

*Ergonomia Medica: Intelligenza Artificiale e Gemelli Digitali in Medicina**

FRANCO C. GROSSI**

Universidad Nacional del Nordeste
Corrientes (República Argentina)
grossi@med.unne.edu.ar

ABSTRACT

The doctor listens to signals coming from different parts of the patient's body and identifies signs, symptoms and other connotative clinical-anamnestic elements, necessary for a personalized diagnosis. Today his senses are extended through ICT allowing diagnoses, prognoses, and therapies to be aided by the use of artificial intelligence. For instance, through imaging diagnostic, he is able to visualize all the organs of the human body. The interpretation of data from these highly complex devices can be supported by generative artificial intelligence, which compares the gathered data with that from millions of medical records, even predicting the evolution or onset of pathologies. Using digital twins, surgeon can simulate three-dimensional scenarios with augmented reality before commencing surgical procedures, thereby increasing the likelihood of success. The contribution of Ergonomics is fundamental in all of this, as it studies the interactions between healthcare workers, patients, medical equipment and the hospital environment, proposing adequate anthropocentric interfaces.

PAROLE CHIAVE

ERGONOMIA MEDICA / MEDICAL ERGONOMICS / ERGONOMÍA MÉDICA; INTELLIGENZA ARTIFICIALE IN MEDICINA / ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE / INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN MEDICINA; REFERTAZIONE MEDICA CON L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE GENERATIVA / MEDICAL REPORTING WITH GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE / INFORME MÉDICO CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA; GEMELLI DIGITALI IN CHIRURGIA / DIGITAL TWINS IN SURGERY / GEMELOS DIGITALES EN CIRUGÍA.

1. PRAFAZIONE

Le Tecnologie per l'Informazione e la Comunicazione (Acronimo: ICT - Information and Communication Technologies) sono in grado di estendere i nostri sensi all'infinito, dotandoli

* Title: *Medical Ergonomics: Artificial Intelligence and Digital Twins in Medicine* / Titolo: *Ergonomía Médica: Inteligencia Artificial y Gemelos Digitales en Medicina.*

** Emeritus Professor of Ergonomics and academic delegate of the National University of the Northeast (Argentina) for relations with Italian universities. He taught *Information & Communication Technology* and *Applied Ergonomics* at the University of Trieste, 1997 to 2013.

altresì di un'enorme memoria e di incredibili velocità di elaborazione e trasmissive¹. Ad esempio, in medicina vengono utilizzati gli ultrasuoni sia in *diagnosi*² sia in *terapia*³, i campi elettromagnetici nella *diagnostica per immagini*, le *radiazioni ottiche coerenti* nella chirurgia laser e moltissime altre tecnologie consentono al medico di praticare la sua professione con maggiore precisione e sicurezza.



Figura 1. Realtà Aumentata utilizzata in chirurgia⁴.

Tutte le limitazioni dei suoi organi di senso vengono superate e potenziate e, tramite le applicazioni dell'Ergonomia, si riescono a realizzare adatte interfacce anche mediante l'impiego dell'*Intelligenza Artificiale*, che provvede a identificare tutte le informazioni necessarie per formulare adeguati percorsi terapeutici e di cura. L'utilizzo dell'*Intelligenza Artificiale Generativa*, poi, consente al medico non solo di diagnosticare in maniera efficace determinate patologie, ma anche di prevedere il loro insorgere nel tempo. L'uso dei *Gemelli Digitali* in chirurgia permette, tramite la *Realtà Aumentata* e il *Metaverso*, di

¹ Cfr. GROSSI 1999.

² Ad esempio nell'*ecografia*.

³ Ad esempio nella *litotrissia* extracorporea per il trattamento della calcolosi urinaria.

⁴ Fonte: <<https://www.quinewspisa.it/bologna-chirurgia-operazione-guidata-da-realta-aumentata.htm>>.

sperimentare gli effetti di interventi operatori prima ancora di eseguirli e di sperimentare nuove soluzioni di ricerca addirittura sino a livello cellulare. Dopo una sommaria descrizione delle principali tecnologie avanzate in campo medico, verranno rappresentate alcune applicazioni sul campo.

2. ERGONOMIA E COMUNICAZIONE MEDICA

Come abbiamo visto, la *comunicazione*, intesa nella sua accezione più ampia, quale condivisione di conoscenze in un'interazione simbolica codificata, assume oggi un nuovo valore, grazie ai *new media* e alla realtà virtuale, che consentono l'espansione dei nostri sensi estesi nel *villaggio globale mcluhaniano*⁵.

Quando, nella metà degli anni Novanta, partecipammo alla fondazione del Corso di Laurea in Scienze della Comunicazione, presso l'Università di Trieste⁶, eravamo consapevoli del ruolo fondamentale e determinante che questa disciplina avrebbe avuto negli anni a venire, sia per quanto riguarda le interrelazioni uomo-uomo, sia per quelle uomo-macchina-ambiente. E l'*Ergonomia*, proprio per la sua specificità di approccio multidisciplinare antropocentrico, in questo caso applicata alla Comunicazione, avrebbe dotato gli studiosi di importantissimi strumenti per sviluppare inattese e innovative conoscenze in questo ambito di ricerca.



Figura 2. L'importanza dell'Empatia in Sanità⁷.

⁵ Cfr. MCLUHAN, POWERS 1992.

⁶ È stato il più importante in Italia con più di 7.000 studenti iscritti.

⁷ Fonte: <<https://blog.medicalgps.com/the-importance-of-empathy-in-healthcare/>>.

Ad esempio, in campo medico, lo studio ergonomico dell'*empatia*⁸ tra i pazienti e gli operatori sanitari è diventato essenziale per un proficuo svolgersi delle interazioni verbali e non verbali, così come quello atto a risolvere i problemi di utilizzo e di refertazione dei dati provenienti dalle apparecchiature medicali per la diagnostica, che divengono ogni giorno più performanti e difficili da utilizzare.

Ma vediamo di illustrare i principali modelli che descrivono il processo comunicativo. Uno dei primi modelli venne ideato, nel 1948, da Claude Shannon⁹ e da Warren Weaver¹⁰, i quali indagarono anche sui problemi della comunicazione, che distinsero in *tecnici*¹¹, *semantici*¹² e *di efficacia*. In questo modello il messaggio del *mittente* viene codificato al fine di essere inviato tramite un mezzo trasmissivo e, una volta giunto a destinazione, decodificato per essere compreso dal *ricevente*. Si tratta di un modello che descrive il processo comunicativo in modalità unidirezionale. Un ulteriore passo avanti venne effettuato da Paul Watzlawick¹³, il quale introdusse il concetto di *feedback*¹⁴, fondamentale per conoscere se il ricevente ha compreso, o meno, il messaggio inviatogli dal mittente.

In Ergonomia si studia il feedback in maniera aprioristica, in modo da anticipare il gradimento e l'accondiscendenza da parte dell'interlocutore umano. Ad esempio l'operatore sanitario si avvarrà della propria esperienza per valutare l'interlocutore prima dell'approccio comunicazionale, mediante il possibile utilizzo dei dettami della

⁸ S'intende per *empatia* la capacità di porsi nella situazione di un'altra persona o, più esattamente, di comprendere immediatamente i processi psichici dell'altro.

⁹ Cfr. SHANNON 1948.

¹⁰ Il *modello Shannon-Weaver* suddivide il *processo comunicativo* in cinque parti: la sorgente che invia il messaggio, un trasduttore che lo codifica e lo inserisce, quale segnale, in un mezzo trasmissivo, un decodificatore che provvede a tradurre il segnale in un messaggio comprensibile per il destinatario. Il modello prevede anche la presenza di un eventuale rumore di fondo che permea il canale trasmissivo.

¹¹ La loro attività di ricerca si concentrò soprattutto sul livello tecnico, riguardante il problema di come utilizzare un segnale per riprodurre accuratamente un messaggio da un luogo a un altro. La difficoltà a questo proposito è che il rumore indotto può distorcere il segnale. Proposero una soluzione per superare tale problema, l'utilizzo della *ridondanza*, infatti se il messaggio originale è ridondante allora si possono individuare le distorsioni, il che rende possibile ricostruire il messaggio originario.

¹² La *semantica* è quella sezione della linguistica che studia il significato delle parole, degli insiemi delle singole lettere, delle frasi e dei testi.

¹³ Paul Watzlawick formulò anche i *cinque assiomi della comunicazione*: non si può non comunicare, ogni comunicazione ha un contenuto, la comunicazione dispone di elementi di punteggiatura, la comunicazione implica modalità digitali e analogiche, la comunicazione può essere simmetrica o complementare.

¹⁴ Cfr. WATZLAWICK, BAVELAS, JACKSON 2014.

*cinesica*¹⁵, della *prosemica*¹⁶, della *somatotipia*¹⁷, della *fisiognomica*¹⁸ e della *mimica facciale*¹⁹. In questo modo egli sarà in grado di esprimersi entrando in condizioni di empatia²⁰ con il proprio interlocutore. Questo per quanto riguarda la comunicazione umana²¹.

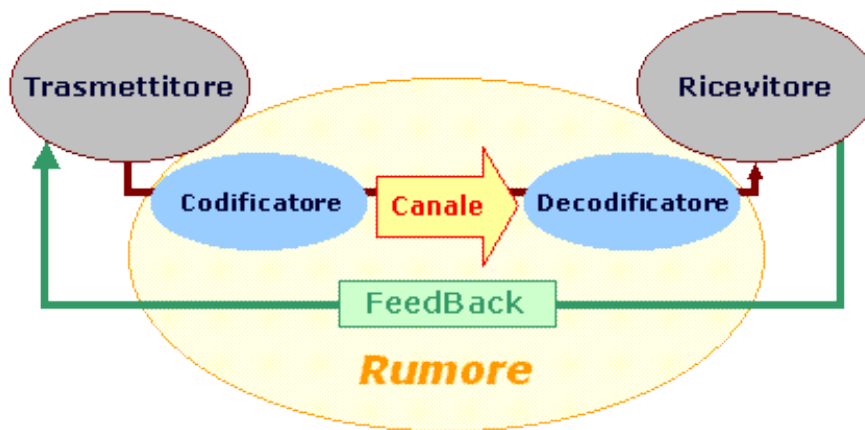


Figura 3. Il feedback applicato da Watzlawick al modello di Shannon²².

