Digital twin framework: technical implementation in medicine and radiology

Simone Novelli

Università degli Studi di Roma Sapienza

AGENDA

1. Trasformazione del Sistema Sanitario
2. Healthcare 5.0: Digital Twin
3. DT Technology
4. Come progettare un sistema per il DT
5. DT VS Monomodal AI
6. DT applicazioni mediche
7. La nostra esperienza
8. Sfide
9. Conclusioni

Trasformazione del Sistema Sanitario

Healthcare 1.0

Sistema sanitario tradizionale caratterizzato da una gestione manuale delle cartelle, accesso limitato alle informazioni mediche e approcci al trattamento prevalentemente reattivi

Healthcare 2.0

L'avvento della tecnologia ha introdotto le cartelle sanitarie elettroniche, consentendo la memorizzazione e il recupero digitale delle informazioni sui pazienti.

Healthcare 3.0

L'attenzione si è spostata verso il coinvolgimento del paziente e la medicina personalizzata. Questa fase ha enfatizzato la cura preventiva, l'educazione del paziente e l'uso dell'analisi dei dati per una migliore presa di decisioni

Healthcare 4.0

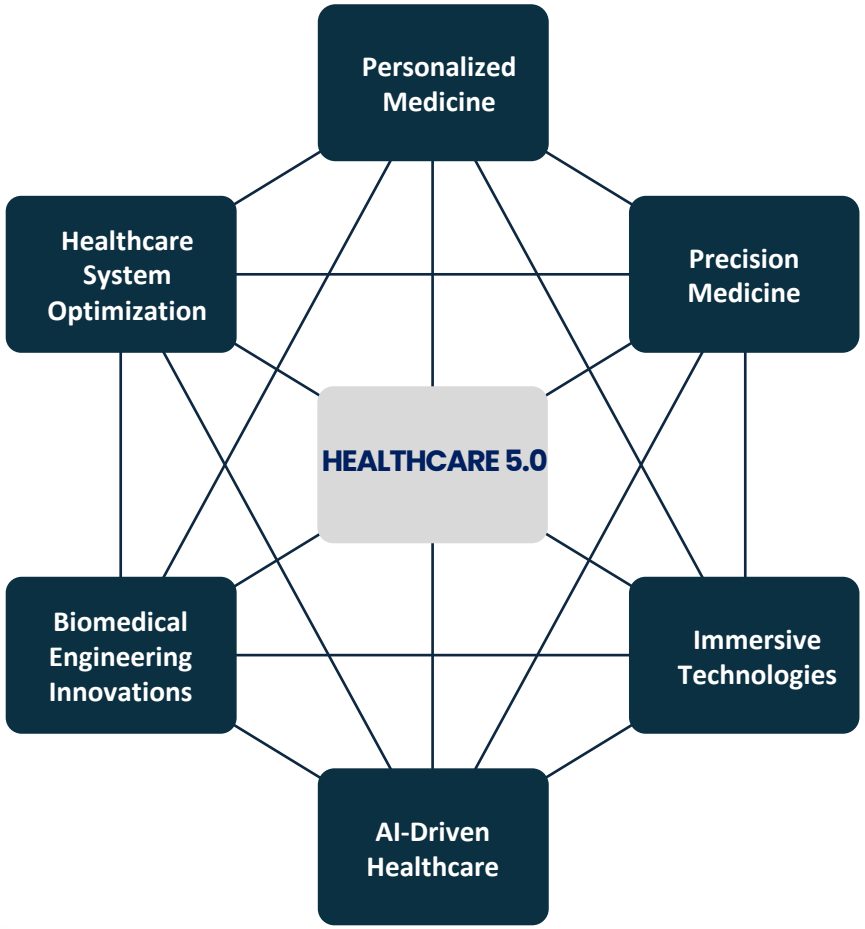
Caratterizzato dall'integrazione delle tecnologie. Pone l'accento sull'interoperabilità e lo scambio di dati tra diversi sistemi e dispositivi sanitari.

Healthcare 5.0

Rappresenta il futuro dell'assistenza sanitaria, caratterizzato da una maggiore integrazione della tecnologia, dell'intelligenza artificiale (AI) e del processo decisionale basato sui dati. Si concentra sul raggiungimento di un'assistenza sanitaria olistica attraverso tecnologie avanzate come i gemelli digitali.

https://www.linkedin.com/pulse/evolution-healthcare-transitioning-from-10-40-padam-kafle/

Healthcare 5.0: Digital Twin



- **Medicina Personalizzata:** Personalizzare i trattamenti e gli interventi secondo le caratteristiche uniche di ciascun paziente

- **Monitoraggio Real Time:** permette un monitoraggio continuo dei parametri di salute del paziente

- **Modelli Predittivi**: L'analisi basata sull'IA attraverso il DT consente la modellazione predittiva della progressione della malattia e dei risultati del trattamento

- **Ottimizzazione dei Processi**: Sfruttando I dati e simulazioni virtuali, il DT ottimizza i processi di erogazione dell'assistenza sanitaria, migliora l'allocazione delle risorse e migliora l'efficienza operativa complessiva

Priniciple	Description
1	Interoperabilità
2	Virtualizzazione
3	Decentramento
4	Real time
5	Modularità
6	Sicurezza e protezione

