

Progetto di Ricerca e Piano delle Attività - Ricostruzione automatica del cranio e del volto tramite deep learning su dati tridimensionali

Nonostante i numerosi miglioramenti nella pianificazione virtuale tridimensionale di un intervento chirurgico maxillo-facciale, l'armonia complessiva del volto risultante è ancora difficile da prevedere e dipende fortemente dall'esperienza del chirurgo. Tale armonia riveste un ruolo fondamentale per il paziente che si sottopone ad un intervento chirurgico per la correzione di un difetto primario o acquisito. L'integrità e la configurazione tridimensionale del volto hanno un'importanza fondamentale in tutte le aree principali della chirurgia maxillo-facciale, ovvero:

- Pazienti oncologici
- Malformazioni
- Traumatologici

Il progetto di ricerca interdisciplinare qui presentato è finalizzato allo studio e allo sviluppo di algoritmi basati su proposte recenti nell'intelligenza artificiale, capaci di operare su dati tridimensionali quali point cloud e mesh, per la generazione automatica e paziente-specifica di parti normoconformate della struttura scheletrica del volto a partire da una Tomografia Computerizzata (TC) del paziente che si sottopone all'intervento, nonché ad effettuare un preliminare studio di fattibilità sulla possibilità di prevedere la risultante variazione dei tessuti molli esterni.

Lo scopo della generazione automatica della struttura scheletrica e della previsione di effetto sui tessuti molli da parte degli algoritmi sviluppati nel presente progetto è fornire un supporto durante la pianificazione pre-operatoria capace di aiutare il chirurgo nell'identificare i cambiamenti più adatti da apportare alla struttura ossea e nel valutare gli effetti sui tessuti molli di tali cambiamenti. In particolare, i modelli addestrati avranno lo scopo di suggerire completamenti dei tessuti ossei, resecati per la rimozione dei difetti, realisticamente ottenibili a partire dallo stato attuale del paziente e tali da risultare coerenti con l'aspetto complessivo del volto. Ad oggi tali suggerimenti sono difficili da ottenere e si basano principalmente sull'uso di dati medi ("cranio medio", Figura 2) o librerie anatomiche di parti che devono essere adattati in maniera manuale ad ogni paziente in base all'esperienza del chirurgo.

La possibilità di usare algoritmi di apprendimento automatico va invece nella direzione di offrire servizi di **medicina personalizzata**, consentendo di generare configurazioni ossee realistiche e il più possibile normoconformate a partire dalla particolare configurazione facciale di ogni paziente. La disponibilità di questi suggerimenti consentirà inoltre di ridurre il tempo di pianificazione dell'intervento. La conoscenza della configurazione tridimensionale desiderata per il volto potrà aprire anche nuove possibilità di personalizzazione, per esempio la creazione di protesi personalizzate in materiale bio-compatibile attraverso la stampa 3D, che non saranno esplorate all'interno del presente progetto di ricerca, ma potrebbero essere oggetto di future iniziative e partecipazioni a bandi per ricerca competitiva.

Gli obiettivi principali del progetto sono

- creare un dataset di centinaia di TC di pazienti sani o operati con successo, pre-processati in maniera semi-automatica per essere usabili nell'addestramento dei successivi modelli di *machine learning*;

- progettare reti neurali innovative e specifiche per il problema in oggetto, a partire dalle proposte esistenti nella letteratura recente per il problema della 3D *shape completion* e addestrarle sul dataset raccolto;
- effettuare uno studio di fattibilità sulla possibilità di prevedere la nuova configurazione dei tessuti molli a seguito dell'intervento;
- valutare in uno studio retrospettivo sia l'impatto della ricostruzione fornita dal modello sul tempo necessario per la pianificazione dell'intervento sia la qualità della ricostruzione stessa, tramite esperimenti in cieco su un gruppo di chirurghi maxillo-facciali esterni al progetto.

