

volume 13

ISSUE 4

2025 novembre



SOCIETÀ  
SCIENTIFICA  
DI MEDICINA  
INTERNA

**FADOI**

FEDERAZIONE  
DELLE ASSOCIAZIONI  
DEI DIRIGENTI  
OSPEDALIERI  
INTERNISTI

# QUADERNI

## dell'Italian Journal of Medicine

*A Journal of Hospital  
and Internal Medicine*

Editor in Chief  
Michele Meschi

The official journal of the Federation of Associations  
of Hospital Doctors on Internal Medicine (FADOI)

### Le frontiere dell'intelligenza artificiale in medicina interna

Guest Editors: Daniela Tirota, Roberto Nardi



### EDITOR-IN-CHIEF

Michele Meschi, *UOC Medicina Interna a Indirizzo Diabetologico, Azienda USL Modena, Italy*

### PRESIDENTE NAZIONALE FADOI

Francesco Dentali, *Varese, Italy*

### PRESIDENTE FONDAZIONE FADOI

Dario Manfellotto, *Roma, Italy*

### EDITOR-IN-CHIEF

#### ITALIAN JOURNAL OF MEDICINE E ITALIAN JOURNAL OF MEDICINE - QUADERNI

Michele Meschi, *Modena, Italy*

### ASSOCIATE EDITORS

Laurent Bertoletti, *Saint-Étienne, France*  
Benhood Bikdeli, *New Haven, USA*  
Alessandra Bura Riviere, *Toulouse, France*  
Francesco Dentali, *Varese, Italy*  
Antonio Gasbarrini, *Roma, Italy*  
David Jiménez Castro, *Madrid, Spain*  
Egidio Imbalzano, *Messina, Italy*  
Vittorio Maio, *Philadelphia, USA*  
Giuseppe Mancia, *Milano, Italy*  
Dario Manfellotto, *Roma, Italy*  
Lucia Mazzolai, *Lausanne, Switzerland*

### EDITORIAL BOARD

Mario Angelico, *Roma, Italy*  
Giuseppe Camporese, *Padova, Italy*  
Edoardo Carretto, *Reggio Emilia, Italy*  
Pierpaolo Di Micco, *Napoli, Italy*  
Luigi Gennari, *Siena, Italy*  
Paola Gnerre, *Acqui Terme (AL), Italy*  
Luca Miele, *Roma, Italy*  
Andrea Montagnani, *Grosseto, Italy*  
Alberto Palazzuoli, *Siena, Italy*  
Antonello Pani, *Cagliari, Italy*  
Ombretta Para, *Firenze, Italy*  
Paola Piccolo, *Roma, Italy*  
Fulvio Pomerio, *Verduno (CN), Italy*  
Giuseppe Regolisti, *Parma, Italy*  
Giovanni Maria Rossi, *Parma, Italy*  
Massimo Siciliano, *Roma, Italy*  
Antonio Spanevello, *Tradate (VA), Italy*  
Bruno Sposato, *Grosseto, Italy*  
Flavio Tangianu, *Varese, Italy*

### ADVISORY BOARD

Dimitriy Arioli, *Modena, Italy*  
Valentina Bambara, *Catanzaro, Italy*  
Vanessa Bianconi, *Perugia, Italy*  
Pietro Bocchi, *Fidenza (PR), Italy*  
Aldo Bonaventura, *Varese, Italy*  
Roberta Buso, *Treviso, Italy*  
Maurizio Cavalieri, *Chiavari (GE), Italy*  
Paolo Fraticelli, *Ancona, Italy*  
Fernando Gallucci, *Napoli, Italy*  
Angelo Cosimo Gioia, *Giulianova (TE), Italy*  
Riccardo Mancini, *Gorizia, Italy*  
Alberto Maino, *Trento, Italy*  
Simone Meini, *Pontedera (PI), Italy*  
Roberto Nersita, *IS, Italy*  
Matteo Nicoletto, *Verduno (CN), Italy*  
Nicola Parenti, *Bologna, Italy*  
Eleonora Pistella, *Roma, Italy*  
Maurizio Renda, *Cefalù (PA), Italy*  
Paola Giustina Maria Simeone, *Chieti, Italy*  
Carmine Siniscalchi, *Parma, Italy*



Società Scientifica FADOI - Organigramma

**PRESIDENTE NAZIONALE**

*Francesco Dentali*

**PRESIDENTE ELETTO**

Andrea Montagnani

**PAST PRESIDENT**

Dario Manfellotto

**SEGRETARIO**

Flavio Tangianu

**STAFF DI SEGRETERIA**

Maria Gabriella Coppola  
Nicola Mumoli  
Ombretta Para

**TESORIERE**

Roberto Risicato

**COORDINATORE COMMISSIONE GIOVANI**

Davide Carrara

**RESPONSABILI RAPPORTI CON LE REGIONI**

Franco Mastroianni  
Salvatore Lenti (*Vice*)

**RESPONSABILE RAPPORTI FADOI/ANÍMO**

Tiziana Marcella Attardo

**EDITOR-IN-CHIEF**

“ITALIAN JOURNAL OF MEDICINE” e  
“ITALIAN JOURNAL OF MEDICINE - QUADERNI DI  
MEDICINA INTERNA”

Michele Meschi

**COMITATO EDITORIALE**

“ITALIAN JOURNAL OF MEDICINE” e  
“ITALIAN JOURNAL OF MEDICINE - QUADERNI DI  
MEDICINA INTERNA”

Giorgio Vescovo  
Roberto Nardi

**RESPONSABILI EDIZIONI ON LINE E INIZIATIVE SPECIALI**

Michele Meschi  
Pierpaolo Di Micco  
Andrea Fontanella (*MEDICINA33*)  
Giuliano Pinna (*AGGIORN@FADOI*)

**RESPONSABILI SITO WEB E COMUNICAZIONE SOCIAL**

Matteo Giorgi Pierfranceschi  
Claudia Tieri  
Giuseppe Oteri

**RESPONSABILE SISTEMA GESTIONE QUALITÀ**

Franco Berti

**DATA PROTECTION OFFICER (DPO)**

Domenico Panuccio

**CONSULTA DEI PRESIDENTI**

Sandro Fontana  
Salvatore Di Rosa  
Ido Iori  
Antonino Mazzone  
Carlo Nozzoli  
Mauro Campanini  
Andrea Fontanella  
Dario Manfellotto

---

**PRESIDENTE FONDAZIONE**

---

*Dario Manfellotto*

---

**COORDINATORE**

Filippo Pieralli

---

**SEGRETARIO**

David Terracina

---

**COORDINATORE SCIENTIFICO CENTRO STUDI  
FONDAZIONE FADOI**

Stefano Alvergnà

---

**DIREZIONE DIPARTIMENTO FORMAZIONE E  
AGGIORNAMENTO**

Paola Gnerre

Maurizio Ongari (*Segretario e Responsabile Scientifico del provider  
ECM*)

---

**DIREZIONE DIPARTIMENTO RICERCA CLINICA**

---

Fulvio Pomero

Paola Piccolo (*Segretaria*)

---

**DELEGATI EFIM**

*(European Federation of Internal Medicine)*

---

Antonio Brucato

Lorenza Lenzi

Gabriele Vassallo (*Giovani*)

Filomena Pietrantonio (*Tesoriere*)

---

**PRESIDENTE ANÍMO**

---

Letizia Tesei

# QUADERNI - Italian Journal of Medicine

## LE FRONTIERE DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE IN MEDICINA INTERNA

Guest Editors: Daniela Tirota, Roberto Nardi

### RASSEGNE

<b>Introduzione</b> .....	1
F. Dentali	
<b>L'intelligenza artificiale e la medicina interna</b> .....	2
D. Tirota, R. Nardi	
<b>L'intelligenza artificiale potrà essere utile nella gestione del paziente in post dimissione e nella continuità di cura?</b> .....	8
I. Stefani, A. Mazzone	
<b>Multimorbilità e polifarmacoterapia: un ambito di potenziale impiego dell'intelligenza artificiale?</b> .....	11
F. Gilioli	
<b>Intelligenza artificiale e revisioni sistematiche in medicina</b> .....	16
M. Stornello, F. Berti	
<b>Percorso terapeutico e assistenziale e intelligenza artificiale: una prospettiva scientifica approfondita</b> .....	19
A. Montagnani, A. D'Errico, M. Caselli, A. Rustici	
<b>Intelligenza artificiale e rischio clinico - verso una nuova era</b> .....	23
F. Pieralli, G. Guazzini	
<b>L'intelligenza artificiale: barriere alla sua implementazione e considerazioni etiche</b> .....	29
M.L. Cipollini	
<b>Pro e contro dell'intelligenza artificiale in diversi percorsi specialistici</b>	
<b>L'intelligenza artificiale in ambito cardiovascolare: presente e futuro</b> ..	33
M. Baroni, A. Capucci	
<b>Intelligenza artificiale in radiologia</b> .....	38
M.V. Bazzocchi, E. Giampalma, M. Renzulli	
<b>Oncoematologia</b> .....	41
F. Malaspina	
<b>L'intelligenza artificiale in pneumologia: stato dell'arte, criticità e prospettive future</b> .....	44
S. Petrarulo	

# QUADERNI - Italian Journal of Medicine

<b>Diabete mellito ed intelligenza artificiale</b> .....	47
M. Nizzoli, N.A. Roger, M. Maleewski	
<b>Pro e contro dell'intelligenza artificiale in anatomia patologica</b> .....	50
F. Nozzoli	
<b>Conclusioni. Le frontiere dell'intelligenza artificiale in medicina interna</b> ..	53
A. Fontanella	

## Introduzione

Francesco Dentali

Direttore Dipartimento di Area Medica, Asst Sette Laghi, Varese; Direttore SC Medicina Generale, Varese, Italia; Presidente FADOI Nazionale

Negli ultimi anni, l'intelligenza artificiale (IA) ha rapidamente guadagnato terreno in tutti gli ambiti della medicina, configurandosi non più come una suggestione futuristica, ma come uno strumento concreto in grado di trasformare profondamente la pratica clinica quotidiana.

Negli ultimi anni, sono emerse evidenze crescenti che dimostrano come l'IA, in ambiti specifici come la diagnostica per immagini, la dermatologia e l'analisi elettrocardiografica, possa raggiungere o addirittura superare in accuratezza il giudizio clinico umano. Questo potenziale ha alimentato timori comprensibili tra alcuni specialisti, che vedono minacciato il proprio ruolo. Tuttavia, è fondamentale interpretare questi sviluppi non come una sostituzione, ma come un'opportunità di evoluzione del ruolo medico, in cui la tecnologia supporta e amplifica le capacità cliniche piuttosto che rimpiazzarle.

In particolare, la medicina interna — per la sua natura olistica e la necessità di gestire pazienti complessi, con comorbidità multiple e bisogni trasversali — rappresenta un terreno ideale per l'applicazione di soluzioni basate sull'IA.

La medicina interna, per definizione, si occupa della diagnosi, prevenzione e trattamento delle malattie dell'adulto, concentrandosi su situazioni cliniche caratterizzate da elevata complessità e variabilità. Il ragionamento clinico dell'internista, centrato su un'integrazione di dati anamnestici, laboratoristici, strumentali e osservazioni cliniche, richiede una costante sintesi tra analisi deduttiva ed

esperienza euristica. È in questo contesto che l'IA, se correttamente applicata, può divenire uno strumento prezioso: supportando, e non sostituendo, il giudizio clinico, migliorando i processi decisionali, aumentando la sicurezza e facilitando la personalizzazione dell'assistenza.

Dal supporto alla diagnosi differenziale alla predizione del rischio clinico, dalla stratificazione della complessità assistenziale fino all'ottimizzazione terapeutica nella polifarmacoterapia, le applicazioni dell'IA in medicina interna sono molteplici e in espansione. L'apprendimento automatico (*machine learning*) e le reti neurali profonde (*deep learning*) offrono oggi la possibilità di analizzare enormi quantità di dati, scoprendo pattern clinici altrimenti invisibili all'osservazione umana. L'IA può già oggi segnalare segni precoci di deterioramento clinico, suggerire interventi farmacologici più appropriati, e perfino anticipare la comparsa di complicanze post-dimissione attraverso modelli predittivi costruiti su *big data*.

La presente monografia esplora, in modo articolato e multidisciplinare, i principali ambiti nei quali l'IA può avere un impatto sulla medicina interna. Si parte da una panoramica generale del rapporto tra IA e pratica internistica, nella complessità terapeutica della multimorbidità, nella riorganizzazione dei percorsi terapeutici e assistenziali, e nella riduzione del rischio clinico fino a esaminare applicazioni specifiche nella gestione del paziente post-dimissione.

Una riflessione importante viene poi dedicata alle sfide etiche e alle barriere all'implementazione dell'IA, nonché a una comparazione tra diversi ambiti specialistici, nei quali l'integrazione tra algoritmi e professionisti sanitari è già una realtà in rapida evoluzione. Il tutto si inserisce in una visione sistemica che pone il medico internista al centro del Servizio Sanitario Nazionale come figura capace di governare l'innovazione, integrando tecnologia e umanità, logica e cura, automazione e personalizzazione.

Il razionale scientifico che sottende questa monografia è quello di offrire una riflessione aggiornata, concreta e operativa sull'impatto che l'IA può avere nei prossimi anni nel nostro campo, partendo da esperienze già consolidate e puntando a costruire una cultura condivisa sull'uso etico, efficace e sostenibile delle nuove tecnologie.

Questa raccolta nasce quindi con l'obiettivo non solo di descrivere lo stato dell'arte, ma anche di stimolare il confronto tra clinici, tecnologi, bioeticisti e decisori sanitari, affinché l'IA possa diventare uno strumento quotidiano per migliorare gli esiti di salute dei nostri pazienti, senza mai dimenticare che la cura rimane, prima di tutto, un atto umano.

Corrispondente: Francesco Dentali, Direttore Dipartimento di Area Medica, Asst Sette Laghi, Varese; Direttore SC Medicina Generale, Varese, Italia; Presidente FADOI Nazionale.  
E-mail: francesco.dentali@asst-settelaghi.it

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025  
Licensee PAGEPress, Italy  
QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e1

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

# L'intelligenza artificiale e la medicina interna

Daniela Tirota,<sup>1</sup> Roberto Nardi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Medicina Interna, Ospedale Morgagni Pierantoni, AUSL Romagna, Forlì; <sup>2</sup>Medicina Interna Bologna, Italia

## Introduzione

La medicina interna si occupa della diagnosi, prevenzione e trattamento delle patologie dell'adulto, contrassegnate nella gran parte dei casi da complessità clinica e gestionale.<sup>1</sup> L'internista, a differenza di altri specialisti che si concentrano su singoli organi o apparati, osserva il paziente nella sua globalità, considerando comorbidità, condizioni psicosociali, economiche e familiari, fragilità del paziente, interazioni farmacologiche e contesto complessivo. Il ragionamento dell'internista è, pertanto, complesso: richiede un'integrazione di dati anamnestici, obiettivi, laboratoristici e strumentali, ma non può prescindere dall'empatia, dalla comunicazione e dal giudizio clinico.

Medici ed esperti di tecnologia ritengono che l'intelligenza artificiale (IA) avrà impatti nell'immediato e nel lungo termine, soprattutto sull'ottimizzazione dei sistemi sanitari, sul processo decisionale clinico, e sul rapporto medico-paziente.<sup>2</sup>

Medici e infermieri, infatti, hanno quotidianamente molti compiti monotoni e ripetitivi. Al riguardo gli psichiatri spendono la maggior parte della loro giornata in pratiche burocratiche (20%), seguiti dagli internisti (17,3%), e dai medici di famiglia (17,3%): queste procedure potrebbero e dovrebbero essere automatizzate.<sup>3</sup> Inoltre, pur se in Sanità la valutazione della qualità si basa ormai prevalentemente, purtroppo, su parametri quantitativi e di *output*, piuttosto che qualitativi e di *outcomes*, il ragionamento clinico e la medicina narrativa dovrebbero essere riconosciuti come veri elementi qualificanti e distintivi del medico internista. Sostituire il ragionamento clinico con l'immediato ricorso alla diagnosi

strumentale vuol dire, infatti, lasciar crescere una visione ipertecnologica e, quindi, una medicina insostenibile, sia dal punto di vista organizzativo che da quello economico.<sup>4,5</sup>

L'IA, particolarmente nelle sue forme più avanzate, come il *deep learning* (DL) e le reti neurali convoluzionali (CNN), ha già dimostrato notevoli capacità in ambiti come l'analisi delle immagini, la predizione di esiti clinici, la stratificazione del rischio e il supporto alle decisioni cliniche. Sistemi come *IBM Watson*, *Google DeepMind*, o piattaforme come *ChatGPT* o *Google Gemini* o *Tonic* sono in grado di analizzare grandi quantità di dati in tempo reale e, anche se ad oggi gran parte di questi strumenti è ancora confinata a contesti sperimentali o supervisionati, esempi pratici includono l'identificazione precoce di sepsi o insufficienza cardiaca nei reparti di terapia intensiva, il supporto alla diagnosi differenziale in casi complessi, e l'ottimizzazione delle terapie farmacologiche tramite modelli predittivi.<sup>2,3</sup>

## Intelligenza artificiale e metodo clinico: quale rapporto? L'intelligenza artificiale potrebbe, in un futuro prossimo, sostituire la metodologia ed il ragionamento clinico dell'internista?

Durante il processo diagnostico l'internista deve confrontarsi con diversi ostacoli:<sup>4</sup> informazioni superficiali ed ambigue, talora omesse (spesso ricavate dai familiari o dal caregiver), aspecificità dei sintomi, patologie sottese, condizioni mutevoli e di incertezza (importanza dell'epicrisi), complessità (per le multi-patologie non indicazioni utili dalle linee guida disponibili, per altro più spesso terapeutiche che diagnostiche), appropriatezza e possibili errori nelle informazioni acquisite (la verifica di ipotesi diagnostiche ambigue determina ulteriori errori gestionali).

In questo scenario il ragionamento clinico dell'internista (Tabella 1) prevede due modelli:<sup>3,4</sup>

- **il metodo induttivo/euristico:** metodo intuitivo, semplificato, un approccio quasi automatico alla soluzione dei problemi, che si basa su poche sintetiche informazioni, acquisite anche in modo sensoriale (a "colpo d'occhio");
- **il metodo analitico ipotetico-deduttivo:** perviene alla diagnosi dall'analisi dei sintomi, la storia clinica e i reperti obiettivi, attraverso strategie dinamiche: l'esclusione limitata di diagnosi possibili ("*restricted rule-out*") e la definizione graduale della diagnosi ("*stepwise refinement*"). L'ipotesi diagnostica viene perfezionata con ulteriori dati clinici e il medico conferma o smentisce la sua ipotesi sulla base del decorso clinico e dei risultati dei test

Corrispondente: Daniela Tirota, Medicina Interna, Ospedale Morgagni Pierantoni, AUSL Romagna Forlì, Italia.  
E-mail: danitirota@libero.it

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025  
Licensee PAGEPress, Italy

QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e2

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

diagnostici. Durante tale verifica il clinico valuta: l'adeguatezza delle ipotesi (sono verosimili per la clinica?), la coerenza, l'appropriatezza (causale o fisiopatologica), la comprensione (le premesse o le conclusioni sono sbagliate?). Una difettosa elaborazione di ipotesi diagnostiche e una chiusura prematura del caso clinico, infatti, sono le principali limitazioni di questo metodo, un suo vantaggio invece è la flessibilità, in relazione alle episcrisi, che si rendono necessarie per la complessità del caso, riducendo la possibilità dell'errore diagnostico.

La capacità di *problem solving* dell'IA funziona in modo diverso, a seconda del tipo di IA e del problema da risolvere. Intanto i due elementi fondamentali dell'IA sono il *machine learning* (ML) ed il Deep Learning (DL).<sup>6-13</sup>

Il ML è una branca dell'IA, che permette ai computer di imparare dai dati, senza essere esplicitamente programmati per il singolo compito: invece di dare istruzioni passo-passo, si fornisce al sistema una grande quantità di dati e lo si addestra a cogliere *pattern* e relazioni. Addestrato, il modello può prendere decisioni su nuovi dati. Ad esempio, nel caso di una polmonite, con il ML si danno al computer migliaia di radiografie torace "normali" ed altri con "polmonite" e l'algoritmo impara, attraverso le immagini, a distinguere le due categorie. Il ML può avere un apprendimento: i) supervisionato (il più comune e include l'esempio della polmonite) – il modello è addestrato su dati che includono *input* ed *output* desiderati (dati "etichettati"); ii) non supervisionato (dati "non etichettati") per cui cerca di scoprire *cluster*; ad esempio, raggruppa pazienti per sintomi e risposta a trattamenti, senza che gli sia detto in anticipo che gruppi cercare; iii) per rinforzo – le decisioni sono prese per massimizzare una "ricompensa" (usato per processi complessi, come la gestione delle risorse ospedaliere).

Il DL è un sottoinsieme del ML, che si basa sull'uso di reti neurali artificiali (*artificial neural networks*), che si ispirano al cervello umano. Le reti neurali profonde hanno molti "strati" nascosti tra *input* ed *output* e ogni strato estrae caratteristiche sempre più complesse (nell'esempio della pol-

monite il ML riconosce le ombre, il DL i pixel). Il DL quindi eccelle nell'elaborazione di dati complessi (ad esempio immagini TAC, estesi diari clinici), presenta un apprendimento autonomo, scoprendo *pattern* inaspettati, ha prestazioni maggiori su grandi dataset.

In generale il *problem solving dell'IA* si basa sui seguenti elementi.<sup>9-13</sup>

- i) **Raccolta e prelaborazione dei dati:** dati anagrafici, clinici, test diagnostici e laboratoristici, viaggi/esposizioni, farmaci assunti. Una volta raccolti, l'IA analizza questi dati per identificare *pattern*, anomalie o correlazioni, non necessariamente immediatamente evidenti a un occhio umano, tramite algoritmi complessi, che processano queste informazioni. I dati strutturati (dati demografici, test di laboratorio, *etc.*) sono ideali per ML, i dati non strutturati (sintomi descritti in testo libero, referti di imaging, *etc.*) sono ideali per il DL, in particolare il *natural language processing* (NLP) per il testo e le CNN per le immagini.
- ii) **Riconoscimento ed addestramento di modelli (*pattern recognition*):** comprende la combinazione di sintomi, che indicano una malattia specifica (ad esempio, febbre alta, sudorazione notturna, calo ponderale suggeriscono la tubercolosi o un linfoma), l'andamento anomalo degli esami di laboratorio nel tempo, le somiglianze con casi clinici noti presenti nel database, il riconoscimento di immagini (ad esempio, individuazione di un'infezione alla TAC del polmone). Gli algoritmi di ML, in particolare i DL, possono essere addestrati su milioni di casi clinici ed eccellono nell'individuare queste correlazioni. Ad esempio, un algoritmo di ML potrebbe essere addestrato su un vasto dataset di casi di febbre di origine sconosciuta (FUO), imparando a correlare specifiche combinazioni di sintomi, esami di laboratorio ed anamnesi con la diagnosi. Tuttavia, entra in gioco il DL, perché se la FUO fosse associata ad un'infezione polmonare, una CNN potrebbe analizzare una tomografia computerizzata toracica ed individuare un *pattern* sottile, da polmonite atipica, anche

**Tabella 1.** I due modelli di ragionamento clinico, che spesso si interfacciano ed integrano con *outcomes* migliori. Riprodotto da: Gnerre e Nardi (2020).<sup>4</sup>

	Modello intuitivo-euristico	Modello analitico, ipotetico deduttivo
Elaborazione cognitiva a carattere	Approssimativo, intuitivo, analogico, non analitico, semplificativo	Sistematico, basato sull'ipotesi e sul ragionamento clinico deduttivo (investigativo)
Basato su	Induzione per schemi mentali e per <i>pattern recognition</i> porta generalmente ad una singola ipotesi diagnostica	Valutazione di una serie di ipotesi e delle probabilità in gioco, utilizza metodi bayesiani
Dettagli richiesti	Scarsi, poche sintetiche informazioni, acquisibili in alcuni casi anche con il solo "colpo d'occhio"	Richiede numerose informazioni per ottimizzare il risultato
Velocità	Rapida, impiegato dai più esperti	Lenta, più spesso utilizzato da medici giovani
<i>Evidence-based</i>	No, l'esperienza migliora l'efficienza	Sì, con i limiti posti dal "mondo reale" e dai pazienti complessi
Potere predittivo	Basso	Elevato
Rigore scientifico	Scarso	Alto
Limiti	L'eccessiva sicurezza può portare ad errori	Eventuali <i>bias</i> di fondo possono portare a risultati distorti
Rischi	Errore di euristica inadeguata: la situazione è troppo complessa per poter essere schematizzata o semplificata	Errore di comprensione: le premesse o le conclusioni sono sbagliate

per segni minimi che sfuggono all'occhio umano esperto, direttamente dai pixel. Gli algoritmi di DL basati su NLP possono scandagliare migliaia di cartelle cliniche e trovare somiglianze tra il caso presente e quelli passati, rilevando associazioni inaspettate.

iii) **Generazione di ipotesi diagnostiche e diagnosi differenziali** (classificate per probabilità): questo processo è simile a quello che può fare un internista esperto, ma l'IA può elaborare molte più informazioni e casi in minor tempo, in base ai dati su cui il modello ML/DL è stato addestrato.

iv) **Valutazione ed ottimizzazione**: l'IA può suggerire, ad esempio, ulteriori test per escludere o corroborare un'ipotesi (ad esempio test per una malattia autoimmune rara).

v) **Apprendimento continuo**: un aspetto cruciale del *problem solving* dell'IA, specie nei modelli ML, è la capacità di apprendere/migliorare continuamente. Ogni volta che si inseriscono nuovi dati (casi clinici, diagnosi confermate, esiti di trattamento), l'IA può aggiornare i suoi modelli e raffinare il *problem solving*; quindi, teoricamente può divenire nel tempo sempre più precisa e utile.

Per comprendere la differenza tra l'approccio umano del *problem solving* e quello dell'IA, analizziamo uno scenario clinico. L'approccio dell'IA allo specifico caso clinico è stato ottenuto con l'ausilio di una simulazione su Google Gemini.

Immaginiamo un paziente che arrivi al pronto soccorso con sintomi vaghi, ma preoccupanti: nausea, vomito, sudorazione eccessiva, lacrimazione, bradicardia, miosi. Il paziente è confuso e non riesce a fornire una storia clinica chiara, non ha segni evidenti di traumi o esposizioni immediate.

**Il ragionamento dell'internista**: l'internista, di fronte a un quadro clinico così, metterebbe in atto un processo di ragionamento clinico che si basa sui seguenti elementi.

i) **Anamnesi ed esame obiettivo**: se il paziente fosse cosciente, l'internista cercherebbe dettagli sulla sua storia, farmaci, esposizioni ambientali o professionali, effettuerebbe un esame obiettivo completo per individuare segni specifici. Nel nostro caso l'anamnesi sarebbe limitata, poiché il paziente è confuso. L'esame obiettivo orientato alle ipotesi diagnostiche rivelerebbe i sintomi descritti.

ii) **Riconoscimento di sindromi e pattern**: l'internista esperto riconoscerebbe rapidamente una sindrome colinergica (sudorazione, salivazione, lacrimazione, vomito, bradicardia, miosi) associata all'avvelenamento da organofosfati o carbammati (comunemente trovati negli insetticidi), avvalendosi del metodo induttivo/euristico.

iii) **Formulazione di ipotesi e diagnosi differenziali**: sindrome colinergica da avvelenamento da insetticidi; individuazione di altre cause di bradicardia associata a nausea/vomito (infarto miocardico acuto; blocchi di conduzione cardiaca, insufficienza cardiaca, miocardite/endocardite; intossicazione da oppiacei, iperstimolazione vagale, ipercalcemia, sepsi grave, mixedema, aumento della pressione intracranica, crisi miastenica), ma non confermate, in quanto non corrispondenti all'intero quadro (metodo ipotetico-deduttivo).

iv) **Ricerca di indizi ambientali/contestuali** (ragionamento contestuale): qui entra la peculiarità umana. L'internista potrebbe notare l'odore particolare sui vestiti, fare attenzione ai jeans macchiati o con aspetto insolito (a causa di un insetticida nascosto nelle tasche), a un sacchetto, a una polvere nelle tasche. L'infermiere o il medico, che as-

sistono il paziente per spogliarlo, potrebbe sentire l'odore caratteristico dell'insetticida o notare una macchia insolita sul tessuto, e questo verrebbe comunicato all'internista. Oppure l'internista potrebbe chiedersi come possa essere avvenuta l'esposizione in questo contesto e l'attenzione si sposterebbe su vestiti, effetti personali, *etc.*

v) **Test di conferma e trattamento immediato**: sulla base del forte sospetto clinico, l'internista ordinerebbe test specifici (ad esempio, livelli di colinesterasi nel sangue) per confermare l'avvelenamento e inizierebbe immediatamente il trattamento con atropina e pralidossima, anche prima della conferma laboratoristica, data l'emergenza.

**Il ragionamento dell'IA generativa tramite il ML ed il DL**: un sistema di IA, addestrato su milioni di casi clinici, affronterebbe la situazione in modo diverso.

i) **Input dei dati strutturati**: i dati emodinamici del paziente (frequenza cardiaca, pressione sanguigna), i sintomi (inseriti da un medico/infermiere), i risultati degli esami di laboratorio iniziali (ad esempio, analisi del sangue standard) verrebbero immessi nel sistema.

ii) **Pattern recognition su dati noti** (ML classico): un algoritmo di ML (ad esempio, albero decisionale, rete neurale), addestrato su database di tossicologia e casi clinici, riconoscerebbe la combinazione di sintomi come una sindrome colinergica. L'IA potrebbe calcolare la probabilità di diverse diagnosi ("avvelenamento da organofosfati - probabilità X%", "overdose da oppioidi - probabilità Y%", "crisi miastenica - probabilità Z%") e suggerirebbe i test diagnostici più appropriati.

iii) **Analisi di dati non strutturati (DL)**: immagini – se venisse scattata una foto dei jeans o del contenuto delle tasche (o un'analisi spettrometrica dell'odore), una CNN addestrata sul riconoscimento di sostanze chimiche o sulla loro presenza visibile (polvere, liquido) potrebbe identificare l'insetticida, ma è un passo molto avanzato e non comune nella pratica clinica attuale; odore – se ci fossero sensori elettronici in grado di "annusare" e digitalizzare l'odore, un modello di DL potrebbe correlarlo a profili olfattivi specifici di insetticidi, ma è ancora più futuristico.

iv) **Generazione di ipotesi** (basata su correlazioni statistiche): l'IA proporrebbe le diagnosi più probabili basandosi sui *pattern* statistici appresi dai dati di addestramento. Se nel suo dataset ci fossero stati casi di avvelenamento da insetticidi, con sintomi simili, l'IA darebbe priorità a questa diagnosi. Tuttavia, l'IA non "penserebbe" al contesto fisico (i jeans). L'IA non ha "intuizione" o "sospetto" nel senso umano. Non avrebbe un modello predittivo che lega "sintomi colinergici" a una "sostanza chimica nelle tasche dei jeans", se non è stato addestrata esplicitamente su questo tipo di correlazione anomala.

La Tabella 2 riporta le differenze tra i 2 approcci.

Questo esempio dell'avvelenamento da insetticida evidenzia chiaramente come l'IA, pur eccellendo nell'analisi rapida di enormi dataset e nel riconoscimento di *pattern* complessi (sindrome colinergica), manchi della capacità umana di osservazione contestuale, intuizione e integrazione di informazioni non strutturate (come un odore o una macchia sospetta), che sono cruciali per una diagnosi rapida in un caso atipico.

L'internista utilizza, infatti, un ragionamento olistico e multi-modale, dove anche un piccolo dettaglio sensoriale può sbloccare la diagnosi. L'IA, d'altra parte, agisce come un po-

tente motore di calcolo e riconoscimento di *pattern*, ma solo sui dati che le vengono forniti in un formato comprensibile. Il futuro non vede la sostituzione, ma la sinergia: un internista che utilizza l'IA come un "cervello ausiliario" per elaborare dati complessi. Ci sono, infatti, molti tipi di pazienti, ognuno con diversi stili di vita, pertanto, non ci sono due casi uguali, ognuno è completamente diverso.

Per altro l'IA presenta alcuni limiti; il processo decisionale clinico è un'attività ad alto rischio e l'IA generativa (cioè progettata per generare dati da un *input*) presenta attualmente gravi debolezze, soprattutto ha propensione a produrre informazioni inaccurate ("allucinazioni", "confabulazioni"):

- mancanza di comprensione contestuale: l'IA non può cogliere sfumature non quantificabili: l'ansia, lo sguardo, il tono della voce del paziente, il suo contesto socioeconomico, la sua compliance ai trattamenti. Non può fare un esame obiettivo completo.
- dati incompleti o di scarsa qualità: se i dati inseriti sono scarsi, imprecisi o affetti da *bias*, l'*output* dell'IA sarà di scarsa qualità ("*garbage in, garbage out*").
- la generalizzazione: gli algoritmi sono spesso allenati su dataset specifici, che non riflettono la complessità della vita reale.
- gestione delle malattie nuove/rare: l'IA è addestrata su dati esistenti. Se emerge una patologia completamente nuova o estremamente rara, non presente nei suoi dataset di addestramento, l'IA potrebbe non riconoscerla.
- "*black box*" *problem*: soprattutto nel DL, è difficile capire perché l'IA ha preso una certa decisione o ha suggerito una diagnosi. Il termine "*black box*" (scatola nera) si riferisce in particolare ai sistemi di DL, le cui decisioni o previsioni sono impossibili da interpretare: è come avere una scatola nera: puoi vedere cosa entra (i dati di *input*) e cosa esce (la decisione o la previsione), ma non puoi capire esattamente cosa succede all'interno per trasformare l'*input* in *output*.

La "*black box*" è un problema per mancanza di trasparenza, soprattutto con i modelli di DL, che hanno milioni o miliardi di parametri e strati complessi, per cui è estremamente difficile tracciare il percorso decisionale. Questo è diverso dai modelli di ML più semplici, come gli alberi decisionali o la regressione lineare, dove è possibile seguire i passaggi logici. La *black-box* è infatti limitante per:

- affidabilità e fiducia: se un'IA suggerisce una diagnosi di cancro o raccomanda un trattamento rischioso, senza la comprensione del perché, è difficile fidarsi completamente del sistema, soprattutto in settori critici come la medicina interna. Senza trasparenza, inoltre, è quasi impossibile capire la causa dell'errore, correggerlo o prevenire che si ripeta;
- responsabilità e controllabilità: chi è responsabile se un sistema di IA prende una decisione errata che causa danno a un paziente? In settori regolamentati come la medicina, è spesso richiesto che i sistemi siano controllabili e spiegabili per poter essere validati e implementati;
- *bias* e equità: se l'IA raccomanda trattamenti diversi per gruppi demografici simili, ma per ragioni sconosciute, questo solleva gravi questioni di equità.

È quindi nato un campo di ricerca chiamato *explainable artificial intelligence* (XAI) non oggetto della seguente trattazione.