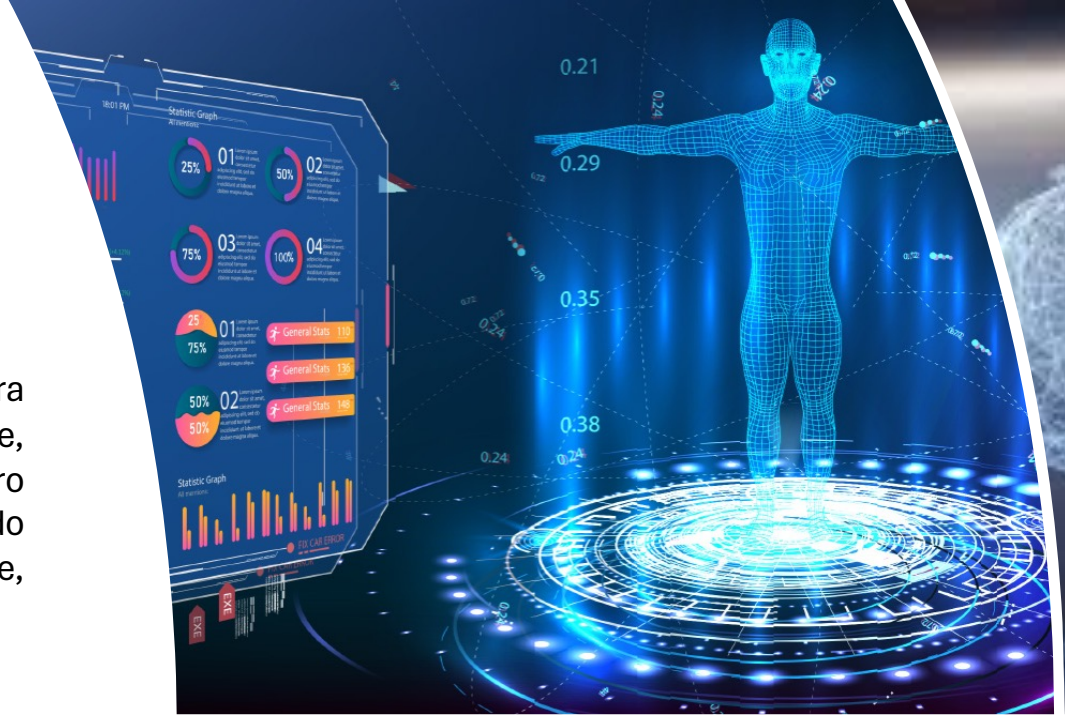
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35991021/

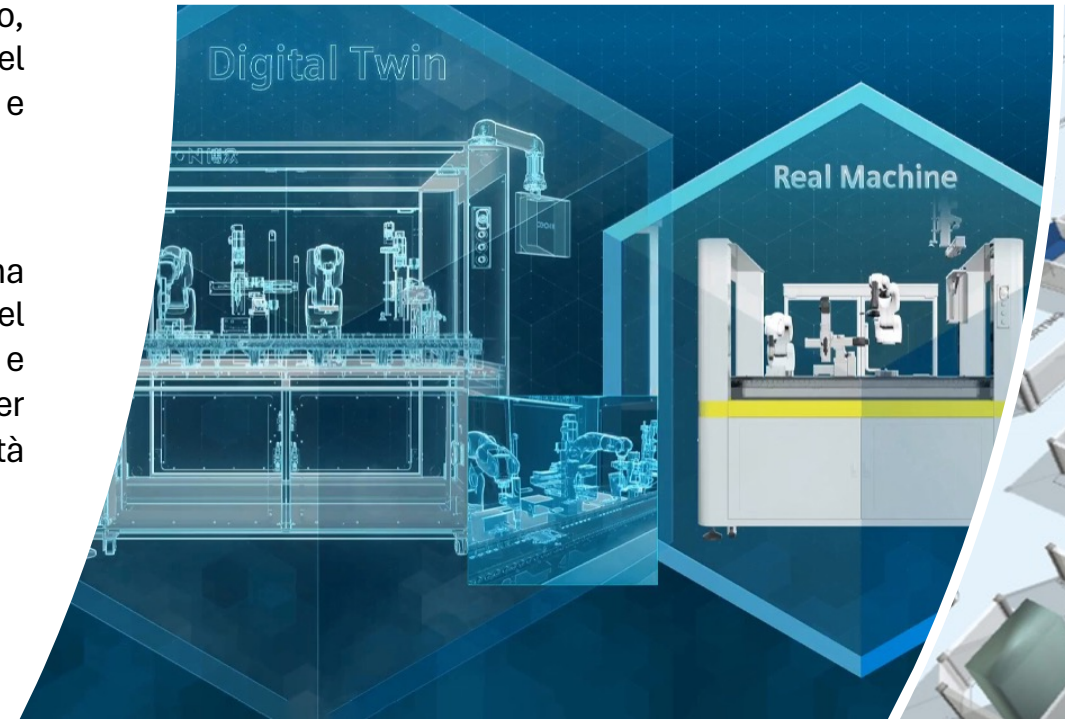
DIGITAL TWIN TECHNOLOGY

- Il digital twin è un sistema che integra dati in tempo reale da entità fisiche, processi o sistemi con le loro rappresentazioni virtuali utilizzando tecniche avanzate di modellazione, simulazione e analisi dei dati.