Piano attività

Task 1.1 - Raccolta dataset e creazione benchmark

La prima parte del lavoro, della durata di 4 mesi, sarà volta alla raccolta e al processamento semi-automatico dei dati disponibili al fine di ottenere una banca dati ampia e sufficiente da consentire l'addestramento di algoritmi con buone capacità di generalizzazione. Grazie alla collaborazione con il Prof. Badiali verranno analizzate tomografie provenienti dagli archivi radiologici dell'Azienda Ospedaliero-Universitaria Policlinico S.Orsola-Malpighi e della Clinica Odontoiatrica dell'Università di Bologna, dalla cui segmentazione sarà possibile ottenere una ricostruzione 3D sia dello scheletro sia dei tessuti molli del distretto testa-collo del paziente. Il dataset sarà reso liberamente disponibile per scopi di ricerca. Sarà inoltre creato un benchmark studiando le performance dei modelli allo stato dell'arte per il problema della *shape completion* quando applicate al problema del completamento osseo. Il dataset e il confronto saranno oggetto di pubblicazione.

Task 1.2 – Sviluppo reti neurali per il completamento osseo

Utilizzando la banca dati creata nella prima fase, nei 6 mesi successivi sarà sviluppato un modello di rete neurale per la *shape completion* progettato per tenere in considerazione le difficoltà specifiche del completamento di crani, ovvero la grande dimensione delle point cloud risultanti, dovuta al livello di dettaglio necessario, e la eterogeneità delle parti mancanti, dovuta alla loro generazione come rimozione del difetto e non come occlusione del punto di vista. In particolare, per gestire la scala delle point cloud in oggetto la soluzione proposta si baserà su metodi capaci di processare efficientemente tensori sparsi tramite reti fully convolutional, per esempio tramite Minkowski engine [P1], e/o su tecniche di sampling coadiuvate da operazioni di raggruppamento apprese dai dati per controbilanciarne la perdita di informazione, come esplorato in lavori recenti di semantic segmentation [P2]. Il modello sviluppato e la validazione sperimentale retrospettiva, condotta in T1.3, saranno oggetto di pubblicazione.

Task 1.3 – Validazione sperimentale

In parallelo alla fase finale di sviluppo del modello prodotto in T1.2, avverrà la predisposizione della validazione del modello tramite raccolta delle adesioni di un gruppo di esperti di chirurgia maxillo-facciale. Una volta completato lo sviluppo, verranno svolti due studi retrospettivi di validazione. Nel primo, sarà valutato l'impatto della disponibilità del cranio completato sulla velocità di pianificazione dell'intervento stesso. In particolare, ad ogni chirurgo verrà chiesto di pianificare l'intervento su un cranio tramite l'uso delle tradizionali librerie anatomiche o tramite il completamento fornito dal modello sviluppato. Sarà quindi valutata la differenza nel tempo di pianificazione tra i due casi. Per valutare la qualità della ricostruzione, allo stesso gruppo di chirurghi sarà inoltre richiesto di scegliere tra una coppia di TC quella reale, e la coppia conterrà una TC di un paziente sano e la stessa TC completata dal modello a seguito di una resezione virtuale di una parte del cranio.

Task 1.4 – Studio di fattibilità sulla predizione della configurazione dei tessuti molli

Nella parte finale del progetto, durante la validazione sperimentale retrospettiva del modello progettato in T1.2, l'assegnista svolgerà uno studio preliminare di fattibilità sulla previsione della configurazione che i tessuti molli del volto potranno acquisire a seguito dell'intervento suggerito dal modello generativo del cranio paziente-specifico sviluppato durante i task precedenti. Attualmente i modelli predittivi usati riescono a fornire una buona accuratezza media ma risultano poco accurati in zone piccole ma importanti per il giudizio estetico complessivo finale, quali le labbra o la punta del naso. Un modello predittivo basato sui dati ha invece le potenzialità per apprendere la relazione esistente tra la conformazione del volto e i cambiamenti dello scheletro al livello di dettaglio fornito dai dati usati. In particolare, si intende esplorare l'uso di reti neurali capaci di predire un flow 3D tra point clouds condizionato dalla TC pre-operatoria del paziente e dalla predizione di intervento effettuata dal modello sviluppato in T1.2. L'esito dello studio di fattibilità, se positivo, sarà usato per porre le basi di future partecipazioni a valutazioni competitive per progetti di ricerca, al fine di proseguire lo sviluppo del modello capace di predire le deformazioni dei tessuti molli.

[P1] Q. Hu et al. RandLa-net: Efficient semantic segmentation of large-scale point clouds. In CVPR 2020.

[P2] C. Choy et al. 4D spatio-temporal convnets: Minkowski convolutional neural networks. In CVPR 2019.