JC FEBBRAIO 2026

La rivoluzione della stampa 3D: opportunità per anatomia patologica e medicina legale

Giulia Artemi, Caterina Perfili, Alberto Augello, Elena Benini, Nicolò Mazzotta, Filippo Antonino Marra, Valentina Palmieri, Egidio Stigliano componente della Commissione Scientifica AITIC (in foto)

Facility 3D Bioprinting - Università Cattolica del Sacro Cuore | Sezione di Anatomia Patologica - Centro Donazione Corpo - Fondazione Policlinico A. Gemelli IRCCS | Istituto dei Sistemi Complessi, CNR

Negli ultimi vent'anni, la stampa tridimensionale (3D printing) ha evoluto la propria funzione da curiosità ingegneristica a strumento trasversale con impatto significativo sulla ricerca biomedica e sulle attività di laboratorio. Oggi le applicazioni comprendono la creazione di modelli anatomici per didattica, simulazione chirurgica e pianificazione preoperatoria, così come la riproduzione di reperti autoptici e scenari forensi, aprendo prospettive innovative per anatomia patologica e medicina legale.

La tecnologia offre inoltre opportunità formative: la realizzazione di modelli anatomici personalizzati può supportare i discenti del Master in **Tecniche diagnostiche autoptiche e forensi (Pathology Assistant)** dell'Università Cattolica nella progettazione e nello sviluppo di tesi sperimentali. https://www.unicatt.it/corsi/master-universitari/roma/tecniche-diagnostiche-autoptiche-e-forensi.html

Dall’idea alla materia: breve storia della stampa 3D

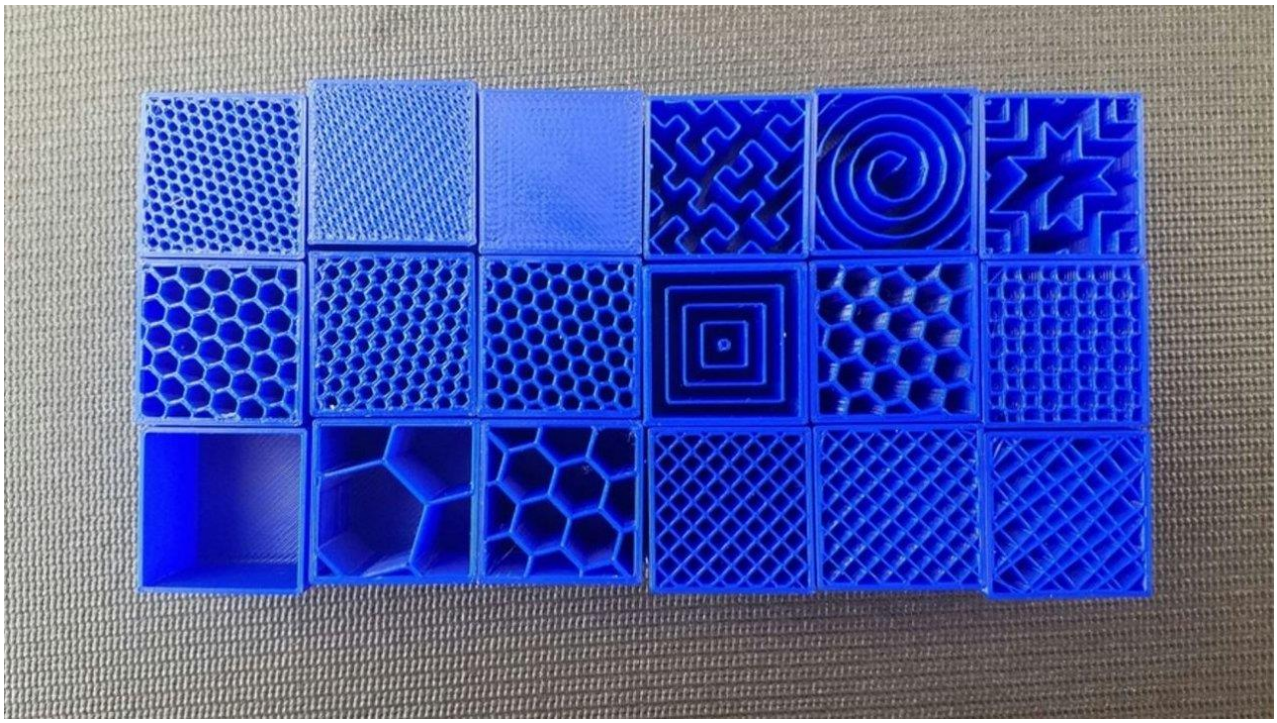
Il principio della stampa 3D è semplice e al contempo rivoluzionario: un modello digitale tridimensionale viene “sliced” in centinaia di sezioni bidimensionali, depositate strato su strato fino a ottenere un oggetto fisico.