- Consente il monitoraggio continuo, l'analisi e la previsione del comportamento, delle prestazioni e delle condizioni dell'entità fisica

- I DT mirano a fornire una rappresentazione olistica e dinamica del mondo fisico, supportando intuizioni e decisioni basate sui dati per un'efficienza, sicurezza e sostenibilità migliorate.





Fattori di crescita che promuovono il futuro dell’intelligenza artificiale (DT) nel settore sanitario

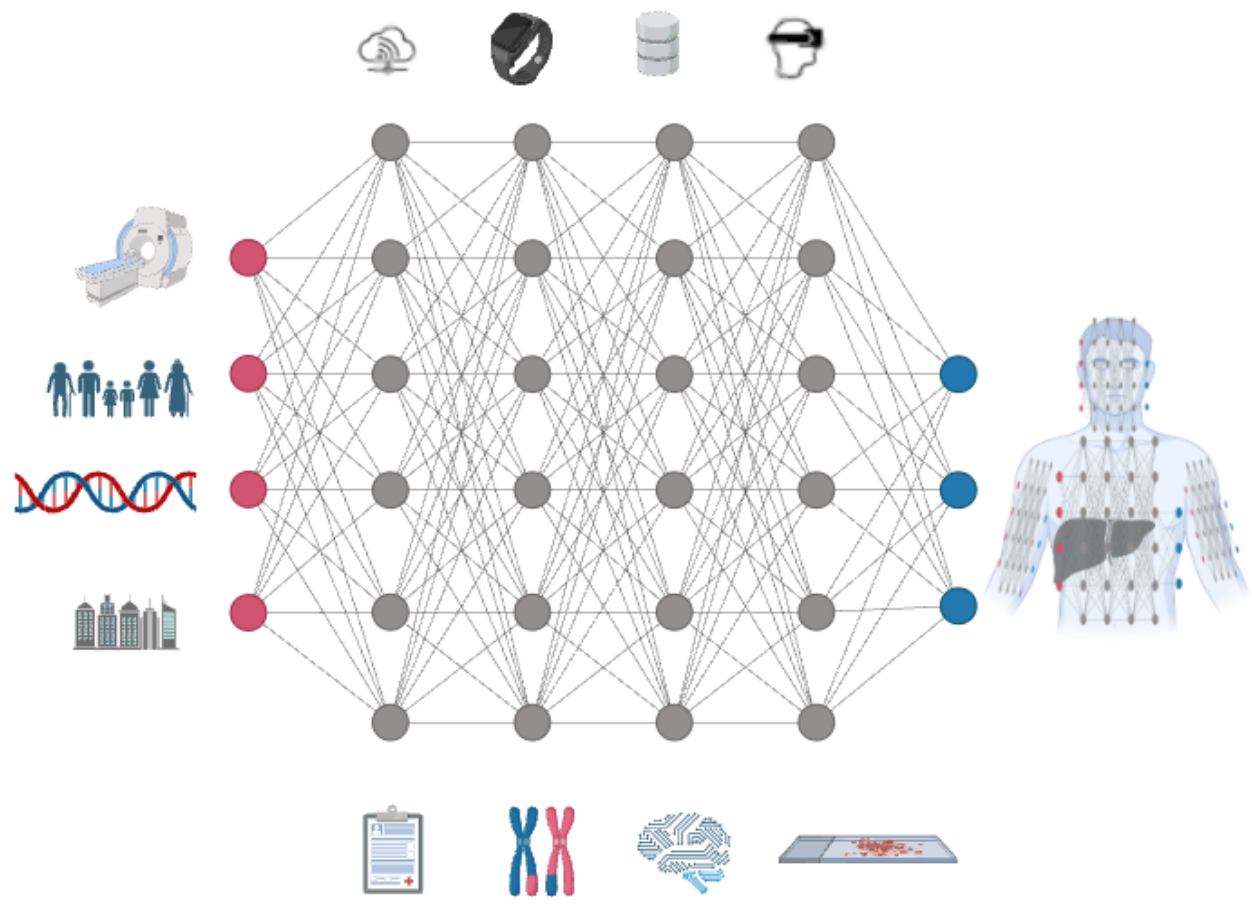
Fattori	Descrizione	Impatto
01 Crescita dei dati sanitari	○ I dati sanitari stanno crescendo grazie all’uso di cartelle cliniche elettroniche , dispositivi indossabili e altri dispositivi medici	○ Gli algoritmi AI utilizzano questi dati per migliorare: ○ Diagnosi Trattamento ○ Prevenzione delle malattie
02 Progressi nelle tecnologie di machine learning e deep learning	○ Le due tecniche di intelligenza artificiale più potenti	○ Utilizzati per analizzare e identificare modelli che sarebbe difficile trovare utilizzandometodi tradizionali
03 Sviluppo di cloud computing	○ Possibilità di archiviare ed elaborare grandi quantità di dati in modo rapido ed efficiente	○ Rendendo disponibili algoritmi di intelligenza artificiale su larga scala in contesti sanitari
04 Crescente domanda di medicina personalizzata	○ Trattamento medico personalizzato per il singolo paziente	○ Identificare i pazienti a rischio di determinate malattie e sviluppare piani di trattamento personalizzati

From monomodal to multimodal: The DT innovation

nature medicine
REVIEW ARTICLE
https://doi.org/10.1038/s41591-022-01981-2
Check for updates

Multimodal biomedical AI

Julián N. Acosta[1], Guido J. Falcone[1], Pranav Rajpurkar[2,4] and Eric J. Topol[3,4]



La maggior parte delle applicazioni attuali dell'intelligenza artificiale in medicina ha affrontato compiti strettamente definiti utilizzando una singola fonte di dati

Monomodal

Multimodal

La crescente disponibilità di dati biomedici ha preparato il terreno per lo sviluppo di soluzioni di intelligenza artificiale multimodali che catturano la complessità della salute e delle malattie umane.