## Intelligenza artificiale: relazione di cura, interazione medico-paziente e medicina narrativa

L'altro punto fondamentale è la medicina narrativa,<sup>14-16</sup> definita come "tutto quello che accade tra il professionista sanitario e il paziente, a partire dalla raccolta di informazioni su eventi precedenti la malattia, a come la malattia si è man-

**Tabella 2.** Differenze cruciali tra il ragionamento dell'internista e quello dell'intelligenza artificiale.

Caratteristica	Ragionamento dell'internista	Ragionamento ML/DL (IA)
Dati di input	Sintomi, segni, storia del paziente, contesto sociale, osservazioni ambientali/sensoriali (odore, macchie), intuizione	Dati strutturati (laboratorio, vitali), dati non strutturati (testo, immagini, audio) se digitalizzati e inseriti
Processo	<i>Pattern recognition</i> , ragionamento deduttivo/induttivo, ragionamento contestuale, intuizione, esperienza, sensorialità	<i>Pattern recognition</i> statistico, correlazioni su vasti dataset, ottimizzazione algoritmica
"Jeans" indizio	L'internista o il personale sanitario noterebbe attivamente l'indizio fisico (odore, macchie) e lo collegherebbe ai sintomi.	L'IA lo noterebbe solo se i dati dell'indizio fossero stati esplicitamente digitalizzati e inseriti nel suo sistema (ad esempio, scansione 3D dei jeans, sensore olfattivo, annotazione manuale). Non "guarderebbe" attivamente o "annuserebbe".
Flessibilità/adattabilità	Alta. Può adattarsi a situazioni uniche e non previste, combinando informazioni disperate e apparentemente non correlate.	Bassa, se non addestrato su quel tipo di correlazioni. Eccelle solo sui problemi per cui è stato specificamente addestrato.
Spiegabilità	Il medico può spiegare la sua logica decisionale ("ho visto questi sintomi, ho sentito quest'odore...").	Problema della " <i>black box</i> ": l'IA può dire "95% probabilità di X", ma il "perché" è difficile da estrarre.
Empatia/giudizio	Presente. Il medico considera il benessere generale del paziente, le implicazioni etiche e umane	Assente. L'IA è puramente basata su dati e probabilità.

ML, machine learning; DL, deep learning; IA, intelligenza artificiale.

ifestata, con attenzione ai risvolti psicologici, sociali e ontologici, ovvero esistenziali del paziente”. Non si sostituisce alla medicina basata sull’evidenza (EBM), ma la integra, fornendo una visione più completa e umanistica della salute e della malattia.

È dimostrato che per pazienti gravi ospedalizzati, una conversazione di 30-60 minuti con medico o infermiere nel protocollo di cura genera una riduzione significativa dei periodi di degenza.<sup>6</sup> Uno studio ha messo a confronto sei possibili alternative di cura e ha evidenziato che tra queste, la proposta terapeutica che prevedeva una relazione medico-paziente ha generato una riduzione del 5% dei costi associati e del 12% delle ammissioni ospedaliere.<sup>7</sup> L’empatia, l’ascolto, la comunicazione efficace e la costruzione della fiducia, infatti, non sono competenze replicabili da un algoritmo, almeno nell’attuale stato dell’IA. L’empatia consiste nel costruire la fiducia, nell’ascoltare attentamente l’altra persona, nel prestare attenzione ai suoi bisogni (espressi o inespresi) e nell’essere reattivi in modo che l’altra persona si senta compresa.<sup>8</sup>

Al momento, nessuno si fiderebbe di un robot o di un algoritmo IA per una decisione pericolosa per la vita o anche per decidere se prendere una medicina.

Pur tuttavia l’IA può supportare anche la medicina narrativa (e questo è un campo di ricerca), risparmiando tempo prezioso, tramite:

- analisi e comprensione delle narrazioni, elaborazione di NLP – gli algoritmi di NLP possono analizzare testi narrativi, come diari dei pazienti, trascrizioni di colloqui, note cliniche a testo libero, per identificare temi ricorrenti, emozioni, “segnali” impliciti che potrebbero sfuggire. Questo può aiutare a estrarre spunti sulla qualità della vita, sui bisogni non soddisfatti e sulle prospettive dei pazienti. L’IA può individuare in tale ambito *pattern* e correlazioni tra le narrazioni dei pazienti e i dati clinici oggettivi, offrendo una comprensione più profonda di come le esperienze soggettive influenzino gli esiti di salute e viceversa;
- supporto alla raccolta di narrazioni: *chatbot* e assistenti virtuali – i pazienti potrebbero sentirsi più a loro agio nel condividere le proprie esperienze con un sistema IA in determinati contesti, *prompt* personalizzati possono incoraggiare i pazienti a raccontare aspetti specifici della loro esperienza, guidando la narrazione in direzioni utili per la cura.
- personalizzazione e formazione: basandosi sulle narrazioni dei pazienti, l’IA potrebbe generare materiali educativi o informativi personalizzati, adattati alle loro specifiche preoccupazioni e comprensione ed elaborare simulazioni per la formazione medica con scenari di pazienti simulati, per aiutare medici e studenti a sviluppare capacità di ascolto, empatia e comunicazione, migliorando la competenza nella medicina narrativa.

Esistono già progetti come “Narr-Arti” al Policlinico Gemelli, che utilizzano l’IA per catturare e quantificare le problematiche espresse dai pazienti nelle loro narrazioni, integrando così l’aspetto digitale.

## Conclusioni

L’IA potrebbe divenire a breve di grande ausilio per l’internista nel processo diagnostico in vari setting, quali l’identificazione precoce di *pattern* complessi (scoprendo

correlazioni tra un’enorme mole di dati, che un umano non riuscirebbe a processare, portando a diagnosi più rapide); la riduzione del tempo diagnostico (riducendo consensualmente il numero di test inutili e il tempo di sofferenza del paziente); il supporto decisionale (“secondo parere” sempre disponibile, proponendo diagnosi differenziali che potrebbero non essere state considerate dall’internista); la personalizzazione (l’IA potrebbe suggerire trattamenti o indagini basate sulla risposta di pazienti simili in contesti simili); l’accesso alla conoscenza (accesso istantaneo a una vasta conoscenza medica globale, molto più ampia di quella che qualsiasi singolo medico possa memorizzare). Soprattutto l’IA generativa sembra poter superare l’internista su compiti computazionali e ripetitivi. Rimangono comunque molteplici le problematiche sollevate dal suo utilizzo, *in primis* il problema della *black-box*, particolarmente sentito per la diagnosi, il trattamento personalizzato e la gestione del rischio.

L’IA generativa non può, comunque, sostituire la visione globale e relazionale e la capacità di sintesi dell’internista e proprio nel momento della crisi del Sistema Sanitario Nazionale, il recupero dell’appropriatezza della diagnosi e della terapia appare la via più importante percorribile. L’appropriatezza clinica non può essere scevra dalle due fondamentali vocazioni dell’internista: l’approccio olistico ed il *problem solving*, nelle sue due accezioni.

La sinergia tra le due entità sembrerebbe, pertanto, la chiave per la medicina interna del futuro. In questo scenario sarà fondamentale ripensare la formazione medica, per includere competenze digitali, informatiche e di interfaccia con sistemi di IA e si auspica che i medici affrontino l’IA generativa in modo analogo ad altri importanti cambiamenti biomedici secolari, quali l’introduzione del metodo sperimentale e poi dell’EBM, valutandone criticamente evidenza e utilità e integrandola attentamente nella pratica, nonché supervisionandola.

## Bibliografia

1. Nardi R, Scanelli G, Corrao S, et al. Co-morbidity does not reflect complexity in internal medicine patients. *Eur J Intern Med* 2007;18:359-68.
2. Crowe B, Shah S, Teng D, et al. Recommendations for clinicians, technologists, and healthcare organizations on the use of generative artificial intelligence in medicine: a position statement from the Society of General Internal Medicine. *J Gen Intern Med* 2025;40:694-702.
3. Humanitas University. 5 motivi per cui l’intelligenza artificiale non sostituirà il medico. Disponibile online: <https://www.hunimed.eu/it/news/5-motivi-per-cui-lintelligenza-artificiale-non-sostituirà-la-figura-del-medico/>.
4. Gnerre P, Nardi R. Modelli di ragionamento clinico e strumenti utilizzati nella pratica clinica in ambito internistico ai fini decisionali. *Ital J Med* 2020;8:19-30.
5. Danieli G, Pomponio G. Il metodo clinico rivisitato: lezioni e seminari di clinica medica. Berlino, Germania: Springer; 2006.
6. Obermeyer Z, Emanuel EJ. Predicting the future — big data, machine learning, and clinical medicine. *N Eng J Med* 2016;375:1216-9.
7. Esteva A, Robicquet A, Ramsundar B, et al. A guide to deep learning in healthcare. *Nat Med* 2019;25:24-9.

8. Bassetti M. *Essere medico*. Segrate, Italia: Piemme Editore; 2025.
9. Rajpurkar P, Irvin J, Zhu K, et al. CheXNet: radiologist-level pneumonia detection on chest X-rays with deep learning. Disponibile online: <https://arxiv.org/abs/1711.05225>.
10. Gulshan V, Peng L, Coram M, et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA* 2016;316:2402-
11. Shickel B, Tighe PJ, Bihorac A, et al. Deep EHR: a survey of recent advances in deep learning techniques for electronic health record (EHR) analysis. *IEEE J Biomed Health Inform* 2018;22:1589-604.
12. Adadi A, Berrada M. Peeking inside the black-box: a survey on explainable artificial intelligence (XAI). *IEEE Access* 2018;6:52138-60.
13. Volkov EN, Averkin AN. Explainable artificial intelligence in medical image analysis: state of the art and prospects. 2023 XXVI International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), Saint Petersburg, Russian Federation, 2023, pp. 134-13
14. Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine learning in medicine. *N Eng J Med* 2019;380:1347-58.
15. Stoeklé HC, Charlier P, Hervé C, et al. Artificial intelligence in internal medicine: between science and pseudo-science. *Eur J Intern Med* 2018;51:E33-4.
16. Ghenimi N, Govender R, Moodley K, et al. AI with narrative-based medicine: enhancing patient-centered care in primary practice. Available from: <https://info.primarycare.hms.harvard.edu/perspectives/articles/integrating-ai-with-narrative-based-medicine>.

## L'intelligenza artificiale potrà essere utile nella gestione del paziente in post dimissione e nella continuità di cura?

Ilario Stefani, Antonino Mazzone

Dipartimento di Area Medica, ASST Ovest Milanese, Legnano (MI), Italia

La moderna medicina interna si trova di fronte alla necessità di garantire la continuità assistenziale e, contemporaneamente, di operare in contesti tecnologici altamente qualificati. L'attuale complessità dei bisogni di salute e la crescente articolazione della domanda richiedono risposte flessibili e modulate sulle opportunità emergenti.

Platone, nel *Fedro*, attraverso le parole di Socrate, introduce la questione della comunicazione e delle tecnologie che la veicolano: "Perché vedi, Fedro, la scrittura ha una strana qualità, simile veramente a quella della pittura. I prodotti della pittura ci stanno davanti come se vivessero, ma, se domandi loro qualcosa, tengono un maestoso silenzio. Nello stesso modo si comportano i discorsi: crederesti che potessero parlare quasi che pensassero; ma se tu, volendo imparare, domandi loro qualcosa di ciò che dicono, ti manifestano una cosa sola e sempre la stessa. E una volta che sia messo per iscritto, ogni discorso si rivolge a tutti, tanto a chi l'intende quanto a chi non ci ha nulla da fare, e non sa a chi gli convenga parlare e a chi no".<sup>1</sup>

Il contrasto tra comunicazione orale e scritta riflette una fase storica di transizione nella cultura greca, in cui il mezzo scritto stava soppiantando quello orale, modificando il sistema di comunicazione globale. Oggi stiamo assistendo a una nuova evoluzione nella comunicazione,<sup>2-6</sup> con l'espansione delle tecnologie virtuali che sostituiscono sempre più le forme tradizionali. Questo passaggio non può non avere implicazioni metodologiche nell'organizzazione sanitaria e nella pratica clinica, incluso il rapporto tra medico e paziente.<sup>7</sup> Sebbene vi siano molte preoccupazioni circa una

possibile degenerazione, nell'ambito socio-relazionale, legata alle nuove tecnologie,<sup>7</sup> siamo consapevoli della progressiva espansione di questo processo. Da qui la necessità di un approccio pragmatico, che non si chieda più se le tecnologie virtuali siano utili nella pratica medica, ma piuttosto come coglierne gli aspetti positivi nella progettazione dell'organizzazione clinica. Enormi progressi sono stati registrati sia in campo medico che informatico e la nostra aspettativa di vita è oggi significativamente più alta di quanto sarebbe stata anche solo pochi decenni fa. Questo progresso, che porta all'invecchiamento della società, influenza l'organizzazione sanitaria e lo sviluppo dei suoi sistemi informativi.<sup>8</sup>

Tra i temi di ricerca ricorrenti in ambito sanitario, hanno dominato quelli relativi alla scelta del modello di gestione, in relazione all'introduzione di nuove tecnologie in grado di ridisegnare l'approccio clinico quotidiano e la relazione medico-paziente.<sup>9</sup> L'utilizzo della telemedicina e dell'intelligenza artificiale (IA) sta diventando sempre più una scelta terapeutica alternativa, soprattutto nella gestione delle malattie croniche, in progressivo aumento in tutto il mondo, così come nella gestione del paziente in post dimissione e nella continuità di cura. La spesa sanitaria e le esperienze di ospedalizzazione devono essere esaminate nelle popolazioni anziane, in presenza di molteplici patologie croniche. I pazienti con costi elevati sono più frequenti nelle popolazioni più malate e complesse e il loro elevato utilizzo delle risorse è spiegato principalmente dagli elevati livelli di malattie croniche.<sup>10</sup> Inoltre, i pazienti con quattro o più patologie croniche hanno una probabilità 99 volte maggiore, rispetto a un paziente affetto da una singola patologia, di essere ricoverati per un evento acuto altrimenti gestibile territorialmente.<sup>11</sup>

Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione (*information and communication technologies*, ICT) si sono rivelate efficaci per ottimizzare i risultati del modello di assistenza cronica (*chronic care model*, CCM) per la prevenzione e la gestione delle malattie croniche. Allo stesso tempo, il CCM può offrire una base metodologica per migliorare l'appropriatezza dell'uso delle ICT in ambito sanitario. I due aspetti si completano a vicenda per sfruttare appieno il potenziale di ciascuno.<sup>12</sup>

Se da una parte osserviamo un crescente utilizzo di moderne tecnologie e di sensori multi-parametrici per supportare piattaforme di telemedicina e sanità digitale, dall'altra l'utilizzo di sistemi di IA in questo contesto è ancora limitato. Oggi dobbiamo affrontare una novità che riguarda l'IA: oggi è il momento di ChatGpt. Il prototipo di chatbot basato su un sistema molto sofisticato di IA e apprendimento auto-

Corrispondente: Antonino Mazzone, Dipartimento di Area Medica, ASST Ovest Milanese, Legnano (MI), Italia.  
E-mail: mazzone56.antonino@gmail.com

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025  
Licensee PAGEPress, Italy  
QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e3

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

matico, che sta entrando in poco tempo nelle nostre vite. Chiunque può conversare con il sistema ponendogli domande qualsiasi, incluse questioni di carattere medico. Le piattaforme informatiche che utilizziamo per l'interazione virtuale, registrando enormi quantità di dati, sono sistemi di IA, la cui caratteristica è simulare capacità umane intellettive, permettendo alle piattaforme stesse una autonomia nel monitoraggio e nella valutazione dei dati, fino a produrre decisioni operative. Per meglio comprendere le possibili relazioni tra IA e sanità digitale, è utile osservare che le tecnologie di IA possono essere raggruppate in due grandi categorie, dette rispettivamente simboliche e sub-simboliche.<sup>12</sup> Le tecniche di IA simbolica si basano sull'idea di codificare in maniera esplicita le conoscenze di un gruppo di esperti in uno specifico ambito applicativo, per sviluppare sistemi che siano in grado di applicare autonomamente tale apprendimento. Questa modalità di operare è alla base dei "sistemi esperti". Alla seconda categoria di tecnologie dell'IA, detta sub-simbolica, appartengono tecniche che non codificano in modo esplicito la conoscenza di esperti, ma utilizzano sistemi di reti neurali artificiali per apprendere tale conoscenza direttamente da dati generati in uno specifico contesto applicativo. Le tecniche di *machine/deep learning* mirano a istruire le reti neurali, ottenendo regole di comportamento che possono essere utilizzate a fini preventivi, diagnostici e decisionali.

Nell'ambito dei sistemi di telemedicina, se applicati alla gestione del paziente in post dimissione o nella continuità di cura, entrambi gli approcci esposti possono produrre vantaggi rilevanti. Ad esempio, con le tecniche sub-simboliche, dopo aver raccolto un set di dati, le reti neurali potrebbero essere addestrate per prevedere le necessità degli assistiti riguardo ai percorsi di cura legati alle malattie croniche. Le reti potrebbero quindi essere impiegate per prevedere la necessità di accertamenti diagnostici, di prescrizioni terapeutiche o visite specialistiche. Inoltre, la realtà virtuale aumentata, utilizzando l'IA, permette di creare scenari applicabili nelle attività di addestramento del caregiver.

Nell'ottica della riduzione dei costi sanitari, dell'ottimizzazione delle risorse e del miglioramento dell'accesso ai servizi, va considerato lo sviluppo di progetti di telemedicina e IA più complessi. Questi programmi spaziano dai servizi di diagnostica a distanza (ad esempio in radiologia attraverso la trasmissione di dati prodotti da strumenti diagnostici, con la possibilità di effettuare una seconda valutazione clinica su un paziente) alle app clinico-mediche, che consentono all'utente di gestire la propria salute tramite il proprio telefono cellulare o di educare alla prevenzione delle malattie, fino ai servizi di visite a distanza tramite videochiamate. Un esempio è l'iniziativa promossa dalla Fondazione Italiana Diabete per un servizio di tele-consulenza e tele-educazione per pazienti di tutte le età affetti da diabete mellito di tipo 1. Il progetto, avviato come studio clinico e condotto dal nostro Dipartimento di Medicina e dall'Ospedale Niguarda di Milano, ha permesso di confrontare un servizio di tele-visite e tele-consulti diabetologici, dietologici e psicologici, effettuati via Skype®, con quello delle visite ambulatoriali tradizionali, dimostrando la stessa efficacia dei due approcci, consentendo ai pazienti seguiti in remoto un significativo risparmio in termini di tempo e costi (in particolare quelli legati alle assenze dal lavoro o da scuola). I pazienti si sono dimostrati molto soddisfatti, senza percepire una scarsa interazione con il medico [13]. Questa attività di

telemedicina potrebbe essere opportunamente integrata da programmi educazionali e di engagement basati sull'IA, che si sono dimostrati efficaci nei pazienti diabetici.<sup>14</sup>

La combinazione degli strumenti digitali per la telemedicina e delle tecniche di IA offre quindi un potenziale per la trasformazione dei percorsi di cura e dell'organizzazione dei servizi sanitari.

Nel nostro contesto clinico abbiamo sviluppato alcuni progetti per valutare la fattibilità e l'impatto organizzativo di nuove tecnologie mediche, sistemi e dispositivi di comunicazione, con particolare attenzione ai pazienti cronici e alla continuità assistenziale, collegando la cura della fase acuta della malattia al reinserimento nella vita quotidiana, con interventi prolungati a supporto di una crescente fragilità, favorendo l'integrazione nei servizi sanitari, sociali e assistenziali. Uno di questi progetti riguarda l'integrazione di tecnologie di tele-monitoraggio nel servizio di dimissioni protette, che consente il collegamento tra ospedale e territorio, migliorando la qualità dell'assistenza e influenzando sugli esiti clinici. I pazienti arruolati sono stati selezionati tra quelli dimessi dai reparti di medicina interna e con caratteristiche complesse (come una patologia fisica o mentale con un indice di gravità elevato, non autonomia nelle diverse attività, criticità legate all'alloggio, al reddito, al nucleo familiare). Il sistema di tele-monitoraggio è costituito da una suite di strumenti elettromedicali commerciali e da uno smartphone con software dedicato per sistema operativo Android, che fornisce promemoria al momento delle visite programmate e trasmette i dati a un centro di rilevazione, dove vengono raccolti i parametri rilevati con le apparecchiature disponibili (pulsossimetro, sfigmomanometro elettronico, bilancia elettronica ed elettrocardiografo). Durante il periodo di studio, i dati sono stati monitorati da uno staff multiprofessionale dedicato (infermiere, medico di base, medico internista) che può allertare il paziente in caso di mancata trasmissione dei parametri, in presenza di valori acutamente fuori range o di rilevazione di una tendenza sfavorevole. A seguito della valutazione del medico curante, il successivo piano diagnostico e terapeutico individuale viene ripianificato e condiviso con l'internista, con un costante coinvolgimento e responsabilizzazione del paziente e del caregiver. La nostra esperienza nel monitoraggio a distanza dei pazienti ci ha insegnato che, in termini di appropriatezza, è fondamentale monitorare i pazienti instabili, che hanno subito diversi ricoveri e che devono essere monitorati immediatamente dopo la dimissione. Il primo mese dopo la dimissione, durante il quale abbiamo eseguito la maggior parte delle modifiche terapeutiche, è il periodo più critico, quello in cui il monitoraggio è fondamentale per evitare ulteriori ospedalizzazioni. Questa sperimentazione, integrata dall'IA, potrebbe rendere disponibili grandi quantità di dati generati dai dispositivi di monitoraggio, permettendo lo sviluppo descrittivo di pattern complessi e l'identificazione di strategie di gestione, di terapie appropriate, di assistenza al paziente o di addestramento del caregiver.<sup>15</sup>

L'applicazione personalizzata delle tecnologie informatiche e dell'IA può svolgere un ruolo cruciale nella gestione dei pazienti cronici, facilitando la razionalizzazione delle risorse umane e migliorando la qualità dell'assistenza, rendendo possibile uno scambio più intenso tra operatori e tra operatori e pazienti, riducendo il costo sociale delle patologie (in termini di tempo dedicato agli utenti) e rafforzando l'empowerment di pazienti e caregiver.

---

## Bibliografia

1. Platone. Fedro. Roma, Laterza; 1998.
2. Stefani I, Mazzone A. Telemedicina, bella ma ignorata in Italia: ecco perché. Disponibile online: <https://www.agendadigitale.eu/sanita/telemedicina-bella-ma-ignorata-in-italia-ecco-perche/>.
3. Lee J, Reyes BA, McManus DD, et al. Atrial fibrillation detection using a smart phone. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2012;2012:1177-80.
4. Nguyen HH1, Silva JNA. Use of smartphone technology in cardiology. *Trends Cardiovasc Med* 2016; 26:376-86.
5. Kaliyadan F, Amin TT, Kuruvilla J, Ali WH. Mobile tele dermatology-patient satisfaction, diagnostic and management concordance, and factors affecting patient refusal to participate in Saudi Arabia. *J Telemed Telecare* 2013;19:315-9.
6. Mazzone A. iPhone® or smartphone support diagnosis in internal medicine. *Ital J Med* 2015;9:93.
7. Rosenthal DI, Verghese A. Meaning and the nature of physicians' work. *N Engl J Med* 2016;375:1813-5.
8. Haux R. Health information systems: past, present, future. *Int J Med Inform* 2006;75:268-81.
9. Stefani I, Teti O, Mazzone A. Person-centred analysis in physician-patient relationship. *Eur J Intern Med* 2017; 43:e26-7.
10. Wammes JJG, van der Wees PJ, Tanke MAC, et al. Systematic review of high-cost patients' characteristics and healthcare utilization. *BMJ Open* 2018;8:e023113.
11. Wolff JL, Starfiel B, Anderson G. Prevalence, expenditures, and complications of multiple chronic conditions in the elderly. *Arch Intern Med* 2002;162:2269-76.
12. AA.VV. Telemedicina e intelligenza artificiale a supporto dell'assistenza territoriale. *Monitor. Elementi di analisi e osservazione del sistema salute. Anno II Numero 47 • 2022. Codice ISSN 2282-5975.*
13. Bertuzzi F, Stefani I, Rivolta B, et al. Teleconsultation in type 1 diabetes mellitus (TELEDIABE). *Acta Diabetol* 2018;55:185-92.
14. Pomey MP, Ghadiri DP, Karazivan P, et al. Patients as partners: a qualitative study of patients' engagement in their health care. *PLoS One* 2015;10:e0122499.
15. Tozzi AE. Il connubio tra telemedicina e intelligenza artificiale per un salto di qualità nelle cure. *Monitor. Elementi di analisi e osservazione del sistema salute. Anno II Numero 46 • 2021. Codice ISSN 2282-5975.*

# Multimorbilità e polifarmacoterapia: un ambito di potenziale impiego dell'intelligenza artificiale?

Fabio Gilioli

UOC Medicina Interna, Ospedale di Mirandola, Dipartimento di Medicina Interna e Riabilitazione, AUSL Modena, Italia

## Multimorbilità e polifarmacoterapia

Il progressivo invecchiamento della popolazione mondiale è associato ad un aumento della prevalenza della multimorbilità,<sup>1</sup> definita come la coesistenza di due o più malattie croniche nello stesso individuo, che oggi interessa oltre il 50% delle persone con una età maggiore di 65 anni.<sup>2,3</sup> La multimorbilità determina peggiori esiti di salute, ridotta qualità della vita, aumento delle ospedalizzazioni e della mortalità, maggiore probabilità di uso improprio delle risorse sanitarie,<sup>4,5</sup> ed in particolare nell'anziano, è un importante fattore di rischio per lo sviluppo della fragilità.<sup>6</sup> La multimorbilità è in stretta connessione con la polifarmacoterapia, definita come l'uso simultaneo di cinque o più farmaci diversi, con una relazione di causa-effetto: un numero crescente di condizioni diagnosticate porta a un aumento proporzionale del numero di farmaci assunti quotidianamente.<sup>7,8</sup> I dati del rapporto OsMED sull'uso dei farmaci in Italia nel 2017 (numero medio di sostanze prescritte per individuo/per anno) hanno evidenziato che oltre il 64% degli anziani ha ricevuto nel corso dell'anno la prescrizione di almeno cinque sostanze, e il 22% almeno dieci principi attivi diversi.<sup>9</sup> La letteratura internazionale conferma gli stessi dati anche nel resto d'Europa e Nordamerica,<sup>10,11</sup> evidenziando anche un'associazione della polifarmacoterapia con una maggiore incidenza di fragilità nei soggetti tra i 45 e 79 anni, in modo dose-dipendente.<sup>12</sup> La gestione di individui con multimorbilità e polifarmacoterapia risulta quindi com-

plexa, in particolare per definire appropriati piani terapeutici, basati su linee guida le cui evidenze scientifiche derivano tipicamente da risultati di ricerche cliniche condotte su singole patologie, che non tengono sufficientemente conto delle altre condizioni coesistenti.<sup>13,14</sup> La polifarmacoterapia concorre, come già osservato nei soggetti affetti da multimorbilità, ad un aumento di eventi indesiderati, anche gravi, correlati ad ospedalizzazioni evitabili e a tassi di mortalità più elevati.<sup>15-18</sup> Deve essere comunque ricordato che la polifarmacoterapia può essere appropriata e in grado di migliorare gli esiti di salute, potenzialmente inappropriata (*potentially inappropriate medication*, PIM) e inappropriata a causa dell'assunzione di farmaci privi di indicazione clinica, potenzialmente dannosi o ridondanti.<sup>19-22</sup> È stato stimato che circa il 4% dei costi sanitari evitabili a livello mondiale può essere attribuito a prescrizioni non ottimali o gestite in modo inadeguato.<sup>23</sup> Distinguere tra polifarmacoterapia appropriata, PIM e inappropriata può essere difficile,<sup>24</sup> in particolare perché vi è una pluralità di definizioni di polifarmacoterapia basate a volte su aspetti quantitativi (uso simultaneo di più farmaci), a volte qualitativi (come la presenza di farmaci inappropriati), o su approcci misti.<sup>8,25,26</sup> In tale contesto, l'approccio della medicina di precisione e della medicina di genere può contribuire a una personalizzazione più accurata delle terapie farmacologiche, tenendo conto delle variabilità biologiche e socioculturali che influenzano risposta e tollerabilità ai farmaci. La gestione di tali situazioni richiede valutazioni approfondite e strumenti capaci di supportare decisioni personalizzate attraverso un processo di deprescrizione, ovvero un percorso pianificato e supervisionato che mira a identificare, ridurre gradualmente o sospendere i farmaci inappropriati.<sup>27</sup> Due revisioni sistematiche hanno evidenziato che la deprescrizione, se adattata al singolo paziente, può migliorare la sopravvivenza negli anziani fragili e aumentare l'appropriatezza terapeutica nei soggetti anche con malattie avanzate e aspettativa di vita limitata.<sup>28,29</sup> Nonostante il suo potenziale, la deprescrizione è però gravata da numerose difficoltà che ne rendono spesso impraticabile l'integrazione nella pratica clinica, dovute a una documentazione clinica carente, scarsa comunicazione interprofessionale,<sup>30,31</sup> limitazioni di tempo e mancanza di sistemi centralizzati per la gestione dei dati clinici.<sup>32</sup>

Da alcuni anni sono stati introdotti strumenti come i criteri STOPP/START e i criteri di Beers per identificare terapie con principi attivi incongrui.<sup>33,34</sup> Alcuni studi multicentrici su larga scala progettati con l'obiettivo primario di valutare l'effetto di questi tools sugli eventi avversi da farmaco (*adverse drug*

Corrispondente: Fabio Gilioli, UOC Medicina Interna, Ospedale di Mirandola, AUSL Modena, Italia.  
E-mail: f.gilioli@ausl.mo.it

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025  
Licensee PAGEPress, Italy  
QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e4

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

events, ADE) dopo la dimissione ospedaliera, e revisioni sistematiche, non hanno riscontrato differenze significative tra i gruppi per una bassa adozione delle raccomandazioni terapeutiche.<sup>35-37</sup> L'assenza di evidenze solide dipende dalla eterogeneità clinica dei pazienti che rende difficile prevedere le reazioni dei prescrittori agli interventi.

## Potenziale impiego dell'intelligenza artificiale

Nel documento del Ministero della Salute "I sistemi di intelligenza artificiale come strumento di supporto alla diagnostica" del 2021 "l'intelligenza artificiale in medicina può dunque essere definita attraverso la declinazione dei comportamenti intelligenti che caratterizzano la medicina e le attività cliniche correlate.....Tali attività, oltre a essere caratterizzanti della pratica clinica, prevedono la capacità di fondere e usare conoscenze di base, conoscenze specifiche sul paziente, sul contesto ambientale e altro, al fine di prendere, entro un lasso di tempo accettabile, la migliore decisione possibile rispetto all'evoluzione dello stato di salute del paziente (o di interi gruppi di pazienti)".<sup>38</sup> Finora, i maggiori progressi dell'intelligenza artificiale (AI) in ambito sanitario si sono osservati soprattutto nella radiologia e nella chirurgia, dove l'applicazione di queste tecniche ha portato a migliori esiti clinici rispetto alla pratica clinica convenzionale.<sup>39-42</sup> Gli strumenti di AI applicati alla complessa e non ottimale gestione della multimorbilità e della polifarmacoterapia sono stati esplorati più recentemente e molti studi sono in corso.<sup>39-45</sup> Gli algoritmi di AI sono in grado di estrarre informazioni rilevanti dalle cartelle cliniche elettroniche (*electronic health records*, EHR) che contengono grandi volumi di dati sia strutturati sia non strutturati, tra cui dati demografici, diagnosi, risultati di laboratorio, dettagli essenziali sui farmaci assunti dal paziente, prescrizioni pregresse e note cliniche. Possono combinare queste diverse informazioni per costruire un profilo completo del paziente e individuare pattern e correlazioni, aspetti fondamentali per identificare legami nascosti tra farmaci e reazioni avverse.<sup>46,47</sup> Allo stesso tempo è importante considerare le criticità associate all'uso dell'AI, quali la comprensione della complessità degli algoritmi, problemi tecnici, rischio di *bias*, sicurezza dei dati, efficacia fortemente dipendente da qualità e interoperabilità dei dati clinici, ostacoli relativi all'usabilità dell'interfaccia. Senza pretendere un'esaustiva analisi di questa complessa tematica possiamo comunque fare una sintesi dei principali strumenti di AI oggi disponibili per la gestione della multimorbilità e polifarmacoterapia.

## Machine Learning predittivo

*Machine Learning* (ML) predittivo è una tecnologia che consente di generare previsioni affidabili analizzando grandi volumi di dati storici, grazie ad algoritmi avanzati (reti neurali profonde, algoritmi basati su alberi decisionali come Random Forest e XGBoost) che apprendono relazioni tra variabili e identificano pattern nascosti. Analizzano dati clinici di grandi popolazioni per evidenziare pattern predittivi di ADE: rischio di cadute gravi, eventi cardiovascolari, ecc. Studi negli USA e Cina hanno riportato *accuracy* in alcuni scenari fino al 97% nella predizione di farmaci PIM.<sup>48,49</sup>

Tuttavia, l'efficacia dipende dalla qualità dei dati, dall'interpretabilità dei modelli e dalla mitigazione di eventuali *bias*. ML ha un limite legato alla non comprensione del contesto, caratteristica dell'essere umano. Se i dati sono errati o incompleti, anche le previsioni saranno sbagliate. L'uso dell'AI richiede quindi una governance responsabile, soprattutto in ambiti ad alta complessità decisionale.<sup>47</sup> L'AI predittiva risulta particolarmente utile nello stratificare i pazienti più a rischio, supportando piani terapeutici personalizzati e monitorare score dinamici (ad esempio, *anticholinergic burden*), con aggiornamenti real-time.

## Natural Language Processing

Nel contesto della gestione della polifarmacoterapia, una delle sfide principali è rappresentata dalla disomogeneità e frammentarietà dei dati clinici, spesso contenuti in forma non strutturata nei dossier elettronici. Si tratta di lettere di dimissione, referti specialistici, annotazioni su effetti avversi, comunicazioni tra professionisti. Questi testi contengono informazioni cruciali, che non sono immediatamente accessibili da strumenti tradizionali basati su regole (ad esempio, query ICD, codici ATC). Il *Natural Language Processing* (NLP), un sottoinsieme dell'AI, permette di interpretare automaticamente il linguaggio naturale usato nei testi clinici, estrarre entità cliniche come indicazioni terapeutiche, diagnosi, effetti avversi, modifiche posologiche, identificare pattern prescrittivi associati a eventi clinici (ad esempio, somministrazione di benzodiazepine in risposta a insonnia iatrogena), riconoscere relazioni temporali e causalità tra farmaci e sintomi.<sup>50,51</sup> Ad esempio, da una frase come "il paziente ha sviluppato ipotensione dopo introduzione di ramipril", un sistema NLP può etichettare "ramipril" come principio attivo, associare "ipotensione" come evento avverso infine identificare una relazione temporale e causale. Il progetto DynAIRx, finanziato dal *National Institute for Health Research* nel Regno Unito, si propone di migliorare la gestione clinica di pazienti affetti da multimorbilità complessa e polifarmacoterapia mediante soluzioni digitali basate sull'AI. Il fulcro dell'iniziativa è rappresentato dal potenziamento delle *structured medication reviews* (SMRs), attraverso l'integrazione di dati clinici eterogenei, inclusi quelli provenienti dall'EHR, da *The National Institute for Health and Care Excellence (NICE) Database of Treatment Effects and Scottish Polypharmacy Guidance*, da modelli predittivi e da tecniche di inferenza causale. Tra gli ostacoli identificati vi sono la carenza di strumenti efficaci per individuare tempestivamente i pazienti a maggiore rischio e le limitazioni strutturali dei sistemi informativi sanitari attualmente in uso. Il progetto mira a superare tali criticità tramite l'impiego di NLP per l'analisi del testo clinico non strutturato e mediante la realizzazione di dashboard intuitive a supporto delle decisioni. DynAIRx adotta un approccio collaborativo, coinvolgendo attivamente medici, farmacisti e pazienti nella fase di co-progettazione delle soluzioni. I prototipi sviluppati saranno validati nella pratica clinica reale, con l'obiettivo di valutarne l'efficacia su indicatori clinici, l'usabilità e l'accettazione da parte degli utenti. L'ambizione del progetto è contribuire a una medicina di precisione più personalizzata ed efficiente, riducendo le prescrizioni inappropriate, i ricoveri potenzialmente evitabili e gli ADE.<sup>52</sup>

## Clinical Decision Support Systems

I *Clinical Decision Support Systems* (CDSS) sono strumenti di AI integrati nei sistemi informatici sanitari (EHR), progettati per supportare i professionisti sanitari nel processo decisionale clinico attraverso l'accesso in tempo reale a dati clinici, prescrizioni, esami e anamnesi. Questi sistemi possono sfruttare una varietà di tecniche di AI, compresi algoritmi di apprendimento automatico (ML) basati su regole predefinite (ad esempio, STOPP/START, Beers criteria) o apprendere da grandi dataset clinici. Forniscono inoltre avvisi, promemoria o suggerimenti basati su evidenze scientifiche agli operatori sanitari durante la prescrizione.<sup>53</sup>

In sintesi alcuni degli studi più significativi che hanno utilizzato i CDSS:

- MedSafer: studio multicentrico su 5698 pazienti  $\geq 65$  anni,  $\geq 5$  farmaci. L'intervento ha aumentato la deprescrizione alla dimissione dal 29,8% (gruppo controllo) al 55,4% (gruppo intervento), ma senza riduzione significativa degli ADE entro 30 giorni.<sup>55</sup>
- *TaperMD* CDSS integrato nella EHR con un'interfaccia collaborativa medico-paziente: ha facilitato la rimozione sicura di PIM nei pazienti anziani in collaborazione con farmacisti. Studi preliminari hanno indicato un buon impatto su aderenza alla deprescrizione e soddisfazione del paziente.<sup>54</sup>
- *ADFICE IT Trial* (ongoing): studio randomizzato per valutare l'efficacia di un CDSS IA-based nel migliorare la deprescrizione in soggetti con fragilità e multimorbidità. I risultati preliminari indicano maggiore accettazione delle raccomandazioni da parte dei medici rispetto ai tradizionali supporti cartacei.<sup>55</sup>

## Possibili ambiti di utilizzo dell'intelligenza artificiale nella gestione della multimorbidità e polifarmacoterapia

Da quanto esposto si possono identificare alcuni scenari clinici di utilizzo dell'AI.