Negli anni Ottanta, Chuck Hull brevettò la **stereolitografia (SLA)**, prima tecnologia capace di solidificare resine liquide tramite luce UV. Contemporaneamente, Carl Deckard e Joe Beaman svilupparono la **sinterizzazione laser selettiva (SLS)**, che fonde polveri termoplastiche mediante laser. Negli anni Novanta, la **modellazione a deposizione fusa (FDM)** si affermò come tecnica diffusa per semplicità e accessibilità, consolidandosi ulteriormente con il progetto open-source **RepRap** nei primi anni Duemila.

Negli ultimi anni, la stampa 3D si è evoluta verso **metalli e bioprinting**, permettendo la replicazione di strutture cellulari e tessuti biologici. Questo progresso ha reso possibile la creazione di modelli anatomici realistici a partire da dati clinici e radiologici (TC, RM), con applicazioni cliniche e didattiche che spaziano dalla simulazione chirurgica alla pianificazione preoperatoria, fino allo sviluppo di strumenti per cardiochirurgia, neurochirurgia e medicina legale.

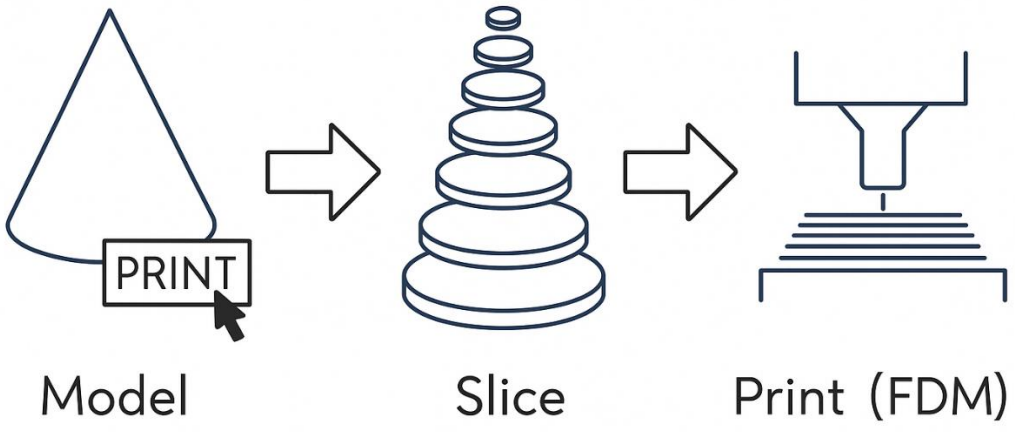
Dal file al modello: progettazione e slicing

La realizzazione di un oggetto 3D in ambito medico parte quasi sempre da dati di imaging — TAC, risonanza magnetica o scansioni 3D — che vengono segmentati per isolare le strutture di interesse (ossa, organi, lesioni). Attraverso software di modellazione, il tecnico può “pulire” e adattare i volumi, definendo il grado di riempimento (infill) e il materiale più adatto.



L’infill, ovvero il riempimento dei pezzi stampati in 3D

La fase di *slicing* traduce il modello in istruzioni per la stampante, determinando la risoluzione e la solidità del risultato finale. È un processo che richiede sensibilità tecnica e conoscenza del contesto clinico o autoptico, poiché da questi parametri dipendono precisione e leggibilità del reperto.



Dal modello 3D alla stampa

Le principali tecnologie di stampa e i materiali

Le stampanti 3D oggi si suddividono in sette grandi famiglie tecnologiche: **fotopolimerizzazione a vasca (SLA, DLP)**, **estrusione di materiale (FDM)**, **jetting di materiale**, **binder jetting**, **fusione a letto di polvere**, **laminazione di fogli** e **deposizione diretta di energia**

Nel contesto biomedico, le più usate sono la **FDM**, per modelli didattici e anatomici a basso costo, e la **SLA**, per la riproduzione di dettagli fini in resina fotopolimerica. Materiali tipici includono PLA, ABS, nylon, resine e polimeri biocompatibili; nei progetti di bioprinting si impiegano **bioink** a base di collagene, alginato, fibrina e acido ialuronico arricchiti con cellule eucariotiche in grado di crescere in strutture tridimensionali.

Il controllo della densità e del pattern di riempimento consente di modulare rigidità e peso del modello, simulando in modo realistico la consistenza dei tessuti o la resistenza delle strutture ossee.