Applicazioni in medicina

ESC European Society of Cardiology
European Heart Journal (2020) **41**, 4556–4564
doi:10.1093/eurheartj/ehaa159

STATE OF THE ART REVIEW
Disease management

The 'Digital Twin' to enable the vision of precision cardiology

Biomechanics and Modeling in Mechanobiology (2021) 20:449–465
https://doi.org/10.1007/s10237-020-01393-6

ORIGINAL PAPER

Check for updates

Towards enabling a cardiovascular digital twin for human systemic circulation using inverse analysis

Neeraj Kavan Chakshu[1] · Igor Sazonov[1] · Perumal Nithiarasu[1]

Maintaining soldier musculoskeletal health using personalised digital humans, wearables and/or computer vision

David G. Lloyd • David J. Saxby • Claudio Pizzolato • ... Daniel Devaprakash • Gavin Lenton • Rodney S. Barrett • Show all authors

Open Access • Published: April 15, 2023 • DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsams.2023.04.001 •

Check for updates

Li *et al. Genome Medicine* (2022) 14:48
https://doi.org/10.1186/s13073-022-01048-4

Genome Medicine

RESEARCH Open Access

A dynamic single cell-based framework for digital twins to prioritize disease genes and drug targets

Check for updates

Xinxiu Li[1†], Eun Jung Lee[1,2†], Sandra Lilja[1†], Joseph Loscalzo[3,4], Samuel Schäfer[1], Martin Smelik[1], Maria Regina Strobl[5], Oleg Sysoev[6], Hui Wang[7], Huan Zhang[1], Yelin Zhao[1], Danuta R. Gawel[1†], Barbara Bohle[5†] and Mikael Benson[1,8,9*†]

RESEARCH ARTICLE

Towards a shape-performance integrated digital twin for lumbar spine analysis

[version 1; peer review: 1 approved, 1 not approved]

Xiwang He, Yiming Qiu, Xiaonan Lai, Zhonghai Li, Liming Shu, Wei Sun, Xueguan Song

mathematics MDPI

Article

An Integrated Workflow for Building Digital Twins of Cardiac Electromechanics—A Multi-Fidelity Approach for Personalising Active Mechanics

Alexander Jung [1], Matthias A. F. Gsell [1,2], Christoph M. Augustin [1,3,*] and Gernot Plank [1,3]

In Radiologia?

Il ruolo della radiologia

I dati per lo sviluppo del DT possono essere derivati da molte specialità mediche diverse; tuttavia, la radiologia si distingue per molteplici fattori

1. Fa ampio uso di diverse metodiche di imaging come ecografia, TC, risonanza magnetica e raggi X che raffigurano con precisione lo stato anatomopatologico del paziente

Il ruolo della radiologia

2. Produce una grande quantità di dati longitudinali in diversi intervalli di tempo(big data)
3. L'imaging consente inoltre di produrre e archiviare informazioni quantitative, come misurazioni morfologiche e parametri funzionali

