

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA

Intelligenza Artificiale per la chirurgia ricostruttiva maxillo-facciale

Proponente: Dr. Achille Tarsitano

Co-proponente: Dr. Giovanni Badiali

Indice

Introduzione	3
Background.....	3
Articolazione del progetto.....	4
Obiettivi.....	5
Metodo.....	6
Organigramma.....	7
Piano di Attività	8
Criteri proposti per la verifica dei risultati raggiunti	9
Bibliografia.....	10

Introduzione

Questo progetto si propone di porre le basi per sviluppare un algoritmo di **Machine Learning** (Artificial Intelligence) in grado di aiutare il chirurgo nella pianificazione di ricostruzioni paziente-specifiche, in quanto in grado di valutare automaticamente la posizione ed anatomia ideale dei mascellari, del corrispondente elemento dentario e dei tessuti molli intra-orali ed extra-orali.

Background

Il **Deep Learning** (DL) è un sottoinsieme del Machine Learning (ML), il quale a sua volta appartiene al gruppo dell'Artificial Intelligence (AI). L'AI ha come scopo la riproduzione del comportamento umano da parte di una macchina; obiettivo che, con le tecniche di Machine Learning, si cerca di raggiungere mediante lo **sviluppo e l'allenamento di algoritmi ispirati al funzionamento del tessuto nervoso (Neural Networks) allo svolgimento di un particolare compito** utilizzando un dataset specifico. Questo progetto in particolare vorrebbe rivolgersi alla tecnica denominata 'Generative Adversarial Networks' (GAN), un'architettura "generativa" in grado di sintetizzare immagini e modelli tridimensionali a partire da un dataset di training: sono infatti stati recentemente prodotti modelli in grado di riempire regioni mancanti in immagini sia bidimensionali sia tridimensionali ^{1, 2}, oltre che in grado di ottenere immagini completamente sintetiche ma difficilmente distinguibili da quelle reali all'occhio umano ^{3, 4}. L'utilizzo di questi algoritmi ha trovato ampio spazio nell'avanzamento tecnico della moderna medicina, trovando applicazione in diversi campi quali la radiologia e la cardiologia, soprattutto grazie all'utilizzo delle vaste banche dati fornite dalle strutture sanitarie ⁵.

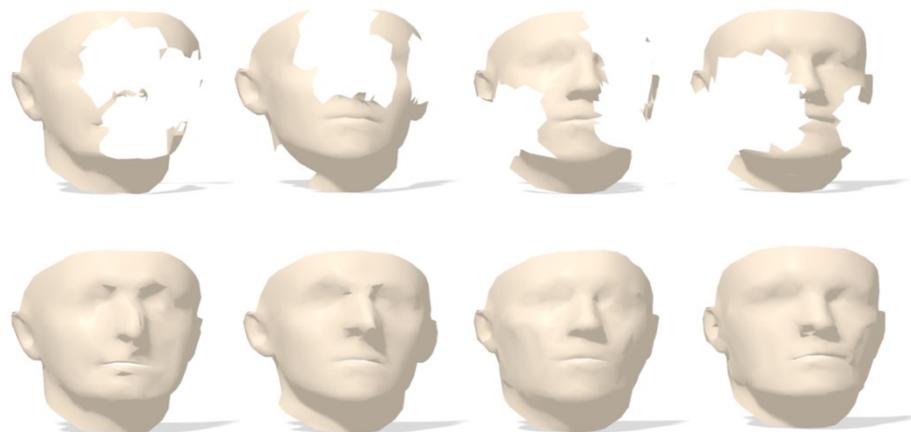


Fig 1. Esempio di applicazione di modello generativo per la ricostruzione del volto.

Allo stato attuale in ricerca applicata, nell'ambito chirurgico si sono trovate ad ora solo applicazioni che permettano di **implementare la precisione nel posizionamento delle basi ossee** ⁶, che valutino principalmente la predicibilità del risultato estetico in interventi ricostruttivi o applicazioni che analizzino automaticamente **l'analisi cefalometrica del paziente in 2D**⁷, che per quanto

significativi⁸, non sono ancora in grado di fornire al chirurgo un modello tridimensionale di cranio e dentatura eumorfici da utilizzare come riferimento preoperatorio.