3D printing e bioprinting: dal modello al tessuto vivente

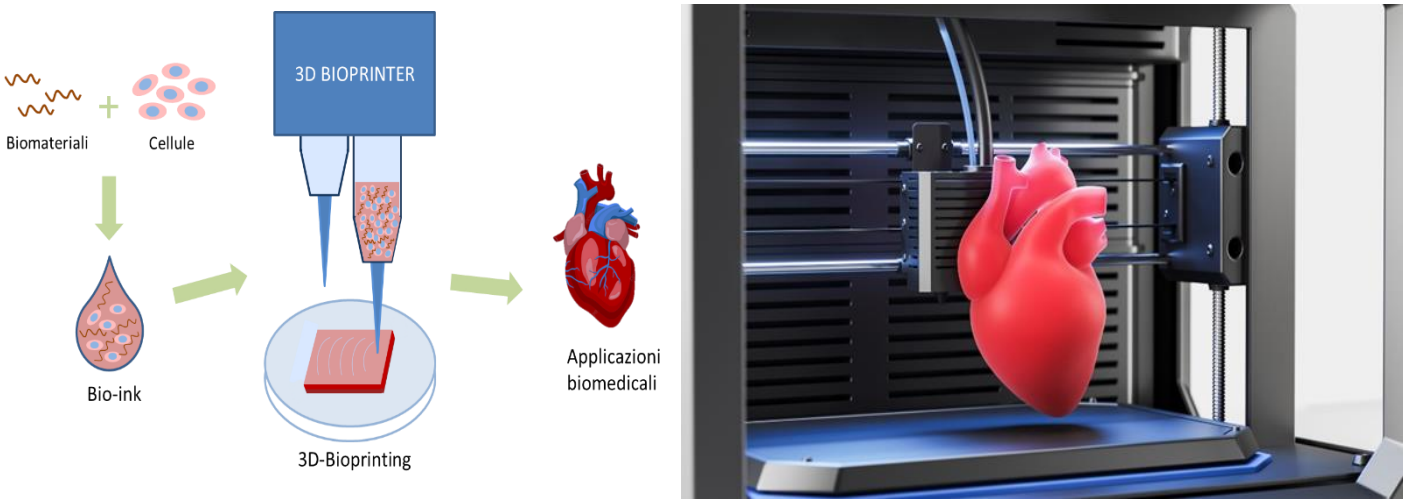
Sebbene ancora lontano dalla produzione di organi funzionali, il bioprinting è già impiegato in laboratorio per test farmacologici, colture cellulari tridimensionali e studi di rigenerazione tissutale.

Nel contesto del bioprinting, le cellule cadaveriche — in particolare le cellule staminali mesenchimali isolate da tessuti adiposi o muscolari post-mortem — presentano un potenziale interessante in quanto possono essere recuperate anche dopo un certo intervallo dalla morte, mantenendo vitalità e capacità rigenerativa. Ad esempio, uno studio recente ha evidenziato che tali cellule, isolate da tessuti cadaverici, possono mantenere proprietà proliferative e differenziative e potrebbero essere utilizzate per generare costrutti tissutali tramite bioprinting, offrendo così una fonte alternativa a cellule viventi e riducendo alcune limitazioni etiche legate a donatori vivi (Bonelli et al. 2023). Questo approccio permetterebbe di impiegare scaffold bioprintati insieme a queste cellule per ricostruzioni tissutali personalizzate o per modellizzazione in vitro di tessuti biologici funzionali. Inoltre, a partire da cellule tissutali — incluse quelle isolate da donatori cadaverici — è possibile ottenere organoidi, ovvero

aggregati tridimensionali capaci di auto-organizzazione e di ricapitolare alcune caratteristiche strutturali e funzionali degli organi di origine: la tecnica del bioprinting può infatti disporre tali cellule o organoidi come «matrici vive» all'interno di idrogel o bioink, consentendo di combinare la precisione spaziale della deposizione con la capacità autonoma di organizzazione cellulare degli organoidi (Mierke et al. 2024).

I tessuti cadaverici possono essere impiegati anche per ottenere matrici extracellularizzate: attraverso processi di decellularizzazione, infatti, è possibile ricavare un'impalcatura biologica ricca di componenti della matrice extracellulare, successivamente processabile in bioink biocompatibili utilizzabili per la biostampa. Questi bioink derivati da ECM cadaverica offrono un microambiente più fisiologico per cellule e organoidi, migliorando la maturazione e la funzionalità dei tessuti ingegnerizzati, pur richiedendo ulteriori studi per standardizzare qualità, sicurezza e riproducibilità.

Queste applicazioni sono ancora in fase esplorativa: studi approfonditi su parametri quali l'intervallo post-mortem, la qualità cellulare, la compatibilità del bioprinting stesso e la sicurezza clinica sono in corso presso i laboratori di Anatomia Patologica e la Sala Settoria dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma, in collaborazione con la Facility di 3D Bioprinting del Policlinico A. Gemelli.



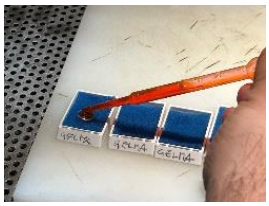
Schema del funzionamento del 3D bioprinting per la produzione di tessuti a partire da biomateriali e cellule coltivate in vitro.