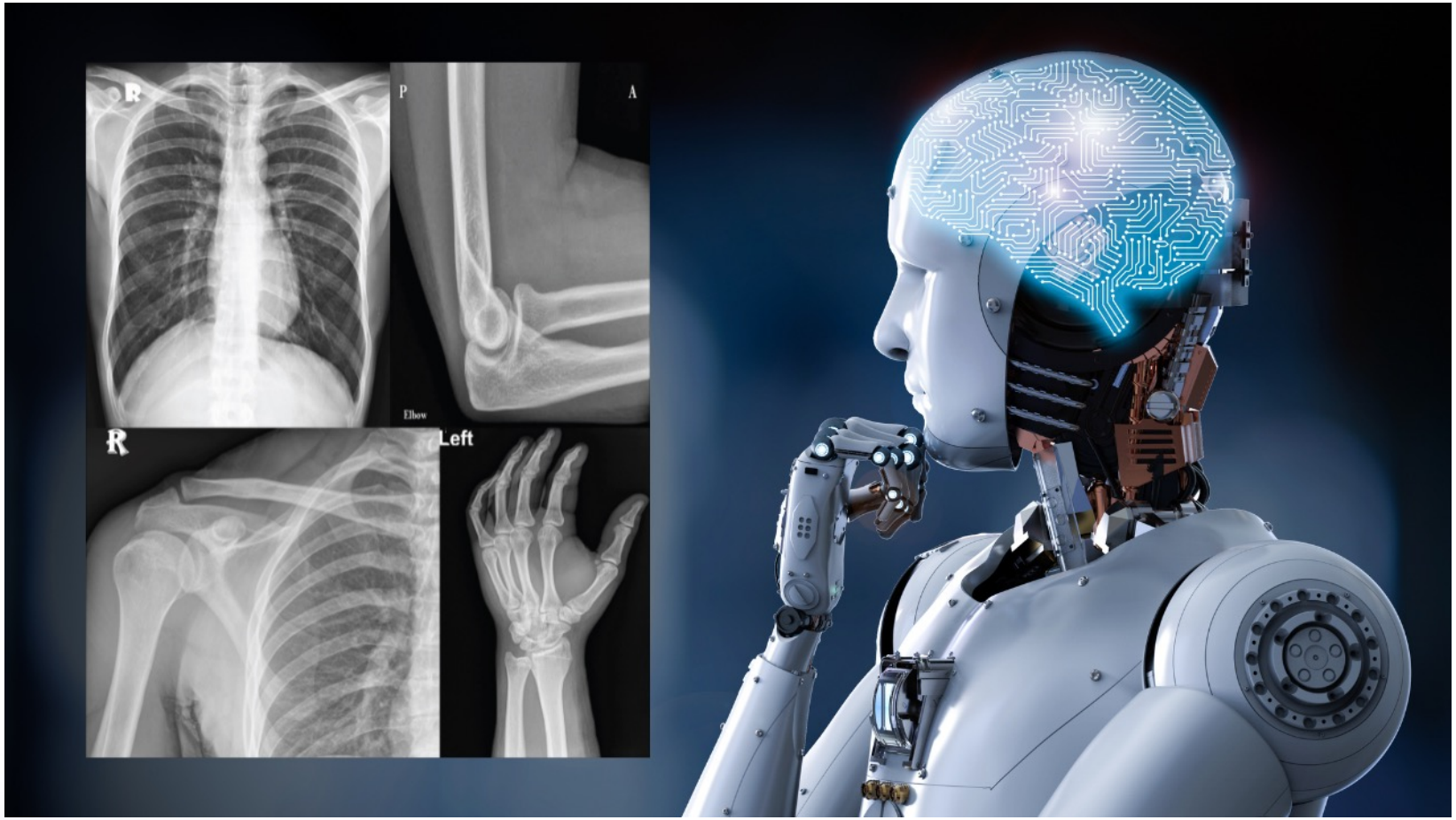
QUANTITATIVE RESEARCH

EIBALL
EUROPEAN IMAGING BIOMARKERS ALLIANCE

Quantitative Imaging Biomarkers Alliance
RSNA

The role of Radiology

I radiologi, da sempre in prima linea nell'era digitale in medicina, possono guidare l'introduzione della tecnologia del digital twin in sanità.



You
is radiology important for digital twin

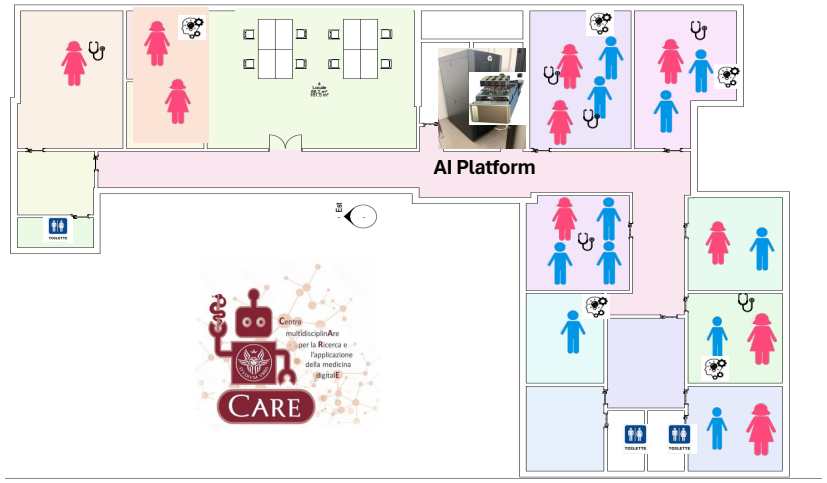
ChatGPT
Yes, radiology plays a crucial role in the development and implementation of digital twin technology in healthcare. Here's how:

1. **Image Acquisition**: Radiological imaging modalities such as X-rays, computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), and ultrasound provide detailed anatomical and physiological information about patients. These images serve as the foundation for creating digital twins of organs, tissues, or entire patients.
2. **Data Source**: Radiological images serve as a primary source of data for constructing digital twins. These images contain valuable information about the structure, function, and pathology of biological systems, which can be used to create accurate computational models.
3. **Model Validation**: Radiological images are used to validate and refine computational models used in digital twin technology. By comparing simulated data generated by the digital twin with actual radiological images, researchers can assess the accuracy and fidelity of the model and make necessary adjustments to improve its performance.
4. **Treatment Planning**: Radiological imaging is essential for treatment planning and simulation in healthcare. Digital twins can incorporate radiological images to simulate the effects of different treatment strategies, such as surgery, radiation therapy, or drug therapy, on patient outcomes. This enables clinicians to optimize treatment plans and personalize interventions based on individual patient characteristics.
5. **Disease Monitoring**: Radiological imaging is used for longitudinal monitoring of disease progression and treatment response. By integrating radiological data into digital twins, healthcare providers can track changes in disease status over time, assess treatment efficacy, and adjust interventions accordingly.