Ad oggi inoltre, il clinico non ha a disposizione un software che permetta di ottenere una simulazione dell'intero massiccio cranio-facciale che consideri nelle tre dimensioni dello spazio non solo l'architettura ossea, ma anche alveolo-dentale e dei tessuti molli⁹ e **il risultato estetico è ancora molto dipendente dall'esperienza e giudizio estetico del chirurgo**: un algoritmo di tale natura deve essere implementato a partire da una solida capacità del Deep Learning di riprodurre in maniera dettagliata l'anatomia del singolo soggetto, in quanto l'obiettivo del futuro sarà la capacità di realizzare interventi paziente-specifici.

Pertanto, un algoritmo di questa natura potrebbe essere determinante nel trattamento multidisciplinare di casi complessi con necessità ricostruttive (chirurgia malformativa, oncologia, traumatologia), applicando un vero e proprio trattamento paziente-specifico "ri-generando" la regione mancante o malformata.

Articolazione del progetto

L'algoritmo di **Deep Learning** per il riconoscimento del paziente eumorfico è la base da cui parte il progetto. Si tratta di una rete generativa neurale (GAN) che imita il cervello umano imparando a riconoscere quello che gli viene indicato come normalità.

Perché quest'azione complessa gli sia possibile sono necessari due passaggi:

1. Avere un ampio insieme di soggetti eumorfici;
2. Scomporre i soggetti in sottoinsiemi differenti.

Il primo passaggio prevede la creazione di un database (Digital Data Set) di soggetti riconosciuti come eumorfici dall'operatore: vengono raccolti un importante numero di rilevazioni diagnostiche (CT) in soggetti senza dismorfismi e con dentatura completa; l'operatore provvede a segmentare il cranio nelle CT eliminando tutte le strutture non di interesse per l'algoritmo.

Nel secondo passaggio l'operatore provvede ad eliminare porzioni casuali del cranio con l'ausilio di appositi software. Si producono in tal modo due insiemi di scomposizioni delle basi ossee: il primo gruppo comprende il cranio con la porzione mancante, il secondo gruppo comprende la struttura ossea che lo completa.

L'algoritmo di Deep Learning viene "allenato" a riconoscere quale segmento osseo corrisponda a quale cranio per morfologia e dimensione con un processo che procede per tentativi, inizialmente corretti e controllati dall'operatore.

Si prevede che alla fine del processo di apprendimento il software sarà in grado di **suggerire il segmento osseo adatto per dimensione e morfologia con la precisione assimilabile a quella di un operatore esperto.**