Un altro aspetto riguarda, invece, la comunicazione/interazione dell'uomo con il sistema apparecchiature mediche e ambiente ospedaliero. Ci viene allora incontro l'*Ergonomia Medica*²³, che prevede un'interfaccia di tipo *antropocentrico*. Ed anche in questo caso è stato studiato un *modello di comunicazione*²⁴ applicabile in Ergonomia e denominato AUA²⁵ (acronimo: *Active Users in Advance Feedback*), il quale ipotizza il recepimento di feedback aprioristici, prima di attuare l'interrelazione.

¹⁵ La *cinesica* è la disciplina che studia il linguaggio del corpo.

¹⁶ La *prosemica* è la disciplina semiologica che studia i gesti, il comportamento, lo spazio e le distanze all'interno di una comunicazione, sia verbale sia non verbale.

¹⁷ I *somatotipi* rappresentano una *classificazione biotipologica* identificata attorno al 1940 dallo psicologo e medico statunitense William Herbert Sheldon. Negli anni Cinquanta e Sessanta altri studiosi ne perfezionarono e approfondirono i principi, creando dei metodi di misurazione antropometrica per stabilire l'appartenenza di un soggetto a un determinato somatotipo.

¹⁸ La *fisiognomica* è una disciplina pseudoscientifica cognitiva, che tenta di dedurre i caratteri psicologici e morali di una persona dai lineamenti e dalle espressioni del volto.

¹⁹ La *mimica facciale* è una parte della *cinesica* che riguarda il modo in cui si altera il volto delle persone. Gli esseri umani lasciano trasparire anche in questo modo il loro pensiero e le loro emozioni, in quanto la mimica facciale è difficile da controllare spontaneamente.

²⁰ L'*empatia* è la capacità di comprendere o sentire ciò che un'altra persona sta vivendo, cioè concretamente la capacità di "mettersi nei panni di un altro".

²¹ Cfr. GROSSI 2014a.

²² Fonte: <<https://sites.units.it/ergocom/docs/it/1.0.html>>.

²³ Cfr. GROSSI 2023a.

²⁴ Cfr. GROSSI 2000.

²⁵ Cfr. GROSSI 2014b, GROSSI in Siti web.

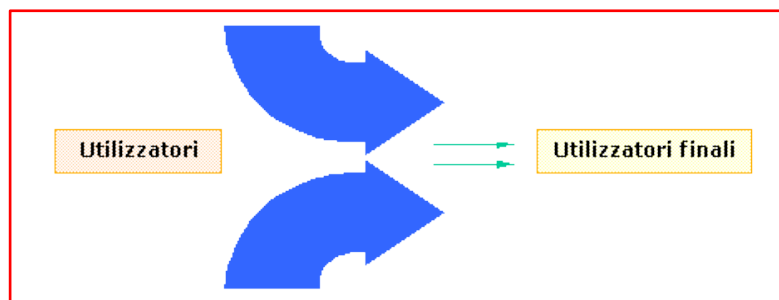


Figura 4. Il modello AUAF per la comunicazione aprioristica²⁶.

Questo modello è utilizzabile nelle interazioni uomo/macchina/ambiente, in quanto consente di anticipare le risposte del ricevente, al fine di produrre una comunicazione efficiente, efficace e di gradimento. Ad esempio nella comunicazione uomo/uomo l'operatore sanitario acquisisce dati sul paziente, sia dalla sua cartella sanitaria, sia dalle caratteristiche fisiche del suo interlocutore ed è in grado di interagire in maniera proattiva.

Nel caso di refertazioni mediante l'utilizzo di apparecchiature diagnostiche, il medico potrà comunicare dati anticipatori al paziente mediante, come vedremo, l'utilizzo dell'intelligenza artificiale, in grado di riconoscere anche, in modalità prodromica, l'eventuale comparsa di una *sintomatologia* caratteristica.

3. LA REALTÀ VIRTUALE E IL METAVERSO

Per *realtà virtuale*²⁷ s'intende la simulazione all'elaboratore di una situazione reale, con la quale il soggetto umano può interagire per mezzo di interfacce non convenzionali estremamente sofisticate, quali, ad esempio, occhiali e caschi ove viene rappresentata la scena virtuale e vengono riprodotti i suoni, nonché guanti dotati di sensori per simulare stimoli tattili e per tradurre i movimenti in istruzioni per il software²⁸.

Il fine della realtà virtuale è quello di simulare un ambiente reale per mezzo di tecnologie elettroniche, sino a fornire a chi la sperimenta l'impressione di trovarsi realmente immerso in quell'ambiente.

²⁶ Fonte: <<https://sites.units.it/ergocom/docs/it/1.0.html>>.

²⁷ Cfr. GROSSI 2023b.

²⁸ Cfr. CAROBENE in Siti web.

In particolare, la speculazione sulla realtà virtuale intrapresa nel Novecento²⁹, evocava mondi fantastici ed è stata oggetto di attenzione soprattutto da parte di scrittori, registi e artisti. All'alba del terzo millennio, il senso di questa tecnologia si consolida e ci porta a una posizione epistemologica più scientifica che nasce dalla considerazione di come la percezione dell'ambiente virtuale viene acquisita dalla mente attraverso l'interfaccia del "corpo esteso"³⁰.

Nell'ottica di questo passaggio esterno-interno, il soggetto utilizza artefatti tecnologici per aumentare le sue possibilità di azione nell'ambiente virtuale, combinando anche la percezione spaziale con l'azione psicomotoria in questo specifico contesto.

L'ambiente virtuale, divenuto trasparente al sistema cognitivo, viene percepito grazie a una continua "mappatura" che si fonde con l'interattività favorita dalle "affordances"³¹ degli artefatti tecnologici.



Figura 5. La Realtà Virtuale Semi-immersiva³².

Attualmente le tecnologie della *realtà virtuale* vengono suddivise in *semi-immersive*³³, *immersiva*³⁴, *aumentate*³⁵ e *collaborative*³⁶; in particolare, nella realtà virtuale immersiva

²⁹ Di *realtà virtuale* si inizia a parlare a cavallo tra gli anni Trenta e gli anni Quaranta del Novecento, quando lo scrittore Stanley Weinbaum pubblica il racconto breve *The Pygmalion's Spectacles*, in cui si fa esplicito riferimento a visori VR basati su registrazioni olografiche di esperienze in grado di stimolare anche il senso del tatto e dell'olfatto, oltre a quello della vista e dell'udito.

³⁰ Cfr. MCLUHAN 2001.

³¹ Con il termine *affordance* (trad.: invito all'uso) si definisce la qualità fisica di un oggetto che suggerisce a un essere umano le azioni appropriate per manipolarlo.

³² Fonte: <<https://www.digitalforbusiness.com/realtà-virtuale-medicina/>>.

³³ Realtà virtuale semi-immersiva (*Semi-Immersive Virtual Reality*).

³⁴ Realtà virtuale completamente immersiva (*Fully Immersive Virtual Reality*), che consente l'*embodiment*, ovvero "l'incarnazione" nell'ambiente virtuale.

³⁵ Realtà aumentata (AR, *Augmented Reality*).

³⁶ Realtà virtuale collaborativa (*Collaborative Virtual Reality*).

vengono utilizzate interfacce molto complesse, che permettono di percepire un “mondo” virtuale, dove la “presenza” spaziale dovrebbe coincidere il più possibile con quella fisica. Un *ambiente virtuale* è la simulazione di un *ambiente reale*, esplorabile tridimensionalmente in tempo reale, in cui l’utente è in grado di interagire con artefatti e altri utenti, nel rispetto del concetto di *embodiment*, che esprime la rappresentazione mentale dell’incarnazione nell’ambiente virtuale.



Figura 6. La Realtà Virtuale in sala operatoria³⁷.



Figura 7. Immagine a sinistra: realtà Virtuale Immersiva in sala operatoria³⁸. Immagine a destra: la *Realtà Aumentata* nella chirurgia spinale consente agli operatori di vedere la colonna vertebrale in 3D attraverso la pelle durante un intervento di impianto spinale mini-invasivo³⁹.

Ad esempio, in medicina, l’insegnamento tradizionale dell’anatomia prevede solitamente l’uso di un atlante anatomico, di un periodo di tempo trascorso in aula settoria e di tutta una serie di procedimenti accademici. Oggi, grazie alla realtà virtuale, è possibile offrire un migliore apprezzamento delle strutture del corpo umano (organi e apparati) nello spazio virtuale o reale e per facilitare la transizione dall’ambiente di apprendimento a quello clinico.

³⁷ Fonte: <<https://trends.medicaexpo.it/project-436674.html>>.

³⁸ Fonte: <<https://bcmj.org/blog/immersive-virtual-reality-medical-education>>.

³⁹ Fonte: <<https://health.uconn.edu/spine/services/minimally-invasive-spine-surgery/augmented-reality-spine-surgery/>>.

Lo stesso dicasi nello studio dell'istologia, ove normalmente viene utilizzato il microscopio per analizzare la struttura microscopica e ultramicroscopica dei tessuti e degli organi, dal punto di vista morfologico, istochimico e delle attività funzionali da essi esplicate. Anche in questo caso l'utilizzo della realtà virtuale consente di amplificare la visione delle componenti più piccole del tessuto muscolare o nervoso, sino alle cellule⁴⁰. Quindi, l'utilizzo della realtà virtuale in una combinazione tra citometria 3D tomografica e realtà virtuale potrà essere decisivo nei futuri scenari della diagnostica medica sul 'single cell imaging'.