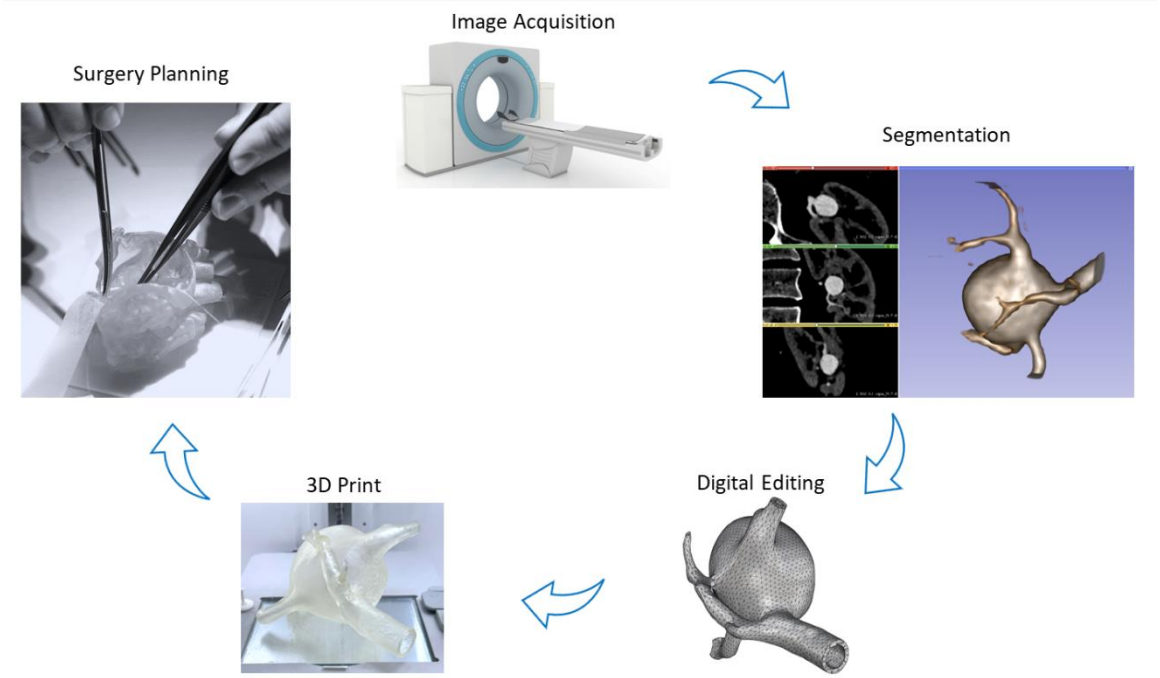
Un ambito particolarmente promettente è la stampa in situ di tessuti per la riparazione di ferite o la ricostruzione muscolare, come dimostrato da recenti studi. Si parla anche di **"4D bioprinting"**, in cui i materiali cambiano forma o proprietà in risposta a stimoli ambientali variando quindi nel tempo le proprietà dello scaffold.

La stampa 3D nella anatomia patologica, nella medicina legale e nella sala settoria

In anatomia patologica la stampa 3D sta emergendo come strumento di supporto alla diagnostica e alla formazione. I modelli derivati da scansioni autoptiche o da immagini istopatologiche 3D permettono di visualizzare con chiarezza masse tumorali, vie di infiltrazione e rapporti anatomici complessi.

Un laboratorio di patologia può, ad esempio, stampare un modello tridimensionale di un tumore epatico con il relativo sistema vascolare per pianificare il taglio sezionale e orientare meglio il campionamento istologico. Analogamente, nel caso di malformazioni congenite o resezioni chirurgiche, la replica 3D dell'organo consente di correlare la macrostruttura con la diagnosi microscopica, arricchendo la didattica dei tecnici e dei medici specializzandi.





Un modello anatomo-chirurgico ricostruito in 3D presso la Facility di 3D Bioprinting Fondaizone Policlinico A. Gemelli

Inoltre, la riproduzione fedele di strutture autoptiche consente anche la **ricostruzione volumetrica di reperti danneggiati**, l'archiviazione digitale e la condivisione di modelli tra istituti, favorendo la standardizzazione e la tracciabilità delle procedure.

Nel campo medico-legale, la stampa 3D si è affermata come alleato prezioso per la **ricostruzione di scenari forensi**. Dalle lesioni da arma da fuoco ai traumi cranici, i modelli tridimensionali aiutano a visualizzare le dinamiche e a presentarle con chiarezza in sede giudiziaria.

Un esempio emblematico è la **ricomposizione di frammenti cranici** in casi di omicidio, dove la stampa consente di verificare compatibilità e traiettorie senza alterare i reperti originali. Inoltre, la possibilità di riprodurre repliche accurate permette di conservare l'evidenza digitale e fisica anche dopo la restituzione del corpo, preservando il valore probatorio nel tempo.