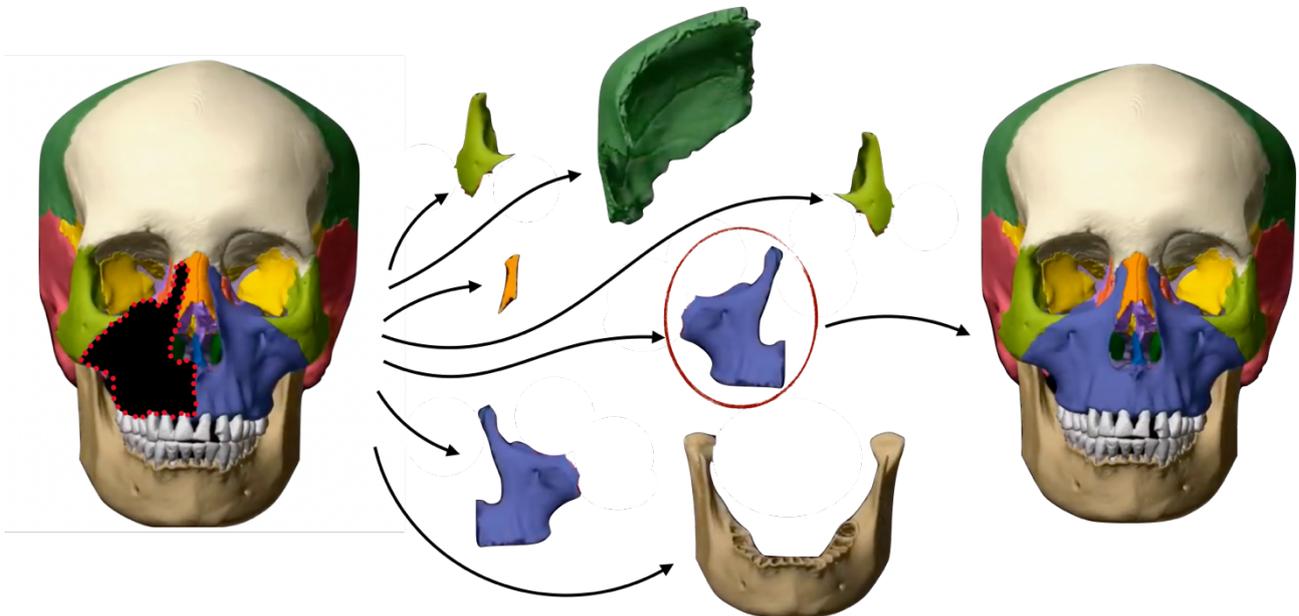


Fig 2 . Esempio di AI impiegata per il riconoscimento della porzione di scheletro mancante.

Obiettivi

Il progetto si propone di:

- a) Produrre una serie di **Digital Dataset** comprensivi di componente mascellare, dentale e dei tessuti molli.
- b) Porre le basi tecniche per lo sviluppo e il training di **algoritmi Deep Learning** che consentano di ottenere un metodo di pianificazione chirurgica omnicomprensiva e rendano possibile la valutazione preoperatoria del risultato.