### Identificazione di pazienti a rischio

L'AI (ad esempio, i modelli di ML) può analizzare dati clinici longitudinali (EHR) per riconoscere pattern predittivi di ADE, cadute, ospedalizzazioni e peggioramento clinico. Studi come DynAIRx usano NLP e predizione dinamica per individuare pazienti che trarrebbero maggior beneficio da SMR.

### Supporto alla deprescrizione

I CDSS AI-based (ad esempio, MedSafer e TaperMD) aiutano i clinici a identificare farmaci PIM, suggerendo alternative o strategie di sospensione.

### Analisi personalizzata e stratificazione dei pazienti

L'AI consente la personalizzazione delle terapie considerando comorbidità, profilo genetico, risposta ai farmaci (ad esempi, farmacogenomica) e fragilità clinica. In tale processo,

la medicina di genere rappresenta un ulteriore livello di precisione, riconoscendo le differenze biologiche e socioculturali tra uomini e donne nella farmacocinetica, farmacodinamica e nella suscettibilità agli eventi avversi, con implicazioni cruciali per la sicurezza e l'efficacia delle terapie.<sup>56</sup>

### Riduzione della variabilità clinica

L'AI può garantire una maggiore uniformità nelle decisioni cliniche, contribuendo a standardizzare interventi complessi nella polifarmacoterapia e multimorbidità.

## Ostacoli e sfide per l'implementazione pratica dell'intelligenza artificiale

L'integrazione dell'AI nella pratica clinica incontra diverse criticità. Tra queste, vi è la necessità di assicurare l'interoperabilità tra i sistemi di AI e EHR attualmente in uso, oltre a garantire la protezione e la riservatezza dei dati sanitari. È inoltre indispensabile che gli algoritmi siano sottoposti a rigorosi processi di validazione clinica e approvazione da parte delle autorità regolatorie. Un ulteriore ostacolo è rappresentato dalla diffidenza di alcuni professionisti sanitari nei confronti delle raccomandazioni fornite dall'AI, spesso legata alla scarsa familiarità con tali strumenti. Infine, devono essere considerate anche le implicazioni etiche, quali la trasparenza decisionale e il consenso informato.<sup>53</sup>

## Conclusioni

Attualmente, mancano strumenti di AI completamente validati e integrati nella pratica clinica per la gestione della polifarmacoterapia e della multimorbidità. Tuttavia, le evidenze emergenti indicano che l'adozione di sistemi basati su IA, come i modelli predittivi di ML e i CDSS, potrebbe trasformare radicalmente la pratica medica nei prossimi anni. Considerato l'impatto clinico della polifarmacoterapia inappropriata, l'integrazione di soluzioni digitali avanzate appare non solo auspicabile ma inevitabile. Affinché tali tecnologie abbiano un impatto reale sulla salute pubblica, sarà fondamentale affrontare le sfide legate alla validazione clinica, all'interoperabilità con i sistemi informativi sanitari esistenti, alla protezione dei dati e all'accettazione da parte dei professionisti sanitari.

## Bibliografia

1. World Health Organization. Ageing and health. 2024. Disponibile online: <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/ageing-and-health>.
2. NICE. Multimorbidity: clinical assessment and management. 2016. Disponibile online: [www.nice.org.uk/guidance/ng56](http://www.nice.org.uk/guidance/ng56).
3. GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet* 2020; 396:1204-22.
4. Violan C, Foguet-Boreu Q, Flores-Mateo G, et al. Prevalence, determinants and patterns of multimorbidity in pri-

- mary care: a systematic review of observational studies. *PLoS One* 2014;9:e102149.
5. Makovski TT, Schmitz S, Zeegers MP, et al. Multimorbidity and quality of life: systematic literature review and meta-analysis. *Ageing Res Rev* 2019;53:100903.
  6. Clegg A, Young J, Iliffe S, et al. Frailty in elderly people. *Lancet* 2013;381:752-62.
  7. Leijten FRM, Struckmann V, van Ginneken E, et al. The SELFIE framework for integrated care for multi-morbidity: development and description. *Health Policy* 2018; 122:12-22.
  8. Masnoon N, Shakib S, Kalisch-Ellett L, et al. What is polypharmacy? A systematic review of definitions. *BMC Geriatr* 2017;17:230.
  9. IMN. Anziani e politerapia: quali sono i rischi? Disponibile online: <https://www.marionegri.it/magazine/politerapia-e-anziani>.
  10. Hanlon P, Nicholl BI, Jani BD, et al. Frailty and pre-frailty in middle-aged and older adults and its association with multimorbidity and mortality: a prospective analysis of 493 737 UK biobank participants. *Lancet Public Health* 2018;3:e323-32.
  11. Midão L, Giardini A, Menditto E, et al. Polypharmacy prevalence among older adults based on the survey of health, ageing and retirement in Europe. *Arch Gerontol Geriatr* 2018;78:213-20.
  12. Veronese N, Stubbs B, Noale M, et al. Polypharmacy is associated with higher frailty risk in older people: an 8-year longitudinal cohort study. *J Am Med Dir Assoc* 2017;18:624-8.
  13. Hughes LD, McMurdo MET, Guthrie B. Guidelines for people not for diseases: the challenges of applying UK clinical guidelines to people with multimorbidity. *Age Ageing* 2013;42:62-9.
  14. Bower P, Macdonald W, Harkness E, et al. Multimorbidity, service organization and clinical decision making in primary care: a qualitative study. *Fam Pract* 2011;28: 579-87.
  15. Varghese D, Ishida C, Patel P, et al. Polypharmacy. Treasure Island, FL, USA: StatPearls Publishing; 2024.
  16. Daunt R, Curtin D, O'Mahony D, et al. Optimizing drug therapy for older adults: shifting away from problematic polypharmacy. *Expert Opin Pharmacother* 2024;25: 1199-208.
  17. Petrovic M, O'Mahony D, Cherubini A. Inappropriate prescribing: hazards and solutions. *Age Ageing* 2022;51: afab269.
  18. González-Bueno J, Sevilla-Sánchez D, Puigoriol-Juvanteny E, et al. Factors associated with medication non-adherence among patients with multimorbidity and polypharmacy admitted to an intermediate care center. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18:9606.
  19. Davies LE, Spiers G, Kingston A, et al. Adverse outcomes of polypharmacy in older people: systematic review of reviews. *J Am Med Dir Assoc* 2020;21:181-7.
  20. Counter D, Millar JWT, McLay JS. Hospital readmissions, mortality and potentially inappropriate prescribing: a retrospective study of older adults discharged from hospital. *Br J Clin Pharmacol* 2018;84:1757-63.
  21. Osanlou R, Walker L, Hughes DA, et al. Adverse drug reactions, multimorbidity and polypharmacy: a prospective analysis of 1 month of medical admissions. *BMJ Open* 2022;12:e055551.
  22. Leelakanok N, Holcombe AL, Lund BC, et al. Association between polypharmacy and death: a systematic review and meta-analysis. *J Am Pharm Assoc*. 2017;57: 729-38.e10.
  23. Aitken M, Gorokhovich L. Advancing the responsible use of medicines: applying levers for change. Disponibile online: [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2222541](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2222541).
  24. Rankin A, Cadogan CA, Patterson SM, et al. Interventions to improve the appropriate use of polypharmacy for older people. *Cochrane Database Syst Rev* 2018;9: CD008165.
  25. Sirois C, Domingues NS, Laroche M-L, Zongo A et al. Polypharmacy definitions for multimorbid older adults need stronger foundations to guide research, clinical practice and public health. *Pharmacy* 2019;7:126.
  26. Sirois C, Simard M, Gosselin E, et al. Mixed bag “polypharmacy”: methodological pitfalls/challenges of this exposure definition. *Curr Epidemiol Rep* 2019;6: 390-401.
  27. Reeve E, Gnjjidic D, Long J, et al. A systematic review of the emerging definition of “deprescribing” with network analysis: implications for future research and clinical practice. *Br J Clin Pharmacol* 2015;80:1254-68.
  28. Quek HW, Page A, Lee K, et al. The effect of deprescribing interventions on mortality and health outcomes in older people: an updated systematic review and meta-analysis. *Br J Clin Pharmacol* 2024;90:2409-82.
  29. Shrestha S, Poudel A, Steadman K, et al. Outcomes of deprescribing interventions in older patients with life-limiting illness and limited life expectancy: a systematic review. *Br J Clin Pharmacol* 2020;86:1931-45.
  30. Cullinan S, Raae Hansen C, Byrne S, et al. Challenges of deprescribing in the multimorbid patient. *Eur J Hosp Pharm Sci Pract* 2017;24:43-46.
  31. Ní Chroinin D, Ní Chronin C, Beveridge A. Factors influencing deprescribing habits among geriatricians. *Age Ageing* 2015;44:704-8.
  32. Huffmyer MJ, Keck JW, Harrington NG, et al. Primary care clinician and community pharmacist perceptions of deprescribing. *J Am Geriatrics Soc* 2021;69:1686-9.
  33. O'Mahony D, O'Sullivan D, Byrne S, et al. STOPP/START criteria for potentially inappropriate prescribing in older people: version 2. *Age Ageing* 2015;44: 213-8.
  34. Beers MH, Ouslander JG, Rollingher I, et al. Explicit criteria for determining inappropriate medication use in nursing home residents. *Arch Intern Med* 1991;151: 1825-32.
  35. McDonald EG, Wu PE, Rashidi B, et al. The MedSafer study-electronic decision support for deprescribing in hospitalized older adults: a cluster randomized clinical trial. *JAMA Intern Med* 2022;182:265-73.
  36. O'Mahony D, Gudmundsson A, Soiza RL, et al. Prevention of adverse drug reactions in hospitalized older patients with multimorbidity and polypharmacy: the SENATOR\* randomized controlled clinical trial. *Age Ageing* 2020;49:605-14.
  37. Keller MS, Qureshi N, Mays AM, et al. Cumulative update of a systematic overview evaluating interventions addressing polypharmacy. *JAMA Netw Open* 2024;7:e2350963.
  38. Ministero della Salute. I sistemi di intelligenza artificiale

- come strumento di supporto alla diagnostica. 2021. Disponibile online: <https://sirm.org/wp-content/uploads/2022/04/Intelligenza-artificiale.pdf>.
39. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, et al. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer* 2018;18:500-10.
  40. Gumbs AA, Frigerio I, Spolverato G, et al. Artificial intelligence surgery: how do we get to autonomous actions in surgery? *Sensors* 2021;21:5526.
  41. De Backer P, Van Praet C, Simoens J, et al. Improving augmented reality through deep learning: real-time instrument delineation in robotic renal surgery. *Eur Urol* 2023;84:86-91.
  42. Nobbenhuis MA, Gul N, Barton-Smith P, et al. Robotic surgery in gynaecology: scientific impact paper No. 71 (July 2022). *BJOG Int J Obstet Gynaecol* 2023;130:e1-8.
  43. Sirois C, Khoury R, Durand A, et al. Exploring polypharmacy with artificial intelligence: data analysis protocol. *BMC Med Inform Decis Mak* 2021;21:219.
  44. Gunathilaka NJ, Gooden TE, Cooper J, et al. Perceptions on artificial intelligence-based decision-making for coexisting multiple long-term health conditions: protocol for a qualitative study with patients and healthcare professionals. *BMJ Open* 2024;14:e077156.
  45. Abuzour AS, Wilson SA, Woodall AA, et al. A qualitative exploration of barriers to efficient and effective structured medication reviews in primary care: findings from the DynAIRx study. *PLoS One* 2024;19:e0299770.
  46. Shickel B, Tighe PJ, Bihorac A, et al. Deep EHR: a survey of recent advances in deep learning techniques for electronic health record (EHR) analysis. *IEEE J Biomed Heal Inf* 2018;22:1589-604.
  47. Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine learning in medicine. *N Eng J Med* 2019;380:1347-58.
  48. Hu Q, Zho M, Teng F, et al. A model for identifying potentially inappropriate medication used in older people with dementia: a machine learning study. *Int J Clin Pharm* 2024;46:937-46.
  49. Mostafa F, Howle V, Chen M. Machine learning to predict drug-induced liver injury and its validation on failed drug candidates in development. *Toxics* 2024;12:385.
  50. Hossain E, Rana R, Higgins N, et al. Natural language processing in electronic health records in relation to healthcare decision-making: a systematic review. *Comput Biol Med* 2023;155:106649.
  51. Zöller N, Berger J, Lin I, et al. Human-AI collectives most accurately diagnose clinical vignettes *Proc Natl Acad Sci U S A* 2025;122:e2426153122.
  52. Walker LE, Abuzour AS, Bollegala D, et al. The DynAIRx project protocol: artificial intelligence for dynamic prescribing optimisation and care integration in multimorbidity. *J Multimorb Comorb* 2022;12:26335565221145493.
  53. Al Meslamani AZ. Management of polypharmacy through deprescribing in older patients: a review of the role of AI tools. *Expert Rev Clin Pharmacol* 2025;18:333-45.
  54. Taper MD. Taper MD. 2024. Available from: <https://tapermd.com/tapering-resources/about/>
  55. de Wildt KK, van de Loo B, Linn AJ, et al. Effects of a clinical decision support system and patient portal for preventing medication-related falls in older fallers: protocol of a cluster randomized controlled trial with embedded process and economic evaluations (ADFICE\_IT). *PLoS One* 2023;18:e0289385.
  56. Mauvais-Jarvis F, Bairey Merz N, Barnes PJ, et al. Sex and gender: modifiers of health, disease, and medicine. *Lancet* 2020;396:565-82.

## Intelligenza artificiale e revisioni sistematiche in medicina

Michele Stornello,<sup>1</sup> Franco Berti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Direttore Emerito Unità Operativa di Medicina Interna, Siracusa; <sup>2</sup>Salvator Mundi – UPMC, già Direttore Medicina Interna, Roma, Italia

### Introduzione

Nella normale attività del medico durante l'incontro con il paziente emergono numerosi quesiti clinici, tra cui la diagnosi, la gestione della complessità clinica, le interazioni farmacologiche, la selezione e l'interpretazione dei test diagnostici, il rischio associato con l'esposizione ad un determinato agente ambientale o farmacologico, il decorso di una malattia, e l'efficacia di un trattamento.

Il rapido moltiplicarsi delle conoscenze ha reso più complesso il processo di acquisizione delle competenze cliniche necessarie per gli innumerevoli quesiti.

La reazione di fronte alle problematiche evidenziate non sempre appare adeguata al bisogno d'informazione che ne scaturisce e spesso si preferiscono, alla letteratura originale, fonti di aggiornamento più informali – il collega esperto, i trattati, le revisioni tradizionali – non sempre affidabili per risolvere specifici quesiti clinici.

Le revisioni sistematiche (RS) e le metanalisi costituiscono uno strumento insostituibile per fare emergere un consenso nella interpretazione degli studi originali, perché esse possono orientare i comportamenti clinici in maniera più uniforme di quanto non riescano a fare i risultati, spesso contraddittori, dei numerosissimi singoli studi clinici. C'è da dire che, anche se una RS può essere condotta per rispondere ad un quesito di eziologia, di prognosi, di diagnosi o terapia, la maggioranza delle RS riguarda quesiti terapeutici e ne esistono poche sui test diagnostici, la cui metodologia è stata definita abbastanza recentemente, e ancora meno sulla storia naturale delle malattie, settori in cui si avverte una forte necessità di RS.

L'approccio critico alla letteratura medica costituisce quindi, da diversi anni, un'attività costante nella formazione permanente del medico, che però, non riesce a sostenere l'aggiornamento con la lettura di ogni singolo articolo a causa della molteplicità delle informazioni emergenti e della diversità delle fonti.

Le RS forniscono un'interfaccia eccellente tra il medico e gli studi originali e consentono di aumentare il numero totale di articoli letti. Inoltre, permettono l'identificazione degli studi originali in mancanza di mezzi e/o competenze per la ricerca bibliografica, o quando addirittura gli studi non sono stati pubblicati; infine possono migliorare, grazie alla valutazione di qualità degli studi inclusi, l'approccio critico agli studi originali.

Le RS, quindi, rappresentano uno degli strumenti più affidabili per sintetizzare l'evidenza scientifica disponibile in campo medico. Sono fondamentali per lo sviluppo di linee guida cliniche, per la valutazione dell'efficacia di trattamenti e per la definizione di politiche sanitarie basate sull'evidenza. Non a caso sono all'apice della piramide delle evidenze scientifiche.<sup>1</sup>

Tuttavia, la loro realizzazione è un processo complesso, dispendioso in termini di tempo e risorse, e soggetto a possibili errori umani.

In questo contesto, l'intelligenza artificiale (IA) si sta affermando come uno strumento innovativo in grado di ottimizzare e automatizzare molte fasi di una RS.<sup>2,3</sup> L'obiettivo di questa relazione è descrivere il ruolo dell'IA nelle RS in medicina, analizzando applicazioni, vantaggi, limiti e prospettive future.<sup>4</sup>

### Il processo della revisione sistematica: panoramica

Una RS standard comprende le seguenti fasi principali:

1. Formulazione della domanda clinica (PICO)
2. Ricerca della letteratura
3. Selezione degli studi
4. Estrazione dei dati
5. Valutazione della qualità metodologica
6. Sintesi e metanalisi (se applicabile)
7. Stesura della revisione

Ogni fase oggi può beneficiare dell'applicazione di tecniche di IA, specialmente attraverso l'uso del Natural Language Processing (NLP).<sup>5</sup> L'NLP consente ai computer e ai dispositivi digitali di riconoscere, comprendere e generare testo e parlato combinando la linguistica com-

Corrispondente: Franco Berti.  
E-mail: fberti9@gmail.com

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025  
Licensee PAGEPress, Italy  
QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e5

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

putazionale (la modellazione basata su regole del linguaggio umano) insieme alla modellazione statistica, alla *machine learning* e alla *deep learning*. L’NLP o elaborazione del linguaggio naturale è un ramo dell’IA che si occupa di fornire ai computer la capacità di comprendere il testo e le parole pronunciate, come gli esseri umani. e dell’apprendimento automatico.

L’NLP rende più facile per gli esseri umani comunicare e collaborare con le macchine, consentendo loro di farlo nel linguaggio umano naturale che usano ogni giorno. Ciò offre vantaggi in molti settori e applicazioni: i) automazione delle attività ripetitive; ii) analisi dei dati e insight migliorati; iii) ricerca avanzata; iv) generazione di contenuti.

L’NLP è particolarmente utile per automatizzare completamente o parzialmente attività, immettere dei dati e gestire dei documenti. Ad esempio, nell’elaborazione dei documenti, gli strumenti di NLP possono classificare automaticamente, estrarre informazioni chiave e riassumere i contenuti, riducendo i tempi e gli errori associati alla gestione manuale dei dati. L’NLP facilita la traduzione linguistica, convertendo il testo da una lingua all’altra e preservandone significato, contesto e sfumature.

## Applicazioni dell’intelligenza artificiale nelle revisioni sistematiche

### Formulazione della domanda di ricerca

L’IA può supportare la formulazione di domande cliniche identificando automaticamente elementi PICO (popolazione, intervento, confronto, *outcome*) a partire da database esistenti o da documenti già pubblicati.<sup>6,7</sup> Alcuni strumenti NLP riescono a proporre domande pertinenti basandosi sull’analisi di contesto.

### Ricerca della letteratura

Con la continua crescita del volume di studi primari, i metodi tradizionali di estrazione manuale delle informazioni da parte dei ricercatori stanno diventando sempre più insostenibili. Questa evidenza ha portato a esplorare l’ipotesi di usare l’IA come strumento per accelerare il processo di RS, fondamentale per informare le linee guida e le politiche cliniche.<sup>5</sup>

L’automazione della ricerca bibliografica è quindi ovviamente uno degli ambiti più maturi:

- Algoritmi NLP migliorano le query e la ricerca semantica.
- Sistemi di IA possono analizzare milioni di documenti per identificare studi potenzialmente rilevanti, anche se i termini usati non corrispondono esattamente alle parole chiave.

Strumenti utilizzati: RobotSearch, PubMed GPT, Semantic Scholar.

### Selezione degli studi

Questa fase è tradizionalmente la più laboriosa. L’IA consente:

- Screening automatico di titoli e abstract con classificazione binaria (incluso/escluso).

- Apprendimento attivo (active learning): il sistema si adatta alle decisioni prese dai revisori umani.<sup>8</sup>  
Strumenti noti: Rayyan, ASReview, Abstrackr.

### Estrazione dei dati

Modelli NLP specializzati (ad esempio, BioBERT) possono estrarre automaticamente informazioni strutturate dagli articoli (campione, interventi, risultati principali), riducendo gli errori manuali e accelerando la sintesi.

### Valutazione della qualità metodologica

Sebbene questa fase richieda ancora l’intervento umano, l’IA può:

- Evidenziare automaticamente potenziali fonti di bias.
- Supportare l’applicazione di strumenti come ROBIS, AMSTAR 2 o GRADE attraverso checklist intelligenti.

### Sintesi e metanalisi

L’IA può contribuire a:

- Generare automaticamente forest plot e funnel plot.
- Calcolare effetti aggregati su base automatica.
- Fornire una sintesi narrativa coerente usando modelli generativi (ad esempio, GPT, Claude, Gemini).

### Vantaggi dell’integrazione dell’intelligenza artificiale

- Efficienza: riduzione significativa dei tempi (da mesi a settimane o giorni).
- Scalabilità: possibilità di aggiornare costantemente le revisioni (living reviews).
- Riproducibilità: processi più standardizzati e meno soggetti a variabilità umana.
- Riduzione degli errori: screening e estrazione dati più accurati.

### Criticità e limiti attuali

Nonostante i vantaggi, l’adozione dell’IA presenta alcune criticità:

- Trasparenza: molti modelli di IA sono “*black box*” e non sempre interpretabili.
- Bias: l’IA può riprodurre pregiudizi presenti nei dati di addestramento.
- Validazione: non tutti gli strumenti sono validati per uso clinico o accademico.
- Supervisione necessaria: l’IA è un supporto, ma non sostituisce l’expertise clinica.

### Prospettive future

Nel prossimo futuro è prevedibile:

- Un’integrazione sempre più stretta tra IA e banche dati cliniche (es. EHR, trials registrati).
- L’adozione di RS viventi completamente automatizzate.
- La standardizzazione dei flussi di lavoro IA-based da parte di enti come Cochrane e GRADE.

---

## Conclusioni

Le RS rappresentano un consistente progresso metodologico per definire in maniera più scientifica lo stato dell'arte nei diversi settori della medicina. Tale compito, tradizionalmente affidato all'autorevole ma soggettiva opinione degli esperti, oggi viene svolto mediante un approccio multidisciplinare in grado di offrire maggiori garanzie di oggettività e di sistematicità. Infatti, la descrizione esplicita dei metodi utilizzati per ricercare, valutare, selezionare e sintetizzare le evidenze scientifiche consente una maggiore verifica critica da parte di clinici, accademici, amministratori sanitari e pazienti. Pertanto, considerata la progressiva diffusione delle RS, tutti gli operatori sanitari sono chiamati ad acquisire rapidamente le competenze per identificarle e definirne validità ed applicabilità clinica.

L'IA rappresenta un'evoluzione significativa nel campo della medicina basata sull'evidenza. Nelle RS, essa consente di superare i limiti tradizionali legati a tempi, costi ed errori umani. Tuttavia, la sua applicazione deve essere critica, trasparente e supervisionata. L'IA non sostituisce il medico o il ricercatore, ma ne potenzia le capacità, contribuendo a una medicina più efficiente, informata e aggiornata.

---

## Bibliografia

1. Guyatt GH, Oxman AD, Sultan S, et al. GRADE guidelines: 9. Rating up the quality of evidence. *J Clin Epidemiol* 2011;64:1311-6. doi: 10.1016/j.jclinepi.2011.06.004
2. Van de Schoot R, de Bruin J, Schram R, et al. ASReview: open source tool for efficient systematic reviews. *Nature Machine Intelligence* 2021;3:125-33.
3. Rayyan. Rayyan QCRI. Disponibile online: <https://rayyan.ai>.
4. Gue CCY, Rahim NDA, Rojas-Carabali W, et al. Evaluating the OpenAI's GPT-3,5 Turbo's performance in extracting information from scientific articles on diabetic retinopathy. *Syst Rev* 2024;13:135.
5. Eisenstein J. Introduction to natural language processing. Cambridge, MA, USA: The MIT Press; 2019.
6. Marshall IJ, Wallace BC. Toward systematic review automation: a practical guide to using machine learning tools in research synthesis. *Syst Rev* 2019;8:163.
7. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Ann Intern Med* 2009;151:264-9, W64.
8. Moher D, Cook DJ, Eastwood S, et al. Improving the quality of reporting of meta-analysis of randomized controlled trials: the QUOROM statement. *Lancet* 1999; 354:1896-900.

# Percorso terapeutico e assistenziale e intelligenza artificiale: una prospettiva scientifica approfondita

Andrea Montagnani, Antonio D'Errico, Michele Caselli, Alessandra Rustici

UOC Medicina Interna, Ospedale Misericordia, Grosseto; Dipartimento di Medicina Interna e Specialistiche, Azienda USL Toscana Sud Est, Grosseto, Italia

## Introduzione

Il sistema sanitario moderno si trova ad affrontare sfide sempre crescenti, tra cui l'aumento dell'incidenza delle malattie croniche, l'invecchiamento della popolazione e la necessità di ottimizzare l'allocatione delle risorse. In questo contesto, i percorsi terapeutici e assistenziali (PTA) rappresentano strumenti fondamentali per standardizzare e migliorare la qualità dell'assistenza sanitaria, garantendo che i pazienti ricevano il trattamento più appropriato al momento giusto. Tradizionalmente, i PTA sono stati definiti sulla base delle migliori evidenze cliniche disponibili e dell'esperienza degli specialisti. Tuttavia, la vastità e la complessità dei dati biomedici e clinici attualmente disponibili superano la capacità umana di elaborazione, limitando l'ottimizzazione dei PTA e la personalizzazione delle cure.

L'intelligenza artificiale (IA), con la sua capacità di analizzare grandi volumi di dati, identificare pattern complessi e supportare processi decisionali, emerge come una tecnologia trasformativa in grado di rivoluzionare i PTA e l'assistenza sanitaria nel suo complesso.<sup>1,2</sup> L'integrazione dell'IA nei PTA promette di migliorare l'accuratezza diagnostica, personalizzare le strategie terapeutiche, ottimizzare l'allocatione delle risorse, migliorare l'engagement del paziente

ed efficientare i flussi di lavoro clinici. Il presente testo si propone di esplorare nell'impatto dell'IA sui percorsi terapeutici ed assistenziali da una prospettiva scientifica, analizzando le applicazioni attuali e future, le sfide e le implicazioni etiche e regolatorie.

## L'intelligenza artificiale nella diagnosi e nella predizione del rischio nei percorsi terapeutici e assistenziali

L'IA sta rivoluzionando la fase diagnostica e di stratificazione del rischio all'interno dei PTA. Algoritmi di *machine learning* (ML) e *deep learning* (DL) eccellono nell'analisi di dati eterogenei, tra cui immagini mediche (radiologia, anatomia patologica, dermatologia, ecc.), dati genomici, referti di laboratorio e note cliniche estratte da cartelle cliniche elettroniche tramite *natural language processing* (NLP).

Nell'ambito dell'imaging medico, l'IA può identificare sottili anomalie spesso non percepibili dall'occhio umano, migliorando l'accuratezza diagnostica e consentendo la diagnosi precoce di patologie come tumori, retinopatie diabetiche e malattie cardiovascolari. Questi strumenti supportano i radiologi e i patologi, accelerando il processo di refertazione e consentendo una maggiore efficienza. Ad esempio, algoritmi di DL sono stati addestrati su vasti dataset di immagini radiografiche per identificare lesioni sospette con elevata sensibilità e specificità, integrandosi nei PTA per lo screening e la diagnosi precoce.<sup>3</sup>

Oltre alla diagnosi, l'IA riveste un ruolo cruciale nella predizione del rischio di malattia e nella prognosi. Analizzando combinazioni complesse di fattori demografici, clinici, genetici e di stile di vita, gli algoritmi di ML possono stimare la probabilità che un individuo sviluppi una determinata patologia, risponda a un determinato trattamento o sperimenti un evento avverso. Queste capacità predittive consentono di stratificare i pazienti in categorie di rischio, indirizzandoli verso PTA personalizzati e interventi preventivi mirati. Ad esempio, modelli predittivi basati sull'IA possono identificare pazienti ad alto rischio di sviluppare sepsi in unità di terapia intensiva, permettendo un intervento tempestivo e migliorando significativamente gli outcome. Allo stesso modo, l'IA può predire la probabilità di riammissione ospedaliera, consentendo ai sistemi sanitari di allocare le risorse in modo più efficiente e implementare strategie di gestione domiciliare mirate.

Corrispondente: Andrea Montagnani, UOC Medicina Interna, Ospedale Misericordia, Grosseto; Dipartimento di Medicina Interna e Specialistiche, Azienda USL Toscana Sud Est, Grosseto, Italia.

E-mail: montagnaniand@gmail.com

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025

Licensee PAGEPress, Italy

QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e6

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

## L'intelligenza artificiale per la personalizzazione e ottimizzazione del trattamento

La medicina personalizzata, che mira a fornire il trattamento più efficace e sicuro per il singolo paziente in base alle sue caratteristiche uniche, è un ambito in cui l'IA ha un potenziale trasformativo. I PTA tradizionali spesso si basano su protocolli standard che potrebbero non essere ottimali per tutti i pazienti. L'IA può analizzare una vasta gamma di dati specifici del paziente, inclusi dati multi-omici (genomici, trascrittomici, proteomici, metabolomici), dati clinici storici, risposte a trattamenti precedenti e persino dati provenienti da dispositivi indossabili, per informare e ottimizzare le decisioni terapeutiche.<sup>4,5</sup>

Algoritmi di ML possono identificare biomarcatori predittivi di risposta al trattamento, consentendo ai medici di selezionare la terapia più appropriata per un determinato paziente, riducendo il rischio di reazioni avverse e aumentando le probabilità di successo. Questo è particolarmente rilevante in oncologia, dove l'IA sta aiutando a selezionare terapie mirate e immunoterapie in base al profilo molecolare del tumore del paziente.

L'IA può anche essere utilizzata per ottimizzare i regimi terapeutici nel tempo. Monitorando continuamente la risposta del paziente al trattamento attraverso dati clinici e da sensori, gli algoritmi di IA possono suggerire aggiustamenti nel dosaggio dei farmaci, nella combinazione delle terapie o nella durata del trattamento per massimizzare l'efficacia e minimizzare la tossicità. Questo approccio dinamico e basato sui dati si discosta dai modelli statici dei PTA tradizionali, consentendo un'assistenza più reattiva e personalizzata.

Inoltre, l'IA sta facilitando lo sviluppo di terapie digitali, interventi basati su software che forniscono interventi terapeutici direttamente ai pazienti. L'IA può personalizzare il contenuto e l'erogazione di queste terapie digitali, adattandole alle esigenze e ai progressi individuali dei pazienti. Questo è particolarmente promettente per la gestione delle malattie croniche e per la salute mentale.

## L'intelligenza artificiale nel monitoraggio del paziente e nell'assistenza remota

Il monitoraggio continuo dei pazienti, in particolare quelli con malattie croniche o ad alto rischio, è fondamentale per rilevare precocemente i cambiamenti nelle loro condizioni e intervenire tempestivamente. L'IA, integrata con dispositivi indossabili, sensori ambientali e piattaforme di telemedicina, sta trasformando il monitoraggio del paziente, spostandolo dall'ambiente clinico a quello domiciliare.

Sistemi di monitoraggio remoto basati sull'IA possono raccogliere ed analizzare in tempo reale dati fisiologici (frequenza cardiaca, pressione sanguigna, livelli di glucosio), livelli di attività, schemi del sonno e altri indicatori di salute.<sup>6</sup> Gli algoritmi di IA possono identificare pattern anomali che potrebbero indicare un peggioramento delle condizioni del paziente o la necessità di un intervento, allertando automaticamente i professionisti sanitari. Questo consente un'assistenza proattiva, riducendo la necessità di visite di persona non necessarie e prevenendo ospedalizzazioni evitabili.

L'assistenza virtuale basata sull'IA, come i chatbot e gli assistenti virtuali, può fornire supporto continuo ai pazienti, rispondendo alle domande più frequenti, fornendo promemoria per l'assunzione di farmaci, educando i pazienti sulla loro condizione e offrendo supporto psicologico. Questi strumenti basati sull'IA possono migliorare l'engagement del paziente, l'aderenza al trattamento e l'autogestione della malattia, integrandosi nei PTA per fornire un livello di supporto scalabile e accessibile.<sup>7</sup>

## L'intelligenza artificiale nella scoperta e sviluppo di farmaci

La scoperta e lo sviluppo di nuovi farmaci sono processi estremamente lunghi, costosi e con un alto tasso di fallimento. L'IA sta accelerando e ottimizzando diverse fasi di questo processo, influenzando in ultima analisi le opzioni terapeutiche disponibili e i PTA futuri.

Gli algoritmi di IA possono analizzare vaste quantità di dati biologici e chimici per identificare potenziali bersagli farmacologici, prevedere l'interazione tra molecole e proteine, progettare nuove molecole con le proprietà desiderate e ottimizzare i processi di sintesi. Questo può ridurre drasticamente il tempo e i costi associati alle fasi iniziali della scoperta di farmaci.

L'IA è anche utilizzata per migliorare l'efficienza degli studi clinici. Può aiutare a identificare i pazienti più adatti per gli studi, prevedere la probabilità di successo di un farmaco in sperimentazione e analizzare i dati degli studi clinici in modo più rapido ed efficiente. Ciò può accelerare l'approvazione di nuovi farmaci e la loro integrazione nei PTA.<sup>8-12</sup>

## L'intelligenza artificiale per l'ottimizzazione dei flussi di lavoro e l'efficienza sanitaria nei percorsi terapeutici e assistenziali

Oltre alle applicazioni dirette sulla cura del paziente, l'IA può ottimizzare i flussi di lavoro amministrativi e clinici all'interno dei sistemi sanitari, migliorando l'efficienza e riducendo i costi. Nei PTA, questo si traduce in una migliore gestione degli appuntamenti, un'allocazione più efficiente delle risorse (personale, attrezzature, sale operatorie) e una riduzione dei tempi di attesa.