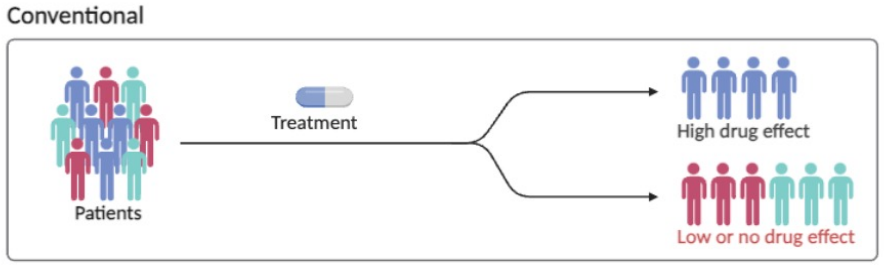
In summary, radiology provides critical imaging data that serves as the foundation for creating and validating digital twins in healthcare. By leveraging radiological imaging modalities, digital twin technology can enhance patient care, support treatment planning, and improve our understanding of disease processes.

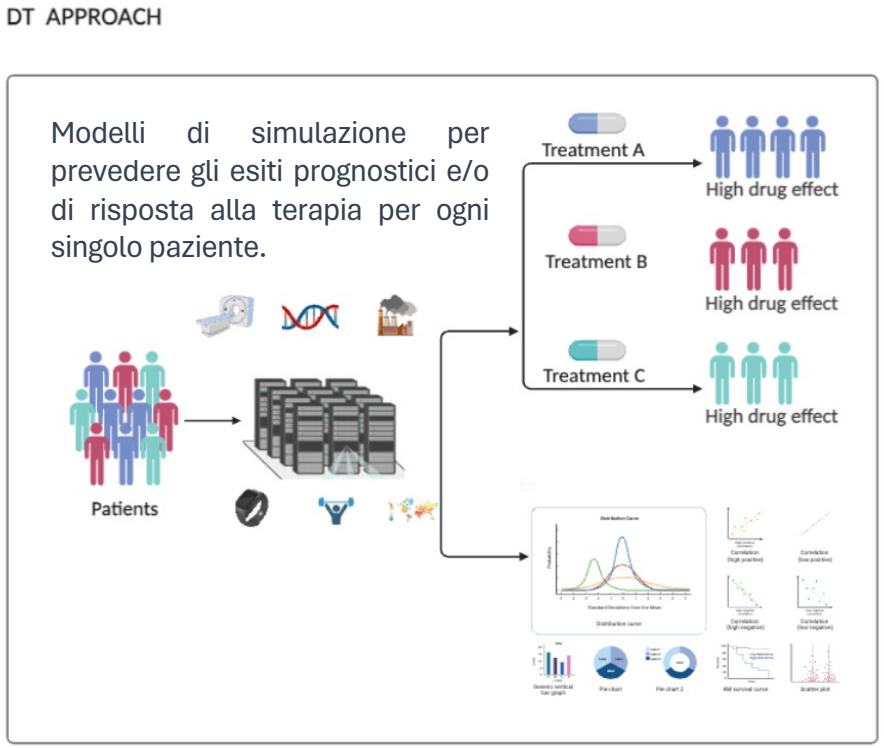
La nostra Esperienza

Ministero dell'Università e della Ricerca | Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA | PNC Piano nazionale per gli investimenti complementari al PNRR Ministero dell'Università e della Ricerca | D3-4 HEALTH FOR HEALTH Digital Driven Diagnostics, prognostics and therapeutics for sustainable Health care



D1	CANCRO DEL COLON METASTATICO
D2	CANCRO DEL FEGATO E DEL DOTTO BILIARE
D3	TUMORI DEL SISTEMA NERVOSO CENTRALE
D4	DIABETE TIPO I
D5	SCLEROSI MULTIPLA





Idealmente una replica nella vita reale di un corpo umano che mostra tutti gli esiti fisiologici e patologici nel presente e nel futuro, tutti mappati in una grafica altamente dettagliata.

- Integrazione dei dati
- Monitoraggio Real-time
- Simulazione e analisi predittiva
- Medicina personalizzata
- Ottimizzazione dei dispositivi medici

Incidere sulla gestione dei pazienti attraverso lo sviluppo dei Digital Twins

D3-4-HEALTH
FOR HEALTH
Digital Driven Diagnostics, prognostics and therapeutics for sustainable Health care

Fornire un registro dettagliato sui profili digitali specifici della malattia che mostrano lo stesso gruppo di caratteristiche sul DT, fornendo dati prognostici

Consentire ai medici di determinare le terapie ottimali, di migliorare i risultati dei pazienti e di massimizzare l'efficienza, con conseguente riduzione dei costi ospedalieri

Evitare di utilizzare pazienti reali con i relativi rischi e problemi di consenso aiutando a determinare la strategia diagnostica e di monitoraggio più efficace

Creazione di campioni virtuali di gruppi di pazienti in modo che gli studi randomizzati e controllati possano essere condotti più velocemente e più facilmente

Fornire un ambiente sicuro e protetto per i test

OBIETTIVI PRINCIPALI

Le tecnologie innovative implementate in questo progetto come sistema di e-health forniranno un impatto temporale specifico sulla salute dei cittadini e sui sistemi sanitari nazionali

Short term

La raccolta e l'analisi integrata di grandi set di dati esistenti, omogenei e di alta qualità, la digitalizzazione della cura del paziente

Medium term

Sarà possibile sviluppare modelli tecnologici innovativi digitali validi, robusti e strutturati come approcci al paziente, per migliorare la cura del paziente

Long term

La sopravvivenza della popolazione migliorerà utilizzando meglio le risorse disponibili, alleviando la pressione sulle strutture, riducendo la mobilità dei pazienti e promuovendo la compliance dei pazienti alle prescrizioni terapeutiche e di monitoraggio.