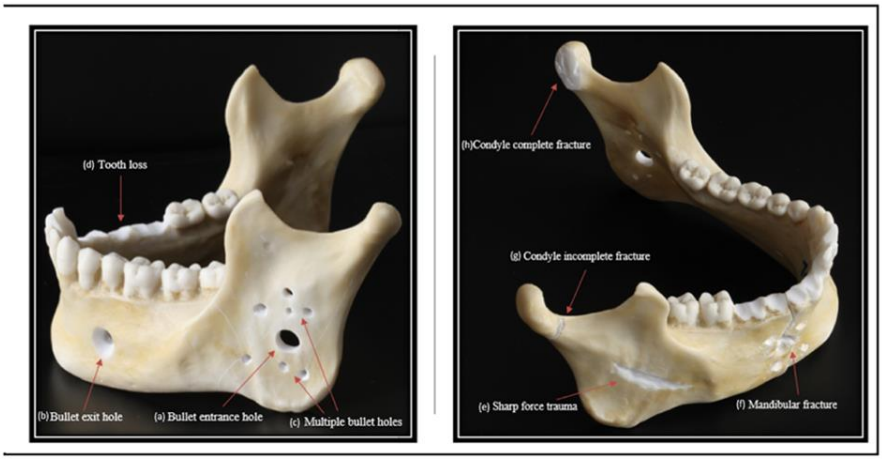


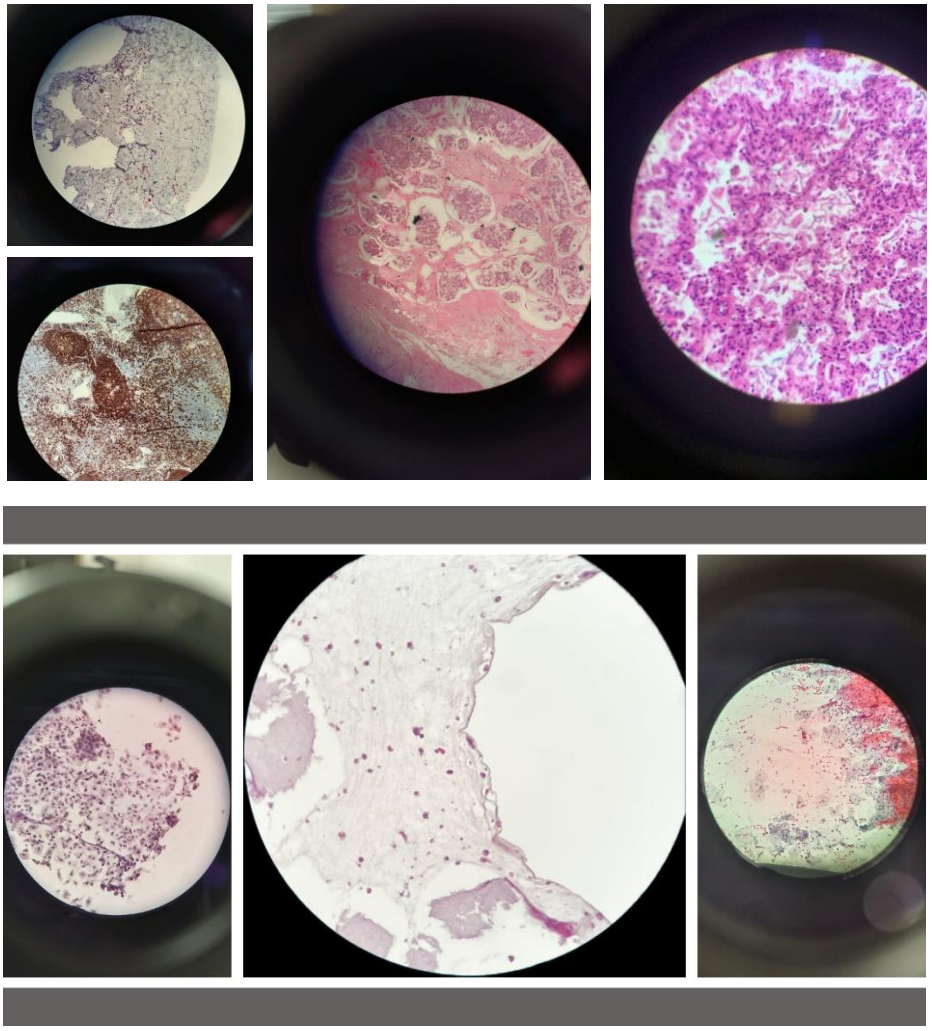
Fig. 1. (a) Bullet entrance hole; (b) Bullet exit hole; (c)Multiple bullet holes; (d) Tooth loss; (e) Sharp force trauma; (f) Mandibular fracture; (g) Condyle incomplete fracture; (h) Condyle complete fracture.

Figura da Errickson, David, et al. "A survey of case studies on the use of forensic three-dimensional printing in England and Wales." *International Journal of Legal Medicine* 136.6 (2022): 1605-1619.