Sistemi basati sull'IA possono analizzare i dati storici e in tempo reale per prevedere la domanda di servizi sanitari, ottimizzando la pianificazione del personale e garantendo che le risorse siano disponibili dove e quando sono necessarie. L'automazione basata sull'IA può gestire compiti ripetitivi come la programmazione degli appuntamenti, la fatturazione e la gestione delle cartelle cliniche, liberando il personale sanitario per concentrarsi su attività a maggior valore aggiunto e sull'interazione con i pazienti.

Nell'ambito dei PTA, l'IA può facilitare il coordinamento tra i diversi operatori sanitari coinvolti nella cura di un paziente, garantendo una comunicazione fluida e la condivisione delle informazioni rilevanti. Ciò può ridurre gli errori, migliorare la continuità dell'assistenza e ottimizzare il percorso del paziente attraverso il sistema sanitario.

## Considerazioni etiche, regolatorie e sociali dell'intelligenza artificiale nei percorsi terapeutici e assistenziali

Nonostante il vasto potenziale dell'IA nei PTA, la sua implementazione solleva importanti questioni etiche, regolatorie e sociali che devono essere affrontate.<sup>5</sup> La protezione della privacy e la sicurezza dei dati sanitari sono preoccupazioni fondamentali. I sistemi di IA nei PTA spesso richiedono l'accesso a grandi volumi di dati sensibili dei pazienti, rendendo indispensabile l'implementazione di robuste misure di sicurezza informatica e il rispetto delle normative sulla protezione dei dati, come il GDPR in Europa.

Un'altra preoccupazione etica significativa è il rischio di *bias* algoritmico. Gli algoritmi di IA vengono addestrati su dati storici, che possono riflettere disuguaglianze e pregiudizi esistenti nel sistema sanitario. Se non attentamente gestito, questo può portare a disparità nell'assistenza, con gli algoritmi che potrebbero fornire diagnosi o raccomandazioni di trattamento meno accurate per determinati gruppi demografici. È fondamentale sviluppare e validare algoritmi su dataset diversificati e implementare strategie per identificare e mitigare i *bias*.

La trasparenza e l'interpretabilità degli algoritmi di IA (il cosiddetto "problema della scatola nera") rappresentano un'altra sfida. I medici devono comprendere come un algoritmo arriva a una determinata raccomandazione per potersi fidare del suo output e integrarlo nel processo decisionale clinico. La mancanza di trasparenza può ostacolare l'adozione dell'IA nella pratica clinica e solleva questioni di responsabilità in caso di errori.<sup>13</sup>

Dal punto di vista regolatorio, lo sviluppo di quadri normativi adeguati per l'IA in sanità è ancora in evoluzione. È necessario definire chiaramente come i dispositivi medici basati sull'IA debbano essere validati, approvati e monitorati per garantirne la sicurezza e l'efficacia.

Infine, l'impatto dell'IA sul rapporto medico-paziente e sul ruolo dei professionisti sanitari richiede attenzione. Sebbene l'IA possa supportare i medici e migliorare l'efficienza, è fondamentale che non sostituisca il giudizio clinico umano, l'empatia e la relazione di fiducia tra medico e paziente. L'IA dovrebbe essere vista come uno strumento per aumentare le capacità umane, non per sostituirle.

## Sfide e direzioni future

Nonostante i progressi compiuti, l'implementazione diffusa ed efficace dell'IA nei PTA deve ancora superare diverse sfide. La qualità e l'interoperabilità dei dati rappresentano un ostacolo significativo. I sistemi sanitari generano enormi quantità di dati, ma questi sono spesso frammentati, incompleti e archiviati in formati non standardizzati, rendendo difficile l'addestramento di algoritmi di IA robusti e generalizzabili.

L'integrazione dei sistemi di IA con le infrastrutture sanitarie esistenti è un'altra sfida tecnica. Molte strutture sanitarie dispongono di sistemi *legacy* che potrebbero non essere facilmente compatibili con le piattaforme di IA più avanzate.

La formazione e l'alfabetizzazione digitale del personale sanitario sono cruciali per garantire l'adozione e l'utilizzo ef-

ficace degli strumenti basati sull'IA nei PTA. I medici, gli infermieri e gli altri professionisti sanitari devono comprendere le capacità e i limiti dell'IA e sentirsi a proprio agio nell'utilizzare queste tecnologie nella loro pratica quotidiana.

Le direzioni future per l'IA nei PTA includono lo sviluppo di algoritmi più sofisticati in grado di gestire dati ancora più complessi e eterogenei, l'espansione delle applicazioni dell'IA in nuove aree della medicina e lo sviluppo di quadri etici e regolatori più maturi. Si prevede che l'IA giocherà un ruolo crescente nella medicina predittiva e preventiva, identificando gli individui a rischio molto prima della comparsa dei sintomi e consentendo interventi precoci per prevenire o ritardare l'insorgenza della malattia.

L'IA potrebbe anche facilitare la creazione di "gemelli digitali" dei pazienti, modelli virtuali che simulano la risposta di un individuo a diversi trattamenti, consentendo una personalizzazione ancora maggiore delle terapie.

## Impatto economico dell'intelligenza artificiale nei percorsi terapeutici e assistenziali

L'integrazione dell'IA nei PTA ha il potenziale per generare un impatto economico significativo sui sistemi sanitari. Sebbene l'investimento iniziale in infrastrutture e tecnologie IA possa essere considerevole, i benefici a lungo termine in termini di efficienza, riduzione dei costi e miglioramento degli *outcome* dei pazienti possono superare ampiamente questi costi.<sup>14</sup>

L'IA può contribuire a ridurre i costi sanitari in diversi modi: migliorando l'accuratezza diagnostica e riducendo gli errori medici, ottimizzando l'allocazione delle risorse e riducendo gli sprechi, automatizzando i compiti amministrativi e riducendo il carico di lavoro del personale, e consentendo un'assistenza più proattiva e preventiva che riduce la necessità di interventi costosi in fasi avanzate della malattia.<sup>15</sup> Ad esempio, l'IA nel monitoraggio remoto può ridurre le riammissioni ospedaliere, che rappresentano una voce di costo significativa per i sistemi sanitari. Nell'ambito della scoperta di farmaci, l'IA può ridurre il tempo e i costi associati allo sviluppo di nuovi farmaci, accelerando l'accesso a terapie innovative.<sup>16</sup>

Tuttavia, è importante notare che l'impatto economico dell'IA in sanità è un'area di ricerca ancora in evoluzione. Sono necessari ulteriori studi per valutare in modo rigoroso il rapporto costo-efficacia delle diverse applicazioni dell'IA nei PTA e per comprendere appieno le implicazioni economiche a lungo termine.

## Conclusioni

L'IA sta rapidamente emergendo come una forza trasformativa nel settore sanitario, con un profondo impatto sui PTA. Dall'ottimizzazione della diagnosi e della stratificazione del rischio alla personalizzazione dei trattamenti, dal monitoraggio remoto dei pazienti all'accelerazione della scoperta di farmaci e all'efficientamento dei flussi di lavoro, l'IA offre opportunità senza precedenti per migliorare la qualità, l'efficienza e l'accessibilità dell'assistenza sanitaria. Tuttavia, per realizzare appieno il potenziale dell'IA nei

PTA, è fondamentale affrontare in modo proattivo le sfide etiche, regolatorie e sociali. La protezione della privacy, la gestione dei *bias* algoritmici, la garanzia della trasparenza e l'istituzione di quadri normativi adeguati sono passaggi cruciali per costruire la fiducia nell'IA e garantirne un'implementazione responsabile ed equa.

Il futuro dei PTA sarà sempre più caratterizzato dalla simbiosi tra l'expertise clinica umana e le capacità analitiche e predittive dell'IA. Questa collaborazione promette di portare a un'assistenza sanitaria più precisa, personalizzata, efficiente e accessibile, migliorando in ultima analisi gli outcome per i pazienti e la sostenibilità dei sistemi sanitari. La continua ricerca, lo sviluppo di tecnologie IA affidabili e validate, la formazione del personale sanitario e un dialogo aperto tra tutti gli stakeholder saranno essenziali per gestire questa trasformazione e sfruttare appieno il potenziale dell'IA a beneficio della salute globale.

## Bibliografia

1. Aamir A, Iqbal A, Jawed F, et al. Exploring the current and prospective role of artificial intelligence in disease diagnosis. *Ann Med Surg* 2024;86:943-9.
2. Al Kuwaiti A, Nazer K, Al-Reedy A, et al. A review of the role of artificial intelligence in healthcare. *J Pers Med* 2023;13:951.
3. Maleki Varnosfaderani S, Forouzanfar M. The role of AI in hospitals and clinics: transforming healthcare in the 21st century. *Bioengineering* 2024;11:337.
4. Baumel A. More than a chatbot: a practical framework to harness artificial intelligence across key components to boost digital therapeutics quality. *Front Digit Health* 2025;7:1541676.
5. Afrifa-Yamoah E, Adua E, Pephrah-Yamoah E, et al. Pathways to chronic disease detection and prediction: Mapping the potential of machine learning to the pathophysiological processes while navigating ethical challenges. *Chronic Dis Transl Med* 2024;11:1-21.
6. Goktas P, Grzybowski A. Shaping the future of healthcare: ethical clinical challenges and pathways to trustworthy AI. *J Clin Med* 2025;14:1605.
7. EIR Health. Machine learning in healthcare: uses, benefits and pioneers in the field. 2024. Disponibile online: <https://eithealth.eu/news-article/machine-learning-in-healthcare-uses-benefits-and-pioneers-in-the-field/>.
8. Dixon D, Sattar H, Moros N, et al. Unveiling the influence of AI predictive analytics on patient outcomes: a comprehensive narrative review. *Cureus* 2024;16:e59954.
9. Mishra A, Majumder A, Kommineni D, et al. Role of generative artificial intelligence in personalized medicine: a systematic review. *Cureus* 2025;17:e82310.
10. Alum EU, Ugwu OPC. (2025). Artificial intelligence in personalized medicine: transforming diagnosis and treatment. *Discov Appl Sci* 2025;7:193.
11. Chakraborty C, Bhattacharya M, Pal S, Lee SS. From machine learning to deep learning: Advances of the recent data-driven paradigm shift in medicine and healthcare. *Curr Res Biotechnol* 2024;7:100164.
12. Azadinejad H, Rad MF, Sharifabrizi A, et al. Optimizing cancer treatment: exploring the role of AI in radioimmunotherapy. *Diagnostics* 2025;15:397.
13. Azadi A, García-Peñalvo FJ. Optimizing clinical decision support system functionality by leveraging specific human-computer interaction elements: insights from a systematic review. *JMIR Hum Factors* 2025;12:e69333.
14. MedTech Europe. The socio-economic impact of AI in healthcare. 2020. Disponibile online: [https://www.medtecheurope.org/wp-content/uploads/2020/10/mte-ai\\_impact-in-healthcare\\_oct2020\\_report.pdf](https://www.medtecheurope.org/wp-content/uploads/2020/10/mte-ai_impact-in-healthcare_oct2020_report.pdf).
15. Al Meslamani AZ. Beyond implementation: the long-term economic impact of AI in healthcare. *J Med Econ* 2023;26:1566-9.
16. Wolff J, Pauling J, Keck A, Baumbach J. The economic impact of artificial intelligence in health care: systematic review. *J Med Internet Res* 2020;22:e16866.

# Intelligenza artificiale e rischio clinico – verso una nuova era

Filippo Pieralli, Giulia Guazzini

Medicina Interna ad Alta Intensità, Azienda Ospedaliero-Universitaria Careggi, Firenze, Italia

## Introduzione

L'intelligenza artificiale (IA) rappresenta una delle più profonde trasformazioni nella medicina contemporanea. Le sue applicazioni, che spaziano dalla diagnostica avanzata alla personalizzazione dei trattamenti, rivoluzioneranno in maniera prorompente il modo in cui si stabiliscono le diagnosi e il modo in cui si organizzano ed erogano le cure. L'IA si configura come un insieme di tecnologie capaci di elaborare dati complessi e assistere nelle decisioni cliniche, affiancando il medico nell'attività diagnostica, terapeutica e gestionale. L'ingresso dell'IA in medicina rappresenta una vera e propria rivoluzione, cui dobbiamo prepararci, educarci ed integrarci. Un processo non facile, anche in ragione dei tempi travolgenti con cui si sta sviluppando e affermando l'IA e per gli aspetti formativi, etici, legislativi ancora immaturi o da definire.<sup>1-4</sup>

Uno dei contributi più promettenti dell'IA è sicuramente la possibilità di ridurre significativamente il rischio clinico, ovvero la probabilità che un paziente subisca un danno correlato direttamente all'assistenza sanitaria. Algoritmi di apprendimento automatico, ad esempio, integrando variabili fisiologiche e dati bioumorali, possono anticipare il deterioramento clinico attraverso l'analisi in tempo reale dei parametri vitali, o segnalare precocemente il rischio di eventi avversi legati a trattamenti farmacologici, infezioni nosocomiali o complicanze post-operatorie. Inoltre, la capacità del-

l'IA di integrare una grande mole di informazioni eterogenee e complesse — dalla cartella clinica elettronica all'imaging, fino potenzialmente ai dati genomici — può potenziare l'accuratezza delle decisioni e ridurre l'errore umano.<sup>5-7</sup>

L'adozione di strumenti di IA non sostituisce la figura del medico, ma la rafforza, liberando risorse cognitive e operative e consentendo una medicina più proattiva, personalizzata e sicura. Tuttavia, tale rivoluzione richiede consapevolezza, formazione specifica e un'attenta valutazione delle implicazioni etiche, legali e organizzative. La comprensione delle potenzialità e dei limiti dell'IA rappresenta oggi una competenza fondamentale per ogni professionista della salute e c'è ancora molta strada da fare.

In questo articolo cercheremo di valutare l'impatto e le integrazioni potenziali dell'IA nella gestione del rischio clinico (Figura 1).

## Che cos'è il rischio clinico in medicina?

Il rischio clinico in medicina si riferisce alla probabilità che un paziente subisca un danno o un evento avverso come conseguenza diretta dell'assistenza sanitaria ricevuta, sia in fase diagnostica, che di terapia, che per aspetti legati squisitamente all'organizzazione sanitaria. Questo concetto si è evoluto nel tempo, acquisendo un significato multidimensionale che comprende aspetti clinici, organizzativi, tecnologici e comunicativi. Gli eventi avversi evitabili, che si verificano durante il processo di cura, rappresentano una delle principali sfide per i sistemi sanitari contemporanei.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, circa il 10% dei pazienti ricoverati in ospedale nei Paesi ad alto reddito subisce un evento avverso, e almeno il 50% di questi eventi potrebbe essere prevenuto. Tali incidenti comprendono errori diagnostici, terapeutici, omissioni, infezioni nosocomiali, cadute, reazioni avverse a farmaci e problemi di comunicazione tra operatori sanitari. L'impatto è significativo non solo in termini di morbilità e mortalità, ma anche dal punto di vista economico e di fiducia nel sistema sanitario.<sup>8</sup>

Gli strumenti tradizionali per la gestione del rischio clinico comprendono: audit clinici, adesione a protocolli e linee guida *evidence-based*, sistemi di segnalazione degli errori in maniera spontanea ed anonima, formazione continua del personale, analisi degli eventi sentinella e dei *near-miss*, promozione della cultura della sicurezza.

Tuttavia, con la crescente complessità della medicina moderna e la mole di dati clinici da gestire, questi strumenti risultano solo sufficienti, in questo contesto l'integrazione dell'IA come potenziale strumento per migliorare la sicurezza del paziente risulta particolarmente interessante ed appropriato per il miglioramento gestionale.

Corrispondente: Filippo Pieralli, Medicina Interna ad Alta Intensità, Azienda Ospedaliero-Universitaria Careggi, Firenze, Italia.

E-mail: [filippopieralli@gmail.com](mailto:filippopieralli@gmail.com)

Nota degli autori: questo manoscritto è stato ideato originalmente e successivamente redatto consultando fonti bibliografiche e con l'ausilio di Chat GPT Pro versione 5 ricontrollando attentamente la veridicità e la correttezza delle informazioni delle fonti.

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025

Licensee PAGEPress, Italy

QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e7

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).



**Figura 1.** Intelligenza artificiale e rischio clinico. Ideato e creato da Filippo Pieralli con l'ausilio di ChatGPT versione 5.

## Quali sono le prerogative dell'intelligenza artificiale per poter ridurre il rischio clinico?

L'IA si configura come un insieme di tecnologie che consente ai sistemi informatici di compiere compiti normalmente attribuiti all'intelligenza umana. Le applicazioni mediche dell'IA spaziano dall'analisi predittiva alla diagnostica automatizzata, dall'elaborazione del linguaggio naturale (NLP) all'assistenza nella decisione clinica. Le sue prerogative principali per la riduzione del rischio clinico possono essere riassunte in questi sei ambiti principali.<sup>6,7,9-12</sup>

### Elaborazione di big data

L'IA è capace di elaborare grandi volumi di dati clinici (flussi di dati clinici, variabili fisiologiche, genomica, immagini diagnostiche) con l'obiettivo di estrarre informazioni complesse ed utili in molti ambiti, e nello specifico per la riduzione del rischio clinico, in tempi estremamente ridotti. Questa capacità consente l'identificazione di pattern clinici precoci associati a rischi potenziali di eventi avversi. Pensiamo ad interazioni farmacologiche in pazienti complessi pluripatologici che assumono molteplici terapie la cui interazione fra di loro non sempre è facile da comprendere e ap-

prezzare. Quando ci si pensa occorre ricorrere, ad oggi, a strumenti che dobbiamo andare ad individuare in rete (ad esempio, *checkboxboard* interattive) dove dobbiamo inserire i dati e valutarne il risultato. Tutto ciò determina impiego di tempo e molteplici passaggi, e sappiamo che ogni passaggio in più determina un potenziale incremento della possibilità di errore.<sup>6,10,13</sup>

### Apprendimento adattivo

Algoritmi di *machine learning* apprendono da dati storici e migliorano le proprie performance nel tempo, questo consente la creazione di modelli predittivi personalizzati, adattabili a popolazioni cliniche diverse. Questa caratteristica dell'IA appare particolarmente rilevante in un contesto particolarmente complesso come quello medico. La complessità clinica, farmacologica, diagnostica dei pazienti attuali, spesso anziani e pluripatologici rappresenta un potenziale benchmark molto interessante per la personalizzazione della riduzione del rischio clinico.<sup>9</sup>

### Supporto oggettivo alla decisione

L'IA può fornire raccomandazioni cliniche basate sull'evidenza, riducendo la soggettività e la variabilità interoperatori, migliorando così l'aderenza alle linee guida e alle migliori pratiche cliniche. Questo punto appare molto interessante e rilevante specie nel contesto attuale dove l'avanzamento rapido della scienza e delle informazioni disponibili, rende l'aggiornamento continuo non facile. Sicuramente il supporto dell'IA può fornire un supporto decisionale rapido, aggiornato ed in linea con le migliori e più aggiornate linee guida, sempre guidato da un contesto clinico che deve essere armonizzato da fattori umani, personali, di esperienza, di aspettative e scelte orientate e consapevoli del singolo individuo.

### Sistemi di allerta precoce

L'integrazione tra IA e dispositivi di monitoraggio consente la rilevazione in tempo reale di cambiamenti clinici significativi, permettendo interventi tempestivi e prevenzione di eventi avversi. Basti pensare ai sistemi di allerta precoce comunemente in uso, *early warning scores*, tipo MEWS e NEWS, che prevedono input clinici e fisiologici facilmente rilevabili da sistemi parametrici automatizzati integrati che possono fornire in tempo reale segnali di allarme che poi dovranno essere correttamente interpretati nel contesto clinico. Questi sistemi facilitano molto l'acquisizione di questi elementi e l'attivazione di allarmi precoci con possibilità di interventi tempestivi che possono intercettare e/o anticipare un deterioramento clinico pericoloso. Un altro esempio dell'utilizzo dell'IA e sistemi di allarme precoce è relativo alla segnalazione di colonizzazione e/o infezioni da germi multiresistenti che richiedono una particolare attenzione al fine di ridurre la diffusione. Sistemi di alert fra laboratorio, cartella clinica e operatori (ad esempio tramite alert direttamente su *smartphone*) possono favorire il processo di miglioramento dell'*infection control*. Questo tema è particolarmente rilevante nel contesto storico attuale dove le infezioni da multiresistenti costituiscono una minaccia reale e seria alla salute globale specie nei contesti ospedalieri.<sup>14</sup>

## Analisi predittiva di eventi avversi e reporting

Tramite l'analisi integrata avanzata, l'IA può stimare il rischio di infezioni nosocomiali, complicanze post-operatorie, cadute per certi soggetti specifici in base alle loro caratteristiche personali. Allo stesso tempo l'IA può favorire l'automazione del reporting di eventi avversi con compilazione diretta, in caso di evento avverso o *near miss*, di schede di segnalazione ai sistemi di rilevazione ed elaborazione deputati.

## Miglioramento dell'*hand-over* e riduzione degli errori di comunicazione fra operatori sanitari

La NLP è un sottocampo dell'informatica e dell'IA che utilizza il *machine learning* per consentire ai computer di comprendere e comunicare con il linguaggio umano. In sintesi, la NLP consente ai computer e ai dispositivi digitali di riconoscere, comprendere e generare testo e parlato combinando la linguistica computazionale (la modellazione basata su regole del linguaggio umano) insieme alla modellazione statistica, al *machine learning* e al *deep learning*. La ricerca sulla NLP ha contribuito a rendere possibile l'era dell'IA generativa, dalle capacità di comunicazione dei modelli linguistici di grandi dimensioni (*large language models*) alla capacità dei modelli di generazione di immagini di comprendere le richieste. La NLP fa già parte della vita quotidiana di molti, essendo utilizzato per i motori di ricerca, i chatbot per il servizio clienti con comandi vocali, i sistemi GPS a comando vocale e gli assistenti digitali per rispondere alle domande su smartphone come Alexa di Amazon, Siri di Apple, Hey Google e Cortana di Microsoft. La NLP svolge anche un ruolo crescente nelle soluzioni aziendali che aiutano a semplificare e automatizzare le operazioni aziendali, aumentare la produttività dei dipendenti e semplificare i processi aziendali. Questo tipo di tecnologie applicate alla documentazione clinica e ai sistemi di messaggistica interna possono migliorare la qualità della comunicazione interprofessionale facilitando l'*hand-over* e quindi il passaggio di consegne, che come noto non configura un mero passaggio di informazioni ma anche il passaggio di responsabilità. Infatti, uno dei momenti più critici nella generazione di errori e/o eventi avversi è rappresentato proprio dal passaggio di consegne o *hand-over*. La possibilità, attraverso la NLP, di uniformare e omogeneizzare i messaggi e le informazioni rendendole anche in un formato strutturato e rapidamente comprensibile può essere un ulteriore strumento per la riduzione del rischio clinico.<sup>15</sup>

## Come si può ridurre il rischio clinico grazie all'intelligenza artificiale?

Esistono numerosi studi e progetti pilota che dimostrano l'efficacia dell'IA nel ridurre il rischio clinico in vari ambiti della medicina. Tra gli ambiti più promettenti si evidenziano la diagnostica per immagini, la personalizzazione delle terapie, il controllo delle infezioni ospedaliere, il supporto dei processi chirurgici e la riduzione degli errori di trascrizione.

L'impiego dell'IA nella diagnostica per immagini ha permesso miglioramenti nella rilevazione di patologie oncologiche, neurologiche e cardiache, eguagliando e talvolta migliorando le prestazioni di radiologi esperti in vari ambiti

diagnostici. I sistemi basati sull'IA e gli algoritmi di apprendimento profondo, come le reti neurali convoluzionali, sono in grado di rilevare schemi complessi e piccole anomalie nelle immagini mediche che potrebbero sfuggire all'occhio umano. Questa capacità è fondamentale nella diagnosi precoce delle malattie, in cui anche lievi cambiamenti nelle immagini possono indicare l'insorgenza di patologie quali cancro, malattie cardiovascolari o disturbi neurologici.<sup>12-14,16-21</sup>

Ad esempio, nella mammografia, i sistemi di diagnostica per immagini basati sull'IA hanno dimostrato prestazioni superiori agli operatori nell'identificazione del cancro al seno in fase iniziale. Analizzando i pixel delle mammografie, l'IA può rilevare microcalcificazioni o masse sospette con una sensibilità e specificità maggiori rispetto ai metodi convenzionali, portando a diagnosi più precoci e più accurate. Allo stesso modo, le scansioni TC potenziate dall'IA possono rilevare i noduli polmonari in una fase precoce. L'IA può coadiuvare nella pianificazione pre-operatoria e nel monitoraggio post-operatorio, individuando anomalie precoci e suggerendo modifiche dell'approccio terapeutico. Un altro utilizzo interessante è rappresentato dall'ottimizzazione del triage all'ingresso in pronto soccorso. I sistemi che utilizzano IA possono assegnare codici di priorità basati su modelli predittivi più accurati, migliorando la gestione del rischio nei pazienti critici.

L'automazione dei sistemi amministrativi e l'eliminazione di errori manuali nella registrazione dei dati con conseguente riduzione degli errori di trascrizione può limitare il rischio di eventi avversi legati a informazioni cliniche incomplete o errate. Questi sono solo alcuni dei principali ambiti di applicazione dell'IA nella riduzione del rischio clinico.

## Limiti intrinseci dell'intelligenza artificiale

Nonostante i numerosi vantaggi, l'IA in medicina presenta anche limiti intrinseci che possono ostacolare la sua efficacia nella riduzione del rischio clinico. I principali limiti sono quelli di seguito riportati.<sup>22,23</sup>

### Integrazione tra sistemi eterogenei

I sistemi informatici sanitari spesso non sono interoperabili e l'integrazione di IA con i sistemi legacy (cartelle elettroniche, sistemi di laboratorio, PACS) richiede sforzi notevoli in termini di standardizzazione e interfacciamento.

### Qualità e rappresentatività dei dati

I dati clinici possono essere incompleti, inaccurati o affetti da *bias*. Un algoritmo allenato su dati non rappresentativi può produrre risultati errati o fuorvianti. La qualità dei dati, oltre alla numerosità, rappresenta un fattore determinante per la produzione di output affidabili e accurati.

### Opacità degli algoritmi (*black box*) e sicurezza informatica

In ambito di IA, una "*black box*" (scatola nera) si riferisce a un sistema, spesso basato su algoritmi complessi come il *machine learning* o il *deep learning*, in cui l'input e l'output sono noti, ed il processo interno che porta da uno step all'altro

non è trasparente o comprensibile, anche per gli stessi sviluppatori. In altre parole, si sa cosa si immette nel sistema e cosa si ottiene in uscita, ma non si capisce come il sistema effettua la trasformazione. Questo è un limite significativo per l'interpretazione dei risultati finali che può generare sfiducia da parte dei clinici e difficoltà nella giustificazione delle decisioni cliniche.

Infine, estremamente rilevante risulta il problema della vulnerabilità dei sistemi di IA che vengono sottoposti a cyberattacchi. Gli attacchi informatici alla sanità in Italia sono in aumento e rappresentano una seria minaccia per la sicurezza dei dati e il funzionamento dei servizi sanitari. Le strutture sanitarie sono sempre più prese di mira da cybercriminali, con un incremento significativo degli incidenti segnalati negli ultimi anni. Viene riportato che il 73% delle strutture sanitarie ha subito almeno un incidente di sicurezza informatica negli ultimi 12 mesi e gli attacchi alle strutture sanitarie sono aumentati dell'111% tra il 2023 e il 2024, secondo CyberSecurity Italia.<sup>24</sup>

### Necessità costante e continua di aggiornamento dei modelli

L'evoluzione delle conoscenze mediche richiede che gli algoritmi vengano aggiornati frequentemente, ciò comporta complessità tecniche rilevanti ed anche potenziali criticità dal punto di vista legale e regolatorio.

### Scalabilità e costi

La scalabilità si riferisce alla capacità di un sistema, applicazione o infrastruttura di gestire un aumento del carico di lavoro, del numero di utenti o della quantità di dati gestiti, mantenendo prestazioni elevate e stabilità. L'adozione di IA a livello sanitario in generale e ospedaliero in particolare, implica investimenti infrastrutturali e formazione del personale, che possono rappresentare una barriera soprattutto in contesti a risorse limitate.

## Aspetti etici rilevanti per l'uso dell'intelligenza artificiale nell'ambito medico

L'adozione dell'IA in medicina solleva questioni etiche rilevanti, che devono essere affrontate per garantire un impiego corretto, sicuro e trasparente. I principali temi includono i seguenti, che riportiamo sinteticamente.<sup>25-27</sup>

### Autonomia del paziente e consenso informato

Il paziente ha diritto a essere informato dell'impiego di sistemi IA nella sua assistenza. Questo comporta la necessità di un consenso informato specifico, comprensibile e non coercitivo. Per garantire la fiducia dei pazienti e dei professionisti, è essenziale che le decisioni dell'IA siano trasparenti, comprensibili e verificabili.

### Equità e giustizia distributiva

Algoritmi allenati su dati parziali o squilibrati possono perpetuare disuguaglianze esistenti, penalizzando gruppi etnici, socioeconomici o geografici.

### Responsabilità e accountability

In caso di errore generato da un sistema IA, è fondamentale chiarire chi è il responsabile: il clinico, il produttore dell'algoritmo, l'ente sanitario?

### Sorveglianza e supervisione umana

L'IA deve essere un supporto e non un sostituto del giudizio clinico. La supervisione da parte di professionisti è imprescindibile.

### Uso secondario dei dati

L'uso dei dati clinici per l'addestramento degli algoritmi deve rispettare la privacy dei pazienti e i principi del trattamento lecito dei dati.

## Aspetti legislativi e normativi europei ed italiani sull'uso della AI in ambito medico

A livello europeo e nazionale, si stanno sviluppando normative per disciplinare l'uso dell'IA in medicina, al fine di garantire la sicurezza, l'efficacia e il rispetto dei diritti fondamentali.

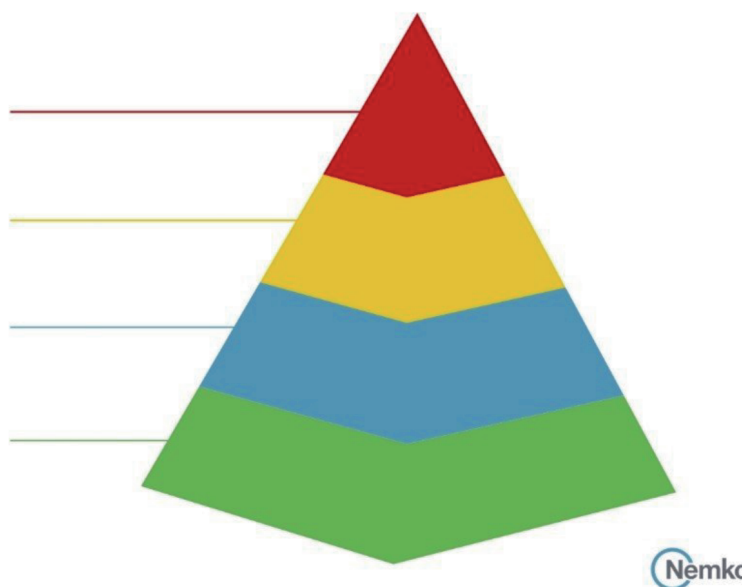
In Europa è stato approvato nel 2024, il primo regolamento al mondo sull'IA (*European Artificial Intelligence Act*).<sup>27</sup> Il regolamento Europeo sull'IA (*AI Act*) classifica i sistemi di IA in base al rischio (minimo, limitato, alto, inaccettabile) (Figura 2). Le applicazioni mediche sono considerate ad alto rischio e devono rispettare requisiti di trasparenza, tracciabilità, documentazione tecnica e sorveglianza post-market. Il trattamento dei dati sanitari per fini di IA deve rispettare i principi del GDPR (*General Data Protection Regulation*), in particolare quelli relativi alla minimizzazione dei dati, al consenso informato e alla portabilità. In Italia, il garante per la protezione dei dati personali ha emanato linee guida molto precise e vincolanti sull'uso dei dati sanitari. L'IA impiegata in dispositivi medici è soggetta alla normativa MDR (*Medical Device Regulation*), che richiede valutazioni cliniche, gestione del rischio e sorveglianza post-vendita e marcature di conformità europea (marchio CE).

## Necessità di formazione ed educazione all'uso di intelligenza artificiale in medicina

Affinché l'IA possa contribuire concretamente alla riduzione del rischio clinico, è fondamentale una formazione mirata degli operatori sanitari. Elementi imprescindibili della formazione devono includere, competenze di base in IA, come la comprensione dei principi di *machine learning*, *deep learning*, NLP e delle metriche di performance (accuratezza, sensibilità, specificità, AUC). Allo stesso tempo i clinici devono saper valutare la bontà dei modelli IA, comprendere i limiti e riconoscere quando l'output non è applicabile al caso clinico. Come già riportato nel capitolo precedente, altri elementi fondamentali sono rappresentati dalla conoscenza delle implicazioni etiche e legali connesse all'uso dell'IA, inclusi i diritti del paziente, la responsabilità professionale e la regolamentazione della protezione dei dati.<sup>12,17,18</sup>

## EU AI Act: Risk Levels

- **PROHIBITED AI SYSTEMS**  
Prohibited
- **HIGH RISK AI SYSTEMS**  
Must undergo a conformity assessment
- **LOW RISK AI SYSTEMS**  
Must adhere to transparency requirements
- **NO RISK AI SYSTEMS**  
No obligations



**Figura 2.** Livelli di rischio dell'IA secondo il documento redatto dalla Commissione Europea - *European IA Act, 2024*. Ideato e creato da Filippo Pieralli con l'ausilio di ChatGPT versione 5. <https://digital.nemko.com/regulations/eu-ai-act>

È necessaria ed auspicabile per la migliore progettazione e fruizione dei sistemi di IA, la collaborazione tra medici, ingegneri, informatici, data scientist, esperti legali ed etici.

La formazione in questo ambito deve essere promossa dalle università nei corsi di laurea in scienze della salute umana e nelle scuole di specializzazione e dalle strutture sanitarie articolate in ospedale e territorio per una educazione continua su una tematica in costante e dirompente evoluzione. L'uso di simulatori intelligenti e ambienti virtuali per l'addestramento all'impiego di strumenti IA in scenari clinici realistici rappresenta sicuramente una modalità formativa idonea e incisiva per far acquisire e mantenere le competenze professionali.

## Conclusioni

In conclusione, l'introduzione dell'IA in ambito sanitario rappresenta una trasformazione epocale. La capacità dell'utilizzo dell'IA si configura come un insieme di tecnologie capaci di elaborare dati complessi e assistere nelle decisioni cliniche, affiancando il medico nell'attività diagnostica, terapeutica e gestionale. Uno dei contributi più promettenti dell'IA è sicuramente la possibilità di assistere i medici, ed il personale sanitario in generale, nella possibilità di ridurre il rischio clinico. L'adozione dell'IA non sostituisce la figura del medico, ma la integra e la consolida, permettendo una medicina più sicura. Questa inevitabile rivoluzione già in atto richiede conoscenza e formazione specifica sui molteplici e complessi temi che la riguardano. La comprensione delle potenzialità e dei limiti dell'IA rappresenta oggi una competenza fondamentale per ogni professionista della salute.

