello matematico dell'oggetto stesso, realizzato con un sistema CAD tridimensionale. La prototipazione rapida consente di ridurre i tempi/costi di fabbricazione dei prototipi, grazie al fatto che ha come punto di partenza il modello matematico dell'oggetto da realizzare. La possibilità di materializzare un prototipo disegnato con la Stampa 3D costituisce un aspetto chiave che permette di ottenere numerosi vantaggi:

- possibilità di ridurre tempi/costi di produzione;
- possibilità di realizzare forme molto complesse;

- possibilità di correggere errori di disegno;
- possibilità di valutare funzionalmente l'oggetto.

Il nostro studio evidenzia come la chirurgia sia una delle branche della medicina meno standardizzabili: ogni situazione clinica è diversa, ogni intervento chirurgico possiede una altissima variabilità intrinseca.

È importante evidenziare come il modello stereolitografico abbia un ruolo importante nella comunicazione medico-paziente finalizzata all'acquisizione del consenso informato. A tal proposito, il paziente che osserva e maneggia il modello può comprendere meglio l'entità della

lesione e i particolari dell'intervento chirurgico: ciò incrementa, altresì, la sua adesione al trattamento, nell'ottica di una auspicabile limitazione del ricorso indiscriminato al contenzioso medico-legale.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Reparto 3D della Leone Spa, Firenze, per le immagini fornite.

Conflitto di interessi

Gli autori dichiarano che non sussistono conflitti di interesse di ordine economico o di altro tipo sull'articolo presentato.

Lo studio è stato realizzato in accordo con gli standard etici stabiliti nella dichiarazione di Helsinki e i pazienti hanno firmato il consenso informato.

ABSTRACT

La Stampa 3D è una tecnologia di fabbricazione additiva che consente di ricostruire fisicamente le strutture anatomiche visibili nelle immagini radiologiche. L'obiettivo del nostro articolo è di evidenziare l'importanza di questa tecnologia nella fase di planning preoperatorio dei casi chirurgici complessi.

Materiali e metodi. Abbiamo selezionato un gruppo di 28 pazienti in cui la pianificazione degli interventi chirurgici è stata eseguita con l'ausilio della Stampa 3D. Sono stati eseguite diverse tipologie d'interventi: cistectomie, apicectomie, estrazione di ottavi in disodontiasi, chirurgia ortodontica e implantare. Trattasi di casi estremi con elevati rischi intraoperatori di frattura dei mascellari e danno neurologico permanente. Presentiamo un caso esemplificativo di enucleazione chirurgica di un'estesa cisti odontogena mandibolare.

Risultati. Tale tecnologia, previa simulazione chirurgica preoperatoria sulla replica anatomica in resina, ci ha consentito di eseguire gli interventi sopraindicati in tempi rapidi, senza danni e con pazienti ben informati sulla procedura chirurgica pianificata.

Conclusioni. Questo studio dimostra come una precisa valutazione pre-chirurgica con la Stampa 3D possa consentire interventi complessi con notevole riduzione dei rischi, dei tempi degli interventi e della morbilità postoperatoria. È importante evidenziare il ruolo della stampa 3D nei rapporti interdisciplinari, nel percorso formativo degli specializzandi e nella comunicazione medico-paziente finalizzata all'acquisizione del consenso informato.

3D Printing is an additive fabrication technology which allows the physical reconstruction of anatomic structures viewed in the radiographic exam. This article's objective is to highlight the importance of such technology in the preoperative planning phase of complex surgical cases.

Materials and methods. A group of 28 patients was selected which were planned using 3D Printing. Several different surgical procedures were executed such as: cystectomy, apicectomies, impacted third molar extractions, orthodontic and implant surgeries. Said cases were all extreme situations with elevated risk of bone fractures of the maxillary or mandibular bone as well as high risk of neurologic damage. An exemplificative case is presented in which an enucleating cystectomy of a mandibular odontogenic lesion was performed.

Results. Such technology, allowing a preoperative surgical simulation directly on the resin anatomical replica, allows the surgeon to execute the mentioned surgeries with reduced surgical times, without damage to sensible structures and with excellent communication between doctor and patient.