Potenziali sfide che ostacolano la crescita dell'intelligenza artificiale nel settore sanitario

Sfide	Impato negativo
Data privacy E sicurezza	L'intelligenza artificiale nel settore sanitario raccoglie e analizza grandi quantità di datidei pazienti, che potrebbero essere vulnerabiliagli attacchi informatici.
Bias	Gli algoritmi di intelligenza artificiale possono produrre bias, il che potrebbe portare a comportamenti ingiusti o risultati discriminatori per i pazienti
Macanza di trasparenza	Gli algoritmi di intelligenza artificiale sono spesso complessi e il che può rendere difficile capire come prendono le decisioni (Black Box)
Costi	Lo sviluppo e l'implementazione dell'IA nel settore sanitario è molto costoso
Regolamenti	L'intelligenza artificiale nel settore sanitario è soggetta a regolamentazione molto stringente, che può rallentare adozione di queste tecnologie

Soluzioni per una crescita graduale dell'intelligenza artificiale nel settore sanitario

Challenge	Descrizione
01 Data privacy E sicurezza	Le organizzazioni sanitarie possono implementare una solida sicurezza dei dati misure quali la crittografia e il controllo degli accessi
02 Bias	Sviluppare e testare algoritmi di intelligenza artificiale con diversi set di dati di pazienti, e monitorare gli algoritmi per individuare eventuali bias
03 Macanza di trasparenza	Rendere gli algoritmi di intelligenza artificiale più trasparenti spiegando come funzionano e fornendo ai medici strumenti per interpretare i risultati degli algoritmi
04 Costi	Collaborare con altre organizzazioni per condividere i costi di sviluppo e implementando tecnologie di intelligenza artificiale
05 Regolamenti	Collaborare con le autorità di regolamentazione per sviluppare linee guida chiare per l'utilizzo di L'intelligenza artificiale in sanità

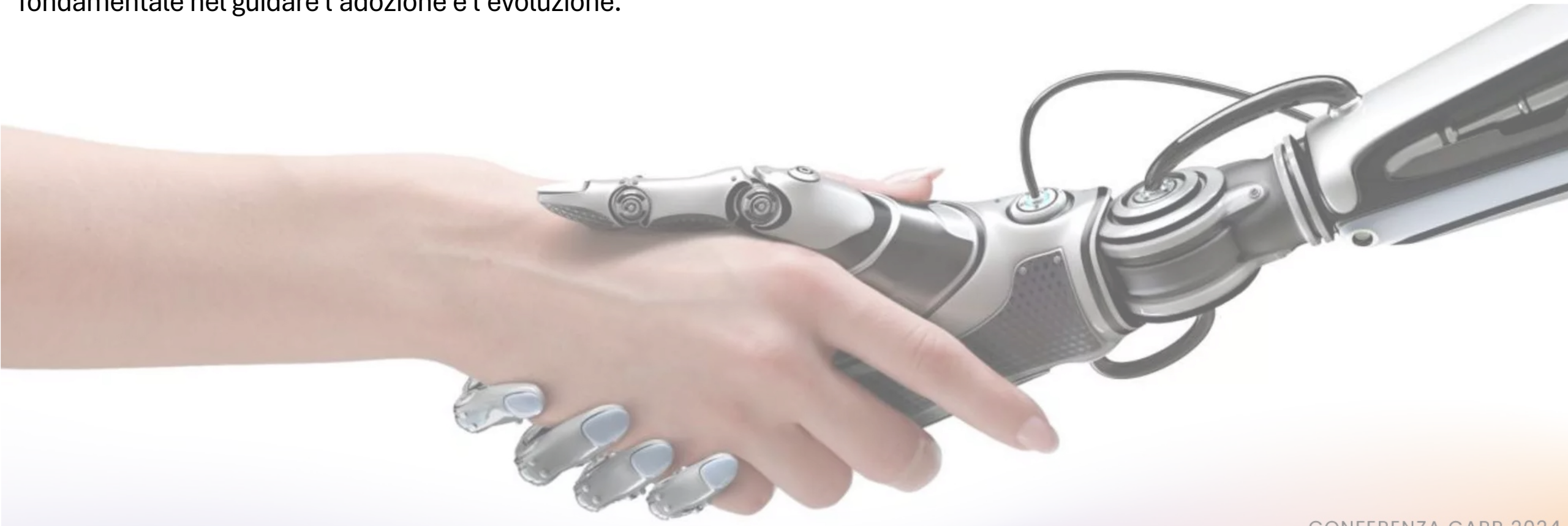
Key Takeaway

- Il DT offre un monitaraggio real-time e e simulazione in tempo reale
- Integrando dati provenienti da varie fonti, il DT migliorano la medicina personalizzata e consentono interventi su misura.
- Facilitano l'analisi predittiva, consentendo agli operatori sanitari di anticipare potenziali problemi, ottimizzare i piani di trattamento e migliorare i risultati dei pazienti.
- I gemelli digitali promuovono la collaborazione tra gli operatori sanitari, favorendo approcci interdisciplinari alla diagnosi, al trattamento e alla ricerca.