## Bibliografia

1. Topol E. Deep medicine: how artificial intelligence can make healthcare human again. New York, NY, USA: Basic Books; 2019.
2. Obermeyer Z, Emanuel EJ. Predicting the future — big data, machine learning, and clinical medicine. *N Engl J Med* 2016;375:1216-9.
3. Jiang F, Jiang Y, Zhi H, et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke Vasc Neurol* 2017;2:230-43.
4. Alowais SA, Alghamdi SS, Alsuhebany N, et al. Revolutionizing healthcare: the role of artificial intelligence in clinical practice. *BMC Med Educ* 2023;23:689.
5. Chen JH, Asch SM. Machine learning and prediction in medicine — beyond the peak of inflated expectations. *N Engl J Med* 2017;376:2507-9.
6. Sidey-Gibbons JAM, Sidey-Gibbons CJ. Machine learning in medicine: a practical introduction. *BMC Med Res Methodol* 2019;19:64.
7. Shortliffe EH, Sepúlveda MJ. Clinical decision support in the era of artificial intelligence. *JAMA* 2018;320:2199-200.
8. WHO. Global action on patient safety. World Health Assembly resolution WHA72.6, 2019. Disponibile online: [https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/WHA72/A72\\_R6-en.pdf](https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA72/A72_R6-en.pdf).
9. Wiens J, Shenoy ES. Machine learning for healthcare: on the verge of a major shift in healthcare epidemiology. *Clin Infect Dis* 2018;66:149-53.
10. Beam AL, Kohane IS. Big data and machine learning in health care. *JAMA* 2018;319:1317-8.

11. Amann J, Blasimme A, Vayena E, et al. Explainability for artificial intelligence in healthcare: a multidisciplinary perspective. *BMC Med Inform Decis Mak* 2020;20:310.
12. Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nat Med* 2019;25:44-56.
13. Alshomrani F. Challenges and advances in classifying brain tumors: an overview of machine, deep learning, and hybrid approaches with future perspectives in medical imaging. *Curr Med Imaging* 2025. doi:10.2174/0115734056365191250602124819.
14. Mairi A, Hamza L, Touati A. Artificial intelligence and its application in clinical microbiology. *Expert Rev Anti Infect Ther* 2025;23:469-90.
15. Bates DW, Saria S, Ohno-Machado L, et al. Big data in health care: using analytics to identify and manage high-risk and high-cost patients. *Health Aff* 2014;33:1123-31.
16. Rajpurkar P, Irvin J, Zhu K, et al. CheXNet: radiologist-level pneumonia detection on chest X-rays with deep learning. arXiv:1711.05225.
17. Davenport T, Kalakota R. The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future Healthc J* 2019;6:94-8.
18. Chau M, Arruzza E, Singh CL. The 'negotiator': assessing artificial intelligence (AI) interview preparation for graduate radiographers. *J Med Imaging Radiat Sci* 2025;56:101982.
19. Salehi M, Alabed S, Sharkey M, et al. Artificial intelligence-based echocardiography assessment to detect pulmonary hypertension. *ERJ Open Res* 2025;11: 00592-2024.
20. Ajmera P, Dillard R, Kline T, et al. FDA-approved artificial intelligence products in abdominal imaging: a comprehensive review. *Curr Probl Diagn Radiol* 2025; S0363-0188(25)00082-9.
21. Melazzini L, Bortolotto C, Brizzi L, et al. AI for image quality and patient safety in CT and MRI. *Eur Radiol Exp* 2025;9:28.
22. Goodman KE, Yi PH, Morgan DJ. AI-generated clinical summaries require more than accuracy. *JAMA* 2024; 331:637-8.
23. London AJ. Artificial intelligence and black-box medical decisions: accuracy versus explainability. *Hastings Cent Rep* 2019;49:15-21.
24. Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale. Relazione annuale 2024. Disponibile online: <https://www.acn.gov.it/portale/relazione-annuale/2024>.
25. Morley J, Machado CCV, Burr C, et al. The ethics of AI in health care: a mapping review. *Soc Sci Med* 2020;260:113172.
26. Price WN, Cohen IG. Privacy in the age of medical big data. *Nat Med* 2019;25:37-43.
27. European Parliament. EU AI Act: first regulation on artificial intelligence. Disponibile online: <https://www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20230601STO93804/eu-ai-act-first-regulation-on-artificial-intelligence>.

## L'intelligenza artificiale: barriere alla sua implementazione e considerazioni etiche

Maria Luigia Cipollini

Semeiotica Medica, S. Orsola, Bologna, Italia

L'intelligenza artificiale (AI) in ambito sanitario ha avuto un incremento esponenziale in questi ultimi anni grazie soprattutto alla disponibilità di hardware sempre più performanti, alla possibilità di attingere ad un sempre maggiore numero di dati e allo sviluppo di algoritmi capaci di analizzare i dati inseriti e metterli in relazione con le varie condizioni patologiche. Le applicazioni più avanzate riguardano diversi settori: dall'ottimizzazione dei processi clinici al supporto alle diagnosi. Parallelamente l'AI è impiegata nella medicina personalizzata, elaborando dati clinici e genetici, per adattare le terapie alle caratteristiche specifiche di ogni paziente. E non per ultimo l'AI, utilizzando strumenti di analisi predittiva aiuta ad individuare pazienti a rischio di malattie croniche o ricoveri ripetuti.<sup>1</sup> Per lo sviluppo di queste applicazioni in campo medico, trattandosi spesso di problemi molto complessi, vengono utilizzati modelli di *machine learning* (ML), ovvero lo sviluppo di algoritmi in grado di apprendere dai dati che vengono immessi nel modello per un determinato compito, senza esser esplicitamente programmati per farlo e di migliorare, con l'ulteriore acquisizione di dati, le proprie performance nel tempo. Viene inoltre utilizzato il *deep learning* (DL) che si basa sull'utilizzo di reti neurali artificiali che sono strutturate da diversi "strati" di "nodi" (neuroni artificiali), interconnessi mediante "sinapsi" collegati tra di loro per elaborare i dati.<sup>2,3</sup>

Negli ultimi anni, i sistemi di AI sono stati addestrati a riconoscere immagini e a identificare patologie con una precisione sempre più accurata. Sono stati eseguiti e validati *trials*, che dimostrano come si possa raggiungere una diagnosi con

un'affidabilità spesso comparabile a quella dei migliori specialisti in determinate aree mediche.<sup>4</sup> Naturalmente l'applicazione dell'AI non si limita alla diagnosi ma può essere utilizzata anche nell'ambito del *decision making*, supportando i processi decisionali per cercare di individuare il trattamento personalizzato per ciascun paziente, basandosi sulle sue caratteristiche genetiche, lo stile di vita e la sua storia clinica.

L'AI inoltre permette di analizzare un numero importante di dati sanitari, con la possibilità di elaborare eventuali relazioni, che possono essere utilizzate per predire il rischio di malattie.

Da ultimo, ma non per ultimo, l'AI sta rivoluzionando anche la ricerca farmaceutica grazie alla capacità di analizzare grandi quantità di dati genetici, clinici e laboratoristici, per individuare quali pazienti possono rispondere meglio a determinati trattamenti. Applicando questo modello, è possibile sviluppare farmaci più mirati ed efficaci per ogni singolo paziente, riducendo inoltre il rischio di effetti indesiderati.

Quello sanitario è pertanto uno dei settori in cui l'AI avrà un impatto sempre maggiore proprio per i vantaggi in grado di offrire nella diagnosi, nella scoperta di farmaci, nella cura personalizzata, nella medicina predittiva, *etc.* Tuttavia, questa grande potenzialità di supporto alla diagnosi ed alla terapia dell'AI, non si è tradotta in una applicazione altrettanto diffusa quanto auspicabile della stessa e questo sta a significare che esistono delle "barriere" che ostacolano l'adozione dell'AI in campo medico.

Una prima "barriera" all'adozione dell'AI da parte della classe medica è di tipo culturale, ovvero non è ancora pronta a recepire questa rivoluzione, in atto da appena 5-6 anni, da quando cioè la disponibilità di macchine potentissime ha reso possibile costruire AI di nuova generazione, basate sui dati e sviluppate con tecniche di apprendimento automatico. Questa resistenza culturale riguarda sia i medici di vecchia generazione, che sono ancora ancorati ai vecchi modelli assistenziali, sia le nuove leve, che se da un lato accettano questa rivoluzione, dall'altro avvertono il pericolo di una deriva da automazione, ovvero attribuire una fiducia eccessiva all'AI con il rischio di appiattirsi sulle informazioni di questa, sacrificando il giudizio clinico.

Ma se la barriera culturale è destinata ad essere superata nel giro di poco tempo, ben più complessa è la barriera legata all'affidabilità delle tecnologie di AI per garantirne un utilizzo sicuro ed efficace in ambito medico. L'obiettivo dei modelli di ML e di DL è di consentire alla macchina di raggiungere un elevato livello di accuratezza nella produzione dei risultati, a partire dai dati che le si forniscono nella fase di addestramento. L'accuratezza che si ottiene è direttamente proporzio-

Corrispondente: Maria Luigia Cipollini, Semeiotica Medica, S. Orsola, Bologna, Italia.  
E-mail: [marialuigia.cipollini@gmail.com](mailto:marialuigia.cipollini@gmail.com)

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025  
Licensee PAGEPress, Italy

QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e8

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

nale al numero di dati a disposizione per cui, al fine di raggiungere ottimi livelli di accuratezza, è necessario che il modello abbia accesso ad una elevata quantità di dati. Ma non solo è importante la quantità dei dati, ancor più importante è la qualità dei dati forniti al modello. I dati forniti vengono analizzati in modo acritico dal modello per cui se questi in input sono di scarsa qualità o addirittura errati, la macchina li acquisisce a prescindere dalla loro qualità e li userà apprendendo in modo errato. La scarsa qualità dei dati è un problema che è aumentato con l'aumentare dei dati disponibili in ambito medico. Da segnalare infatti che, oltre ai dati "strutturati" come letteratura MedLine, cartelle cliniche, linee guida, database di laboratorio e imaging, sono sempre più disponibili dati non strutturati. C'è una gran quantità di dati proveniente da innumerevoli appendici digitali entrate ormai nell'uso comune, quali smartphone, app, smartwatch e braccialetti, *etc.* Si stima addirittura che circa l'80% dei dati generati quotidianamente non sia strutturato. Gli algoritmi di AI in ambito medico sono usati per interpretare questa enorme mole di dati e per identificare possibili relazioni di causa-effetto tra i dati stessi e determinate patologie. Con il modello del ML, il computer impara da solo attraverso i tantissimi dati disponibili. Quando il sistema di ML viene istruito su dati di letteratura scientifica provenienti da fonti validate scientificamente (ad esempio MedLine e linee guida) non si corrono rischi di errato input di dati. Ben diverso è se vengono utilizzate altre fonti non validate e non controllate: si pensi ad esempio a ChatGPT, che attinge informazioni da Internet e non soltanto da siti validati. Un accesso limitato ai dati di qualità è sicuramente una barriera all'adozione dei modelli di AI: i dati medici sono spesso difficili da raccogliere e l'accesso agli stessi non è semplice. Non è infrequente che gli operatori sanitari si "perdano" nella mole di dati disponibili nella ricerca di informazioni rilevanti per il paziente. Si pensi alle indagini di imaging, per le quali le odierne tecnologie avanzate permettono la disponibilità di migliaia di immagini per ogni singolo studio con il rischio di una incompleta raccolta di dati.

I dati, quantunque correttamente immessi da fonti validate, presentano un altro problema non trascurabile che è quello dei *bias*, ovvero distorsioni di valutazione degli esiti di uno studio, legati al fatto che il sistema è stato istruito su una popolazione non rappresentativa. È pertanto necessario che i dati a disposizione per la fase di addestramento siano rappresentativi della popolazione in esame; cioè, devono essere distribuiti equamente per ciascuna categoria. Se invece i dati utilizzati per l'addestramento non rappresentano equamente tutte le categorie, il modello di AI non riesce a gestire correttamente nuovi dati facenti parte delle categorie sotto-rappresentate nella fase di *training*. In questo caso di parla di *bias* nei dati di *training*, che si riflette in una disparità nelle decisioni prese. Su questi aspetti è nota la posizione di diversi autori che osservano come eventuali *bias* insiti nei sistemi di AI possano discriminare i pazienti non sufficientemente rappresentati e portare quindi a conclusioni errate se non pesati e considerati a sufficienza. Diventa quindi fondamentale che nel *training* di questi sistemi ci sia la maggiore rappresentatività possibile di tutte le componenti di una popolazione in esame.

Un altro problema, anche esso di non poco conto, è quello della incompletezza dei dati. Il sistema si istruisce su dati che noi forniamo. Pensiamo ad esempio alla definizione di un caso clinico: se non inserisco tutti i dati contenuti nella cartella clinica, vengono a mancare delle informazioni (o

perché non sono state raccolte) oppure vengono inseriti dati raccolti in modo errato. Il rischio di errore è più elevato perché il modello elabora a partire da dati incompleti o parziali, che danno luogo a *bias*.

Gli algoritmi impiegati dall'AI sono finalizzati, attraverso determinate istruzioni e processi matematici, a trovare associazioni, identificare trend, evidenziare precise dinamiche a partire dai dati raccolti e inseriti. Proprio in quanto impiegano metodi matematici, gli algoritmi vengono considerati "affidabili" a prescindere. Il problema consiste nel fatto che i dati su cui operano gli algoritmi sono inseriti dall'uomo (medico nel nostro caso), che raccoglie e seleziona i dati ed elabora algoritmi. Ma chi inserisce i dati e costruisce l'algoritmo non è in grado di comprendere tutti i vari passaggi attraverso cui si interpretano i dati: questa opacità o se si preferisce questa mancanza di trasparenza del modello dipende sempre dalla selezione dei dati. L'AI, per quanto possa raggiungere un elevato grado di accuratezza, non è e non può essere sempre esplicativa. È impossibile da parte degli stessi programmatori e tecnici spiegare come il sistema sia arrivato a determinati risultati (viene definito il *black box problem*). La macchina non fornisce, né è possibile tracciare, informazioni sulle correlazioni indicate o sulla logica adottata per giungere ad una conclusione o prendere una decisione. Questa mancanza di trasparenza, comporta che l'operatore sanitario – in quanto umano non in grado di analizzare l'enorme quantità di calcoli compiuti dall'algoritmo e scoprire esattamente come la macchina è riuscita a decidere - non abbia tutti gli elementi che gli permettano di confermare, o rigettare, la proposta del sistema.

Non mancano inoltre gli ostacoli burocratici all'implementazione dell'AI di ultima generazione nella pratica clinica. In particolare, per quanto riguarda la certificazione, le regole europee sono stringenti e pertanto non può essere utilizzato nessun modello di AI che non sia stato prima certificato come dispositivo medico e dotato del marchio 'CE' in Europa. Questo significa superare tutta una serie di richieste degli enti certificatori, che richiedono studi, sperimentazioni, validazioni.

Altro ostacolo alla diffusione dei modelli di AI è rappresentato dal costo. I sistemi sopra illustrati hanno dei costi non banali ed ogni struttura sanitaria deve trovare i fondi per poter adottare questi strumenti.

Ma oltre a barriere culturali, burocratiche, economiche e tecniche l'AI in medicina pone diverse questioni etiche e legali. Un primo problema riguarda gli effetti dell'applicazione dei modelli di AI nel rapporto medico-paziente. In questo ambito un primo ostacolo da superare riguarda la normativa sulla privacy e la protezione dei dati personali che possono rendere difficile la raccolta e la condivisione dei dati sanitari. L'AI in medicina necessita di dati per il *training* della macchina e sono gli elementi base per la costruzione degli algoritmi ed i modelli matematici. La disponibilità di dati sanitari (dati e parametri clinici, immagini, dati di laboratorio, *etc.*), la loro qualità, e la loro interoperabilità sono gli elementi fondamentali per l'applicazione dell'AI. In questo contesto la protezione della privacy è considerata come un ostacolo allo sviluppo dell'AI. Per uno sviluppo reale dell'AI, che permetta di supportare il medico nelle decisioni cliniche quotidiane, è necessario disporre dati in quantità sempre crescente e che superi anche le barriere nazionali, così come è altrettanto importante la conservazione degli stessi (imaging, *etc.*) nel tempo. La

disponibilità di grandi quantità di dati permette di poter addestrare adeguatamente gli algoritmi, che altrimenti non sarebbero in grado di funzionare. I dati clinici, le immagini mediche, i parametri biologici e i dati genetici rientrano nella categoria dei dati personali. Nell'art. 4 del GDPR (*General Data Protection Regulation*), ovvero la normativa comunitaria di riferimento in materia di gestione e protezione dei dati, i dati personali vengono definiti come "qualsiasi informazione riguardante una persona fisica identificata o identificabile".<sup>5</sup> Per evitare di non poter utilizzare i dati sanitari per il rischio di incorrere nella violazione della privacy, la tecnologia di AI sta cercando di ovviare al problema attraverso il ricorso ai cd dati sintetici. Nell'applicazione così come nello sviluppo dell'AI vi è l'esigenza dell'uso di dati sanitari e la condivisione di questi (cd data sharing) dovrebbe essere intesa come una azione finalizzata all'avanzamento delle conoscenze e pertanto dovrebbe essere intesa non come un *vulnus* per l'individuo, bensì come un bene della collettività del quale potranno avvalersi tutti i cittadini per migliorare la propria salute.

L'etica applicata alla medicina ha radici che risalgono a alla Scuola Ippocratica ed è giunto sino a noi il Giuramento di Ippocrate, risalente al IV secolo a.C., con il quale gli allievi di Ippocrate giuravano davanti ad Apollo di visitare i malati e di prescrivere le cure con l'unico scopo di guarirli e senza mai usare la violenza, di non prescrivere mai farmaci mortali o abortivi, anche se richiesti, e di non divulgare mai le cose apprese nell'esercizio dell'arte medicina, delineando così i principi fondamentali alla base della professione e ponendo in primo piano il benessere ed il rispetto del paziente. Ovviamente, negli anni, questi principi basilari si sono evoluti per adattarsi meglio alle esigenze della società ed alle nuove sfide etiche poste dall'avanzare della tecnologia, pur rimanendo nella sostanza non distanti da quelli originali. Su questa falsa riga si posizionano i principi dell'etica medica enunciati dalla *World Health Organization* che possono essere riassunti in quattro punti fondamentali:<sup>6-8</sup>

- autonomia: sostiene che i pazienti hanno il diritto di prendere decisioni informate riguardo alla propria salute, ai propri trattamenti ed ai propri dati personali. Questo può includere il diritto di rifiutare un trattamento, anche se il medico ritiene che sia nel miglior interesse del paziente;
- beneficenza: afferma che il medico deve sempre agire per il bene del paziente;
- non-maleficenza: deriva dal criterio "*primum non nocere, neminem laedere*" di Ippocrate. Sostiene che il medico deve sempre cercare di non arrecare danno al paziente.
- giustizia: sostiene che deve essere garantita un'equa distribuzione delle risorse mediche, dei benefici e dei rischi, garantendo ad ogni paziente il diritto alla cura che gli è necessaria.

L'autonomia decisionale è un principio fondamentale nel rapporto medico/paziente finalizzato al diritto alla vita, alla salute, alla dignità della persona, e soprattutto all'autodeterminazione. Ma affinché l'autonomia sia reale, un pre-requisito fondamentale è il consenso informato, finalizzato alla completa comprensione e corretta valutazione dei rischi/benefici di procedure diagnostico-terapeutiche proposte. Per il medico, che non di rado incontra difficoltà nell'informare il paziente su procedure "ordinarie", è ancora più complicato informare il paziente su procedure che utilizzano modelli di AI. Spiegare al paziente termini complicati è arduo anche perché il medico stesso deve illustrare un modello che, come abbiamo visto in

precedenza, non è completamente trasparente. Il paziente apprende dal medico termini che mai prima aveva immaginato e pertanto è verosimile che al termine del colloquio esprima il consenso, basandosi più sulla fiducia verso il medico che non sulla effettiva comprensione della procedura medesima. In questo scenario viene minata l'autonomia del paziente e si altera il tradizionale rapporto medico/paziente. Quest'ultimo non ha delle certezze sull'applicazioni dell'AI, ne recepisce i potenziali vantaggi, ma non ne comprende completamente i rischi. Queste difficoltà di una comprensibile ed esauriente informativa data dal medico al paziente (difficoltà sia di comunicazione del medico che di comprensione del paziente) nel momento in cui ci si avvale di trattamenti che fanno uso dell'AI è accresciuta dalla opacità degli algoritmi che abbiamo descritto in precedenza. Affidarsi totalmente alla logica dei modelli *black-box* viola l'etica medica: se i medici non possono valutare la qualità degli input e dei parametri del modello e non hanno la possibilità di comprendere sino in fondo il processo decisionale, e debbono pertanto affidarsi al modello *black-box* degli algoritmi, rischiano di ledere il principio di trasparenza sancito dal GDPR ed incorrere nella violazione dei diritti dei pazienti per un consenso informato oltre a minarne l'autonomia decisionale. Se non c'è trasparenza nel modello dell'AI dal punto di vista medico e conseguentemente il medico non può spiegare in modo esaustivo il processo decisionale, la fiducia del paziente nei suoi confronti viene a mancare. Il medico che si avvale di sistemi di AI come supporto alla diagnosi, deve comunque rappresentare al paziente che l'utilizzo dell'AI non è esente da rischi in modo che il paziente possa esprimere il proprio consenso informato dopo aver pesato anche agli eventuali ipotetici rischi oltre ai benefici derivanti dall'applicazione del modello. Il Comitato Nazionale Bioetica e il Comitato Nazionale per la Biosicurezza, le Biotecnologie la Scienza della Vita prendono atto del fatto che non è facile per il paziente comprendere completamente i rischi associati all'utilizzo dell'AI, essendo questo un campo molto complesso e in continua evoluzione.<sup>6</sup> È necessario, dunque che i pazienti che si sottopongono a trattamenti sanitari in cui venga utilizzata l'AI, siano informati dal medico nel modo più semplice e comprensibile. Ed è al medico che si richiede il compito di mediare tra il paziente ed i potenziali rischi legati all'AI in quanto spetta poi sempre al medico la decisione finale.

Un'altra barriera all'adozione dell'AI in medicina è rappresentata dalla preoccupazione da parte del medico di essere coinvolto in contenziosi legali per responsabilità non tutte ascrivibili a sé stesso. La questione della responsabilità è uno dei problemi più delicati e complessi che sorgono con l'utilizzo e lo sviluppo dei nuovi sistemi di AI. Un sistema così complesso può causare danni derivanti, ad esempio, da errori di immissione degli input o dei parametri clinici utilizzati, che possono determinare output errati come falsi negativi, falsi positivi, diagnosi imprecise o l'attribuzione di un'errata priorità di interventi. Il quesito che si pone è: se la macchina è stata programmata o impiegata in modo non corretto la responsabilità delle decisioni (errate) che scaturiscono da un sistema di AI deve essere attribuita a chi ha progettato la macchina, a chi è proprietario della macchina o a chi la utilizza (in quest'ultimo caso il medico)? Proprio perché l'autore degli algoritmi, il produttore del sistema, chi lo commercializza ed infine l'utilizzatore sono attori differenti, si pone il problema di definire le responsabilità per ciascuno di essi. Proprio per la complessità del modello strutturale, non è pos-

sibile attribuire la responsabilità di quanto eventualmente accaduto a danno del paziente o se questa responsabilità è unica. Anche se il comando dell'azione rimane al medico (avvalersi o meno del modello di AI) non è sempre il medico stesso a svolgere direttamente l'azione, anzi in non pochi casi assume una posizione marginale. Proprio per queste diverse tipologie di responsabilità dovranno essere emanate nuove norme o in alternativa riviste e reinterpretate quelle già esistenti. Affinché ciò si realizzi è indispensabile un confronto ed una più efficace collaborazione fra la classe medica e quella giuridica, al fine di definire le possibili molteplici responsabilità mediche connesse con l'AI.

L'AI, anche se a rilento rispetto ad altri ambiti scientifici, è ormai entrata prepotentemente in ambito sanitario e lo sarà ancora di più in futuro. Come è stato descritto nelle pagine precedenti, l'adozione di questo nuovo modello deve superare delle barriere che il personale sanitario dovrà affrontare e superare proprio per cercare di ottimizzare i vantaggi e ridurre i rischi dell'applicazione dell'AI nella tutela della salute.<sup>9</sup> Sono pertanto quantomai appropriate le riflessioni e le raccomandazioni del Comitato Nazionale di Bioetica, finalizzate alla ricerca di un equilibrio tra la dimensione umana (tradizionale) e quella tecnologica avanzata dell'AI, cercando di armonizzarle, senza la reciproca esclusione. Nelle raccomandazioni si cerca di evitare eccessive aspettative, ma anche di evitare eccessive resistenze, affrontando questa nuova frontiera della medicina, anche se con la dovuta cautela, con la fiducia che l'adozione di questa tecnologia consentirà dei progressi in campo di diagnosi, terapia e prevenzione. In particolare il Comitato raccomanda:

- ripensare la formazione dei professionisti della salute con una revisione flessibile dei programmi di studio per un adattamento costante al cambiamento tecnologico. Il medico non è oggi, salvo eccezioni, addestrato ad utilizzare in modo corretto i risultati dell'AI. È perciò molto importante agire sia sul versante della Educazione Continua Medica, sia su quello delle Scuole di Medicina, per inserire l'AI nella educazione dei medici di fronte agli sviluppi delle tecnologie emergenti;
- di predisporre accurati controlli per l'addestramento delle macchine sulla base di dati di qualità, aggiornati ed affidabili, per garantire sicurezza ed efficacia nell'uso di queste nuove tecnologie e contemporaneamente adottare strumenti di validazione e certificazione, oltretutto di sorveglianza e monitoraggio, come elementi indispensabili per incrementarne l'affidabilità in ambito medico;
- nell'ambito della relazione medico-paziente informare, soprattutto in questo periodo di transizione, in modo corretto i malati sui rischi e benefici dell'uso dell'AI con riferimento alle specifiche applicazioni (con i limiti legati alla non completa trasparenza del modello ed i conseguenti limiti di spiegabilità al paziente) al fine di garantire la piena consapevolezza delle scelte;

- rinnovare la formazione anche nell'ambito della tecnologia introducendo corsi di formazione all'etica e alla bioetica per gli ingegneri e informatici, con particolare riferimento all'etica nel disegno delle tecnologie, nella progettazione e nell'applicazione delle stesse, assicurando una tecnologia che sia orientata ad incorporare i valori e assicurare la centralità del paziente. Solo in questo modo sarà possibile garantire una consapevolezza etica di coloro che costruiscono le tecnologie, per consentire che i principi e valori siano presenti sin dall'inizio della progettazione;
- sollecitare, sul piano normativo e legislativo, un aggiornamento sui profili concernenti la responsabilità nell'applicazione delle nuove tecnologie.

## Bibliografia

1. Busnatu S, Niculescu AG, Bolocan A, et al. Clinical applications of artificial intelligence - an updated overview. *J Clin Med* 2022;11:2265.
2. IONOS. Deep Learning e Machine Learning. 2020. Disponibile online: <https://www.ionos.it/digitalguide/online-marketing/marketing-sui-motori-di-ricerca/deep-learning-vs-machine-learning/>
3. DifesaOnline. La nuova rivoluzione digitale, il Deep Learning. 2022. Disponibile online: <https://www.difesaonline.it/2022/02/07/evidenza-cyber-la-nuova-rivoluzione-digitale-il-deep-learning/>.
4. Cabitza F, Alderighi C, Rasoini R, Gensini GF. Potenziali conseguenze inattese dell'uso di sistemi di intelligenza artificiale oracolari in medicina. *Recenti Prog Med* 2017;108:397-40.
5. Rauccio C. Consenso al trattamento dei dati sanitari: ecco perché col GDPR è cambiato tutto. 2020. Disponibile online: <https://www.agendadigitale.eu/sicurezza/privacy/consenso-al-trattamento-dei-dati-sanitari-ecco-perche-col-gdpr-e-cambiato-tutto/>.
6. World Health Organization. Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance. 2021. Disponibile online: <https://www.who.int/publications/item/9789240029200>.
7. CNB, CNBBSV. Intelligenza artificiale e medicina: aspetti etici.
8. Parlamento Europeo, Consiglio dell'Unione Europea. Regolamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo e del Consiglio. *Gazzetta Ufficiale*, L119/1, 4/05/2016.
9. Corbellini G. Dall'etica medica alla bioetica. Disponibile online: [https://www.treccani.it/enciclopedia/dall-etica-medica-alla-bioetica\\_\(Storia-della-civilt%C3%A0-europea-a-cura-di-Umberto-Eco\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/dall-etica-medica-alla-bioetica_(Storia-della-civilt%C3%A0-europea-a-cura-di-Umberto-Eco)/).

## PRO E CONTRO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE IN DIVERSI PERCORSI SPECIALISTICI

## L'intelligenza artificiale in ambito cardiovascolare: presente e futuro

Maurizio Baroni,<sup>1</sup> Alessandro Capucci<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cardiologo libero professionista, Segretario Regionale ANCE Emilia-Romagna, Vicepresidente Regionale SIT Emilia-Romagna; già direttore Clinica di Cardiologia e Aritmologia, Bologna; <sup>2</sup>Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italia

### Introduzione

L'intelligenza artificiale (IA) anche in ambito cardiologico è sicuramente già una realtà e gli sviluppi in questi anni sono stati sorprendenti e ancora di più lo saranno nel prossimo futuro tanto da influenzare o, secondo alcuni, rivoluzionare la medicina o meglio la professione medica.<sup>1-5</sup> L'IA non è ancora entrata nella quotidianità, cioè nella gestione e pratica clinica negli ambulatori medici, ma presto sicuramente lo farà per cui è importante conoscere i vantaggi che può fornire, ma anche i possibili problemi connessi all'utilizzo di questa rivoluzionaria tecnologia.

I dati digitali stanno crescendo in modo esponenziale e questa enorme mole di dati (big data) contiene un numero impressionante di informazioni, anche in ambito sanitario, che l'IA mediante tecniche di machine learning e deep learning è in grado di analizzare, cosa non possibile agli esseri umani, almeno in tempi rapidi. Con tali premesse non è illogico ritenere che l'IA impatterà sulla diagnosi delle malattie e conseguentemente sulla cura dei pazienti, sulla ricerca medica e sullo sviluppo di nuovi farmaci o cure con l'intento di avvicinarsi a una medicina di "precisione" secondo lo schema della *4P Medicine*: prevenzione, predizione, personalizzazione e partecipazione.

Corrispondente: Maurizio Baroni, Cardiologo libero professionista, Bologna, Italia.  
E-mail: maurizio.baroni61@gmail.com

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025  
Licensee PAGEPress, Italy  
QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e9

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

### Ambiti di applicazione

La medicina risulta infatti in prima linea per l'applicazione dell'IA per vari motivi: i) la digitalizzazione dei documenti medici (cartelle cliniche, referti) che stanno pian piano sostituendo quelli cartacei; ii) la digitalizzazione della diagnostica per immagini di cui il primo passo è stato l'applicazione dello standard DICOM; iii) la crescita dell'IOT (*internet of things*) che ha portato alla creazione di oggetti di uso quotidiano che, grazie allo sviluppo tecnologico, sono oggi in grado di comunicare tra loro e con la rete e ancora; iv) il grande sviluppo delle biotecnologie, le scienze del futuro ormai prossimo.

In ambito cardiologico i principali campi di applicazione attuale dell'IA sono l'elettrocardiografia e la diagnostica per immagini (ecocardiografia e tomografia computerizzata e risonanza magnetica, ma anche la semplice radiologia tradizionale).

Per quanto riguarda l'elettrocardiografia i campi di applicazione dell'IA sono, oltre alla diagnosi automatica delle varie aritmie e anche delle alterazioni di altri parametri elettrocardiografici come il tratto ST, o l'intervallo QT, la possibilità non solo di determinare età e sesso del paziente sulla base di un semplice elettrocardiogramma, ma anche eventuali discordanze tra età reale anagrafica e età indicata dal tracciato elettrocardiografico di quel paziente.<sup>6-10</sup>

Ancora la possibilità di predire l'insorgenza di fibrillazione atriale nel breve tempo analizzando un elettrocardiogramma in ritmo sinusale,<sup>11-21</sup> valutare la presenza di ipertrofia,<sup>22,23</sup> e disfunzione del ventricolo sinistro,<sup>24-32</sup> diagnosticare la presenza di specifiche malattie cardiache quali la cardiomiopatia ipertrofica, l'amiloidosi cardiaca, le canalopatie cioè le malattie dei canali ionici, le cardiopatie congenite e anche le valvulopatie quali la stenosi aortica, l'insufficienza mitralica. Inoltre, l'IA può applicarsi al monitoraggio dei farmaci antitumorali potenzialmente cardiotossici sempre mediante l'analisi di un semplice elettrocardiogramma basale a 12 derivazioni; ma anche tramite la registrazione di una singola derivazione elettrocardiografica con i nuovi devices portatili quali smartwatches (Tabella 1).<sup>33-51</sup> Non meno importante il ruolo che l'IA può avere per la valutazione del dolore toracico acuto nei dipartimenti di emergenza e per la diagnosi di infarto mio-

**Tabella 1.** Caratteristiche e performance degli algoritmi applicati al segnale elettrocardiografico a scopo diagnostico.

Patologia	Metodica	AUC	Sensibilità (%)	Specificità (%)	Bibliografia
FA	ECG 12 D	0.87	79	79.5	Attia <i>et al.</i> <sup>6</sup>
FA	ECG 12 D	0.85	69	81	Raghunath <i>et al.</i> <sup>19</sup>
FE/SC	ECG 12 D	0.93	86.3	85.7	Attia <i>et al.</i> <sup>27</sup>
FE/SC	ECG 12 D	0.89	73.8	87.3	Adedinsewo <i>et al.</i> <sup>28</sup>
FE/SC	ECG 12 D	0.91	90.5	75.6	Cho <i>et al.</i> <sup>25</sup>
CMPI	ECG 12 D	0.96	87	90	Ko <i>et al.</i> <sup>34</sup>
SA	ECG 12 D	0.85	78	74	Cohen-Shelly <i>et al.</i> <sup>48</sup>
IM	ECG 12 D	0.81	90	53	Kwon <i>et al.</i> <sup>49</sup>
QTL	ECG 12 D	0.90	83.7	80.6	Bos <i>et al.</i> <sup>37</sup>

FA, fibrillazione atriale; FE/SC, frazione d'ejezione/scompenso cardiaco; CMPI, cardiomiopatia ipertrofica; SA, stenosi aortica; IM, insufficienza mitralica; QTL, QT lungo; ECG 12 D, elettrocardiogramma 12 derivazioni; AUC, area sotto la curva.

cardico proprio con la valutazione corretta della ripolarizzazione ventricolare e delle sue modifiche nel singolo paziente.<sup>52-57</sup>

Per quanto concerne la diagnostica per immagini in ambito cardiologico, l'IA fornendo analisi più accurate dei reperti rilevati può consentire diagnosi più precise dei differenti quadri patologici, consentendo anche da parte di meno esperti della metodica un migliore inquadramento clinico del paziente.

Per esempio mediante la radiografia del torace è possibile identificare la presenza di aterosclerosi coronarica, stenosi valvolare aortica, disfunzione ventricolare sinistra.<sup>58-63</sup>

Per quanto riguarda la tomografia computerizzata, è possibile effettuare un'analisi più precisa dell'anatomia coronarica (presenza ed entità e composizione delle placche coronariche, valutazione del *calcium-score*), ma anche della tipologia, posizione ed entità del grasso epicardico che sta emergendo come nuovo fattore di rischio cardiovascolare. Da ricordare anche per questa metodica l'utilità del suo impiego presso i dipartimenti di emergenza.