Conclusions. The present study demonstrates how the use of 3D Printing in the preoperative evaluation phase ensures the reduction of surgical times as well as decreased risk of damage and postoperative morbidity. It's important to highlight 3D Printing's role and application in interdisciplinary relationships, in the educational route of surgical specialization and in patient-doctor communication finalized to the acquisition of the informed consent.

BIBLIOGRAFIA

1. Christensen A, Rybicki FJ. Maintaining safety and efficacy for 3D printing in medicine. *3D Printing in Medicine* 2017; 3(1), 1.
2. Prince JD. 3D printing: An industrial revolution. *J Electron Resour Med Libr* 2014;11:39-45.
3. McAloon K. Rapid prototyping technology: a unique approach to the diagnosis and planning of medical procedures. Dearborn: The Society of Manufacturing Engineers; 1997.
4. Mitsouras D, Liacouras P, Imanzadeh A, et al. Medical 3D Printing for the Radiologist. *Radiographics* 2015;35(7):1965-88.
5. Chia HN, Wu BM. Recent advances in 3D printing of biomaterials. *Journal of biological engineering*, 2015; 9(1),4.
6. Pagano S, Moretti M, Marsili R, et al. Evaluation of the accuracy of four digital methods by linear and volumetric analysis of dental impressions. *Materials*. 2019 18;12(12).
7. Lancellotta V, Pagano S, Tagliaferri L, et al. Individual 3-dimensional printed mold for treating hard palate carcinoma with brachytherapy: A clinical report. *Journal of Prosthetic Dentistry* 2019 121(4):690-693.
8. Chen C, Cai L, Zhang C, et al. Treatment of die-punch fractures with 3D printing technology. *J Invest Surg* 2018 Oct;31(5):385-392.
9. Merc M, Drstvensek I, Vogrin M, et al. A multi-level rapid prototyping drill guide template reduces the perforation risk of pedicle screw placement in the lumbar and sacral spine. *Arch Orthop Trauma Surg* 2013;133(7), 893-899.
10. Lou Y, et al. Comparison of traditional surgery and surgery assisted by three dimensional printing 2017 Sep;41(9):1875-1880.
11. Eitorai A, Nguyen E, Daniels AH. Three-dimensional printing in orthopedic surgery. *Orthopedics* 2015 38(11), 684-687.
12. Gopakumar S. Rapid prototyping in medicine: a case study in cranial reconstructive surgery. *Rapid Prototyp J* 2004;10:207-11.
13. Kermer C, Rasse M, Lagogiannis G, et al. Colour stereolithography for planning complex maxillofacial tumour surgery. *J Cranio-Maxillofac Surg*. 1998;26(6):360-2.
14. Erickson DM, Chance D, Schmitt S, Mathis J. An opinion survey of reported benefits from the use of stereolithographic models. *J Oral Maxillofac Surg*. 1999;57(9):1040-3.
15. Mardini S, Alsubaie S, Cayci C, et al. Three-dimensional preoperative virtual planning and template use for surgical correction of craniosynostosis. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2014;67(3):336-43.
16. Anwar S, et al. 3D Printing in complex congenital heart disease: across a spectrum of age, pathology, and imaging techniques. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017 Aug;10(8):953-956.
17. Yoo S-J, et al. 3D printing in medicine of congenital heart diseases. *3D Print Med*. 2015;2(1):3.
18. Zhang Y, Ge H, Li N, et al. Evaluation of three-dimensional printing for laparoscopic partial nephrectomy of renal tumors: a preliminary report. *World J Urol* 2016; 34(4), 533-537.
19. Rundstedt FC, Scovell JM, Agrawal SS, et al. Utility of patient-specific silicone renal models for planning and rehearsal of complex tumour resections prior to robot-assisted laparoscopic partial nephrectomy. *Bju international* 2017; 119(4), 598-604.
20. Matsumoto JS, Morris JM, Rose PS. 3-dimensional printed anatomic models as planning aids in complex oncology surgery. *JAMA Oncol*. 2016;2(9):1121.
21. Perez-Arjona E, Dujovny M, Park H, et al. Stereolithography: neurosurgical and medical implications. *Neurol Res*. 2003;25(3):227-36.