In sala settoria, i modelli stampati da immagini TAC *post mortem* possono fungere da guida per tagli mirati o per la localizzazione di corpi estranei. La stessa tecnologia può essere usata per creare **guide chirurgiche autoptiche** o **strumenti personalizzati**, adattati all'anatomia del caso, riducendo il rischio di errore e migliorando l'ergonomia del lavoro del tecnico.

Il 3D printing permette anche di progettare e produrre rapidamente **strumenti di laboratorio non disponibili in commercio** o non compatibili con esigenze specifiche. Grazie alla modellazione digitale, è possibile realizzare dispositivi personalizzati come biocassette con volumi e geometrie differenti da quelli standard, utili per l'inclusione e il taglio di campioni anatomici particolari che richiedono contenitori più profondi, più larghi o con sistemi di supporto interni su misura.

In Figura le Biocassette sviluppate dal team UCSC-Gemelli per il taglio di tessuti dermici stampati in 3D.



Questa flessibilità consente di migliorare la qualità del fissaggio e dell'orientamento del tessuto, riducendo artefatti e aumentando la precisione diagnostica, oltre a favorire l'ottimizzazione dei flussi di lavoro nei laboratori di patologia.

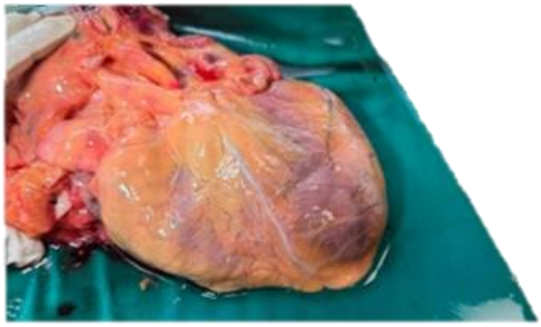
Didattica e comunicazione scientifica

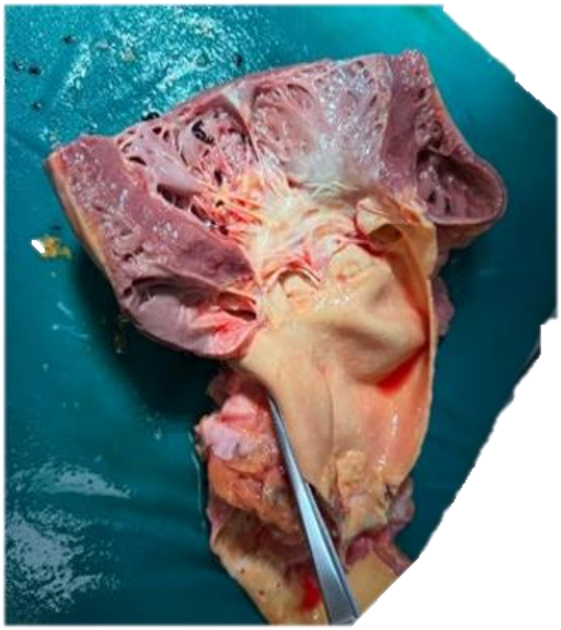
Oltre agli aspetti tecnici, la stampa 3D possiede un grande potenziale didattico. Modelli anatomici stampati consentono agli studenti di medicina, biologia o scienze forensi di toccare con mano strutture altrimenti visibili solo in immagini bidimensionali. L'uso di modelli fisici migliora la comprensione spaziale e la comunicazione tra equipe chirurgiche e pazienti. Nei corsi di anatomia patologica, i tecnici

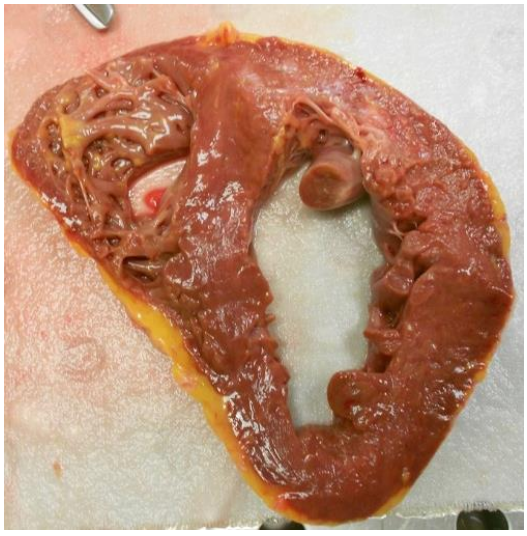
possono utilizzare repliche 3D di organi patologici per spiegare pattern di crescita tumorale o rapporti con i tessuti circostanti, creando vere e proprie "biblioteche tattili" digitalizzate.