Importanti sono le applicazioni in ecocardiografia: non solo maggiore obiettività e accuratezza dei dati rilevati mediante un'analisi automatica (l'ecocardiografia è una metodica operatore dipendente), con conseguente migliore valutazione della presenza e entità delle valvulopatie e della disfunzione del ventricolo sinistro, parametro fondamentale in numerose patologie cardiache e molto utile anche in cardio-oncologia per il monitoraggio dei farmaci antitumorali chemioterapici potenzialmente cardiotoxici.<sup>64-71</sup>

Per quanto riguarda la risonanza magnetica, che risulta già oggi il gold standard per la diagnosi di numerose cardiopatie, l'IA consente un'analisi più precisa e anche più rapida della morfologia e della funzione cardiaca e della presenza di fibrosi/infiammazione, parametri ad esempio fondamentali per valutare gli esiti di miocarditi recenti o pregresse.

Inoltre, l'IA può supportare il medico in situazioni cliniche quali per esempio lo scompenso cardiaco o le sindromi coronariche in cui la diagnosi talora risulta difficile e anche effettuare previsioni accurate sull'outcome. Altri campi di applicazione, peraltro in fase ancora di studio, riguardano la possibilità di diagnosticare la presenza di coronaropatia o di fibrillazione atriale in base al riconoscimento facciale o all'analisi della voce.

## Criticità

Vi sono sicuramente alcuni punti critici legati all'uso dell'IA che devono essere tenuti ben presenti: in primis la qualità dei dati e loro validità, la loro completezza e il loro corretto utilizzo; sono tutti aspetti che possono influenzare in maniera significativa i risultati finali. Altro aspetto importante è il rispetto delle normative sulla privacy nella gestione e condivisione dei dati. Vi possono essere anche problemi etici legati per esempio al tipo di algoritmo usato o agli scopi per cui gli algoritmi vengono utilizzati. Inoltre, l'eccessiva fiducia in queste tecnologie, che non sono infallibili, potrebbe condizionare il giudizio clinico da parte del medico e quindi influenzarne le capacità diagnostiche e la sua stessa preparazione clinica nel tempo.<sup>72-75</sup>

## Conclusioni

In conclusione, l'IA anche in ambito cardiologico sta aprendo nuove opportunità in campo diagnostico, terapeutico, di valutazione del rischio cardiovascolare, pur con una serie di problematiche che devono essere conosciute; per tale motivo il medico deve imparare a confrontarsi con queste nuove tecnologie e saperle gestire per una medicina sempre più efficiente e personalizzata.

## Bibliografia

1. Char DS, Shah NH, Magnus D. Implementing machine learning in health care – addressing ethical challenges. *N Engl J Med* 2018;378:981-3.
2. Beam AL, Kohane IS. Big data and machine learning in health care. *JAMA* 2018;319:1317-8.
3. Hannun AY, Rajpurkar P, Haghpanahi M, et al. Cardiologist-level arrhythmia detection and classification in ambulatory electrocardiograms using a deep neural network. *Nat Med* 2019;25:65-9.
4. Attia ZI, Harmon DM, Behr ER, Friedman PA. Application of artificial intelligence to the electrocardiogram. *Eur Heart J* 2022;42:4717-30.
5. Zhu H, Cheng C, Yin H, et al. Automatic multilabel electrocardiogram diagnosis of heart rhythm or conduction

- abnormalities with deep learning: a cohort study. *Lancet Digit Health* 2020;2:e348-57.
6. Attia ZI, Friedman PA, Noseworthy PA, et al. Age and sex estimation using artificial intelligence from standard 12-lead ECGs. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2019;12:e007284.
  7. Baek YS, Lee DH, Jo Y, et al. Artificial intelligence-estimated biological heart age using a 12-lead electrocardiogram predicts mortality and cardiovascular outcomes. *Front Cardiovasc Med* 2023;10:1137892.
  8. Chen Q, Li S, Zhang W, Wang H. AI-augmented electrocardiography for predicting cardiovascular events in asymptomatic individuals. Prospective cohort study. *J Cardiovasc Health* 2020;45:300-15.
  9. Siontis KC, Noseworthy PA, Attia ZI, Friedman PA. Artificial intelligence-enhanced electrocardiography in cardiovascular disease management. *Nat Rev Cardiol* 2021;18:465-78.
  10. Lima EM, Ribeiro AH, Paixão GMM, et al. Deep neural network-estimated electrocardiographic age as a mortality predictor. *Nat Commun* 2021;12:5117.
  11. Christopoulos G, Graff-Radford J, Lopez CL, et al. Artificial intelligence–electrocardiography to predict incident atrial fibrillation: a population-based study. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2020;13:e009355.
  12. Hygrel T, Viberg F, Dahlberg E, et al. An artificial intelligence–based model for prediction of atrial fibrillation from single-lead sinus rhythm electrocardiograms facilitating screening. *Europace* 2023;25:1332-8.
  13. Perez MV, Mahaffey KW, Hedlin H, et al. Large-scale assessment of a smartwatch to identify atrial fibrillation. *N Engl J Med* 2019;381:1909-17.
  14. Harmon DM, Sehrawat O, Maanja M, et al. Artificial intelligence for the detection and treatment of atrial fibrillation. *Arrhythm Electrophysiol Rev* 2023;12:e12.
  15. Attia ZI, Noseworthy PA, Lopez-Jimenez F, et al. An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: a retrospective analysis of outcome prediction. *Lancet* 2019;394:861-7.
  16. Baek YS, Lee SC, Choi W, Kim DH. A new deep learning algorithm of 12-lead electrocardiogram for identifying atrial fibrillation during sinus rhythm. *Sci Rep* 2021;11:12818.
  17. Noseworthy PA, Attia ZI, Behnken EM, et al. Artificial intelligence-guided screening for atrial fibrillation using electrocardiogram during sinus rhythm: a prospective non-randomised interventional trial. *Lancet* 2022;400:1206-12.
  18. Bumgarner JM, Lambert CT, Hussein AA, et al. Smartwatch algorithm for automated detection of atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol* 2018;71:2381-8.
  19. Raghunath S, Pfeifer JM, Ulloa-Cerna AE, et al. Deep neural networks can predict new-onset atrial fibrillation from the 12-lead ECG and help identify those at risk of atrial fibrillation–related stroke. *Circulation* 2021;143:1287-98.
  20. Dorr M, Nohturfft V, Brasier N, et al. The WATCH AF trial: SmartWATCHes for detection of atrial fibrillation. *JACC Clin Electrophysiol* 2019;5:199-208.
  21. Baek YS, Kwon S, You SC, et al. Artificial intelligence-enhanced 12-lead electrocardiography for identifying atrial fibrillation during sinus rhythm (AIAFib) trial: protocol for a multicenter retrospective study. *Front Cardiovasc Med* 2023;10:1258167.
  22. Liu CW, Wu FH, Hu YL, et al. Left ventricular hypertrophy detection using electrocardiographic signal. *Sci Rep* 2023;13:2556.
  23. Park S, Lee H, Kim Y, Jung J. AI-augmented electrocardiography for early detection of hypertensive heart disease in individuals with hypertension. Randomized control trial. *J Hypertens Cardiovasc Health* 2020;38:120-35.
  24. Akbilgic O, Butler L, Karabayir I, et al. ECG-AI: electrocardiographic artificial intelligence model for prediction of heart failure. *Eur Heart J Digit Health* 2021;2:626-34.
  25. Cho J, Lee B, Kwon JM, et al. Artificial intelligence algorithm for screening heart failure with reduced ejection fraction using electrocardiography. *ASAIO J* 2021;67:314-21.
  26. Grun D, Rudolph F, Gumpfer N, et al. Identifying heart failure in ECG data with artificial intelligence: a meta-analysis. *Front Digit Health* 2021;2:584555.
  27. Attia ZI, Kapa S, Lopez-Jimenez F, et al. Screening for cardiac contractile dysfunction using an artificial intelligence-enabled electrocardiogram. *Nat Med* 2019;25:70-4.
  28. Adedinsowo D, Carter RE, Attia Z, et al. Artificial intelligence-enabled ECG algorithm to identify patients with left ventricular systolic dysfunction presenting to the emergency department with dyspnea. *Circ Arrhythm Electrophysiol* 2020;13:e008437.
  29. Yao X, McCoy RG, Friedman PA, et al. ECG AI-guided screening for low ejection fraction (EAGLE): rationale and design of a pragmatic cluster randomized trial. *Am Heart J* 2020;219:31-6.
  30. Yagi R, Goto S, Katsumata Y, et al. Importance of external validation and subgroup analysis of artificial intelligence in the detection of low ejection fraction from electrocardiograms. *Eur Heart J Digit Health* 2022;3:654-7.
  31. Konig S, Hohenstein S, Nitsche A, et al. Artificial intelligence-based identification of left ventricular systolic dysfunction from 12-lead electrocardiograms: External validation and advanced application of an existing model. *Eur Heart J Digit Health* 2023;5:144-51.
  32. Patel A, Kumar S, Sharma P, Gupta M. AI-assisted electrocardiography for real-time monitoring and personalized treatment in heart failure patients with reduced ejection fraction. Retrospective observational study. *Cardiac Care J* 2021;28:87-102.
  33. Tison GH, Siontis KC, Abreau S, et al. Assessment of disease status and treatment response with artificial intelligence-enhanced electrocardiography in obstructive hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2023;79:1032.
  34. Ko WY, Siontis KC, Attia ZI, et al. Detection of Hypertrophic Cardiomyopathy Using a Convolutional Neural Network-Enabled Electrocardiogram. *J Am Coll Cardiol* 2020;75:722-733.
  35. Sabut S, Pandey O, Mishra BS, Mohanty M. Detection of ventricular arrhythmia using hybrid time-frequency-based features and deep neural network. *Phys Eng Sci Med* 2021;44:135-45.
  36. Sammani A, van de Leur RR, Henkens MT, et al. Life-

- threatening ventricular arrhythmia prediction in patients with dilated cardiomyopathy using explainable electrocardiogram-based deep neural networks. *Europace* 2022;24:1645-54.
37. Bos JM, Attia ZI, Albert DE, et al. Use of artificial intelligence and deep neural networks in evaluation of patients with electrocardiographically concealed long QT syndrome from the surface 12-lead electrocardiogram. *JAMA Cardiol* 2021;6:532-8.
  38. Shiraishi Y, Goto S, Niimi N, et al. Improved prediction of sudden cardiac death in patients with heart failure through digital processing of electrocardiography. *Europace* 2023;25:922-30.
  39. Grogan M, Lopez-Jimenez F, Cohen-Shelly M, et al. Artificial intelligence-enhanced electrocardiogram for the early detection of cardiac amyloidosis. *Mayo Clin Proc* 2021;96:2768-78.
  40. Spaccarotella CAM, Migliarino S, Mongiardo A, et al. Measurement of the QT interval using the AppleWatch. *Sci Rep* 2021;11:10817.
  41. Spaccarotella C, Santarpia G, Curcio A, Indolfi C. The smartwatch detects ECG abnormalities typical of Brugada syndrome. *J Cardiovasc Med* 2021;22:e24-5.
  42. Arnaout R, Curran L, Zhao Y, et al. An ensemble of neural networks provides expert-level prenatal detection of complex congenital heart disease. *Nat Med* 2021;27:882-91.
  43. Kwon JM, Lee SY, Jeon KH, et al. Deep learning-based algorithm for detecting aortic stenosis using electrocardiography. *J Am Heart Assoc* 2020;9:e014717.
  44. Harmon DM, Malik A, Nishimura R. Progression of calcific aortic stenosis detected by artificial intelligence electrocardiogram. *Mayo Clin Proc* 2022;97:1211-2.
  45. Pandey A, Adedinsowo D. The future of AI-enhanced ECG interpretation for valvular heart disease screening. *J Am Coll Cardiol* 2022;80:627-30.
  46. Ueda D, Yamamoto A, Ehara S, et al. Artificial intelligence-based detection of aortic stenosis from chest radiographs. *Eur Heart J Digit Health* 2022;3:20-8.
  47. Holste G, Oikonomou EK, Mortazavi BJ, et al. Severe aortic stenosis detection by deep learning applied to echocardiography. *Eur Heart J* 2023;44:4592-604.
  48. Cohen-Shelly M, Attia ZI, Friedman PA, et al. Electrocardiogram screening for aortic valve stenosis using artificial intelligence. *Eur Heart J* 2021;42:2885-96.
  49. Kwon JM, Kim KH, Akkus Z, et al. Artificial intelligence for detecting mitral regurgitation using electrocardiography. *J Electrocardiol* 2020;59:151-7.
  50. Oikonomou EK, Sangha V, Dhingra LS, et al. Artificial intelligence-enhanced risk stratification of cancer therapeutics-related cardiac dysfunction using electrocardiographic images. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 2025;18:e011504.
  51. Yagi R, Goto S, Himeno Y, et al. Artificial intelligence-enabled prediction of chemotherapy-induced cardiotoxicity from baseline electrocardiograms. *Nat Commun* 2024;15:2536.
  52. Tripathy RK, Bhattacharyya A, Pachori RB. Localization of myocardial infarction from multi-lead ECG signals using multiscale analysis and convolutional neural network. *IEEE Sensors J* 2019;19:11437-48.
  53. Tadesse GA, Javed H, Weldemariam K, et al. DeepMI: deep multi-lead ECG fusion for identifying myocardial infarction and its occurrence-time. *Artif Intell Med* 2021;121:102192
  54. Acharya UR, Fujita H, Oh SL, et al. Application of deep convolutional neural network for automated detection of myocardial infarction using ECG signals. *Inf Sci* 2017;415-416:190-8.
  55. Liu W, Huang Q, Chang S, et al. Multiple-feature-branch convolutional neural network for myocardial infarction diagnosis using electrocardiogram. *Biomed Signal Process Control* 2018;45:22-32.
  56. Chen X, Guo W, Zhao L, et al. Acute myocardial infarction detection using deep learning-enabled electrocardiograms. *Front Cardiovasc Med* 2021;8:654515.
  57. Gumpfer N, Grun D, Hannig J, et al. Detecting myocardial scar using electrocardiogram data and deep neural networks. *Biol Chem* 2021;402:911-23.
  58. Zhang L, Wang Q, Li M, Chen J. AI-enhanced electrocardiography for detecting myocardial infarction in patients with suspected heart disease. Prospective cohort study. *J Cardiovasc Diagn* 2019;42:250-65.
  59. Chang KC, Hsieh PH, Wu MY, et al. Usefulness of multi-labelling artificial intelligence in detecting rhythm disorders and acute ST-elevation myocardial infarction on 12-lead electrocardiogram. *Eur Heart J Digit Health* 2021;2:299-310.
  60. Weiss J, Raghu VK, Paruchuri K, et al. Deep learning to estimate cardiovascular risk from chest radiographs: a risk prediction study. *Ann Intern Med* 2024;177:409-17.
  61. Ueda D, Matsumoto T, Ehara S, et al. Artificial intelligence-based model to classify cardiac functions from chest radiographs: a multi-institutional, retrospective model development and validation study. *Lancet Digit Health* 2023;5:e525-3.
  62. Avram R, Barrios JP, Abreau S, et al. Automated assessment of cardiac systolic function from coronary angiograms with video-based artificial intelligence algorithms. *JAMA Cardiol* 2023;8:586-94.
  63. Kamel PI, Yi PH, Sair HI, Lin CT. Prediction of coronary artery calcium and cardiovascular risk on chest radiographs using deep learning. *Radiol Cardiothorac Imaging* 2021;3:e200486.
  64. Lüscher TF, Wenzl FA, D'Ascenzo F, et al. Artificial intelligence in cardiovascular medicine: clinical applications. *Eur Heart J* 2024;45:4291-304.
  65. Seetharam K, Kagiya N, Sengupta PP. Application of mobile health, telemedicine and artificial intelligence to echocardiography. *Echo Res Pract* 2019;6:R41-52.
  66. Al'Aref SJ, Anchouche K, Singh G, et al. Clinical applications of machine learning in cardiovascular disease and its relevance to cardiac imaging. *Eur Heart J* 2019;40:1975-86.
  67. Seetharam K, Shrestha S, Sengupta PP. Artificial intelligence in cardiovascular medicine. *Curr Treat Options Cardiovasc Med* 2019;21:25.
  68. Seetharam K, Shrestha S, Sengupta PP. Artificial intelligence in cardiac imaging. *US Cardiol Rev* 2019;13:110-6.
  69. Johnson KW, Torres Soto J, Glicksberg BS, et al. Artificial intelligence in cardiology. *J Am Coll Cardiol* 2018;71:2668-79.
  70. Al'Aref SJ, Min JK. Cardiac CT: current practice and emerging applications. *Heart* 2019;105:1597-605.

71. Ulloa-Cerna AE, Jing L, Pfeifer JM, et al. rECHOmend: an ECG-based machine learning approach for identifying patients at increased risk of undiagnosed structural heart disease detectable by echocardiography. *Circulation* 2022;146:36-47.
72. Kwon JM, Jo YY, Lee SY, Kim KH. Artificial intelligence using electrocardiography: strengths and pitfalls. *Eur Heart J* 2021;42:2896-8.
73. Han X, Hu Y, Foschini L, et al. Deep learning models for electrocardiograms are susceptible to adversarial attack. *Nat Med* 2020;26:360-3.
74. Brailer DJ, Kroch E, Pauly MV. The impact of computer-assisted test interpretation on physician decision making: the case of electrocardiograms. *Med Decis Making* 1997;17:80-6.
75. Cohen IG, Amarasingham R, Shah A, et al. The legal and ethical concerns that arise from using complex predictive analytics in health care. *Health Aff* 2014;33: 1139-47.

## Intelligenza artificiale in radiologia

Maria Vittoria Bazzocchi, Emanuela Giampalma, Matteo Renzulli

UO Radiologia, Ospedale Morgagni-Pierantoni Forlì, Dipartimento di Scienze Mediche e Chirurgiche, Università di Bologna, Italia

L'intelligenza artificiale (IA) rappresenta un campo in rapida evoluzione, che sta trasformando profondamente molti aspetti della vita dell'uomo e tra questi anche la medicina. Questa trasformazione profonda ed improvvisa ha, inevitabilmente, coinvolto tutta la diagnostica per immagini, la radiologia.

In generale, l'IA fa riferimento a sistemi informatici in grado di eseguire compiti come il riconoscimento di pattern, l'apprendimento automatico da dati e la capacità di prendere decisioni autonome; all'interno di questo ampio campo si distinguono tre principali categorie: l'IA propriamente detta, la *machine learning* e il *deep learning*.<sup>1</sup>

L'IA, nel suo significato più ampio, include anche sistemi basati su regole predefinite, purché siano in grado di simulare processi cognitivi umani, come il ragionamento logico o delle semplici decisioni.

Il *machine learning* rappresenta una branca dell'IA che consente ai sistemi di apprendere dai dati e migliorare progressivamente le proprie prestazioni senza essere esplicitamente programmati per ogni singolo compito. Questi algoritmi richiedono la supervisione umana, soprattutto nelle fasi iniziali di addestramento e validazione, e si basano su metodi statistici, per identificare correlazioni e prevedere risultati. Riguardo le immagini radiologiche, le tecniche tradizionali di *machine learning* spesso si avvalgono di processi espliciti di estrazione delle caratteristiche, con cui si individuano parametri rilevanti come la forma, la densità o la texture dei tessuti.

Il *deep learning* rappresenta l'evoluzione più recente e

avanzata del *machine learning*. Si basa sull'utilizzo di reti neurali artificiali profonde, strutturate su più livelli gerarchici, che consentono l'apprendimento automatico di pattern complessi direttamente dai dati grezzi. Ciò significa che non è necessario esplicitare a priori quali caratteristiche analizzare: la rete è in grado di scoprirle autonomamente attraverso un processo iterativo di ottimizzazione, senza l'ausilio dell'aiuto umano (a differenza del *machine learning*). Questo approccio richiede però grandi volumi di dati e una notevole potenza computazionale, resa oggi possibile dall'impiego di unità di elaborazione grafica (GPU, dall'inglese *Graphics Processing Unit*) specializzate.<sup>2,3</sup>

Nell'ambito della radiologia, l'adozione dell'IA sta trasformando molteplici aspetti dell'attività diagnostica e gestionale, ma anche di quella interventistica.

Tra gli utilizzi più consolidati, la segmentazione delle immagini rappresenta un'applicazione cruciale, permettendo di selezionare e suddividere le immagini in regioni distinte e di individuare precisamente organi e lesioni. Sebbene la segmentazione manuale possa essere estremamente accurata, risulta spesso lunga e laboriosa: gli algoritmi di IA consentono di automatizzare o semplificare questo processo, attraverso modalità automatiche o semi-automatiche, riducendo significativamente i tempi di analisi e standardizzando le valutazioni morfometriche.

L'analisi radiomica, basata sull'estrazione computazionale di caratteristiche quantitative dalle immagini, permette inoltre di correlare i pattern morfologici e di texture con dati clinici e molecolari, offrendo nuove prospettive nella stratificazione prognostica e nella medicina di precisione. Molti studi hanno già evidenziato il potenziale della radiomica nello studio, ad esempio, dell'epatocarcinoma (HCC), dalla diagnosi, al trattamento e alla prognosi. Ad esempio, Mokrane *et al.* hanno valutato 178 pazienti con noduli epatici indeterminati, classificandoli in noduli ad alto o basso rischio di conversione in HCC.<sup>4</sup> Dankerl *et al.* hanno invece osservato che alcune caratteristiche radiomiche potrebbero superare di gran lunga i radiologi nella differenziazione delle lesioni benigne da quelle maligne, con un'accuratezza del 75.1%, rispetto a quella ottenuta con la semplice refertazione di immagini radiologiche, che varia dal 52 al 74% a seconda del livello di esperienza.<sup>5</sup> Sono stati proposti inoltre modelli di *machine learning* in grado di predire il grado patologico della lesione prima della chirurgia e di predire il tasso di ricorrenza della malattia analizzando immagini di risonanza magnetica (RM), che hanno mostrato performance nettamente migliori combinando l'uso dell'IA ai dati clinico-laboratoristici.<sup>6-8</sup> Altri studi hanno esplorato l'uso dei modelli

Corrispondente: Matteo Renzulli.

E-mail: [matteo.renzulli@unibo.it](mailto:matteo.renzulli@unibo.it)

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025

Licensee PAGEPress, Italy

QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e10

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

radiomici per prevedere l'invasione microvascolare negli HCC,<sup>9,10</sup> per predire la recidiva in contesti quali il trapianto di fegato,<sup>11</sup> la chemoembolizzazione transarteriosa (TACE) e l'ablazione con radiofrequenza (RFA), dimostrando buoni risultati.<sup>12,13</sup>

L'imaging toracico costituisce un altro dei principali settori di applicazione dell'IA in ambito radiologico, rappresentando circa il 26,6% del mercato globale e contando attualmente 54 algoritmi approvati dalla *Food and Drug Administration*. La maggior parte degli strumenti si concentra sulla rilevazione automatica dei noduli polmonari all'interno di popolazioni di screening, ma anche nel routinario follow-up dei pazienti.<sup>14</sup> Esistono inoltre numerosi algoritmi sviluppati per l'analisi di radiografie del torace, finalizzati al riconoscimento di pneumotorace, versamento pleurico, e al rilevamento di dispositivi medici come tubi di drenaggio e cateteri. Ad esempio, un algoritmo sviluppato per la rilevazione dell'embolia polmonare ha mostrato una sensibilità superiore a quella dei radiologi (92.6% contro 90%), pur a scapito di una minore specificità. Tali risultati suggeriscono un ruolo complementare dell'IA, soprattutto nell'identificazione precoce di quadri clinici potenzialmente critici.<sup>15</sup>

Anche nella radiologia muscolo-scheletrica, l'IA sta emergendo come strumento ausiliario di valore: l'impiego di modelli di *deep learning* ha mostrato risultati promettenti nell'identificazione automatica di fratture in sede omerale prossimale, mano, polso, caviglia, alla valutazione dell'età ossea, ad anomalie articolari e patologie degenerative.<sup>16,17</sup> Algoritmi addestrati su vasti dataset di immagini etichettate sono oggi in grado di raggiungere performance diagnostiche comparabili a quelle di radiologi esperti, riducendo i tempi di refertazione e supportando il medico nella gestione di casi complessi o in contesti a elevato volume di lavoro. Studi comparativi hanno mostrato che alcuni algoritmi, come BoneView (Gleamer AI), possono raggiungere sensibilità paragonabili a radiologi certificati nella rilevazione di fratture, dislocazioni, versamenti articolari o lesioni ossee focali, sebbene la specificità resti spesso inferiore.<sup>18,19</sup> Studi recenti hanno inoltre esplorato l'utilizzo dell'IA nella valutazione quantitativa della composizione corporea, nella misurazione automatica della massa muscolare o della densità ossea, con potenziali ricadute cliniche in ambito geriatrico e oncologico.<sup>20,21</sup>

Oltre agli aspetti prettamente interpretativi, l'IA in radiologia trova applicazione in numerose funzioni di supporto che mirano a ottimizzare la qualità delle immagini, ridurre l'esposizione a radiazioni ionizzanti e migliorare l'efficienza del flusso di lavoro.<sup>22,23</sup> Tecniche basate su *deep learning* consentono oggi di generare immagini ad alta risoluzione a partire da acquisizioni di tomografia computerizzata (TC) a bassa dose, mantenendo elevati standard diagnostici e contribuendo alla protezione del paziente.<sup>24</sup> In RM, algoritmi di ricostruzione avanzata, agendo sia sui dati "grezzi" che sulle immagini processate, permettono una significativa riduzione dei tempi di scansione, aumentando la tollerabilità dell'esame e la produttività delle apparecchiature. Parallelamente, l'implementazione di strumenti intelligenti nella gestione delle code, nell'ordinare per importanza clinica gli esami urgenti e nella standardizzazione dei protocolli di acquisizione contribuisce a migliorare l'organizzazione dei servizi radiologici e a ridurre il carico amministrativo.

Un'altra disciplina che potrà avvalersi dell'IA sarà anche

la radiologia interventistica. Essa sta iniziando a beneficiare dell'introduzione di applicazioni promettenti, che spaziano dalla pianificazione delle procedure all'assistenza in tempo reale durante le procedure interventistiche. Grazie all'analisi avanzata delle immagini pre-operatorie (TC, RM o ecografia), l'IA è in grado di supportare la selezione del percorso ottimale di accesso, la valutazione dei volumi target e la simulazione delle traiettorie degli aghi o dei cateteri, riducendo il rischio di complicanze. Modelli predittivi basati su *machine learning* vengono sempre più utilizzati per stimare l'efficacia del trattamento e il rischio di recidiva in procedure come la TACE, la RFA o la termoablazione con microonde.

Durante la procedura, sistemi di IA possono contribuire a migliorare la navigazione intraprocedurale, grazie a software di riconoscimento in tempo reale, tracking automatico degli strumenti e sovrapposizione aumentata delle immagini (*augmented reality*). Inoltre, l'integrazione di algoritmi di *deep learning* nei sistemi ecografici consente una migliore identificazione delle lesioni, anche in condizioni di scarsa visibilità, e può aumentare l'accuratezza del targeting in fase di biopsia o trattamento ablativo.<sup>25</sup>

In prospettiva, l'uso sinergico dell'IA con la robotica interventistica e le tecnologie di imaging in tempo reale potrà rivoluzionare anche il ruolo del radiologo interventista, potenziandone la precisione, riducendo l'invasività delle procedure e migliorando i risultati clinici per i pazienti.

In tale contesto, di tumultuosi cambiamenti, nasce spontanea la domanda: quale sarà il ruolo del radiologo umano? A nostro avviso, nonostante i numerosi progressi dell'IA, il ruolo del radiologo umano rimane imprescindibile. L'IA si configura come uno strumento di supporto, non un sostituto: è il radiologo che interpreta i risultati in un contesto clinico più ampio, tenendo conto della storia del paziente, dei dati laboratoristici e delle implicazioni terapeutiche. L'IA, infatti, è ancora limitata dalla qualità dei dati su cui viene addestrata, dalla difficoltà di generalizzare su popolazioni diverse e dalla mancanza di comprensione clinica "di contesto".

L'integrazione tra IA e radiologo rappresenta una sinergia virtuosa, in cui l'automazione e la velocità dell'algoritmo si combinano con l'intuito clinico e l'esperienza dell'essere umano. In futuro, il radiologo potrebbe assumere un ruolo sempre più centrale nella supervisione dei sistemi intelligenti, nella validazione dei risultati generati e nella traduzione delle informazioni quantitative in decisioni cliniche personalizzate. Questo approccio collaborativo richiede non solo competenze tecnologiche aggiornate, ma anche un'evoluzione nella formazione medica, con l'introduzione di elementi di data science, etica e gestione dell'IA nei curricula accademici.

In conclusione, l'IA rappresenta una risorsa per la radiologia moderna, capace di potenziare le capacità diagnostiche, migliorare l'efficienza operativa e aprire nuove frontiere nella personalizzazione delle cure. L'importanza dell'uso dell'IA nella radiologia sta anche nella possibilità di poter colmare il divario tra ricerca e pratica clinica, che attualmente sono molto distanti, specie nelle realtà più piccole, sul territorio. Tuttavia, va sottolineato come l'impiego della IA anche in Radiologia deve essere integrato e responsabile, in sinergia con la competenza clinica del radiologo. Solo in questo modo potremo affrontare con successo le sfide della medicina contemporanea.

## Bibliografia

1. Jakhar D, Kaur I. Artificial intelligence, machine learning and deep learning: definitions and differences. *Clin Exp Dermatol* 2020;45:131-2.
2. Helm JM, Swiergosz AM, Haerberle HS, et al. Machine learning and artificial intelligence: definitions, applications, and future directions. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2020;13:69-76.
3. Mello-Thoms C, Mello CAB. Clinical applications of artificial intelligence in radiology. *Br J Radiol* 2023;96:20221031.
4. Mokrane FZ, Lu L, Vavasseur A, et al. Radiomics machine-learning signature for diagnosis of hepatocellular carcinoma in cirrhotic patients with indeterminate liver nodules. *Eur Radiol* 2020;30:558-70.
5. Dankerl P, Cavallaro A, Tsybal A, et al. A retrieval-based computer-aided diagnosis system for the characterization of liver lesions in CT scans. *Acad Radiol* 2013;20:1526-34.
6. Chong HH, Yang L, Sheng RF, et al. Multi-scale and multi-parametric radiomics of gadoxetate disodium-enhanced MRI predicts microvascular invasion and outcome in patients with solitary hepatocellular carcinoma  $\leq 5$  cm. *Eur Radiol* 2021;31:4824-38.
7. Ren S, Qi Q, Liu S, et al. Preoperative prediction of pathological grading of hepatocellular carcinoma using machine learning-based ultrasonomics: a multicenter study. *Eur J Radiol* 2021;143:109891.
8. Berbís MÁ, Godino FP, Rodríguez-Comas J, et al. Radiomics in CT and MR imaging of the liver and pancreas: tools with potential for clinical application. *Abdom Radiol* 2024;49:322-40.
9. Feng Z, Li H, Liu Q, et al. CT radiomics to predict macrotrabecular-massive subtype and immune status in hepatocellular carcinoma. *Radiology* 2023;307:e221291.
10. Xu X, Zhang HL, Liu QP, et al. Radiomic analysis of contrast-enhanced CT predicts microvascular invasion and outcome in hepatocellular carcinoma. *J Hepatol* 2019;70:1133-44.
11. Guo D, Gu D, Wang H, et al. Radiomics analysis enables recurrence prediction for hepatocellular carcinoma after liver transplantation. *Eur J Radiol* 2019;117:33-40.
12. Song W, Yu X, Guo D, et al. MRI-based radiomics: associations with the recurrence-free survival of patients with hepatocellular carcinoma treated with conventional transcatheter arterial chemoembolization. *J Magn Reson Imaging* 2020;52:461-73.
13. Sun Y, Bai H, Xia W, et al. Predicting the outcome of transcatheter arterial embolization therapy for unresectable hepatocellular carcinoma based on radiomics of preoperative multiparameter MRI. *J Magn Reson Imaging* 2020;52:1083-90.
14. Tadavarthi Y, Vey B, Krupinski E, et al. The state of radiology AI: considerations for purchase decisions and current market offerings. *Radiol Artif Intell* 2020;2:e200004.
15. Cheikh AB, Gorincour G, Nivet H, et al. How artificial intelligence improves radiological interpretation in suspected pulmonary embolism. *Eur Radiol* 2022;32:5831-42.
16. Chung SW, Han SS, Lee JW, et al. Automated detection and classification of the proximal humerus fracture by using deep learning algorithm. *Acta Orthop* 2018;89:468-73.
17. Olczak J, Fahlberg N, Maki A, et al. Artificial intelligence for analyzing orthopedic trauma radiographs. *Acta Orthop* 2017;88:581-6.
18. Regnard NE, Lanseur B, Ventre J, et al. Assessment of performances of a deep learning algorithm for the detection of limbs and pelvic fractures, dislocations, focal bone lesions, and elbow effusions on trauma X-rays. *Eur J Radiol* 2022;154:110447.
19. Reichert G, Bellamine A, Fontaine M, et al. How can a deep learning algorithm improve fracture detection on X-rays in the emergency room? *J Imaging* 2021;7:105.
20. Yang CC, Nagarajan MB, Huber MB, et al. Improving bone strength prediction in human proximal femur specimens through geometrical characterization of trabecular bone microarchitecture and support vector regression. *J Electron Imaging* 2014;23:013013.
21. Huber MB, Lancianese SL, Nagarajan MB, et al. Prediction of biomechanical properties of trabecular bone in MR images with geometric features and support vector regression. *IEEE Trans Biomed Eng* 2011;58:1820-6.
22. Richardson ML, Garwood ER, Lee Y, et al. Noninterpretive uses of artificial intelligence in radiology. *Acad Radiol* 2021;28:1225-35.
23. Lakhani P, Prater AB, Hutson RK, et al. Machine learning in radiology: applications beyond image interpretation. *J Am Coll Radiol* 2018;15:350-9.
24. Yang Q, Yan P, Zhang Y, et al. Low dose CT image denoising using a generative adversarial network with wasserstein distance and perceptual loss. *IEEE Trans Med Imaging* 2018;37:1348-57.
25. Malpani R, Petty CW, Bhatt N, et al. Use of artificial intelligence in non-oncologic interventional radiology: current state and future directions. *Dig Dis Interv* 2021;5:331-7.

## PRO E CONTRO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE IN DIVERSI PERCORSI SPECIALISTICI

## Oncoematologia

Francesco Malaspina

IRCCS Istituto Romagnolo per lo Studio dei Tumori (IRST) "Dino Amadori", Meldola, Italia

## Introduzione

L'oncologia e l'ematologia sono discipline recenti della medicina, la cui esistenza e il cui sviluppo sono intrinsecamente legati ai progressi tecnologici e scientifici che hanno plasmato la nostra società a partire dal XIX secolo. Oggi, entrambe queste discipline vedono rapidi progressi grazie a una sempre crescente mole di dati ad alta dimensionalità, che spaziano dalle immagini di patologia digitale alla profilazione multi-omica (genomica, trascrittomica, proteomica).<sup>1</sup> Questa ricchezza di informazioni, che è il fondamento della medicina di precisione, supera le capacità analitiche e cognitive umane.<sup>2</sup> L'intelligenza artificiale (IA) diventa quindi uno strumento necessario per elaborare questi dataset complessi, per identificare pattern che sfuggono alla percezione umana e per tradurre i dati grezzi in conoscenza.<sup>3</sup> L'adozione dell'IA è quindi una conseguenza diretta dell'evoluzione delle metodiche di analisi.<sup>4</sup>

Negli ultimi dieci anni, l'IA ha compiuto progressi significativi, passando da prototipi di ricerca a strumenti clinicamente validati e integrati nella pratica emato-oncologica. Questi progressi si manifestano in tre aree principali: la diagnostica morfologica, la stratificazione prognostica e l'ottimizzazione terapeutica.