Per quanto riguarda la progettazione della realtà virtuale e dell'ambiente virtuale abbiamo a disposizione tutta una serie di tipologie progettuali che si riferiscono "primariamente" alla trasduzione sensoriale e alle sinestesie che avvengono tra i cinque sensi. Il percorso progettuale prosegue poi attraverso la costruzione di adeguati modelli visivi e cognitivi e, per una corretta impostazione del progetto in ambiente virtuale e della relativa interfaccia, vengono utilizzate alcune metodologie ergonomiche di tipo oggettivo e soggettivo. L'*usabilità* è un metodo oggettivo e permette di quantificare l'efficacia e l'efficienza rispetto alla soddisfazione dell'utente. La *gradevolezza*, infine, permette di individuare i desideri soggettivi degli utenti che possono solo essere qualificati e difficilmente quantificabili.

Il *Metaverso*⁴¹ è un'applicazione della realtà virtuale. Ha la caratteristica di estendere il mondo fisico utilizzando le tecnologie della realtà virtuale e della realtà aumentata, consentendo agli utenti di interagire senza problemi all'interno di ambienti simulati, utilizzando avatar e ologrammi.

⁴⁰ Il CNR e l'Università degli Studi di Napoli Federico II, hanno sviluppato un sistema di visualizzazione tridimensionale della cellula all'interno del metaverso, che hanno denominato *citometria tomografica 3D*, che consente altresì di evitare l'utilizzo di marcatori fluorescenti (label, tossici per le cellule stesse) e di restituire mappe tridimensionali di ciascuna cellula in flusso. Il metodo sviluppato, denominato *Generalized Computational Segmentation based on Statistical Inference (Generalized CSSI)*, permette di visualizzare e ottenere parametri quantitativi di una cellula partendo dall'immagine ottenuta attraverso il microscopio tomografico, ovvero un microscopio in grado di generare un'immagine 3D dei suoi organelli interni. Lo studio è stato pubblicato sulla rivista *Small Methods* (cfr. BIANCO *et al.* 2023).

⁴¹ Il termine *Metaverso*, neologismo composto da "meta-" (dal greco che significa dopo, oltre) e "universo", nasce nel romanzo *cyberpunk* di fantascienza di Neal Stephenson del 1992 *Snow Crash*, per indicare un mondo virtuale tridimensionale popolato con repliche umane digitali. Un archetipo del Metaverso è stata la piattaforma di mondi virtuali *Second Life*, nata nel 2003. Quindi non è un concetto nuovo nel mondo digitale quello di una realtà basata su un mondo virtuale.

Nel corso del prossimo decennio, il Metaverso rivoluzionerà quasi ogni aspetto della vita sociale e aziendale, della formazione e del mondo degli affari, consentendo la collaborazione in spazi virtuali, luoghi fisici aumentati e una combinazione di entrambi. Creerà inoltre nuovi processi comunicativi e trasformerà anche le interazioni tra pazienti, personale sanitario e realtà ospedaliera.



Figura 8. Il Metaverso e il suo uso in Medicina⁴².



Figura 9. L'utilizzo del Metaverso in Medicina⁴³.

Il Metaverso definisce, in sintesi, una zona di convergenza di spazi virtuali interattivi, localizzati nel cyberspazio e accessibili dagli utenti attraverso un avatar con funzione di rappresentante dell'identità individuale. Qui ognuno può creare ciò che vuole in 3D, anche la rappresentazione completa del corpo umano con i suoi organi e le proprie funzioni e può testare interventi e materiali prima che vengano realizzati.

⁴² Fonte: <<https://ie.binus.ac.id/2022/03/28/metaverse-will-the-future-of-health-industry-be-in-it/>>.

⁴³ Fonte: <<https://www.cognihab.com/blog/metaverse-in-the-healthcare-industry-how-to-make-the-most-out-of-it/>>.

4. L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE TRADIZIONALE E QUELLA GENERATIVA⁴⁴

L'*intelligenza artificiale* (IA) è diventata un tema predominante in ogni settore della vita sociale, formativa e scientifica dell'ultimo decennio, anche perché ha prodotto notevoli progressi nella tecnologia e nell'efficienza operativa⁴⁵. È però necessario effettuare una distinzione tra la IA, denominata *tradizionale* o *debole* o *ristretta* e quella cosiddetta *generativa*.



Figura 10. Rappresentazione virtuale dell'Intelligenza Artificiale⁴⁶.

L'*Intelligenza Artificiale tradizionale* si concentra soprattutto nell'esecuzione intelligente di un compito specifico e si riferisce a sistemi progettati per rispondere a un particolare insieme di input. Questi sistemi hanno la capacità di apprendere dai dati e di prendere decisioni o fare previsioni basate su tali dati. Per esempio, analizzando le immagini fornite da un Risonanza Magnetica, l'operatore, coadiuvato dalla IA tradizionale potrà effettuare una refertazione molto più precisa rispetto a quella che avrebbe potuto diagnosticare mediante le proprie personali capacità ed esperienze. Con l'ausilio dell'*Intelligenza Artificiale di tipo generativo*, invece, sarà in grado di prevedere l'insorgere di patologie o disfunzioni. Quindi, l'Intelligenza Artificiale Generativa può essere considerata come la prossima evoluzione dell'intelligenza

⁴⁴ Cfr. MARR 2023.

⁴⁵ Due delle tecnologie basate sull'intelligenza artificiale più diffuse sono la guida autonoma delle automobili e gli avatar annunciatori su Internet.

⁴⁶ Fonte: <https://www.freepik.com/premium-photo/modern-artificial-intelligence-assistant-business-great-design-all-purposes_43984717.htm>.

artificiale, la quale viene “addestrata” su un enorme numero di dati al fine di apprendere gli schemi sottostanti e generare nuovi dati in linea con l’addestramento ricevuto. Consideriamo, ad esempio GPT-4⁴⁷, il modello di previsione del linguaggio di OpenAI⁴⁸, come un eccellente esempio di intelligenza artificiale generativa.



Figura 11. Rappresentazione virtuale dell’Intelligenza Artificiale Generativa in ambiente medico⁴⁹.

La principale differenza tra l’IA tradizionale e l’IA generativa risiede nelle loro capacità e applicazioni. I sistemi di intelligenza artificiale tradizionale vengono principalmente impiegati per analizzare dati ed effettuare refertazioni, mentre l’intelligenza artificiale generativa va oltre, creando nuovi dati per effettuare *previsioni*. In altre parole, l’intelligenza artificiale tradizionale eccelle nel riconoscimento dei *modelli*, mentre l’intelligenza artificiale generativa eccelle nella creazione di *nuovi modelli*. L’intelligenza artificiale tradizionale può analizzare i dati e dire cosa vede, ma l’intelligenza artificiale generativa può utilizzare gli stessi dati per creare qualcosa di completamente nuovo.

⁴⁷ GPT-4 – *Generative Pre-trainer Transformer 4*, è un modello linguistico multimodale di grandi dimensioni creato da OpenAI. È il quarto della serie di modelli di base GPT. È stato inizialmente rilasciato il 14 marzo 2023 ed è stato reso disponibile al pubblico tramite il prodotto chatbot a pagamento *ChatGPT Plus* e tramite l’API (Acronimo: *Application Programming Interface* – Interfaccia di Programmazione dell’Applicazione) di OpenAI.

⁴⁸ OpenAI è un’organizzazione di ricerca statunitense sull’intelligenza artificiale (AI) fondata nel dicembre 2015, la cui attività è dedicata alla ricerca nell’ambito dell’intelligenza artificiale con l’intenzione dichiarata di sviluppare una IA generale «sicura e vantaggiosa», che definisce come «sistemi altamente autonomi che superano gli esseri umani nel lavoro economicamente più prezioso».

⁴⁹ Fonte: <<https://www.linkedin.com/pulse/chatgpt-generative-ai-healthcare-revolutionizing-prabhu-stanislaus>>.

5. I BIG DATA E I DATA LAKE

L'Enciclopedia Treccani identifica i *Big Data* come «l'ingente insieme di dati digitali che possono essere rapidamente processati da banche dati centralizzate»⁵⁰. In altre parole si tratta dell'immensa quantità di dati che circolano su Internet in tempo reale, abbinati alle tecnologie per l'accumulo, l'analisi e l'elaborazione di dati strutturati o non strutturati⁵¹.



Figura 12. Rappresentazione virtuale dei *Big Data*⁵².

In particolare quelli che definiamo *Big Data* sono caratterizzati da tre fattori concomitanti, il loro *volume*, la loro *velocità di elaborazione*⁵³ e la loro *varietà di essenza*⁵⁴. Il volume rappresenta la quantità di dati e la loro potenza di ricezione, la velocità rappresenta la velocità di elaborazione e la frequenza degli aggiornamenti che

⁵⁰ Cfr. TRECCANI in Siti web.

⁵¹ I *dati strutturati* sono dati che sono stati predefiniti e formattati in una struttura impostata prima di essere inseriti nell'archivio dati, invece i *dati non strutturati* sono dati archiviati nel loro formato nativo e non elaborati fino a quando non vengono utilizzati.

⁵² Fonte: <<https://images.app.goo.gl/KdQFLXrmDknW4wWu5>>.

⁵³ Per archiviare, salvare, catalogare, riutilizzare tutti questi dati è necessario disporre di una grandissima velocità, altrimenti sarebbe inutile disporre di così tante informazioni che poi non possano essere immediatamente utilizzate. Inoltre qualunque flusso di dati, anche se di enormi dimensioni, deve essere studiato e analizzato in maniera molto rapida per rilevare la presenza o meno di nuovi codici maligni o di nuove minacce informatiche generate dagli hacker.