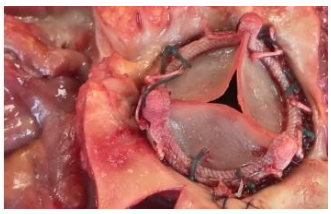
Applicazione della stampa 3D su modelli anatomici derivati da corpi donati per pianificazione personalizzata in chirurgia

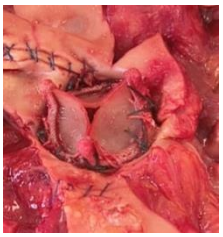
L'integrazione della stampa tridimensionale (3D) con l'impiego di corpi umani donati rappresenta una strategia innovativa per la pianificazione chirurgica, la simulazione clinica e la formazione specialistica. La tecnologia consente la realizzazione rapida di modelli anatomici di alta fedeltà, inclusi strutture valvolari cardiache (Coulter et al., 2019), utilizzando materiali biocompatibili come silicone o bioinchiostri, partendo da immagini radiologiche (TC, RM). L'utilizzo dei corpi donati a fini scientifici e didattici, regolamentato in Italia dalla Legge 10/2020 (Legge Sileri), permette di ottenere repliche accurate della morfologia reale, utili per ricerca, insegnamento e simulazione di procedure complesse. In cardiochirurgia, questi modelli facilitano l'analisi dell'anatomia valvolare e vascolare, la pianificazione preoperatoria e la simulazione pratica di interventi complessi, migliorando precisione e sicurezza. In neurochirurgia, la combinazione con sistemi di neuronavigazione consente di simulare interventi intracranici complessi, ottimizzando l'orientamento spaziale e la strategia chirurgica, con ricadute positive sulla formazione dei discenti. L'uso congiunto di modelli 3D e tessuti cadaverici permette di sviluppare strumenti personalizzati, realistici e funzionali, promuovendo l'innovazione nella pratica chirurgica e nella formazione clinica, nel rispetto dei principi etici e delle normative vigenti sulla donazione del corpo umano.