Corrispondente: Francesco Malaspina, IRCCS Istituto Romagnolo per lo Studio dei Tumori (IRST) "Dino Amadori", 47014 Meldola (FC), Italia.  
E-mail: francesco.malaspina2@gmail.com

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025  
Licensee PAGEPress, Italy

QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e11

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

## Diagnostica morfologica e patologia digitale

L'IA ha raggiunto una notevole maturità nell'analisi di immagini morfologiche, automatizzando l'interpretazione di strisci di sangue e midollo osseo in ematologia e di preparati istologici digitalizzati in oncologia.<sup>5</sup> Alcuni di questi sistemi, come quelli per la diagnosi di tumori della prostata da preparati istologici, sono stati approvati da enti regolatori come la *Food and Drug Administration*.<sup>6</sup>

In ematologia, sistemi basati sull'IA automatizzano l'identificazione, la classificazione e il conteggio delle cellule ematiche, raggiungendo un'accuratezza che supera il 90% in compiti complessi come la classificazione delle cellule midollari.<sup>5,7</sup> In futuro, questi sistemi potrebbero contribuire a ridurre la variabilità inter-operatore, portando a una maggiore standardizzazione e riproducibilità diagnostica. Inoltre, alcuni algoritmi sono in grado di estrarre feature quantitative nuove, come l'entropia o le matrici di co-occorrenza a livelli di grigio (GLCMs), che sono inaccessibili all'analisi visiva umana e che potrebbero rappresentare futuri biomarcatori prognostici o diagnostici.<sup>8</sup> Tali sistemi sono pensati per assistere il patologo e arricchire le informazioni che possono essere estratte dai preparati cito e istologici.

## Stratificazione del rischio e ottimizzazione terapeutica

La maggior parte dei modelli prognostici impiegati in ematologia e oncologia si basa su dati clinici e laboratoristici (per esempio, IPI, MELD, IPSS) e non tiene conto della mole di dati molecolari che abbiamo oggi a disposizione. In ambito di ricerca, modelli prognostici basati su algoritmi di *machine learning* (ML) dimostrano una capacità di stratificazione migliore e permettono di predire la risposta a trattamenti mirati su specifiche caratteristiche della malattia.<sup>3</sup> In ematologia, per esempio, l'algoritmo DLBClass consente la suddivisione probabilistica dei linfomi diffusi a grandi cellule in sottotipi molecolari che non solo risultano predittivi di sopravvivenza,<sup>9</sup> ma permettono la scelta di terapie mirate che portano a tassi di sopravvivenza a 2 anni significativamente migliori della terapia standard (94% vs. 77%,  $p=0.001$ ).<sup>10</sup> Nel carcinoma polmonare non a piccole cellule, modelli di *deep learning* sono in grado di predire la risposta alla chemioradioterapia [area sotto la curva (AUC)

0.86], il rischio di recidiva (AUC 0.763) e la sopravvivenza globale (OS) a 5 anni (AUC 0.926), fornendo stime prognostiche più accurate e personalizzate rispetto alle curve di sopravvivenza standard.<sup>11-14</sup> Nel carcinoma epatocellulare, modelli ML hanno dimostrato di superare gli score tradizionali nella previsione della sopravvivenza post-trapianto e del rischio di recidiva.<sup>15</sup>

L'integrazione di questi algoritmi nella pratica clinica, tuttavia, solleva nuove questioni etiche e comunicative. Il razionale dietro alle stime di rischio prodotte da questi software è infatti spesso opaco e di difficile interpretazione e la comunicazione corretta con il paziente delle scelte terapeutiche e dei rischi dovrà fondarsi su solide linee guida.<sup>16</sup>

## Orizzonti futuri: l'intelligenza artificiale generativa

Negli ultimi 4 anni, i *large language models* (LLM) sono entrati con prepotenza nel panorama culturale e, inevitabilmente, medico. Già oggi si sta studiando il loro potenziale nell'organizzare ed estrarre informazioni strutturate dall'enorme mole di dati testuali non strutturati presenti nella pratica clinica, come le cartelle cliniche elettroniche e la letteratura scientifica.<sup>17</sup> Le applicazioni più promettenti includono l'estrazione automatizzata di dati per accelerare la ricerca clinica e l'arruolamento nei trial,<sup>18</sup> la sintesi di evidenze per la stesura di linee guida e il supporto educativo. I modelli più avanzati hanno dimostrato performance notevoli, raggiungendo livelli di conoscenza paragonabili a quelli degli specializzandi in esami di radioterapia oncologica e oncologia medica.<sup>19,20</sup> Tuttavia, un altro studio ha rivelato che, sebbene un LLM proprietario abbia risposto correttamente all'85% delle domande di un esame di oncologia medica, l'81.8% delle sue risposte errate avrebbe avuto una probabilità medio-alta di causare un danno da moderato a grave se applicate nella pratica clinica.<sup>21</sup> Inoltre, la tendenza intrinseca di questi modelli a produrre "allucinazioni", cioè risposte verosimili ma errate, li rende inutilizzabili nella pratica medica senza la supervisione costante di un clinico.

## Pro e contro dell'intelligenza artificiale in emato-oncologia

L'IA è uno strumento fondamentale nella pratica medica, in particolare in specialità come l'ematologia e l'oncologia. Il vantaggio innegabile che viene offerto da questi modelli è infatti la possibilità di estrarre conoscenza e informazioni dall'enorme mole di dati ad alta dimensionalità che abbiamo a disposizione sulle neoplasie e, quindi, di avvicinarci sempre più a una vera medicina personalizzata. Esiste però una serie di sfide etiche e tecniche da affrontare: la non interpretabilità dei modelli, il rischio di *bias* algoritmico, la vulnerabilità a manipolazioni malevole, la responsabilità nell'uso e nella protezione dei dati e la necessità di sviluppare una comunicazione etica ed efficace per le persone di cui ci prendiamo cura.<sup>16,22-24</sup>

Queste sfide possono e devono essere affrontate. Così come abbiamo imparato a usare lo stetoscopio e a interpretare le immagini radiologiche e gli esami di laboratorio, dovremo integrare nella nostra pratica clinica modelli sempre

più avanzati di IA, senza mai perdere l'obiettivo che caratterizza la nostra professione: curare.

## Bibliografia

- Wei L, Niraula D, Gates EDH, et al. Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) in precision oncology: a review on enhancing discoverability through multiomics integration. *Br J Radiol* 2023;96:20230211.
- Obeagu EI. Revolutionizing hematological disorder diagnosis: unraveling the role of artificial intelligence. *Ann Med Surg* 2025;87:3445-57.
- Ozaki Y, Broughton P, Abdollahi H, et al. Integrating omics data and AI for cancer diagnosis and prognosis. *Cancers* 2024;16:2448.
- Nicora G, Vitali F, Dagliati A, et al. Integrated multi-omics analyses in oncology: a review of machine learning methods and tools. *Front Oncol* 2020;10:1030.
- Wang SX, Huang ZF, Li J, et al. Optimization of diagnosis and treatment of hematological diseases via artificial intelligence. *Front Med* 2024;11:1487234.
- The Paige Prostate Suite: assistive artificial intelligence for prostate cancer diagnosis: emerging health technologies. Ottawa (ON), Canada: Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health; September 2024.
- Gedefaw L, Liu CF, Ip RKL, et al. artificial intelligence-assisted diagnostic cytology and genomic testing for hematologic disorders. *Cells* 2023;12:1755.
- Campos-Medina M, Blumer A, Kraus-Füreder P, et al. AI-enhanced blood cell recognition and analysis: advancing traditional microscopy with the web-based platform IKOSA. *J Mol Pathol* 2024;5:28-44.
- Chapuy B, Wood T, Stewart C, et al. DLBclass: a probabilistic molecular classifier to guide clinical investigation and practice in diffuse large B-cell lymphoma. *Blood* 2025;145:2041-55.
- Zhang MC, Tian S, Fu D, et al. Genetic subtype-guided immunochemotherapy in diffuse large B cell lymphoma: the randomized GUIDANCE-01 trial. *Cancer Cell* 2023;41:1705-16.e5.
- Peng J, Zhang X, Hu Y, et al. Deep learning to estimate response of concurrent chemoradiotherapy in non-small-cell lung carcinoma. *J Transl Med* 2024;22:896.
- Koyama J, Morise M, Furukawa T, et al. Artificial intelligence-based personalized survival prediction using clinical and radiomics features in patients with advanced non-small cell lung cancer. *BMC Cancer* 2024;24:1417.
- Kim PJ, Hwang HS, Choi G, et al. A new model using deep learning to predict recurrence after surgical resection of lung adenocarcinoma. *Sci Rep* 2024;14:6366.
- Kinoshita F, Takenaka T, Yamashita T, et al. Development of artificial intelligence prognostic model for surgically resected non-small cell lung cancer. *Sci Rep* 2023;13:15683.
- Cao S, Yu S, Huang L, et al. Deep learning for hepatocellular carcinoma recurrence before and after liver transplantation: a multicenter cohort study. *Sci Rep* 2025;15:7730.
- Hantel A, Clancy DD, Kehl KL, et al. A process framework for ethically deploying artificial intelligence in oncology. *J Clin Oncol* 2022;40:3907-11.
- Chen D, Alnassar SA, Avison KE, et al. Large language

- model applications for health information extraction in oncology: scoping review. *JMIR Cancer* 2025;11:e65984.
18. Vecchio C, Braley S, Kennedy L, et al. Analysis of a large language model-based system versus manual review in clinical data abstraction and deduction from real-world medical records of patients with melanoma for clinical trial eligibility assessment. *J Clin Oncol* 2025;43:1571.
  19. Mudrik A, Nadkarni GN, Efros O, et al. Exploring the role of large language models in haematology: a focused review of applications, benefits and limitations. *Br J Haematol* 2024;205:1685-98.
  20. Loaiza-Bonilla A, Thaker NG, Redjal N, et al. Large language foundation models encode clinical radiation oncology domain knowledge: performance on the American College of Radiology standardized examination. *JCO* 2024;42:e13585.
  21. Longwell JB, Hirsch I, Binder F, et al. Performance of large language models on medical oncology examination questions. *JAMA Netw Open* 2024;7:e2417641.
  22. Hantel A, Walsh TP, Marron JM, et al. Perspectives of oncologists on the ethical implications of using artificial intelligence for cancer care. *JAMA Netw Open* 2024;7:e244077.
  23. Oda J, Takemoto K. Mobile applications for skin cancer detection are vulnerable to physical camera-based adversarial attacks. *Sci Rep* 2025;15:18119.
  24. Ghaffari Laleh N, Truhn D, Veldhuizen GP, et al. Adversarial attacks and adversarial robustness in computational pathology. *Nat Commun* 2022;13:5711.

## PRO E CONTRO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE IN DIVERSI PERCORSI SPECIALISTICI

## L'intelligenza artificiale in pneumologia: stato dell'arte, criticità e prospettive future

Simone Petrarulo

Dipartimento di Medicine Specialistiche, UO Pneumologia Interventistica, Ospedale G.B. Morgagni – L. Pierantoni, Forlì, Italia

### Introduzione

L'intelligenza artificiale (IA) sta rapidamente prendendo piede nel campo della medicina, compresa la pneumologia. In tale contesto, l'IA è impiegata in vari ambiti: dall'analisi delle immagini radiologiche alla valutazione della funzionalità polmonare, dalla gestione delle patologie croniche come la broncopneumopatia cronica ostruttiva (BPCO) alla previsione degli esiti nei pazienti affetti da COVID-19, passando per l'ecografia toracica, la medicina del sonno, l'utilizzo dell'ossigenazione extracorporea a membrana nei setting di tipo intensivo.

Tuttavia, insieme a queste promettenti applicazioni emergono anche preoccupazioni relative all'affidabilità, all'etica, alla protezione dei dati e al ruolo del medico. Inoltre, la crescente dipendenza dalle tecnologie di IA impone una riflessione sistematica sul futuro della relazione medico-paziente e sull'equilibrio tra competenze umane e artificiali.<sup>1</sup>

### Diagnostica per immagini

L'IA viene utilizzata per l'interpretazione automatica di radiografie del torace, tomografie computerizzate e risonanze magnetiche. Algoritmi di deep learning sono in grado

di identificare anomalie come noduli polmonari, alterazioni interstiziali con un'accuratezza comparabile, e talvolta superiore, a quella dei radiologi esperti. Questa capacità permette di accelerare il processo diagnostico e di intercettare patologie in fase precoce, potenzialmente migliorando la prognosi del paziente.<sup>2</sup>

### Analisi della funzionalità respiratoria

Attraverso modelli predittivi, l'IA può supportare l'interpretazione delle prove di funzionalità respiratoria, migliorando la diagnosi differenziale tra le diverse patologie respiratorie. In particolare, l'automazione dell'interpretazione dei tracciati spirometrici può ridurre gli errori diagnostici e fornire una valutazione più coerente e standardizzata. Inoltre, sono in fase di sviluppo sistemi portatili intelligenti che permettono il monitoraggio domiciliare della funzionalità respiratoria, integrando i dati per una valutazione più personalizzata.

### Gestione delle malattie croniche

Sono disponibili piattaforme basate su IA in grado di monitorare in tempo reale i pazienti con asma o BPCO, rilevando segni precoci di riacutizzazione e suggerendo interventi personalizzati. Sistemi di telemedicina integrati con algoritmi di IA consentono di prevenire ricoveri ospedalieri, migliorando la qualità della vita e riducendo i costi sanitari. Alcuni dispositivi indossabili, come *smart inhaler* e sensori di frequenza respiratoria, possono raccogliere dati in maniera continua, che vengono poi analizzati per ottimizzare la terapia farmacologica.<sup>3</sup>

### Ricerca e trial clinici

L'analisi di grandi database clinici tramite *machine learning* consente di identificare nuovi fenotipi di malattie, migliorare la stratificazione del rischio e accelerare lo sviluppo di farmaci. L'analisi predittiva dei risultati clinici consente di adattare dinamicamente il disegno dello studio in base all'andamento della sperimentazione, migliorando l'efficienza e la rilevanza dei risultati ottenuti.

Corrispondente: Simone Petrarulo, Dipartimento di Medicine Specialistiche, UO Pneumologia Interventistica, Ospedale G.B. Morgagni – L. Pierantoni, Via Carlo Forlanini 34, 47121 Forlì, Italia.  
E-mail: simone.petrarulo91@gmail.com

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025  
Licensee PAGEPress, Italy  
QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e12

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

## Miglioramento della precisione diagnostica

L'IA riduce la variabilità inter-osservatore e aumenta la sensibilità nella rilevazione di patologie, in particolare in contesti ad alta complessità come le interstiziopatie polmonari o i tumori in fase precoce. La capacità degli algoritmi di integrare migliaia di dati clinici e di immagini permette di ottenere una visione più completa e accurata della condizione del paziente. Questo è particolarmente importante nei casi in cui i segni clinici sono sfumati o aspecifici, e l'IA può contribuire a una diagnosi precoce e più affidabile.

## Supporto alla decisione clinica

Sistemi intelligenti possono integrare dati clinici, laboratoristici e di imaging per suggerire percorsi diagnostico-terapeutici basati su linee guida ed evidenze aggiornate. Questo supporto può essere particolarmente utile nei centri con risorse limitate o in contesti di emergenza, migliorando la tempestività e l'appropriatezza delle cure. La *decision support* può anche essere usata per personalizzare la terapia, suggerendo aggiustamenti basati sull'aderenza del paziente, sui biomarcatori e sulle comorbidità.

## Ottimizzazione delle risorse sanitarie

L'automazione di compiti ripetitivi consente un uso più efficiente del tempo medico, migliorando la produttività e riducendo i costi. Inoltre, l'IA può essere utilizzata per ottimizzare la pianificazione degli esami, riducendo le liste d'attesa e razionalizzando l'utilizzo delle risorse diagnostiche.

## Accessibilità alle cure

In aree carenti di specialisti, l'IA può fungere da strumento di supporto remoto, democratizzando l'accesso a diagnosi accurate. Le tecnologie mobili integrate con algoritmi intelligenti possono estendere le capacità diagnostiche anche ai contesti rurali o ai paesi in via di sviluppo. Inoltre, la standardizzazione degli algoritmi garantisce un'equità di trattamento a prescindere dalla collocazione geografica o dalla disponibilità di personale specializzato.<sup>3</sup>

## Criticità e limiti dell'intelligenza artificiale in pneumologia

### Affidabilità e trasparenza degli algoritmi

Molti sistemi basati su *deep learning* funzionano come "scatole nere", rendendo difficile comprendere il processo decisionale e generando potenziali problemi di fiducia e responsabilità medico-legale. La mancanza di trasparenza limita l'accettazione da parte del personale sanitario e complica l'integrazione nella pratica clinica. Per affrontare questa criticità, si stanno sviluppando approcci di *explainable AI* che rendano interpretabili le decisioni algoritmiche.

## Bias nei dati

Se i dati utilizzati per l'addestramento degli algoritmi non sono rappresentativi della popolazione generale, possono emergere discriminazioni ed errori sistematici. È fondamentale garantire la diversità dei dataset e l'equità algoritmica per evitare disuguaglianze nell'accesso e nella qualità delle cure. Studi recenti hanno mostrato che molti algoritmi funzionano peggio su minoranze etniche, evidenziando l'urgenza di una validazione multicentrica.

## Protezione dei dati e privacy

L'utilizzo di grandi quantità di dati sensibili solleva questioni etiche e giuridiche in merito alla sicurezza, al consenso informato e alla conformità con le normative (ad esempio, GDPR). Le istituzioni sanitarie devono adottare misure tecniche e organizzative adeguate a garantire la riservatezza e l'integrità delle informazioni. Inoltre, è necessario educare pazienti e professionisti sanitari sull'uso consapevole dei dati personali.

## Impatto sul ruolo del medico

La crescente automazione potrebbe ridurre il ruolo del medico a semplice esecutore di decisioni algoritmiche, con rischi di deumanizzazione della cura e perdita del rapporto empatico con il paziente. È necessario ripensare il ruolo del clinico come mediatore critico tra tecnologia e umanità. Un modello ibrido, in cui l'IA supporta ma non sostituisce il giudizio clinico, sembra essere il più promettente.

## Prospettive future

Il futuro della pneumologia sarà sempre più integrato con l'IA. Le collaborazioni tra medici, data scientist e ingegneri biomedici saranno fondamentali per sviluppare strumenti affidabili, etici e clinicamente rilevanti. Sarà cruciale promuovere studi clinici prospettici per valutare l'efficacia reale dell'IA nella pratica quotidiana. Inoltre, si prevede l'espansione dell'IA nella medicina personalizzata, con algoritmi in grado di adattare le terapie alle caratteristiche genetiche e ambientali di ciascun paziente. Tecnologie emergenti come la computazione quantistica, il *natural language processing* avanzato e le reti neurali multimodali promettono di ampliare ulteriormente le capacità dell'IA.<sup>4</sup>

## Conclusioni

L'IA rappresenta un'opportunità straordinaria per la pneumologia, ma comporta anche sfide significative. Per realizzarne appieno il potenziale è necessario un approccio critico, multidisciplinare e orientato alla centralità del paziente. Solo così l'IA potrà essere uno strumento al servizio della medicina e non un suo sostituto. Il futuro della pneumologia dipenderà dalla nostra capacità di integrare il progresso tecnologico con i valori fondamentali della pratica clinica: umanità, responsabilità e cura. È fondamentale che la comunità scientifica, i decisori politici e i cittadini collaborino per sviluppare un ecosistema dell'IA che sia trasparente, inclusivo e orientato al bene comune.

---

## Bibliografia

1. Kalaiyarasan K, Sridhar R. Artificial intelligence in respiratory medicine: the journey so far – a review. *J Assoc Pulmonologist Tamil Nadu* 2023;6:53-68.
2. Jonas DE, Reuland DS, Reddy SM, et al. Screening for lung cancer with low-dose computed tomography: updated evidence report and systematic review for the US Preventive Services Task Force. *JAMA* 2021;325:971-87.
3. Karthika M, Sreedharan JK, Shevade M, et al. Artificial intelligence in respiratory care. *Front Digit Health* 2024;6:1502434.
4. Briganti G, Le Moine O. Artificial intelligence in medicine: today and tomorrow *Front Med* 2020;7:27.

## PRO E CONTRO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE IN DIVERSI PERCORSI SPECIALISTICI

## Diabete mellito ed intelligenza artificiale

Maurizio Nizzoli, Nguedia Azaffack Roger, Marco Maleewski

Medicina Interna, Casa di Cura San Lorenzino, Cesena, Italia

### Introduzione

Il diabete mellito è in progressiva diffusione e l'*International Diabetes Federation* prevede che nel 2045 ci saranno circa 783 milioni di affetti.<sup>1</sup> Attualmente è la settima causa di morte e la cura e la gestione delle complicanze rappresentano un costo significativo per tutti i sistemi sanitari in un contesto storico di riduzione delle risorse finanziarie. Con queste premesse i sanitari dei team diabetologici avranno sempre maggiore difficoltà nel curare un numero sempre crescente di pazienti e dall'altra i pazienti non avranno garantiti i diritti all'assistenza. Sappiamo che il diabete può essere prevenuto e un trattamento precoce e adeguato può prevenire le complicanze più invalidanti. Gli strumenti attuali a nostra disposizione di screening (glicemia + HbA1c) non sono sufficientemente specifici e sensibili e si sono dimostrati non idonei a contrastare la diffusione del diabete. Da anni la digitalizzazione ha profondamente influenzato la pratica quotidiana delle strutture diabetologiche. Oggi abbiamo a disposizione diverse tecnologie sanitarie digitali, che accompagnano e aiutano l'attività del diabetologo: cartelle cliniche elettroniche, sistemi di archiviazione dei dati, dispositivi che monitorizzano la salute e gestiscono la somministrazione dei farmaci, telemedicina per l'assistenza a distanza. Questa crescente disponibilità di dati ha reso disponibile una quantità di informazioni, che sono realisticamente di difficile gestione, mentre potrebbero fornire un valido aiuto all'agire quotidiano dei sanitari. In questo scenario l'impiego dell'intelligenza artificiale (IA) è già ora,

e lo sarà sempre di più, un valido aiuto che consente la semplificazione dell'analisi dei dati, creando le premesse per un'assistenza sanitaria predittiva, preventiva, personalizzata e partecipativa. È già presente un'ampia letteratura di ambito diabetologico che evidenzia come l'applicazione dell'IA riesca a migliorare le strategie di screening, semplificare il procedimento diagnostico analizzando i numerosi dati disponibili, consentendo valutazioni più rapide ed efficienti.<sup>2,3</sup> Inoltre l'IA è capace di rilevare nuovi cluster e associazioni di patologie, identificando associazioni, modelli e connessioni non ancora conosciute all'interno di dati medici complessi, consentendo un ampliamento delle nostre conoscenze nell'ambito del diabete e ponendo le premesse per ulteriori ambiti di ricerca e sperimentazione clinica. Ad esempio Agliata *et al.* hanno utilizzato una tecnica di IA per indagare le correlazioni tra lo stato di salute di un individuo e lo sviluppo del diabete di tipo 2, con l'obiettivo di prevederne con precisione l'insorgenza o valutare il livello di rischio.<sup>4</sup> In particolare, sono partiti da numerosi parametri ed hanno applicato la *deep learning*, una tecnica di IA, per rilevare potenziali associazioni non lineari tra l'insorgenza del diabete mellito di tipo 2 e una raccolta di parametri derivati dalle misurazioni dei pazienti. Di seguito proponiamo tre esempi di applicazione consolidata dell'IA in ambito diabetologico.

### Intelligenza artificiale e complicanze oculari

La retinopatia diabetica e l'edema maculare costituiscono un'importante complicanza del diabete, che si manifesta in circa il 30% delle persone. Se non tempestivamente diagnosticate e trattate, possono portare alla cecità. La diagnosi è pertanto fondamentale e le principali linee guida raccomandano una valutazione precoce e regolare dello stato della retina e un intervento precoce se necessario. Tuttavia, l'approccio allo screening non avviene regolarmente per la complessità dell'accesso a questo tipo di indagine, che nella maggior parte dei casi avviene tramite l'esame del fondo oculare da parte di uno oculista. Solo di recente si è ricorso in alcuni centri al retinografo, che consente a un operatore sanitario di fotografare il fondo oculare senza necessità di dilatazione della pupilla e successivamente trasmettere le immagini via web ad un oculista, che da remoto può effettuare una diagnosi e procedere ad ulteriori accertamenti e cure, qualora ravvisasse un'alterazione. Questo primo passo di telemedicina ha poi consentito di aprire la strada all'uti-

Corrispondente: Maurizio Nizzoli, Medicina Interna, Casa di Cura San Lorenzino, Cesena, Italia.  
E-mail: maurizionizzoli@alice.it

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025  
Licensee PAGEPress, Italy  
QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e13

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

lizzo dell'IA. Nel 2016 sono stati pubblicati i primi studi relativi a EyePACS (un'applicazione per la comunicazione, la diagnosi e l'archiviazione di informazioni, immagini e dati relativi alla patologia oculare).<sup>5</sup> È stato evidenziato che gli algoritmi sviluppati in *deep learning* mostravano un'elevata sensibilità (oltre il 90%) e specificità (oltre il 98%) nella rilevazione della retinopatia diabetica e l'edema maculare diabetico. Per insegnare all'algoritmo a classificare le immagini sono state utilizzate quasi 130 mila immagini. Ad aprile del 2018 la *Food and Drug Administration* ha autorizzato la commercializzazione del primo dispositivo medico per l'utilizzo dell'IA per rilevare le complicanze oculari del diabete. Nel nostro paese è stato condotto lo studio osservazionale DAIRET (*Diabetes Artificial Intelligence for RETinopathy*); un sistema di IA per la valutazione automatizzata della retinopatia diabetica, ha dimostrato una sensibilità del 100% nell'individuazione dei casi di grado moderato o severo, ovvero le forme della malattia che possono mettere a rischio la vista e che richiedono l'intervento dell'oculista.<sup>6</sup> Sono allo studio app per smartphone che consentono lo screening effettuato direttamente del paziente.

## Intelligenza artificiale e piede diabetico

L'ulcera del piede diabetico è una complessa complicanza della malattia diabetica, che più impatta negativamente in termini di mortalità e morbilità. Attualmente circa 1/3 della popolazione diabetica svilupperà una ulcera del piede nel corso della vita. Inoltre, l'ulcera si traduce in gravi conseguenze, tra cui il rischio di amputazione; più dell'80% delle amputazioni non traumatiche degli arti inferiori sono preceduti da ulcera. Il tasso di mortalità a 5 anni per l'ulcera diabetica è stimato nel 45-55% a causa di complicazioni come infezioni e malattie cardiovascolari e lo stress aggiunto delle amputazioni. L'approccio attuale alla ulcera precede la prevenzione e la cura passando attraverso una stratificazione del rischio da identificare in ciascun paziente, come indicato dal gruppo di lavoro internazionale sul piede diabetico WGDE. Questa strategia si è però dimostrata ampiamente insufficiente e si avverte la necessità di percorrere una strada più personalizzata. Di recente è stata proposta l'integrazione di tecnologie avanzate nella cura del piede diabetico utilizzando l'IA e il *machine learning* per analizzare grandi set di dati, al fine di prevedere lo sviluppo dell'ulcera in modo più accurato rispetto al metodo tradizionale della stratificazione del rischio.<sup>7</sup> Sono già disponibili app specifiche accessibili tramite smartphone e tablet per la cura del piede, che offrono risorse educative, strumenti interattivi e supporto personalizzato, offrendo al paziente un aiuto concreto nella gestione quotidiana della salute dei loro piedi. Tuttavia, attualmente mancano di integrazione con sensori indossabili, cartelle cliniche elettroniche e feedback medici personalizzati. Il monitoraggio in continuo della temperatura del piede (una temperatura elevata di una zona rispetto all'area corrispondente controlaterale può indicare una infiammazione), o delle zone nelle quali viene esercitata una maggiore pressione da parte della pianta del piede, registrate con solette o particolari calzini o calzature dotate di sensori, si sono dimostrati una valida strategia per la diagnosi precoce di potenziali ulcere.<sup>8,9</sup> Questi sensori inviano informazioni continue ad app alle quali possono accedere sia il paziente, sia il personale sanitario, e informare del rischio

precoce del formarsi di una ulcera. Studi clinici hanno dimostrato che questi strumenti sono in grado di ridurre il rischio di oltre l'80%.

## Il pancreas artificiale

La difficile gestione della terapia insulinica è sempre stato il principale ostacolo al raggiungimento del compenso glicemico ottimale, senza aumentare il rischio di eventi ipoglicemici. La tecnologia negli ultimi anni ha dato un contributo rilevante per superare questo limite; prima di tutto consentendo il monitoraggio in continuo della glicemia. Il valore può essere visualizzato in apposita app su smartphone ed è accompagnato da frecce di tendenza che segnalano se i livelli glicemici sono in rapida ascesa o riduzione, in modo da consentire al paziente di prendere decisioni terapeutiche consapevoli. Il grande vantaggio del monitoraggio in continuo sono gli allarmi che si attivano in caso di livelli glicemici bassi o elevati.<sup>10</sup> Questi sistemi si sono rivelati utili sia per la gestione della terapia insulinica multiniettiva, sia soprattutto per la gestione del microinfusore, un sistema che infonde in maniera continua insulina nel sottocute, consentendo la personalizzazione ottimale della terapia nelle varie fasce orarie della giornata. L'IA ha permesso lo sviluppo di sistemi ibridi avanzati ad ansa chiusa o pancreas artificiali, che riproducono la fisiologica secrezione insulinica sulla base dei valori glicemici. Questi sistemi sono in grado di erogare in maniera continua microdosi di insulina sulla base dei valori glicemici rilevati dal sensore del monitoraggio in continuo della glicemia con il supporto di un algoritmo indipendente dal controllo del paziente. L'algoritmo di controllo basato sull'apprendimento di rinforzo è il punto centrale del sistema per il buon funzionamento di questi sistemi. L'algoritmo autoapprende il dosaggio ottimale di insulina per il paziente osservando come il paziente stesso ha reagito in precedenza in situazioni analoghe con particolari dosaggi di insulina; è in grado di integrare i dati glicemici ottenuti dalla differenza della glicemia misurata e quella ottimale, dalla tendenza in aumento o in riduzione della stessa e dell'insulina già erogata. L'algoritmo inoltre è in grado di integrare tutte queste informazioni con quelle fornite dal paziente quali i carboidrati assunti, l'attività fisica. I sistemi integrati hanno consentito di raggiungere una stabilità glicemica dell'oltre 80% ed evitare ipoglicemia. Viene richiesto l'intervento del paziente al momento del pasto per erogare il bolo in base alla stima dei carboidrati che il paziente assumerà.<sup>11</sup>

## Conclusioni

Le tecnologie basate sull'IA stanno già rivoluzionando la diabetologia tradizionale accelerando processi decisionali, la diagnosi precoce delle complicanze e personalizzando la terapia; è prevedibile presto una più precisa caratterizzazione del fenotipo diabetico e di quello a rischio di diabete. L'adozione di queste tecnologie richiede cambiamenti delle infrastrutture sanitarie, compresi gli investimenti in sistemi sanitari digitali, la formazione degli operatori sanitari e anche dei pazienti, che da tempo possono usufruire di un accesso autonomo e indiscriminato a informazioni sanitarie, più o meno controllate, dalla rete. Anche le considerazioni

etiche come la privacy dei dati, la qualità degli stessi e il potenziale errore dell'IA devono ancora essere considerate e trovare una soluzione in prospettiva.

## Bibliografia

1. International Diabetes Federation. The diabetes atlas. Disponibile online: <http://www.diabetesatlas.org>
2. Ellahham S. Artificial intelligence: the future for diabetes care. *Am J Med* 2020;133:895-900.
3. Giorgini F, Di Dalmazi G, Diciotti S. Artificial intelligence in endocrinology: a comprehensive review. *J Endocrinol Invest* 2024;47:1067-82.
4. Agliata A, Giordano D, Barozzo F, et al. Machine learning as a support for the diagnosis of type 2 diabetes. *Int J Mol Sci* 2023;24:6775.
5. Cuadros J, Bresnick G. EyePACS: an adaptable telemedicine system for diabetic retinopathy screening. *J Diabetes Sci Technol* 2009;3:509-16.
6. Piatti A, Romeo F, Manti R, et al. Feasibility and accuracy of screening for diabetic retinopathy using a fundus camera and artificial intelligence pre-evolution application. *Acta Diabetol* 2024;61:63-8.
7. Debong F, Mayer H, Kober J. Real-world assessments of mySugar mobile health app. *Diabetes Technol Ther* 2019; 21:S235-40.
8. Brooks E, Burns M, Ma R, et al. Remote diabetic foot temperature monitoring for early detection of diabetic foot ulcers: a cost-effectiveness analysis. *Clinicoecon Outcomes Res* 2021;13:873-81.
9. Strass H, Karim Ead J, Armstrong DG. Adherence and diabetic foot: high tech meets high touch? *Sensors* 2023; 23:6898.
10. Danne T, Nimri R, Battelino T, et al. International consensus on use of continuous glucose monitoring. *Diabetes Care* 2017;40:1631-40.
11. Sher JL, Heinemann L, Fleming GA, et al. Automated insulin delivery: benefits, challenges, and recommendations. A consensus report of the joint diabetes technology working group of the European Diabetes Association for the Study of Diabetes and the American Diabetes Association. *Diabetologia* 2023;66:3-22.

## Pro e contro dell'intelligenza artificiale in anatomia patologica

Filippo Nozzoli

SODC Istologia Patologica e Diagnostica Molecolare, Azienda Ospedaliero Universitaria Careggi, Firenze, Italia

### Introduzione

La crescente integrazione dell'intelligenza artificiale (IA) nel campo dell'anatomia patologica sta rivoluzionando le modalità con cui vengono effettuate la diagnosi, la classificazione dei tumori e la definizione prognostica. L'impiego di algoritmi di *deep learning* (DL), reti neurali convoluzionali e sistemi di riconoscimento delle immagini sta migliorando l'accuratezza, l'efficienza e la standardizzazione dei processi diagnostici. Tuttavia, l'adozione su larga scala di queste tecnologie comporta anche una serie di sfide tecniche, etiche, legali e professionali che devono essere attentamente considerate.

### Applicazioni dell'intelligenza artificiale nell'anatomia patologica

Gli approcci IA sono stati utilizzati in varie applicazioni come il riconoscimento di oggetti, il rilevamento e la segmentazione. I vetrini digitalizzati (*whole slide imaging*) possono essere elaborati tramite algoritmi di visione artificiale per estrarre numerose caratteristiche utili alle previsioni diagnostiche. Numerosi strumenti basati su IA vengono sempre più impiegati per fornire informazioni di più complessa interpretazione per il patologo. Esempi includono: valutazione oggettiva di biomarcatori immunostochimici come Ki67 e PD-L1;

Corrispondente: Filippo Nozzoli, SODC Istologia Patologica e Diagnostica Molecolare, Azienda Ospedaliero Universitaria Careggi, Firenze, Italia.  
E-mail: [filippo.nozzoli@unifi.it](mailto:filippo.nozzoli@unifi.it)

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025

Licensee PAGEPress, Italy

QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e14

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

quantificazione cellulare; analisi dell'organizzazione spaziale delle cellule; valutazione di espressione, densità e pattern di distribuzione.<sup>1</sup>

L'IA può anche rilevare cellule tumorali isolate nei linfonodi sospetti per metastasi,<sup>2</sup> aumentando la sensibilità in tempi rapidi. Inoltre, può standardizzare i criteri di classificazione in molti tumori, come il la classificazione *methylation-based* dei tumori del sistema nervoso centrale,<sup>3</sup> il *Gleason Score* nei carcinomi prostatici,<sup>4</sup> o il grado di differenziazione dei tumori mammari,<sup>5</sup> dove le caratteristiche morfologiche si distribuiscono lungo un continuum biologico.