⁵⁴ Ogni dato, infatti, è molto diverso dall'altro, quindi le informazioni archiviate nei *Big Data* sono molto variegate e ognuna ha una provenienza specifica. Questa diversificazione crea dei problemi di gestione e unione dei vari dati per ottenere delle informazioni più complete. Sono necessari complessi strumenti di analisi dei dati per riuscire a capire in maniera chiara i *Big Data* e il modello di *Data Analytics* rappresenta il processo per ricavare valore da questa enorme mole di informazioni.

possono essere eseguiti, mentre la varietà rappresenta una molteplicità di dati non strutturati. I *Big Data*, trattati con l'Intelligenza Artificiale, aprono grandissime possibilità, infatti l'analisi dei dati raccolti con l'IA risulta essere di gran lunga più efficace dell'analisi umana. Il rapido sviluppo della ricerca e dello sviluppo dell'intelligenza artificiale negli ultimi anni è stato fortemente influenzato dalle scoperte tecnologiche dovute al così denominato “*apprendimento profondo*”.

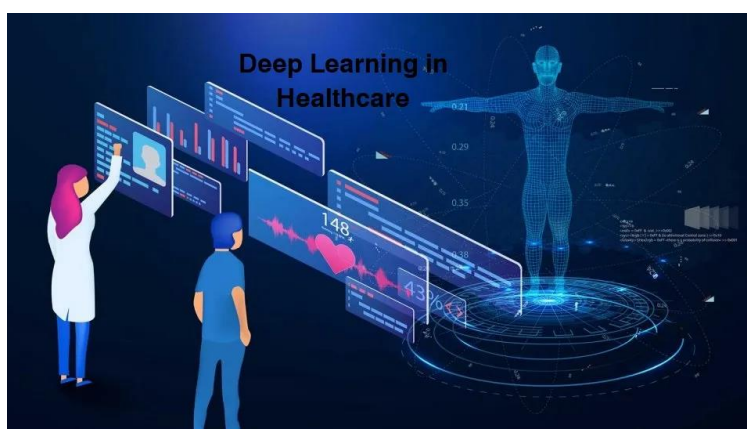


Figura 13. Rappresentazione schematica dell'Apprendimento Profondo⁵⁵.

L'apprendimento profondo è uno dei sistemi di apprendimento automatico mediante il quale le macchine estraggono e imparano automaticamente i dati necessari utilizzando algoritmi strutturati a più livelli.

In altre parole, per apprendimento profondo s'intende un insieme di tecniche basate su *reti neurali artificiali*⁵⁶ organizzate in diversi strati, dove ogni strato calcola i valori per quello successivo affinché l'informazione venga elaborata in maniera sempre più completa. L'apprendimento profondo richiede molti dati grezzi prima di estrarre i dati necessari e proprio i *Big Data* sono essenziali a questo processo.

Un'altra tecnologia in grado di far progredire il rapporto con i *Big Data* è l'*edge computing*, che è una tecnologia atta a separare ciò che può essere elaborato localmente, o sul campo, invece di inviare tutto al *cloud* e suddividere, quindi, l'elaborazione tra il

⁵⁵ Fonte: <<https://medium.com/@usama.6832/introduction-to-deep-learning-in-healthcare-519336d651b1>>.

⁵⁶ Nel campo dell'apprendimento automatico, una *rete neurale artificiale* è un modello computazionale composto da “neuroni” artificiali, ispirato a una rete neurale biologica.

cloud e il sito *edge*⁵⁷, garantendo un'elaborazione più veloce. In altri termini l'*edge computing* è un modello di calcolo distribuito nel quale l'elaborazione dei dati avviene il più vicino possibile a dove i dati vengono generati, migliorando i tempi di risposta e risparmiando sulla larghezza di banda⁵⁸.

L'elaborazione dei dati in prossimità del luogo in cui vengono generati reca a considerevoli vantaggi in termini di latenza⁵⁹ di elaborazione, riduzione di traffico dati e maggior resilienza in caso di interruzione nella connessione dati. In altri termini, invece di inviare tutti i dati direttamente al *cloud*, è possibile ottimizzarli e accumularli in *edge*.

Dopo aver estratto i dati necessari prelevandoli dai *Big Data* è possibile inserirli in un *Data Lake*⁶⁰, che è un archivio digitale informatico centralizzato (*repository*) destinato alla memorizzazione, analisi e correlazione di dati strutturati e non strutturati, in formato nativo. La sua peculiarità è quella di consentire il recupero e l'organizzazione dei dati secondo il tipo di analisi che s'intende effettuare⁶¹. Siccome i *Big Data* sono caratterizzati dal loro enorme volume, dall'incredibile velocità con cui producono e memorizzano le informazioni e dalla varietà e provenienza dei dati trattata, sono difficilmente inquadrabili con le tradizionali tecniche di organizzazione dei database⁶². Ed è proprio per queste considerazioni che vengono utilizzati i *Data Lake*, i quali acquisiscono e conservano dati non ancora elaborati per uno scopo specifico.

⁵⁷ Un po' come accadde nella transizione dall'architettura di rete centralizzata (*mainframe* con terminali "stupidi" dotati solo di schermo e tastiera) e quella distribuita con terminali intelligenti provvisti di capacità di memoria e di elaborazione.

⁵⁸ La *larghezza di banda* è la quantità massima di dati che è possibile inviare attraverso il percorso di comunicazione in un secondo. Nel caso di una connessione internet indica la velocità e la quantità di informazioni che è in grado di trasportare e si esprime in bit/s.

⁵⁹ La *latenza di rete* misura il ritardo nella comunicazione di rete, ovvero l'intervallo di tempo, normalmente espresso in millisecondi, che intercorre fra il momento in cui viene inviato il segnale al sistema e il momento in cui è disponibile la sua risposta. Le reti con un ritardo più lungo hanno una latenza elevata, mentre quelle con tempi di risposta rapidi hanno una latenza bassa.

⁶⁰ Termine coniato da James Dixon, all'epoca Direttore Tecnico dell'azienda americana di software Pentaho, che nel 2010 coniò il termine di *Data Lake* con l'obiettivo di creare un'unica fonte per tutti i dati interessanti per un'azienda.

⁶¹ Lo scopo del *data lake*, pertanto, è quello di rendere disponibile una visione dei dati non necessariamente raffinata a supporto delle attività di *data discovery*, caratteristica che lo rende adatto a utenti esperti. Al contrario, il *data warehouse* (DWH) ha l'obiettivo di rendere disponibile, attraverso tool di *business* e *big data analytics*, una visione di dati elaborati per uno scopo e/o un processo di business ben preciso (cfr. SILEO in Siti web).

⁶² In informatica, un *database* (base di dati o banca dati) è un insieme di dati organizzati immagazzinati e accessibili per via elettronica.



Figura 14. Rappresentazione visiva di un *Data Lake*⁶³.

Un *dato* in un *Data Lake* non viene definito fino al momento in cui non viene eseguita una *query*⁶⁴ che lo coinvolga. La grande novità risiede nella possibilità di archiviare dati con formati molto differenti senza necessità di doverli uniformare e “normalizzare”. Questo permette di estrarre dati da qualunque fonte informativa senza che questa sia organizzata come un *data base* relazionale, organizzato in tabelle con strutture e caratteristiche definite.

6. L’INTELLIGENZA ARTIFICIALE IN DIAGNOSTICA E CHIRURGIA

Dopo aver analizzato gli strumenti a disposizione nella nostra “cassetta degli attrezzi” andiamo a utilizzarli nella pratica medica. La prima applicazione pratica che andremo a esaminare riguarda la *diagnostica*⁶⁵, settore che si è andato sviluppando velocemente negli ultimi anni, soprattutto per l’incessante progredire delle tecnologie anche in questo ambito. Normalmente, al fine di pervenire a una *diagnosi* si procede a reperire

⁶³ Fonte: <<https://www.linkedin.com/pulse/big-data-vs-lake-mustafa-qizilbash>>.

⁶⁴ Una *query* in informatica consente di reperire e utilizzare dati. Una *query* può fornire una risposta a una semplice domanda, eseguire calcoli, combinare dati di tabelle diverse, aggiungere, modificare o eliminare dati da un *database*.

⁶⁵ La *diagnostica* indica il complesso di atti - sia conoscitivi sia valutativi - necessari a pervenire alla *diagnosi*, ossia a identificare il quadro clinico presentato da un paziente.

dati del paziente mediante l'*anamnesi*⁶⁶, l'*esame obiettivo*⁶⁷ e gli *esami strumentali*. All'interno della grande categoria degli esami strumentali (*test diagnostici*) si raggruppano gli esami atti a incrementare le informazioni sulle condizioni del malato e sottoporre a verifica le ipotesi diagnostiche formulate con l'*anamnesi* e l'*esame obiettivo*, aiutando così il medico a orientarsi con maggior precisione verso la diagnosi definitiva.