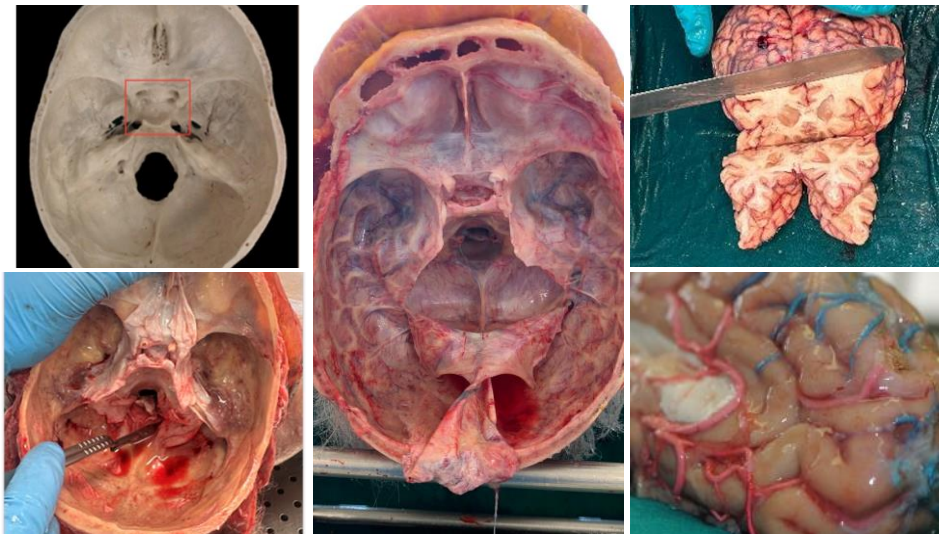


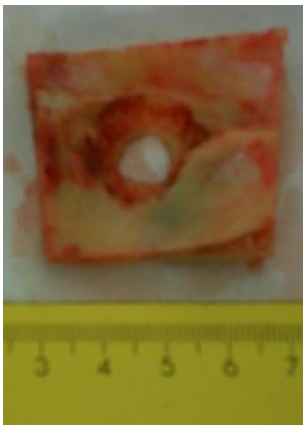


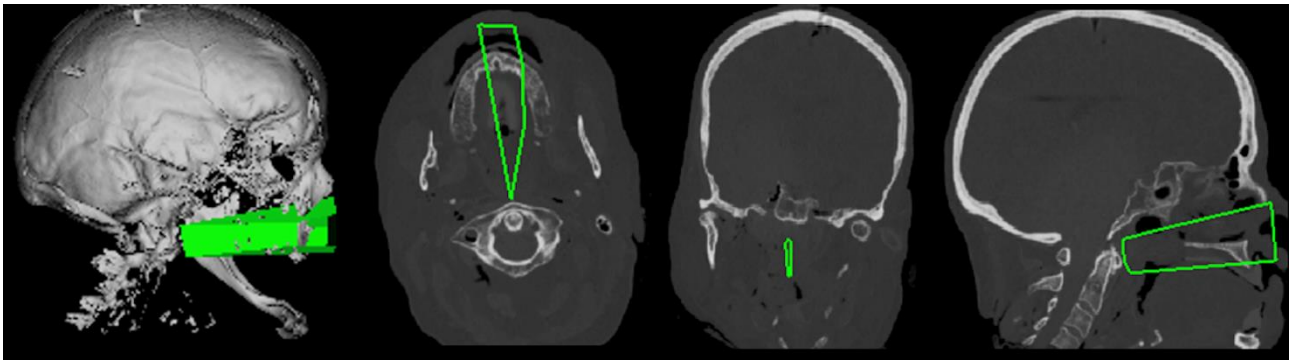


Cardinal Health

Cardinal Health







Stampa 3D in Anatomia Patologica e Medicina Legale: prospettive per il TSLB

La stampa tridimensionale (3D) sta emergendo come tecnologia strategica per anatomia patologica e medicina legale, offrendo la possibilità di creare modelli anatomici, reperti autoptici e scenari clinico-forensi ad alta fedeltà. Integrando dati macroscopici, istologici e radiologici (TC, RM), è possibile ottenere repliche precise utili a formazione, ricerca e pianificazione chirurgica avanzata, inclusa cardiochirurgia e neurochirurgia.

In anatomia patologica, il TSLB può gestire dati digitali, selezionare materiali di stampa (polimeri, siliconi, bioinchiostri) e controllare la qualità dei modelli tridimensionali. Questi strumenti supportano didattica avanzata, simulazioni e ricerca traslazionale, valorizzando il contributo tecnico-scientifico del TSLB all'interno di team multidisciplinari.

In ambito autoptico e forense, la stampa 3D consente di riprodurre reperti unici, garantendo tracciabilità e riducendo la manipolazione degli originali. Le applicazioni includono documentazione permanente, supporto per attività peritali, antropologia forense, zoologia e replica di reperti storici o museali.

L'utilizzo di corpi donati a fini didattici e di ricerca, regolamentato dalla Legge 10/2020 (Legge Sileri), permette di sviluppare modelli anatomici realistici, validi per simulazioni chirurgiche e formazione specialistica. Il TSLB, oltre alle competenze tradizionali di laboratorio, assume un ruolo centrale nella gestione tecnica dei processi di stampa 3D, consolidando la propria professionalità in contesti clinici, scientifici e forensi.

Dal 2024/2025, la stampa 3D è stata inserita nei contenuti del Master in Tecniche diagnostiche autoptiche e forensi (Pathology Assistant), con progetti applicativi e tesi sperimentali, evidenziando la rilevanza di questa tecnologia nella formazione avanzata.

In sintesi, la stampa tridimensionale offre al TSLB nuove competenze e opportunità professionali, rafforzandone il ruolo nella diagnostica, nella medicina legale, nella ricerca e nella formazione sanitaria specialistica.

Referenze e approfondimenti

- Bonelli, Martina, et al. "Use of cadaveric stem cells: analysis of literature." Italian Journal of Anatomy and Embryology 127.2 (2023): 121-124.
- Errickson, David, et al. "A survey of case studies on the use of forensic three-dimensional printing in England and Wales." *International Journal of Legal Medicine* 136.6 (2022): 1605-1619.
- Jakobsen, Søren Reinhold, et al. "3D-print as a template for reassembly of skull fragments in a homicide case." Annals of 3D Printed Medicine 12 (2023): 100137.
- Levin, Aleksandr A., et al. "Commercial articulated collaborative in situ 3D bioprinter for skin wound healing." *International Journal of Bioprinting* 9.2 (2023): 675.
- Mierke, Claudia Tanja. "Bioprinting of cells, organoids and organs-on-a-chip together with hydrogels improves structural and mechanical cues." *Cells* 13.19 (2024): 1638.
- Mota, Carlos, et al. "Bioprinting: from tissue and organ development to in vitro models." *Chemical reviews* 120.19 (2020): 10547-10607.

- Palmieri, Valentina, et al. "3D-printed graphene for bone reconstruction." *2D Materials* 7.2 (2020): 022004.
- Queiroz-Fontes, Rebeca, et al. "3D printing and CBCT anatomical reproducibility assessment in forensic scenarios." Journal of Forensic and Legal Medicine 106 (2024): 102719.
- Suss, Paula Hansen, et al. "Comparative study of decellularization techniques to obtain natural extracellular matrix scaffolds of human peripheral-nerve allografts." Cell and Tissue Banking 23.3 (2022): 511-520.
- Zarek, Matt, et al. "4D printing of shape memory-based personalized endoluminal medical devices." *Macromolecular rapid communications* 38.2 (2017): 1600628.
- Artemi G., Perfili C., Ferrara V., Perini G., Augello A., Stigliano E., Benini E., Arena V., Sciandra F., Palmieri V., De Spirito M., Papi M. A Custom 3D Printed Insert Platform for Standardized Skin Culture and Wound Induction – STEMM Global Scientific Society (SNAIA, POEM, HERMES) Conferenza Paris CRISTMAS 2025.