Un'applicazione interessante è la ricerca di immagini basata sul contenuto (*content-based image retrieval*), che permette ai patologi di cercare immagini simili a quella in esame in un ampio database di istopatologia.<sup>6</sup> Questo è particolarmente utile per guidare la diagnosi di casi rari o complessi, poiché le immagini recuperate riflettono somiglianze nelle caratteristiche istopatologiche, non solo nella somiglianza visiva, agevolando diagnosi corrette in tempi rapidi.

L'IA può essere impiegata per prevedere la prognosi e la risposta terapeutica basandosi sulle caratteristiche istologiche.<sup>7</sup> Collegare direttamente le immagini istologiche alle caratteristiche del tumore, al microambiente circostante e al profilo genetico, oltre che agli esiti di sopravvivenza o alla risposta a terapie adiuvanti/neoadiuvanti, può offrire informazioni essenziali in forma sintetica.

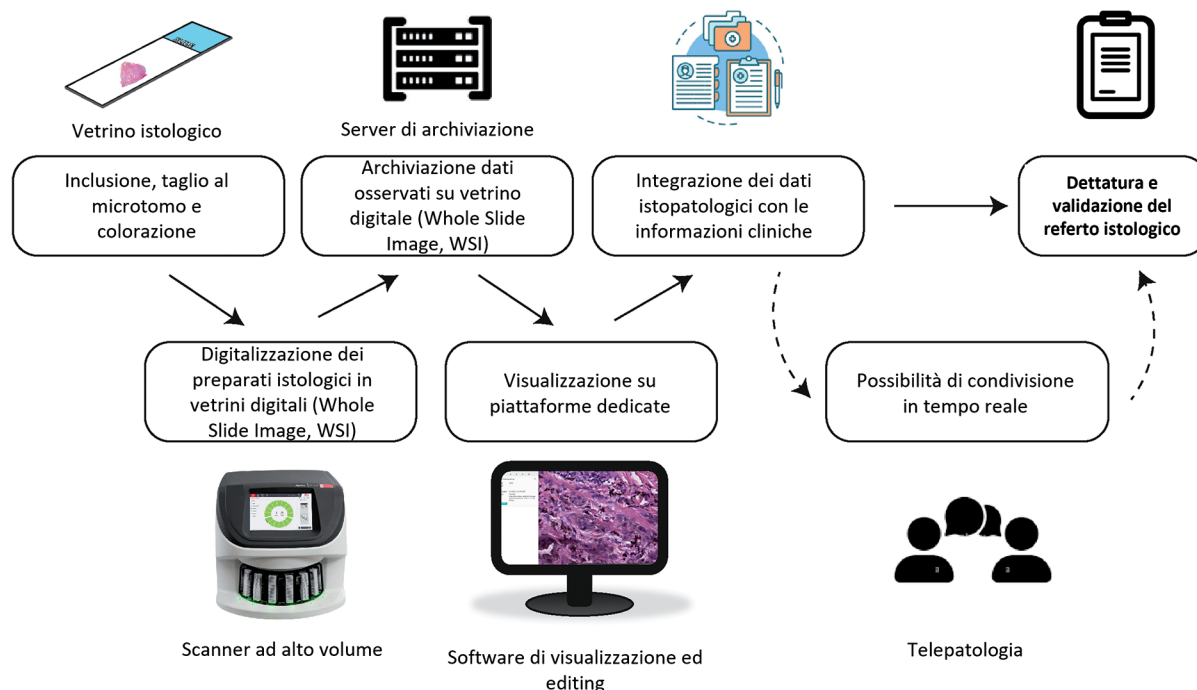
Recenti progressi hanno permesso di utilizzare immagini colorate con ematossilina-eosina per prevedere alterazioni genetiche mediante algoritmi di DL.<sup>8</sup> Gli strumenti di IA possono infatti derivare informazioni genetiche e genomiche del tumore dalla morfologia istologica, contribuendo così alla comprensione della biologia oncologica sottostante.

Alcuni test molecolari a scopo prognostico, come l'OncoType DX (basato su mRNA), sono già ampiamente disponibili.<sup>5</sup> In parallelo, sono emerse ricerche che dimostrano la capacità dell'IA di identificare mutazioni a partire da immagini istologiche.<sup>9,10</sup>

### Vantaggi dell'intelligenza artificiale nell'anatomia patologica

Uno dei principali vantaggi dell'IA in anatomia patologica è l'aumento della precisione diagnostica (Figura 1). Gli algoritmi di *machine learning* sono in grado di analizzare ingenti quantità di immagini istologiche con un livello di dettaglio e coerenza che supera quello umano, riducendo gli errori intra- e inter-osservatore. Questo è particolarmente rilevante

## FLUSSO DI LAVORO AI IN ANATOMIA PATOLOGICA



**Figura 1.** Flusso di lavoro della patologia digitale. Il processo inizia con la preparazione del vetrino istologico attraverso inclusione, microtomia e colorazione. Il vetrino viene poi digitalizzato tramite uno scanner ad alto volume, generando immagini digitali complete del vetrino (*whole slide images*). Queste immagini sono archiviate in un server di storage e visualizzate su workstation dedicate mediante software di visualizzazione e modifica. I dati digitali possono essere integrati con le informazioni cliniche del paziente per una valutazione completa. È possibile condividere i casi in tempo reale grazie alla telepatologia, favorendo la collaborazione e la consultazione a distanza. Il processo si conclude con la dettatura e l'autorizzazione del referto diagnostico.

in ambiti come la classificazione dei tumori e la rilevazione precoce di lesioni sospette.

Inoltre, l'IA consente una notevole riduzione dei tempi di analisi. I sistemi automatizzati possono elaborare centinaia di vetrini digitalizzati in tempi significativamente inferiori rispetto ai patologi umani, liberando tempo per attività più complesse e a valore aggiunto. L'efficienza operativa può essere migliorata anche grazie all'integrazione dei dati clinici, genomici e istologici, facilitando un approccio olistico e personalizzato alla medicina di precisione.

Un ulteriore beneficio è la standardizzazione della diagnosi. I sistemi di IA applicano criteri diagnostici uniformi, riducendo la variabilità legata all'esperienza o alla stanchezza del singolo professionista.

### Limiti e criticità dell'intelligenza artificiale nell'anatomia patologica

Nonostante i suoi numerosi vantaggi, l'IA in anatomia patologica presenta anche importanti limiti. Un problema cruciale è la qualità e la rappresentatività dei dati utilizzati per addestrare gli algoritmi. Dataset limitati, squilibrati o non standardizzati possono portare a *bias* diagnostici, compromettendo l'affidabilità del sistema in contesti reali.

La trasparenza degli algoritmi, spesso descritti come "scatole nere", è un ulteriore punto critico. In ambito medico, la

possibilità di comprendere e giustificare una decisione diagnostica è fondamentale. La mancanza di interpretabilità degli output generati da molti modelli di IA può creare problemi sia in termini di responsabilità professionale sia nella comunicazione con i pazienti.

Dal punto di vista normativo ed etico, l'impiego dell'IA solleva interrogativi sulla privacy dei dati, sulla responsabilità legale in caso di errore diagnostico e sull'eventuale sostituzione del giudizio clinico umano. È necessario definire chi è responsabile nel caso in cui una diagnosi automatizzata risulti errata, e come integrare l'IA nei flussi di lavoro clinici mantenendo il primato della decisione medica umana.

Infine, l'introduzione dell'IA può generare resistenze da parte dei professionisti, timorosi di una dequalificazione o sostituzione del proprio ruolo. È pertanto fondamentale promuovere una formazione continua che consenta ai patologi di comprendere e governare l'uso di queste tecnologie, rendendole strumenti di supporto piuttosto che di sostituzione.

### Prospettive future e raccomandazioni

Per massimizzare i benefici e mitigare i rischi dell'IA in anatomia patologica, è necessario adottare un approccio multidisciplinare. La collaborazione tra ingegneri, patologi, bioeticisti e legislatori è essenziale per sviluppare soluzioni efficaci, sicure e accettabili.

Occorre investire nella creazione di dataset ampi, eterogenei e annotati con rigore, che riflettano la variabilità reale dei casi clinici. Al contempo, bisogna incentivare lo sviluppo di modelli interpretabili, trasparenti e validati clinicamente, in grado di integrarsi armoniosamente nel contesto ospedaliero.

È infine importante avviare un dialogo costruttivo all'interno della comunità medica sul ruolo futuro del patologo. L'IA non dovrebbe essere vista come una minaccia, ma come un'opportunità per elevare la professione, migliorando la qualità del lavoro e potenziando le capacità diagnostiche attraverso strumenti digitali avanzati.

---

## Conclusioni

L'IA rappresenta una svolta epocale per l'anatomia patologica, offrendo strumenti per migliorare l'accuratezza e l'efficienza diagnostica. Tuttavia, il successo della sua implementazione dipenderà dalla capacità del sistema sanitario di affrontare con maturità le sfide tecniche, etiche e professionali che essa comporta. Solo attraverso un'integrazione responsabile, trasparente e collaborativa sarà possibile realizzare il pieno potenziale dell'IA a beneficio dei pazienti e dei professionisti della salute.

---

## Bibliografia

1. Sornapudi S, Stanley RJ, Stoecker WV, et al. Deep learning nuclei detection in digitized histology images by superpixels. *J Pathol Inform* 2018;9:5.
2. Ehteshami Bejnordi B, Veta M, Johannes van Diest P, et al. Diagnostic assessment of deep learning algorithms for detection of lymph node metastases in women with breast cancer. *JAMA* 2017;318:2199-210.
3. Capper D, Jones DTW, Sill M, et al. DNA methylation-based classification of central nervous system tumours. *Nature* 2018;555:469-74.
4. Bulten W, Kartasalo K, Chen PC, et al. Artificial intelligence for diagnosis and Gleason grading of prostate cancer: the PANDA challenge. *Nat Med* 2022;28:154-63.
5. Couture HD, Williams LA, Geradts J, et al. Image analysis with deep learning to predict breast cancer grade, ER status, histologic subtype, and intrinsic subtype. *NPJ Breast Cancer* 2018;4:30.
6. Hegde N, Hipp JD, Liu Y, et al. Similar image search for histopathology: SMILY. *NPJ Digit Med* 2019;2:56.
7. Wulczyn E, Steiner DF, Xu Z, et al. Deep learning-based survival prediction for multiple cancer types using histopathology images. *PLoS One* 2020;15:e0233678.
8. Acs B, Rantalainen M, Hartman J. Artificial intelligence as the next step towards precision pathology. *J Intern Med* 2020;288:62-81.
9. Coudray N, Ocampo PS, Sakellaropoulos T, et al. Classification and mutation prediction from non-small cell lung cancer histopathology images using deep learning. *Nat Med* 2018;24:1559-67.
10. Kather JN, Pearson AT, Halama N, et al. Deep learning can predict microsatellite instability directly from histology in gastrointestinal cancer. *Nat Med* 2019;25:1054-6.

## Conclusioni. Le frontiere dell'intelligenza artificiale in medicina interna

Andrea Fontanella

Direttore del Dipartimento di Medicina e Pronto Soccorso dell'Ospedale Madonna del Buon Consiglio Fatebenefratelli di Napoli, Italia

L'intelligenza artificiale (IA) rappresenta, senza dubbio, una delle più significative innovazioni nel panorama della medicina moderna. Dalla diagnosi precoce alla personalizzazione terapeutica, dal supporto decisionale alla gestione della continuità assistenziale, le sue applicazioni si estendono a tutte le fasi del percorso clinico. Tuttavia, nel contesto della medicina interna, la riflessione sull'adozione dell'IA non può prescindere da una valutazione critica e multidimensionale, che abbracci non solo aspetti tecnologici e operativi, ma anche e soprattutto, aspetti etici, relazionali e formativi.

La trasformazione dell'assistenza sanitaria è il prodotto di una visione condivisa tra un'ampia gamma di stakeholder per stabilire il futuro dell'erogazione dell'assistenza e sviluppare nuovi modelli incentrati sul paziente e basati sull'evidenza, in cui il valore viene premiato dal volume dei dati e dalla loro eterogeneità, qualità e completezza. Importanti all'interno di questa trasformazione sono le innovazioni basate appunto sulla tecnologia di recente sviluppo e in rapida evoluzione. Questi includono: salute digitale con tecnologie indossabili, smartphone e tecnologie basate su sensori; big data che comprende l'aggregazione di grandi quantità di informazioni sulla salute, strutturate e non strutturate, e analisi sofisticate con le tecniche di IA, apprendimento automatico e elaborazione del linguaggio naturale; oltre ad approcci di precisione-salute per identificare il rischio a livello individuale e le determinanti del benessere e della patogenicità.

L'internista è, per definizione, il medico della complessità. Il suo operato si svolge all'intersezione tra più patologie, terapie concomitanti, fragilità cliniche e sociali, scenari mu-

tevoli e incertezza decisionale. Il suo strumento più prezioso non è solo il sapere medico, ma anche la capacità di sintesi, il giudizio clinico, l'empatia, la capacità di ascolto e la visione olistica della persona malata. In questo contesto, l'IA può agire come un potente alleato, ma mai come un sostituto.

Come emerge chiaramente dai contributi raccolti nella presente monografia, l'IA eccelle nell'analisi di grandi moli di dati, nel riconoscimento di pattern complessi, nella formulazione di diagnosi differenziali basate su correlazioni statistiche. Può migliorare l'efficienza diagnostica, suggerire strategie terapeutiche, facilitare la prevenzione delle riacutizzazioni nei pazienti cronici, ottimizzare la polifarmacoterapia, monitorare a distanza i pazienti fragili. Tuttavia, resta del tutto inadeguata nel cogliere sfumature, contesto, vissuti. L'IA non sente l'odore di un insetticida, non riconosce l'ansia negli occhi del paziente, non percepisce l'inadeguatezza di una prescrizione in funzione della fragilità sociale. La comunicazione medico-paziente, infatti, non è solo un processo fatto di contenuti verbali, Mahatma Gandhi diceva: "comunicare significa trasferire ad altri informazioni, emozioni e sentimenti mediante messaggi verbali e non". Nella comunicazione, quindi, non è solo "cosa" dico, ma anche e soprattutto "come" lo dico, quindi osservare la reazione del paziente e capire se devo modificare il messaggio. Pertanto, la comunicazione è fatta certamente da un contenuto dichiarato, che è l'azione intenzionale, e poi da gestualità, espressione del volto, spazialità, pause e tono della voce, infine da tutta la parte non verbale, come mimica, postura, ritmo, movimenti oculari, respiro. Questo limite comunicativo, non perseguibile con l'IA non è contingente, è strutturale: è il confine tra calcolo e coscienza.

La medicina interna è la medicina della relazione, del tempo lungo, della narrazione. L'IA non può (e non deve) replicare l'empatia, la fiducia, la comunicazione profonda che costituiscono il cuore della cura. In questo senso, gli algoritmi possono supportare, ma mai sostituire il rapporto medico-paziente. Anzi, proprio l'efficienza che l'IA può introdurre nella gestione delle attività burocratiche e ripetitive dovrebbe essere reinvestita nel tempo di ascolto, nella riflessione, nella costruzione di una relazione terapeutica significativa.

L'aspetto etico è centrale e non può essere relegato alla fine del discorso. Ogni decisione clinica mediata da un algoritmo richiede trasparenza, spiegabilità, controllo umano. Il problema della "black box" dei sistemi di *deep learning* solleva interrogativi sulla responsabilità, sulla fiducia, sulla sicurezza. Come possiamo accettare che una diagnosi venga proposta senza poter comprendere le ragioni logiche della sua formulazione? Come può un medico affidarsi a una tecnologia

Corrispondente: Andrea Fontanella, Direttore del Dipartimento di Medicina e Pronto Soccorso dell'Ospedale Madonna del Buon Consiglio Fatebenefratelli di Napoli, Italia.  
E-mail: andreafontanella52@gmail.com

Nota dell'editore: le affermazioni espresse in questo articolo sono esclusivamente quelle degli autori e non rappresentano necessariamente quelle delle loro organizzazioni affiliate, né quelle dell'editore, dei redattori e dei revisori. Tutti i prodotti valutati in questo articolo o le affermazioni fatte dal loro produttore non sono garantiti o approvati dall'editore.

©Copyright: the Author(s), 2025  
Licensee PAGEPress, Italy  
QUADERNI - Italian Journal of Medicine 2025; 13(4):e15

Articolo pubblicato secondo la Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 License (CC BY-NC 4.0).

che, seppur performante, non è interrogabile, né giustificabile nei suoi percorsi inferenziali?

Un aspetto che, nella clinica, può rappresentare un ostacolo al demandare il percorso diagnostico terapeutico alla sola IA è rappresentata dal fatto che la medicina non è una scienza esatta, infatti, occupandosi di fenomeni biologici, non è una scienza cartesiana.

Il grande internista William Osler, uno dei padri della medicina moderna, (1849-1919) affermò come “la variabilità è la legge della vita, e come non esistono due facce uguali, così non ci sono due corpi uguali, né due individui che reagiscono e si comportano nello stesso modo nelle condizioni anomale proprie della malattia”. Quindi, ancora affermava che “la medicina è la scienza dell’incertezza e l’arte della probabilità”. Attenzione, non a caso ha usato il termine “arte”, cosa che implica la fantasia, l’estro e l’imprevedibilità, tutte doti che, allo stato, non sono ancora qualità dell’IA, ma prerogativa esclusiva della mente umana. Nel campo delle scienze esatte, partendo da principi certi, si possono fare deduzioni controllate, ma in medicina ci sono solo dati biomedici e informazioni apparenti, in qualche modo legati e “con una certa tendenza” a verificarsi. Il metodo di conoscenza usato dai medici è quindi costretto necessariamente a basarsi sull’incertezza o, meglio, sul suo corrispettivo matematico che è la probabilità. In medicina la logica classica, binaria, vero falso, non esiste. Tra salute e malattia non c’è una linea di demarcazione e non si trova mai uno stesso quadro clinico. Un altro grande internista, Vito Cagli, ha affermato come questa abbondanza di varianti, continuamente diverse, debba essere dominata mentalmente, perché questo è il compito cognitivo della medicina. Il superamento o, meglio, il controllo razionale dell’incertezza e dell’appropriatezza e cioè il quando, il come e il quanto di ogni azione e di ogni decisione debbono poggiare sul ragionamento metodologico. Ragionamento che viene dalla conoscenza, dall’esperienza e dalla logica e non deve rispondere, obbligatoriamente, a qualche linea guida, ma scegliere la strada migliore per il singolo paziente.

Pertanto, la rigorosa applicazione dell’EBM implicherebbe solo un approccio meccanicistico basato sugli algoritmi, simile ai programmi informatici di intelligenza pre-artificiale primitiva del passato. In tale approccio, il medico vede il paziente come una statistica piuttosto che un individuo. Questo tipo di medicina potrebbe essere praticata dagli amministrativi.

L’appropriatezza clinica, tema tanto caro alla medicina interna, non può prescindere da questi interrogativi. Non è appropriato ciò che è solo tecnicamente corretto; è appropriato ciò che è giusto per quel paziente, in quel momento, nel suo contesto biografico, sociale e psicologico. La clinica non è solo un esercizio tecnico, è un atto etico. L’internista, nella sua visione globale e nel suo *problem solving* critico, resta la figura insostituibile per mantenere questa dimensione di giustizia, proporzionalità, umanità.

Altro aspetto cruciale è la formazione. Non possiamo immaginare un medico del futuro che non conosca l’IA, che non sappia interrogarla, valutarla, integrarla criticamente. Occorre una nuova alfabetizzazione digitale per i clinici, che vada oltre l’entusiasmo acritico o il rifiuto pregiudiziale. Così come un tempo si è dovuto imparare a leggere una TAC o a interpretare un algoritmo prognostico, oggi il medico deve saper interagire con modelli predittivi, comprendere i fondamenti del *machine learning*, interpretare output complessi, valutare la bontà dei dati in ingresso. Ma, soprattutto, deve mantenere salda la ca-

pacità di pensiero clinico, che non può essere delegata ad alcuna macchina.

Infine, è necessario uno sforzo istituzionale. Le tecnologie vanno regolamentate, validate clinicamente, integrate in modo interoperabile nei sistemi sanitari. I modelli vanno controllati per la presenza di *bias*, garantiti per la sicurezza dei dati, monitorati nel loro impatto reale. L’IA non può essere adottata senza una governance etica, professionale e organizzativa.

Infine, sotto il profilo dell’etica, nell’adozione dell’IA nel percorso diagnostico-assistenziale-terapeutico oltre che prognostico, vi sono altre tre questioni fondamentali: garantire la privacy del paziente, la regolamentazione di un consenso informato ed il problema della responsabilità medico-professionale. Questi tre aspetti sono stati, però, mirabilmente trattati da Maria Luigia Cipollini nel suo articolo di questa monografia “L’intelligenza artificiale: barriere alla sua implementazione e considerazioni etiche”, al quale naturalmente vi rimando.

In uno splendido trattato degli anni ’50, *Portraits from memory and other essays*, (London: G. Allen & Unwin, 1956) nel saggio *Conoscenza e saggezza*, il grande filosofo, Bertrand Russel affermò: “a ogni accrescimento della conoscenza e della tecnica, la saggezza diviene più necessaria, poiché ognuno di questi accrescimenti aumenta la nostra capacità di attuare i nostri scopi, e perciò aumenta la nostra capacità di far del male, se i nostri scopi non sono saggi”.

In conclusione, il futuro della medicina interna non sarà determinato da una scelta tra uomo e macchina, ma dalla capacità dell’uomo di integrare la macchina senza perdere sé stesso. L’IA non deve essere considerata una minaccia al ruolo del medico internista, ma uno strumento che, se ben conosciuto e gestito, può rafforzare la sua missione. Perché, se è vero che nessun algoritmo può sostituire uno sguardo clinico attento, è anche vero che nessun clinico, oggi, può permettersi di ignorare gli strumenti più avanzati che la scienza gli mette a disposizione.

I limiti del metodo clinico dell’internista, operando specificamente nell’ambito della complessità, sono strutturali ed inerenti al metodo stesso e per superarli, oggi, appare inevitabile combinare il processo clinico con i totem della modernità intrecciando i fili della digitalizzazione, dei big data, della robotica, degli algoritmi, che sarebbero in grado di formulare diagnosi o terapie con una potenzialità maggiore di quella propria del solo cervello umano. L’incertezza e le azioni conseguenti possono trovare aiuto nelle nuove potenzialità offerte dai sistemi che sono basati sull’uso dell’IA.

L’IA potrà essere strumento importante nella gestione dell’incertezza, nella riduzione dei tempi della diagnosi e del rischio di errori, rendendo, in tal modo, la clinica più obiettiva possibile.

L’IA potrebbe efficacemente integrarsi con il soggettivismo basato sull’approccio euristico intuitivo e sulla logica propria della teoria bayesiana. La sinergia tra IA e medicina diventerà sempre più potente, quanto più si svilupperanno le conoscenze sulla composizione e sulla struttura delle reti neurali umane. Nella fluidità e nell’incertezza delle situazioni che l’internista vive, un punto di riferimento da assumere come bussola è la indissolubilità tra la vita umana e quella biologica che ha in sé la ragione per tenere lontana la “cosificazione” dell’uomo.

Tanto più sofisticato sarà l’aspetto tecnologico, tanto più alta sarà la responsabilità del medico verso l’uomo che a lui si affida.

La sfida è aperta, e l'etica sarà la bussola. Una medicina interna che saprà coniugare rigore scientifico e profondità umana, innovazione tecnologica e discernimento critico, sarà non solo più efficace, ma anche più giusta. Perché, in definitiva, il fine ultimo non è l'efficienza, ma il bene del paziente e l'IA ci guida sicuramente verso le decisioni più corrette, ma non sempre le scelte più corrette tecnicamente sono le più sagge per il bene del paziente.

Come conclusi in un numero monografico dei Quaderni dell'*Italian Journal of Medicine* del 2014: “ieri avevamo comportamenti dettati dalla saggezza clinica, ma meno conoscenze e minore supporto tecnico. Oggi abbiamo molta più conoscenza e spropositato sviluppo tecnico, ma minore saggezza nel gestirli. Se vogliamo garantirci il futuro del domani dobbiamo ritornare ai modi dell'ieri con le conoscenze e la tecnica dell'oggi”.



## LINEE GUIDA PER GLI AUTORI

I *Quaderni dell'Italian Journal of Medicine (Quaderni ITJM)*, costituiscono una collana supplementare **solo online** annessa alla rivista *Italian Journal of Medicine* contenente lavori solo in lingua italiana.

I Quaderni ITJM pubblicano:

- Monografie *ad hoc* individuate dal Presidente FADOI, dal Consiglio Direttivo, dal Board Scientifico o dall'Editor in Chief dell'*Italian Journal of Medicine*, in funzione del contesto scientifico-istituzionale attuale.
- Monografie *ad hoc* su temi di particolare rilevanza scientifica a cura della *Commissione FADOI Giovani*.
- Traduzioni in italiano di alcuni lavori pubblicati sui numeri standard dell'*Italian Journal of Medicine*, di particolare interesse per la comunità scientifica.

### STESURA DEI LAVORI

I lavori dovranno essere redatti in modo conforme alle linee guida sotto riportate:

- I manoscritti devono essere scritti *interamente* in lingua italiana, su documento di Word, con *carattere* Times New Roman/Arial, *dimensione* 12, *formato* A4, *interlinea doppia* e *margini* 2,54 cm.  
*Parole totali*: max 4000; *Sommario/Abstract*: max 250 parole; *Bibliografia*: min 40 voci; *Tabelle e Figure*: 3/5 totali (le tabelle non devono superare n. 1 pagina del documento in Word).
- La strutturazione del contenuto deve attenersi agli standard internazionali per la *Rassegna (Review)*: i) Abstract riassuntivo dell'intero lavoro; ii) Introduzione al tema trattato; iii) Criteri e strumenti di ricerca (criteri di inclusione/esclusione, banche dati consultate, ...); iv) i successivi paragrafi devono illustrare le più recenti scoperte scientifiche nel settore; v) Conclusioni; vi) Bibliografia.
- La prima pagina deve riportare: i) titolo (in stampatello minuscolo), senza acronimi; ii) nome e cognome per esteso di ciascun autore; iii) affiliazione(i) di ciascun autore, numerate con numeri arabi; iv) eventuali ringraziamenti; v) nome e indirizzo postale completi dell'autore corrispondente, corredati da telefono, fax, e-mail; vi) da 3 a 5 parole chiave, separate da virgola. La seconda pagina può riportare: i) contributi degli autori, *e.g.* informazioni relative a contributi sostanziali delle persone coinvolte nello studio (<http://www.icmje.org/#author>); ii) dichiarazione relativa a potenziali conflitti d'interesse; iii) ulteriori informazioni (*e.g.* fondi, esposizioni durante conferenze...).
- In caso di utilizzo di *tabelle*, queste devono essere tutte numerate con numeri arabi e citate nel testo in ordine consecutivo (*e.g.* NON nominare le tabelle come Tabella 1A, 1B, ... o 1.0, 1.1, ...). Le tabelle devono essere presentate in formato editabile. Ciascuna tabella deve essere corredata da una breve didascalia; in caso di abbreviazioni, riportare una nota a piè di CIASCUNA tabella che spieghi TUTTE le abbreviazioni presenti in ognuna.
- In caso di utilizzo di *figure*, queste devono essere inviate in formato .tiff o .jpg, allegate al manoscritto in singoli files, secondo le seguenti specifiche:
  - i) a colori (salvate in modalità CMYK): minimo 300 dpi di risoluzione;
  - ii) in bianco e nero: minimo 600 dpi di risoluzione;
  - iii) minimo 17,5 cm di larghezza.
 Ciascuna figura deve essere corredata da una breve didascalia.

**NB: In caso di Tabelle/Figure riprese e/o modificate da altri lavori già pubblicati, sarà cura degli autori accertarsi se tali materiali siano o meno coperti da copyright e procurarsi i permessi necessari per la riproduzione. Tali permessi dovranno essere allegati alla versione definitiva del lavoro. L'ufficio editoriale si riserva la facoltà di rimuovere Tabelle/Figure coperte da copyright, se sprovviste dei necessari permessi.**

- In caso di utilizzo di *abbreviazioni*, la prima volta che esse sono citate è necessario scrivere per esteso la definizione+abbreviazione tra parentesi tonde [*e.g.* risonanza magnetica (RMN)], a seguire si dovrà riportare solo l'abbreviazione (*unica eccezione*: nei titoli e nelle didascalie di tabelle e figure NON si utilizzano abbreviazioni).

### BIBLIOGRAFIA

Le voci bibliografiche devono essere formattate secondo lo stile *Vancouver*.

Nella sezione Bibliografia, le voci bibliografiche devono essere numerate consecutivamente nell'ordine in cui appaiono per la prima volta nel testo (NON in ordine alfabetico) e, nel testo, devono essere indicate con numeri arabi *in apice*. Voci bibliografiche riferite a comunicazioni personali o dati non pubblicati devono essere incorporate nel testo e NON inserite tra le voci numerate [*e.g.* (Wright 2011, dati non pubblicati) o (Wright 2011, comunicazione personale)].

Le voci bibliografiche nella sezione Bibliografia devono *tassativamente* essere preparate come segue:

- i) più di 3 autori, citare *3 autori, et al.* Se il lavoro contiene solo 4 autori, citarli tutti e 4;
- ii) titolo del lavoro in stampatello minuscolo;
- iii) nome della rivista, senza punti, abbreviato secondo gli standard internazionali; in caso di dubbi sulla corretta abbreviazione, fare riferimento ai seguenti siti:
  - a. ISI Journal Abbreviations Index (<http://library.caltech.edu/reference/abbreviations/>);
  - b. Biological Journals and Abbreviations (<http://home.ncicrf.gov/research/bja/>);
  - c. Medline List of Journal Titles ([ftp://ftp.ncbi.nih.gov/pubmed/J\\_Medline.txt](ftp://ftp.ncbi.nih.gov/pubmed/J_Medline.txt));
- iv) inserire l'anno di pubblicazione subito dopo il nome della rivista, seguito da punto e virgola;
- v) NON inserire giorno o mese di pubblicazione;
- vi) citare solo il volume, seguito dai due punti (NON citare il fascicolo tra parentesi);
- vii) abbreviare le pagine, *e.g.* 351-8.

Per accertarsi di aver correttamente formattato le voci bibliografiche, confrontarle con le citazioni in PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>).

Esempi (prestare attenzione anche alla punteggiatura):

#### *Articolo standard su Rivista*

Halpern SD, Ubel PA, Caplan AL. Solid-organ transplantation in HIV-infected patients. *N Engl J Med* 2002;347:284-7.

#### *Proceedings*

Christensen S, Oppacher F. An analysis of Koza's computational effort statistic for genetic programming. In: Foster JA, Lutton E, Miller J, Ryan C, Tettamanzi AG, eds. Genetic programming. EuroGP 2002: Proceedings of the 5th European Conference on Genetic Programming, 2002 Apr 3-5, Kinsdale, Ireland. Berlin: Springer; 2002. pp 182-91.

#### *Articoli i cui autori sono Organizzazioni*

Diabetes Prevention Program Research Group. Hypertension, insulin, and proinsulin in participants with impaired glucose tolerance. *Hypertension* 2002;40:679-86.

#### *Libri*

Murray PR, Rosenthal KS, Kobayashi GS, Pfaller MA. Medical microbiology. 4th ed. St. Louis, MO: Mosby; 2002. (CITAZIONE DEL LIBRO INTERO)

Meltzer PS, Kallioniemi A, Trent JM. Chromosome alterations in human solid tumors. In: Vogelstein B, Kinzler KW, eds. The genetic basis of human cancer. New York, NY: McGraw-Hill; 2002. pp 93-113. (CITAZIONE DI UN CAPITOLO)

### MODALITÀ D'INVIO DEI LAVORI

#### *Monografie*

Gli Autori dovranno fare riferimento all'Editor-in-Chief o alle persone da lui designate nelle lettere di invito a scrivere gli articoli programmati.

Per gli articoli inviati da giovani internisti, gli Autori dovranno fare riferimento al Dr. Michele Meschi (e-mail: [m.meschi@ausl.mo.it](mailto:m.meschi@ausl.mo.it)) e agli eventuali altri referenti da lei designati, nelle prime fasi di stesura dei manoscritti, revisioni e correzioni.

Il Dr. Meschi raccoglierà poi le versioni definitive dei lavori di ciascuna monografia e provvederà all'invio di tutti i materiali all'ufficio editoriale.

I lavori solo nella loro versione definitiva e approvata dalla *Commissione FADOI Giovani* dovranno pervenire all'ufficio editoriale già pronti per l'impaginazione e immediata pubblicazione (già *corredati da eventuali permessi per la riproduzione di tabelle e immagini redatti secondo le presenti linee guida*).

#### Traduzioni

Previo invito dell'Editor-in-Chief, gli Autori dovranno far pervenire all'ufficio editoriale la *versione tradotta in italiano*, al seguente indirizzo e-mail: [giulia.bertoni@pagepress.org](mailto:giulia.bertoni@pagepress.org)

Il file in formato Word dovrà essere formattato secondo gli standard editoriali della rivista ufficiale ed essere già pronto per impagina-

zione e immediata pubblicazione (*corredato da eventuali permessi per la riproduzione di tabelle e immagini*).

Si prega di inviare le eventuali tabelle in formato editabile e le figure in alta definizione secondo gli standard sopra riportati.

#### NOTA PER GLI AUTORI

*I lavori pubblicati sui Quaderni ITJM non verranno indicizzati, ma saranno liberamente disponibili in un'apposita sezione del sito FADOI (<http://www.fadoi.org/>) e della rivista ufficiale.*

*Gli Autori i cui lavori siano accettati per la pubblicazione sui Quaderni ITJM e che fossero interessati a vederli pubblicati anche sulla rivista ufficiale, dovranno sottomettere attraverso il sito dell'ITJM ([www.italjmed.org](http://www.italjmed.org)) la versione (già tradotta) in inglese e redatta in modo conforme alle linee guida della rivista; seguiranno poi la procedura di selezione tramite peer review e, se accettati, saranno inseriti nel piano editoriale standard.*

#### STAFF EDITORIALE

Giulia Bertoni, Journal Manager  
[giulia.bertoni@pagepress.org](mailto:giulia.bertoni@pagepress.org)

Claudia Castellano, Production Editor

Tiziano Taccini, Technical Support

#### QUADERNI - ITALIAN JOURNAL OF MEDICINE

Tutti gli articoli pubblicati sui QUADERNI - *Italian Journal of Medicine* sono redatti sotto la responsabilità degli Autori. La pubblicazione o la ristampa degli articoli della rivista deve essere autorizzata per iscritto dall'editore. Ai sensi dell'art. 13 del D.Lgs 196/03, i dati di tutti i lettori saranno trattati sia manualmente, sia con strumenti informatici e saranno utilizzati per l'invio di questa e di altre pubblicazioni e di materiale informativo e promozionale. Le modalità di trattamento saranno conformi a quanto previsto dall'art. 11 del D.Lgs 196/03. I dati potranno essere comunicati a soggetti con i quali PAGEPress intrattiene rapporti contrattuali necessari per l'invio delle copie della rivista. Il titolare del trattamento dei dati è PAGEPress Srl, via A. Cavagna Sangiuliani 5 - 27100 Pavia, al quale il lettore si potrà rivolgere per chiedere l'aggiornamento, l'integrazione, la cancellazione e ogni altra operazione di cui all'art. 7 del D.Lgs 196/03.

#### PUBBLICATO DA

PAGEPress Publications  
via A. Cavagna Sangiuliani 5  
27100 Pavia, Italy  
T. +39.0382.1549020



[www.pagepress.org](http://www.pagepress.org)  
[info@pagepress.org](mailto:info@pagepress.org)

<https://www.italjmed.org/index.php/ijm/quad>

Pubblicato: novembre 2025