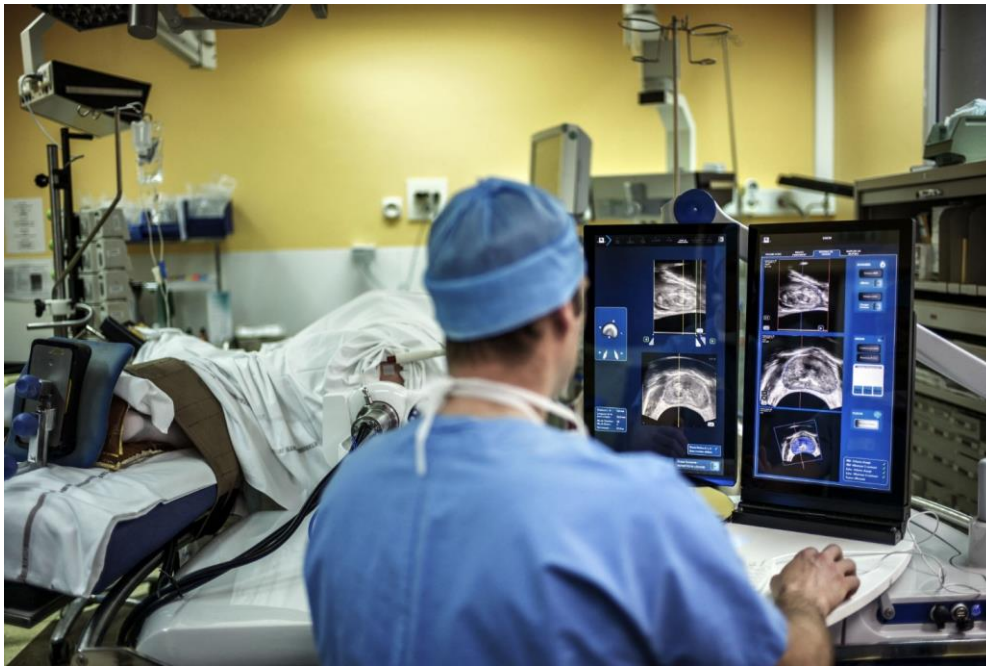


Figura 15. L'Intelligenza Artificiale applicata alla Diagnostica⁶⁸.

Le *indagini diagnostiche* si suddividono in *test di laboratorio*, *metodiche di immagine* e *test funzionali*. Insomma si tratta di reperire un grande numero di dati e confrontarli con quelli di cartelle cliniche similari e di possibili patologie. Ed è qui che facciamo intervenire l'Intelligenza Artificiale (IA), che dispone di una memoria enorme, di una incredibile velocità di elaborazione e di un'illimitata capacità di reperimento di informazioni tramite Internet (*Big Data*).

⁶⁶S'intende per *anamnesi* la storia clinica di un soggetto in esame, raccolta dal medico direttamente o indirettamente come elemento fondamentale per la formulazione della diagnosi; comprende anche le notizie sui precedenti ereditari e sullo stato di salute dei familiari.

⁶⁷ Per *esame obiettivo* (generalmente abbreviato nelle cartelle cliniche come "e.o.") s'intende l'insieme di manovre diagnostiche effettuate dal medico per verificare la presenza o assenza, nel paziente, dei segni (o *sintomi obiettivi*) indicativi di una deviazione dalla condizione di normalità fisiologica.

⁶⁸ Fonte: <<https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2023-04-15/how-artificial-intelligence-like-chatgpt-is-influencing-medical-diagnoses>>.

L'IA memorizza tutti i dati del paziente (anamnesi ed esame obiettivo), analizza quelli provenienti dai test diagnostici e li confronta con quelli provenienti dai *Big Data*, dopo averne estratto quelli pertinenti e averli depositati in un apposito *Data Lake*.

L'IA utilizza algoritmi avanzati di analisi e apprendimento automatico per estrarre approfondimenti e generare risultati rilevanti e il tutto con una tempistica da record. Insomma, l'IA offre al medico i risultati degli esami in modalità sintetica, corredati da una serie di "linee diagnostiche guida" e, nella variante dell'IA generativa, anche previsioni riguardanti il possibile insorgere di disfunzioni o patologie.

Abbiamo visto che lo scopo principale dell'intelligenza artificiale è quello di replicare e persino superare le capacità cognitive umane in vari ambiti, inclusa l'analisi delle immagini nell'ambito della diagnostica, ove l'IA include attività quali⁶⁹: la classificazione delle immagini, ovvero l'assegnazione di un'etichetta o di una categoria a un'intera immagine, il rilevamento di oggetti, ovvero l'identificazione e la localizzazione di un insieme di oggetti all'interno di un'immagine, la segmentazione semantica, ovvero la partizione di un'immagine in più parti, assegnando un'etichetta di classificazione a ciascun pixel. L'intelligenza artificiale in genere coinvolge, poi, l'*apprendimento automatico*, un sottocampo che si concentra sulla capacità dei computer di apprendere dai dati e fare previsioni o assumere decisioni senza essere esplicitamente programmati. Purtroppo i metodi attualmente in uso di apprendimento automatico possono spesso incorrere in problemi, vista l'elevata dimensione dei dati pixel grezzi e questo limita la loro efficacia in presenza di immagini complesse. Come abbiamo visto, il *deep learning* è un sottocampo dell'apprendimento automatico che si occupa di algoritmi ispirati alla struttura e alla funzione del cervello, in particolare alle reti neurali a più strati. Nell'analisi delle immagini si è rivelata particolarmente utile un'architettura speciale, denominata *reti neurali convoluzionali* (CNN)⁷⁰. Come altri modelli di *deep learning*, le CNN

⁶⁹ Cfr. LINDGREN BELAL *et al.* 2024.

⁷⁰ Nell'apprendimento automatico, una *rete neurale convoluzionale* (CNN o ConvNet dall'inglese *convolutional neural network*) è un tipo di rete neurale artificiale *feed-forward* in cui il pattern di connettività tra i neuroni è ispirato dall'organizzazione della corteccia visiva animale, i cui neuroni individuali sono disposti in maniera tale da rispondere alle regioni di sovrapposizione che tassellano il campo visivo.

possono apprendere rappresentazioni gerarchiche delle funzionalità direttamente dai dati grezzi dei pixel, alleviando così la necessità di funzionalità manuali.

La *Radiomica*⁷¹ è un gruppo di metodi strettamente correlati all'apprendimento automatico classico, in quanto prevede l'estrazione di un gran numero di caratteristiche quantitative da immagini mediche, come caratteristiche di forma, struttura e intensità. Le tecniche di apprendimento automatico vengono quindi impiegate per costruire *modelli predittivi* utilizzando queste funzionalità radiomiche.

Nel prossimo futuro, si auspica che i dati raccolti dagli esami di *imaging* radiologico siano convertiti in dati quantitativi e che questi dati siano sfruttati come supporto decisionale alla pratica clinica per migliorare l'accuratezza diagnostica e il potere prognostico.

6.1 ELETTROCARDIOGRAMMA E INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Prendiamo ad esempio l'*elettrocardiogramma* (ECG), un test oramai standardizzato, che mette a disposizione preziose informazioni sulla salute e sulle malattie cardiache e non cardiache⁷².

Ebbene la sua interpretazione richiede una notevole esperienza professionale. I metodi avanzati di intelligenza artificiale coadiuvano l'operatore, consentendo un'interpretazione rapida e precisa, rendendo così disponibile questa tecnologia

⁷¹ Per *Radiomica* s'intende l'analisi delle immagini mediche volta a ottenere, tramite opportuni metodi matematici e l'uso dei computer, informazioni di tipo *quantitativo*, assolutamente non rilevabili tramite la loro semplice osservazione visiva da parte dell'operatore. La "medicina di precisione" è un obiettivo chiave della medicina oncologica moderna, i trattamenti vengono personalizzati sulla base delle caratteristiche specifiche del paziente e della sua malattia e la Radiomica sta rapidamente emergendo in questo ambito ed è uno dei campi di ricerca di maggior interesse. Attraverso la Radiomica le immagini mediche da noi conosciute, ottenute dagli esami TC, RM o PET, vengono convertite in informazioni numeriche. Per meglio comprendere cosa sia la Radiomica è necessario premettere che alcuni tumori sono caratterizzati da alterazioni molecolari, come ad esempio quelle genomiche. Perché sia possibile definire queste alterazioni, generalmente, è necessario avere un campione del tessuto neoplastico, che si ottiene solo con biopsie o interventi chirurgici invasivi. Oggi però la diagnostica per immagini può permettere di caratterizzare i tessuti in modo non invasivo e, in alcuni casi, di visualizzare le profonde differenze fenotipiche dei diversi tumori. Poiché i tumori sono eterogenei nel loro volume e si modificano nel tempo, le immagini diagnostiche possono fornire una visione completa dell'intero tumore e possono essere ripetute nel tempo in modo non invasivo per monitorare le modificazioni indotte anche dalle terapie. Tali informazioni numeriche descrivono l'immagine stessa. Il numero finale di informazioni estrapolate dalle immagini è talvolta elevato e richiede metodiche dedicate ai cosiddetti "*Big Data*". Questo enorme patrimonio di dati numerici, che va ben oltre la semplice osservazione visiva, definisce molte caratteristiche del tumore (forma, volume e struttura tissutale) e dell'ambiente circostante. Con tali tecniche, è possibile studiare l'eventuale associazione fra i dati ottenuti dalle immagini e le caratteristiche molecolari e genomiche del tumore, con l'obiettivo finale di estrarre direttamente dalle immagini indicazioni sull'aggressività della malattia, sulle terapie più indicate e sulla risposta alle cure (cfr. ISTITUTO EUROPEO DI ONCOLOGIA in Siti web, alla voce "Radiomica").

⁷² Cfr. SIONTIS 2021.

anche a livello diffuso, in quanto si constata un rapido aumento della disponibilità di tecnologie ECG mobili e indossabili. Ciò risulta essenziale per il rilevamento di malattie cardiovascolari nelle popolazioni a rischio. Inoltre, tutti quei segnali e pattern⁷³ in gran parte irriconoscibili per gli operatori umani possono essere rilevati con precisione da reti di intelligenza artificiale multistrato, rendendo così l'ECG un potente biomarcatore non invasivo. Il rilevamento dell'aritmia ventricolare tramite AI ha raggiunto un'accuratezza, sensibilità e specificità del 99,2–98,8%⁷⁴.



Figura 16. Intelligenza Artificiale applicata all'ECG⁷⁵.