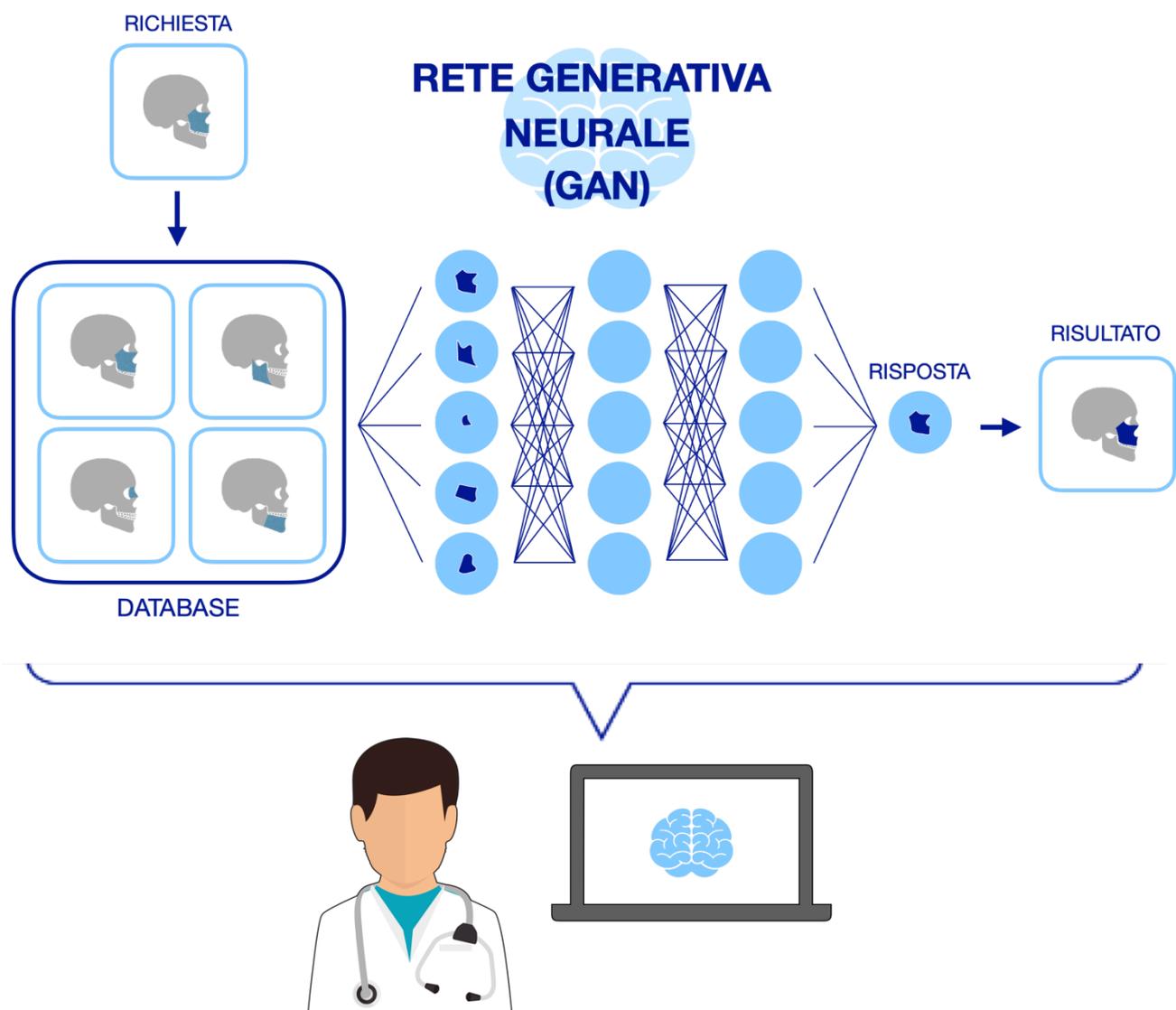


Fig 3. Schematizzazione di esempio di utilizzo di GAN

Metodo

La prima parte del progetto di ricerca può essere distinta in due momenti di lavoro che si alternano: una fase di produzione di Digital Dataset e una fase di sviluppo ed allenamento di algoritmi di Deep Learning.

La fase di produzione di **Digital Dataset** prevede di raccogliere dati per la creazione di una serie di database per allenare gli algoritmi di Deep Learning, in particolare verranno creati:

- un database di dentature eumorfiche a partire da scansioni intra-orali;
- un database di mascellari eumorfici a partire da CT;
- un database di analisi cefalometriche tridimensionali su CT;
- un database di mascellari affetti da dismorfismo dento-scheletrico o esiti di trauma/resezione oncologica.

Gli algoritmi di **Deep Learning GAN (Rete Generativa Neurale)** che saranno allenati sui precedenti database hanno come scopo:

- il riconoscimento dell'anatomia e della posizione dell'elemento dentale;
- il riconoscimento dell'anatomia ideale del mascellare nel paziente dismorfico o traumatizzato o resecato;
- il riconoscimento dei punti per la cefalometria tridimensionale.

Organigramma

Tale progetto si avvarrà delle competenze clinico-chirurgiche del gruppo di Chirurgia Maxillo-facciale del Dipartimento di Scienze Biomediche e Neuromotorie (DIBINEM) – UniBO. A supporto dell'attività clinica, risulteranno proficue sul piano delle competenze bio-ingegneristiche e di Information Technology i rapporti di collaborazione con il Laboratorio di Bioingegneria – Prof.ssa Marcelli (DIMES) e con il Prof. Luigi Di Stefano (DISI).

Piano di Attività

Obiettivo	Trimestre1	Trimestre2	Trimestre3	Trimestre4
DATABASE				
ALGORITMO				
DATABASE 1 - scansioni pazienti eumorfici				
DATABASE 2 - anatomie dentali				
DATABASE 3 - mascellari eumorfici				
DATABASE 4 - riconoscimento punti per la cefalometria 3D				
DATABASE 5 - movimenti dentari				
DATABASE 6 – dismorfismi, tumori, traumi				
DATABASE 7 - interventi correttivi/ricostruttivi				
ALGORITMO 3 - cefalometria 3D				
ALGORITMO 3 - denti				
ALGORITMO 4 – mascellari				

Obiettivi DATABASE:

1. **Database pazienti eumorfici:** creazione di un database di scansioni intra-orali di pazienti eumorfici, con dentatura completa e allineata;
2. **Database anatomie dentali:** estrapolazione dal precedente database di un secondo database, costituito da un insieme di possibili anatomie di singoli elementi dentali;
3. **Database mascellari eumorfici:** creazione di un database a partire da CBCT di mascellari eumorfici con dentatura ideali;
4. **Database riconoscimento punti per la cefalometria 3D:** sviluppo di un database di analisi cefalometriche tridimensionali;
5. **Database dismorfismi, tumori e traumi:** creazione di un database di indagini CBCT di dismorfismi e traumi;
6. **Database interventi correttivi/ricostruttivi:** Creazione di un database di interventi correttivo ricostruttivi a partire da simulazioni tridimensionali su CBCT.

Obiettivi ALGORITMO:

1. **Algoritmo denti:** sviluppo di un algoritmo Deep Learning in grado di riconoscere quali elementi ideale (dal database di anatomie dentali) sia utilizzabile per la riabilitazione del mascellare eumorfico (dal database mascellari eumorfici) con perdita dentale;
2. **Algoritmo per la cefalometria 3D:** sviluppato a partire da un algoritmo Deep Learning in grado di riconoscere i punti per l'analisi cefalometrica su CT;
3. **Algoritmo mascellare:** sviluppo di un algoritmo Deep Learning in grado di riconoscere quali anatomie ideali (dal database mascellari eumorfici) e quali anatomie dentali siano utilizzabile per la riabilitazione del mascellare dismorfico, traumatizzato o resecato.

Criteri proposti per la verifica dei risultati raggiunti

Lo scopo dei rami di ricerca di seguito descritti è l'implementazione dell'efficacia ricostruttiva ed estetica di un percorso di pianificazione 3D integrale per la correzione delle deformità dento-facciali. Non si esclude possano subentrare obiettivi progetti di ricerca ulteriori rispetto a quelli di seguito elencati.

1. Aver creato il database di mascellari ed elementi dentali eumorfici;
2. Avere impostato ed iniziato la creazione di un algoritmo Deep Learning finalizzato all'autonomizzazione della ricostruzione di mascellari
3. Proporre e realizzare preliminari prove di efficacia degli algoritmi ricostruttivi.

Bibliografia

1. Liu Guilin, et al. "Image inpainting for irregular holes using partial convolutions.", *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 2018
2. T. Karras, L. Samuli, and T. Aila. "A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks." *arXiv preprint arXiv:1812.04948* (2018)
3. A. Brock, J. Donahue, and K. Simonyan, "Large scale gan training for high fidelity natural image synthesis". *International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 2019
4. O. Litany, A. Bronstein, M. Bronstein, M. Ameesh. "Deformable Shape Completion With Graph Convolutional Autoencoders". In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp. 1886-1895, 2018.
5. Jiang F, Jiang Y, Zhi H, et al Artificial intelligence in healthcare: past, present and future *Stroke and Vascular Neurology* 2017;2:doi: 10.1136/svn-2017-000101
6. Mazzoni, S., Bianchi, A., Schiariti, G., Badiali, G., & Marchetti, C. (2015). Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing Cutting Guides and Customized Titanium Plates Are Useful in Upper Maxilla Waferless Repositioning. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 73(4), 701–707. doi:10.1016/j.joms.2014.10.028 (<https://doi.org/10.1016/j.joms.2014.10.028>)
7. Kunz, F., Stellzig-Eisenhauer, A., Zeman, F. et al. Artificial intelligence in orthodontics. *J Orofac Orthop* 81, 52–68 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00056-019-00203-8>
8. Hwang, H.-W., Park, J.-H., Moon, J.-H., Yu, Y., Kim, H., Her, S.-B., ... Lee, S.-J. (2019). Automated identification of cephalometric landmarks: Part 2-Might it be better than human? *The Angle Orthodontist*. doi:10.2319/022019-129.1 (<https://doi.org/10.2319/022019-129.1>)
9. Faure, J., Oueiss, A., Treil, J., Chen, S., Wong, V., & Inglese, J.-M. (2016). 3D cephalometry and artificial intelligence. *Journal of Dentofacial Anomalies and Orthodontics*, 19(4), 409. doi:10.1051/odfen/201811