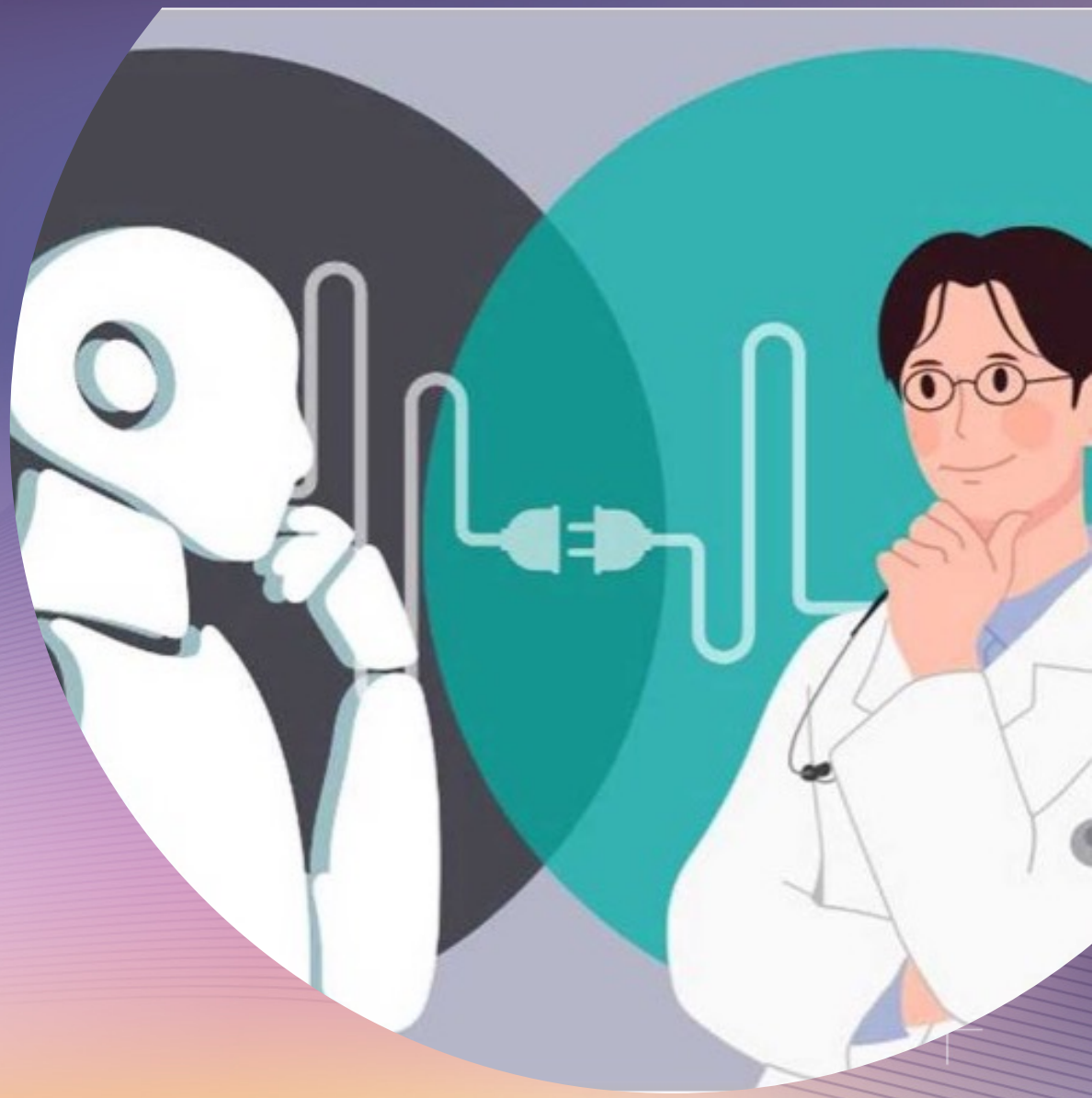
- Problemi di privacy e sicurezza
- Complessità tecnica e sfide di interoperabilità: integrazione di dati provenienti da diverse fonti e garanzia di compatibilità
- Fabbisogno di costi e risorse
- Considerazioni etiche: l’uso dei DT solleva questioni etiche riguardanti il consenso, la trasparenza e l’uso responsabile dei dati dei pazienti, richiedendo un’attenta navigazione per garantire l’allineamento con gli standard etici e i diritti dei pazienti.
- Complessità normative e legali: conformità alle normative e agli standard sanitari

Conclusioni

L’integrazione della tecnologia del DT nel settore sanitario offre progressi promettenti ma pone anche sfide. Affrontare le preoccupazioni relative alla privacy, alla sicurezza e all’etica è fondamentale. I prossimi passi prevedono il miglioramento delle capacità algoritmiche, la standardizzazione dei protocolli e la conduzione di test nel mondo reale. L’integrazione con le tecnologie emergenti e i programmi di formazione per gli operatori sanitari sono essenziali. La collaborazione tra le parti interessate sarà fondamentale nel guidare l’adozione e l’evoluzione.



THANK YOU



GET IN TOUCH

@Simo_Novelli

valeria.panebianco@uniroma1.it
simone.novelli@uniroma1.it
unitacare.sapienza@uniroma1.it