Una recente ricerca, che ha utilizzato 8,5 milioni di ECG di 2,1 milioni di pazienti raccolti in un periodo di quattro decenni e che si basa su un approccio di apprendimento simile a quello di ChatGPT, si è avvalsa di modelli basati su immagini per l'analisi dell'ECG, consentendo potenzialmente una valutazione più efficace della funzionalità cardiaca e la diagnosi preventiva di infarti e di cardiomiopatie ipertrofiche⁷⁶.

6.2 RISONANZA MAGNETICA E INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Nell'ambito della diagnostica per immagini la *Risonanza Magnetica* ha un posto di eccellenza. Si tratta di una modalità di *imaging* che consente la visualizzazione non

⁷³ I pattern ECG sono generalmente classificati in tre categorie a seconda che il segnale provenga dal nodo SA (cioè *ritmi sinusali*), dagli atri (cioè *ritmi atriali*) o dai ventricoli (cioè *ritmi ventricolari*).

⁷⁴ Cfr. MARTINEZ-SELLES, MARINA-BREYSSE 2023.

⁷⁵ Fonte: <<https://www.tctmd.com/news/artificial-intelligence-ecgs-may-id-asymptomatic-lv-dysfunction>>.

⁷⁶ Cfr. VAID *et al.* 2023.

invasiva delle strutture e organi interni del corpo e delle loro funzioni, ed è ampiamente utilizzata per varie applicazioni cliniche in settori quali la neurologia, l'oncologia, la cardiologia, l'ortopedia, la pediatria⁷⁷.

La risonanza magnetica ha diversi vantaggi rispetto ad altre modalità di *imaging*, tra cui la mancanza di radiazioni ionizzanti, la capacità di generare un eccellente contrasto dei tessuti molli e la capacità di acquisire immagini in qualsiasi piano, orientamento e profondità. Tuttavia, la RM è caratterizzata da alcune limitazioni sostanziali, soprattutto relativamente al lungo tempo di scansione, che si traduce in un costo elevato e una maggiore sensibilità ai movimenti del paziente nel corso della prova.

Recentemente, le tecniche basate sull'intelligenza artificiale hanno consentito notevoli progressi nell'affrontare queste limitazioni, fornendo un'acquisizione accelerata, una migliore sintesi delle immagini e quantificazione dei parametri, una segmentazione automatizzata e una ottimizzazione nella pianificazione della scansione. Un'altra peculiarità in cui l'intelligenza artificiale ha apportato notevoli vantaggi nella diagnostica RM per immagini sono le diagnosi e le prognosi automatizzate.

6.3 TOMOGRAFIA A EMISSIONE DI POSITRONI E INTELLIGENZA ARTIFICIALE

La *tomografia a emissione di positroni* (o PET, *Positron Emission Tomography*) è una tecnica diagnostica medica di medicina nucleare utilizzata per la produzione di bioimmagini (immagini del corpo). A differenza della tomografia computerizzata (TC) e della risonanza magnetica nucleare (RM), che forniscono informazioni di tipo morfologico, la PET dà informazioni di tipo fisiologico permettendo così di ottenere mappe dei processi funzionali all'interno del corpo. Maggiori informazioni possono pervenire da una combinazione di PET e TAC o RM⁷⁸.

Le modalità di *imaging* della medicina nucleare, come la PET, presentano però elevati livelli di rumore e bassa risoluzione spaziale, rendendo necessario il miglioramento delle

⁷⁷ Cfr. SHIMRON, PERLMAN 2023.

⁷⁸ La PET-TC è un'indagine innovativa della diagnostica per immagini. Gli studi vengono eseguiti mediante macchine "ibride" cioè tomografi PET-TC o PET-RM nei quali il sistema di rilevazione PET viene combinato con la TAC o con la Risonanza Magnetica (RM).

immagini post-ricostruzione, al fine di migliorarne la qualità e l'accuratezza quantitativa. I modelli di intelligenza artificiale, come le *reti neurali convoluzionali*, le *reti generative avversarie*⁷⁹ e le *U-net*⁸⁰, hanno prodotto risultati molto promettenti nel miglioramento di tali immagini⁸¹. Ad esempio, i modelli di *deep learning* hanno dimostrato una grande potenzialità nel ridurre la dose di radiotracciante⁸² immesso e i relativi tempi di scansione, senza sacrificare la qualità dell'immagine e l'accuratezza diagnostica.



Figura 17. Chirurgia robotizzata⁸³.

⁷⁹ Una *rete generativa avversaria* (in inglese *generative adversarial network* o GAN) è una classe di metodi di apprendimento automatico in cui due reti neurali vengono addestrate in maniera competitiva nel contesto di un gioco a somma zero. Ciò consente alla rete neurale di apprendere come generare nuovi dati aventi la stessa distribuzione dei dati usati in fase di addestramento. Ad esempio, è possibile ottenere una rete neurale in grado di generare volti umani iperrealistici.

⁸⁰ La U-Net è un tipo di architettura di *deep learning* progettata specificamente per la segmentazione delle immagini mediche. È costituita da una rete di decodificatori che campiona l'immagine di input per apprendere una rappresentazione compressa e da una rete di decodificatore, che campiona la rappresentazione compressa per generare una mappa di segmentazione.

⁸¹ Cfr. BALAJI *et al.* 2024.

⁸² La PET impiega sostanze radiomarcate con radioisotopi che emettono positroni. La dose di irradiazione è equivalente circa a quella che si assume quando si esegue una TAC.

⁸³ Fonte: <<https://www.smithsonianmag.com/innovation/the-past-present-and-future-of-robotic-surgery-180980763/>>.

6.4 CHIRURGIA E INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Abbiamo potuto constatare come l'intelligenza artificiale (IA), basata su di algoritmi che consentono alle macchine di svolgere funzioni cognitive (come la risoluzione di problemi e il processo decisionale), ha cambiato ormai da tempo il volto dell'assistenza sanitaria attraverso l'apprendimento automatico (ML, *Machine Learning*) e l'elaborazione del linguaggio naturale (NLP, *Natural Language Processing*).

Così, anche i *robot chirurgici*, appositamente guidati dall'IA, divengono dispositivi governati dal computer per lo svolgimento di ben precise funzioni in sala operatoria, consentendo ai chirurghi "fisici" di concentrarsi sugli aspetti complessivi di un intervento. Il loro utilizzo riduce altresì i possibili "ondeggamenti" osteomuscolari degli operatori fisici durante l'intervento chirurgico e li aiuta a migliorare le proprie capacità e a ottenere risultati migliori⁸⁴. Con l'aiuto dell'Intelligenza Artificiale, i robot chirurgici riescono a identificare informazioni critiche e pratiche all'avanguardia, esaminando e valutando un enorme numero di dati.

7. I GEMELLI DIGITALI IN CHIRURGIA, RICERCA E FORMAZIONE

S'intende per *gemello digitale* un modello digitalizzato di un prodotto, sistema o processo fisico, previsto o reale, del mondo reale (che ne è il suo *gemello fisico*), il quale funge da controparte digitale effettivamente indistinguibile e ciò per scopi pratici, come simulazione, integrazione, test e monitoraggio⁸⁵.

I gemelli digitali vengono generati combinando dati provenienti da sensori e altre fonti, al fine di creare un *modello virtuale informatizzato* di un'entità⁸⁶. Essi sono repliche virtuali di entità fisiche che consentono di comprenderne le dinamiche e le specifiche funzionalità degli organismi umani. In medicina, l'applicazione più ambiziosa dei gemelli digitali mira a raggiungere una rappresentazione digitale completa del paziente fisico, al fine di migliorare la prevenzione, la diagnosi e il trattamento delle malattie.

⁸⁴ Cfr. Kwo 2021.

⁸⁵ Cfr. GROSSI 2023c.

⁸⁶ Cfr. SHU *et al.* 2023.

Ad esempio, la creazione di gemelli digitali in chirurgia, consente la pianificazione operatoria degli interventi in anticipo, verificandoli con delle simulazioni, nel contesto delle caratteristiche anatomiche specifiche di ciascun paziente e delle relative variazioni fisiologiche, combinando un resoconto realistico delle prestazioni effettuate con la capacità di misurare i parametri intraoperatori, onde evitare danni all'organismo e riducendo così al minimo i rischi per il paziente⁸⁷.

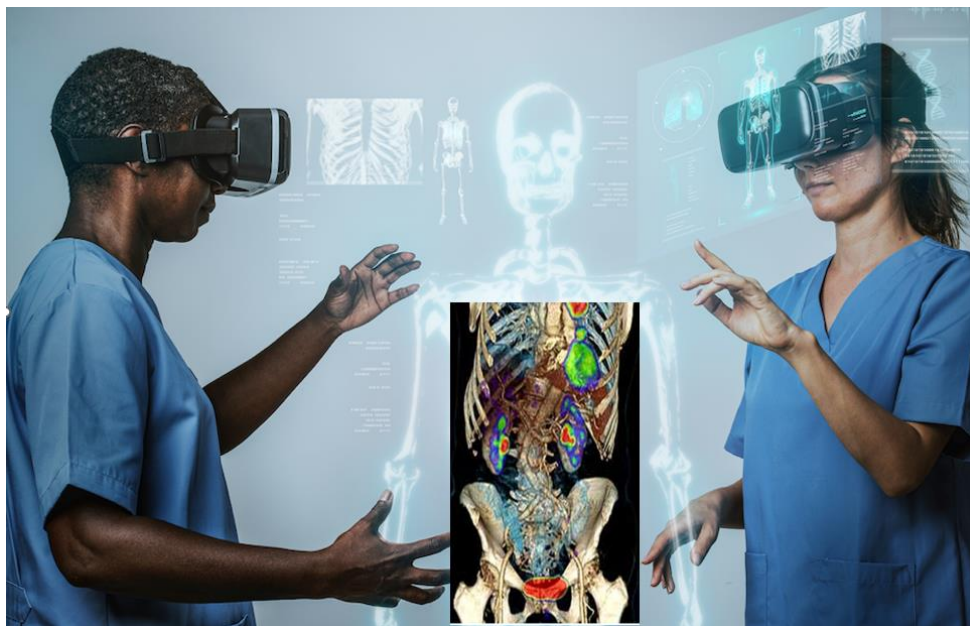


Figura 18. Esempio di utilizzo dei Gemelli Digitali in configurazione preoperatoria con la Realtà Aumentata⁸⁸.

Se utilizzati intraoperatoriamente, i gemelli digitali possono fornire una guida in tempo reale ai chirurghi per una consapevolezza situazionale complementare e, a loro volta, facilitare il loro processo decisionale. Infine, i gemelli digitali consentono di digitalizzare completamente le procedure per la tenuta dei registri, la valutazione postoperatoria e la generazione di set di dati per gli algoritmi di apprendimento automatico⁸⁹.

Inoltre, recenti studi hanno comprovato che i pazienti esposti alla realtà virtuale preoperatoria dimostrano una maggiore soddisfazione nell'effettuare l'intervento

⁸⁷ Cfr. KAPLAN *et al.* 2023.

⁸⁸ Fonte: GROSSI 2023c.

⁸⁹ L'apprendimento automatico (*machine learning*) nasce dalla teoria che i computer possono imparare a eseguire compiti specifici senza essere programmati per farlo, grazie al riconoscimento di schemi tra i dati. Il *machine learning* utilizza algoritmi che imparano proprio dai dati in modo iterativo.

chirurgico⁹⁰. Sfruttando la potenza di questa tecnologia, gli ospedali possono creare un ambiente coinvolgente, mediante le prassi proprie dell'Ergonomia, tendente a ridurre al minimo lo stress e migliorando così l'esperienza perioperatoria.

Nella telechirurgia le immagini dei gemelli digitali sono visualizzate con appositi visori di realtà aumentata (AR) e di realtà virtuale (VR), sovrapponendo le scansioni o i piani preoperatori all'anatomia del paziente per la guida intraoperatoria.

Un'ulteriore applicazione trova ulteriore spazio anche nella formazione accademica e di ricerca, ove il modello digitale dinamico del paziente, collocato in adeguate piattaforme di realtà virtuale, potrebbe anche dare origine a innovativi risultati clinici, tramite sperimentazioni in cui vengono verificati nuovi strumenti, tecniche o terapie e poi testati, in prima istanza, tramite i gemelli digitali.

8. IL METAVERSO IN MEDICINA

Abbiamo visto che l'utilizzo del *Metaverso* può facilitare lo sviluppo, la prototipazione, la valutazione, la regolamentazione, e la ristrutturazione della pratica medica basata sull'Intelligenza Artificiale e, in particolare, facilitare le diagnosi e le terapie guidate dall'*imaging* medico. Per sviluppare tutte le sue potenzialità, però, il Metaverso deve integrare su vasta scala tutte le tecnologie ICT, come Internet ad alta velocità, 5G/6G⁹¹, Realtà Virtuale, Realtà Aumentata, Realtà Mista, Realtà Estesa, Gemelli Digitali, Olografia⁹², Calcolo computazionale⁹³ e Intelligenza Artificiale, consentendo altresì ai medici di poter interagire tra di loro e con gli Avatar⁹⁴.

⁹⁰ Cfr. BEKELIS *et al.* 2017.

⁹¹ I termini 5G e 6G (acronimi di 5 *Generazione* e 6 *Generazione*) indicano l'insieme di tecnologie di telefonia mobile e cellulare, i cui standard definiscono la quinta e la sesta generazione della telefonia mobile con una significativa evoluzione rispetto alle tecnologie precedenti.

⁹² L'*olografia* è una tecnologia ottica di memorizzazione di un'informazione visiva sotto forma di un finissimo intreccio di frange di interferenza con impiego di luce laser coerente, opportunamente proiettata e l'immagine creata dalle frange di interferenza è caratterizzata da una illusione di tridimensionalità.

⁹³ La *teoria della complessità computazionale* è una branca della *teoria della computabilità* che studia le risorse minime necessarie (principalmente tempo di calcolo e memoria) per la risoluzione di un problema. Con *complessità di un algoritmo* o *efficienza di un algoritmo* ci si riferisce dunque alle risorse di calcolo richieste. I problemi sono classificati in differenti *classi di complessità*, in base all'efficienza del migliore algoritmo noto in grado di risolvere quello specifico problema.

⁹⁴ Per *Avatar* s'intende, in Informatica, la rappresentazione grafica utilizzata da un utente di servizi Internet (per es. le *chat line* o alcuni videogiochi) per identificarsi quando entra in comunicazione con altri utenti.

Vediamo ora un esempio esplicativo di applicazione del Metaverso con Gemelli Digitali e Intelligenza Artificiale esposto in un disegno grafico⁹⁵.

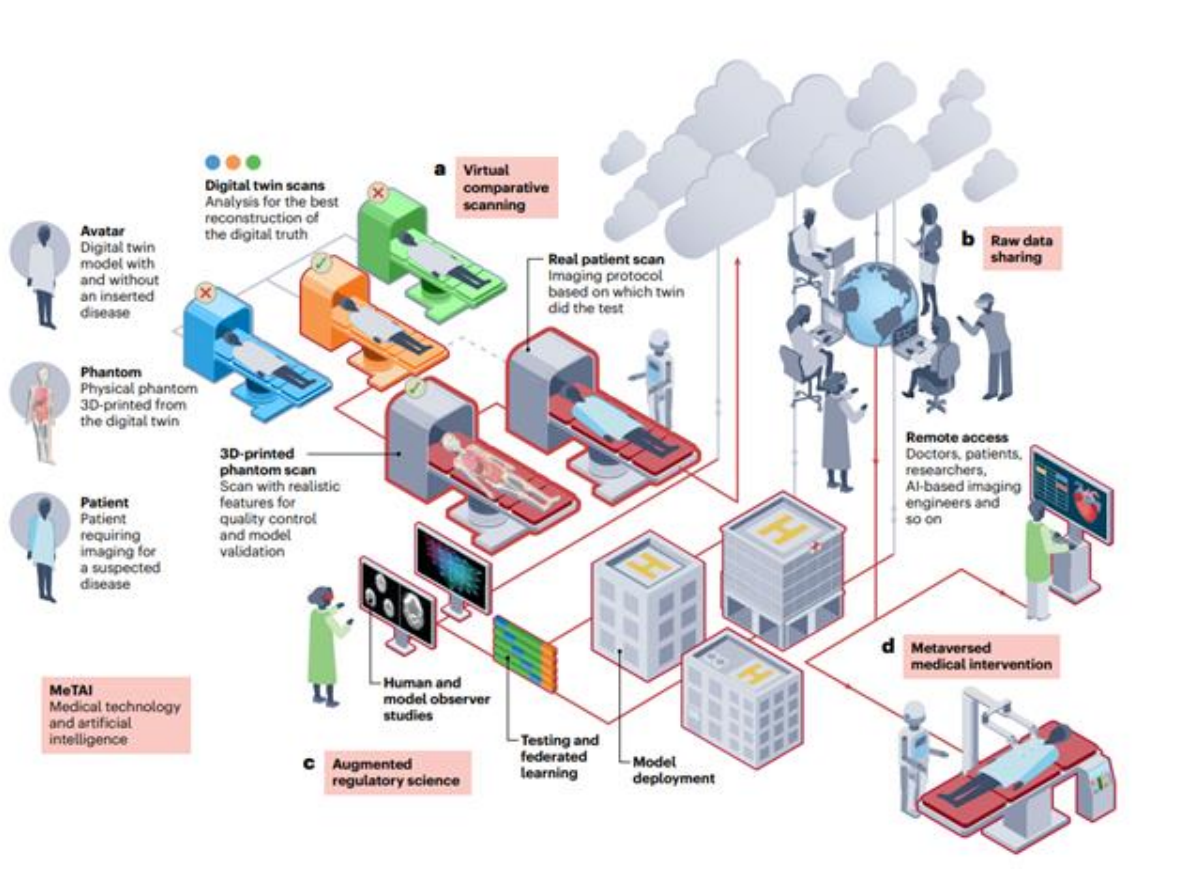


Figura 19. Descrizione del processo: a) scansione comparativa virtuale (per trovare la migliore tecnologia di *imaging* in una situazione specifica); b) condivisione dei dati grezzi (per consentire un accesso aperto e controllato ai dati grezzi tomografici); c) scienza conoscitiva aumentata (per estendere le sperimentazioni cliniche virtuali in termini di portata e durata); d) intervento medico in “metaverso” (per eseguire un intervento medico aiutato dal metaverso). In un’implementazione esemplare di questo ecosistema, prima che un paziente venga sottoposto a una vera Tomografia Computerizzata, le sue scansioni vengono simulate su varie macchine virtuali per trovare il miglior risultato di *imaging*. (a) Sulla base di queste conoscenze viene eseguita una vera e propria scansione. Quindi, le immagini del metaverso vengono trasferite al team di assistenza medica del paziente e, previo consenso del paziente e in base a protocolli di calcolo sicuri, le immagini e i dati grezzi tomografici possono essere resi disponibili ai ricercatori (b). Tutte queste immagini e i dati reali e simulati, nonché altre informazioni rilevanti dal punto di vista medico, possono essere integrati nel metaverso e utilizzati in studi clinici aumentati (c). Infine, se clinicamente indicato, il paziente verrà sottoposto a un intervento chirurgico robotico remoto assistito dal metaverso e seguito nel metaverso per la riabilitazione (d)⁹⁶.

⁹⁵ Cfr. WANG *et al.* 2022.

⁹⁶ Fonte: WANG *et al.* 2022.

9. CONCLUSIONI

Abbiamo visto che l'utilizzo dell'intelligenza artificiale, della realtà virtuale e del Metaverso in medicina porterà a traguardi sempre più entusiasmanti, aumentando le potenzialità del medico, in quanto queste tecnologie fungono già oggi da estensioni e amplificazioni dei suoi sensi. Inoltre lo coadiuveranno sia per la loro velocità di elaborazione e di trasferimento delle informazioni, sia nella precisione delle diagnosi e nella formulazione delle adeguate terapie, sino a effettuare predizioni prognostiche sul decorso e l'evoluzione di determinati quadri morbosi o l'insorgere di eventuali patologie. Nel bel mezzo di tutte queste tecnologie innovative e sempre più performanti, la figura professionale del medico rifulgerà in maniera sempre più importante, essenziale e centrale del processo ergonomico, cioè antropocentrico, di studio, prevenzione e cura riguardo alle malattie delle persone. E la sua arma più importante consisterà nella forma di comunicazione empatica riguardo ai suoi assistiti, costantemente memore di aver prestato il proprio giuramento di Ippocrate.

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare per l'attenzione concessaci **IBM Italia** e **Red Hat** per quanto riguarda l'Intelligenza Artificiale e i Gemelli Digitali e **Philips Healthcare** per le specifiche delle grandi apparecchiature diagnostiche.

BIBLIOGRAFIA

BALAJI V., SONG T. A., MALEKZADEH M., HEIDARI P., DUTTA J.
2024, «Artificial Intelligence for PET and SPECT Image Enhancement», *J Nucl Med*, 2 gennaio 2024; 65(1), pp. 4-12, DOI: 10.2967/jnumed.122.265000.

BEKELIS K., CALNAN D., SIMMONS N., MACKENZIE T. A., KAKOULIDES G.
2017, «Effect of an immersive preoperative virtual reality experience on patient reported outcomes: A randomized controlled trial», *Ann. Surg.*, 265 (6), pp. 1068-1073, DOI: 10.1097/SLA.0000000000002094.

BIANCO V., D'AGOSTINO M., PIRONE D., GIUGLIANO G., MOSCA N., DI SUMMA M., SCERRA G., MEMMOLO P., MICCIO L., RUSSO T., STELLA E., FERRARO P.
2023, «Label-Free Intracellular Multi-Specificity in Yeast Cells by Phase-Contrast Tomographic Flow Cytometry», *small methods*, Volume 7, Issue 12, 2300447, <<https://doi.org/10.1002/smt.202300447>>.

GROSSI F.
1999, *Tecnologie per l'Informazione e la Comunicazione, conoscere e comprendere i nuovi media*, Milano, Franco Angeli.

2000, *An Ergonomic Model of Communication*, in *Ergonomic Evaluation of Audio Components and Systems*, presentato alla AES Convention: 108 (February 2000) Paper Number: 5086, Publication Date: February 1, 2000.

2014a, «Human Communication», Kazan State University of Architecture and Engineering, inside the Course “Architecture of Communications”, scaricabile dall’indirizzo web:

<https://www.academia.edu/6654760/GROSSI_Franco_Human_Communication>.

2014b, *The AUAF Model of Communication*, Academia.edu, scaricabile dall’indirizzo web:

<https://www.academia.edu/12200615/The_AUAF_Model_of_Communication>.

2023a, «Ergonomia Medica / Medical Ergonomics», *QuaderniCIRD*, 26 (2023), pp. 33-56.

2023b, «Diseño Industrial y Comunicación Visual vs. Calidad Percibida / Industrial Design and Visual Communication vs. Perceived Quality, by A3manos», *Revista académica de la Universidad de La Habana*, Instituto Superior de Diseño (ISDi), vol. 10, No. 20, Julio - Diciembre 2023, pp. 16-22.

2023c, *Safety, Quality and Ergonomics Applied to Medicine*, presented at the XI International Scientific and Practical Forum *Effective Management Systems: Quality. Circular Economy. Technological Sovereignty*, Sessione *Qualità, sicurezza e innovazioni in medicina*, Kazan, November 23, 2023.

KAPLAN N., MARQUES M., SCHARF I., YANG K., ALKUREISHI L., PURNELL C., PATEL P., ZHAO L.

2023, «Virtual Reality and Augmented Reality in Plastic and Craniomaxillofacial Surgery: A Scoping Review», *Bioengineering Review*, Basel CH, 2023 Apr., 10(4): 480. Published online 2023 Apr 17. DOI: 10.3390/bioengineering10040480.

KWO L.

2021, «The power of AI in surgery», *Mobi Health News*, Australia, Global Edition, Digital Health, November 23, scaricabile dal sito web: <<https://www.mobihealthnews.com/news/contributed-power-ai-surgery>>.

LINDGREN BELAL S., FRANTZ S., MINARIK D., ENQVIST O., WIKSTRÖM E., EDENBRANDT L., TRÄGÅRDH E.

2024, «Applications of Artificial Intelligence in PSMA PET/CT for Prostate Cancer Imaging», *ELSEVIER, Seminars in Nuclear Medicine*, 54 (1), pp. 141-149, <<https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2023.06.001>>.

MARR B.

2023, «The Difference Between Generative AI And Traditional AI: An Easy Explanation For Anyone», *Forbes*, Jersey City, New Jersey, USA, Jul 24, 2023, scaricabile dal sito:

<<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2023/07/24/the-difference-between-generative-ai-and-traditional-ai-an-easy-explanation-for-anyone/?sh=319f7af8508a>>.

MARTÍNEZ-SELLÉS M., MARINA-BREYSSE M.

2023, «Current and Future Use of Artificial Intelligence in Electrocardiography», *J Cardiovasc Dev Dis.*, National Library of Medicine, USA, 2023 Apr 17, 10(4):175. DOI: 10.3390/jcdd10040175.

MCLUHAN M.

2001 (seconda edizione), *Understanding Media: The Extension of Man*, Milton Park, Abingdon (U.K.), Routledge.

MCLUHAN M., POWERS B. R.

1992 (prima edizione), *The Global Village: Transformations in World Life and Media in the 21st Century*, Oxford University Press (U. K.).

SHANNON C. E.

1948, «A Mathematical Theory of Communication», *Bell System Technical Journal*, Vol. 27, pp. 379-423, 623-656, scaricabile dall'indirizzo web:

<[https:// people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf](https://people.math.harvard.edu/~ctm/home/text/others/shannon/entropy/entropy.pdf)>.

SHIMRON E., PERLMAN O.

2023, «AI in MRI: Computational Frameworks for a Faster, Optimized, and Automated Imaging Workflow», *Bioengineering (Basel)*, 2023 Apr 20, 10(4):492, doi: 10.3390/bioengineering10040492.

SHU H., LIANG R., LI Z., GOODRIDGE A., ZHANG X., DING H., NAGURURU N., SAHU M., CREIGHTON F. X., TAYLOR R. H., MUNAWAR A., UNBERATH M.

2023 *Twin-S: A Digital Twin Paradigm for Skull Base Surgery*, Johns Hopkins Medicine University, Baltimore, MD, United States. arXiv:2211.11863v2 [cs.HC], presentato il 7 Maggio 2023 alla 14^a *International Conference on Information Processing in Computer-Assisted Interventions (IPCAI)*, tenutasi a Monaco di Baviera.

SIONTIS K. C., NOSEWORTHY P. A., ATTIA Z. I., FRIEDMAN P. A.

2021, «Artificial intelligence-enhanced electrocardiography in cardiovascular disease management», *Nat. Rev. Cardiol.*, 18, pp. 465-478, scaricabile dal sito web:

<<https://doi.org/10.1038/s41569-020-00503-2>>.

VAID A., JIANG J., SAWANT A., LERAKIS S., ARGULIAN E., AHUJA Y., LAMPERT J., CHARNEY A., GREENSPAN H., NARULA J., GLICKSBERG B., NADKARNI GIRISH N.

2023, «A foundational vision transformer improves diagnostic performance for electrocardiograms», *npj Digit. Med.*, 6, 108, scaricabile dal sito web <<https://doi.org/10.1038/s41746-023-00840-9>>.

WANG G., BADAL A., JIA X., MALTZ J. S., MUELLER K., MYERS K. J., NIU C., VANNIER M., YAN P., YU Z., ZENG R.

2022, «Development of metaverse for intelligent healthcare», *Nature Machine Intelligence*, 4, pp. 922-929, (2022 November), scaricabile dal sito web: <<https://doi.org/10.1038/s42256-022-00549-6>>.

WATZLAWICK P., BAVELAS J. B., JACKSON D. D.

2014 (riedizione), *Pragmatics of Human Communication: A Study of Interactional Patterns, Pathologies and Paradoxes*, WW Norton & Co, N.Y. (N.Y., USA).

SITI WEB

CAROBENE A.

Realtà virtuale,

<<https://www.treccani.it/enciclopedia/realta-virtuale/>>, sito consultato il 9.1.2024.

GROSSI F.

Un modello della comunicazione in chiave ergonomica,

<<https://sites.units.it/ergocom/docs/it/1.0.html>>, sito consultato il 9.1.2024.

ISTITUTO EUROPEO DI ONCOLOGIA – IEO

Radiomica: un passo verso la medicina di precisione,

<<https://www.ieo.it/it/CHI-SIAMO/Come-siamo-organizzati/Dipartimenti/Dipartimento-di-Immagini-e-Scienze-Radiologiche/Radiomica/>>, sito consultato il 9.1.2024.

SILEO F.,

Cos'è il data lake, quali vantaggi offre e come si differenzia dal data warehouse,

<<https://www.bigdata4innovation.it/big-data/cosae-il-data-lake-quali-vantaggi-offre-e-come-si-differenzia-dal-data-warehouse/>>, sito consultato il 9.1.2024.

TRECCANI

Big Data,

<https://www.treccani.it/vocabolario/big-data_res-007d6462-8995-11e8-a7cb-00271042e8d9_%28Neologismi%29/>, sito consultato il 9.1.2024.