

ATENEIO VENETO

Rivista di scienze, lettere ed arti

Atti e memorie dell'Ateneio Veneto



ATENEO VENETO onlus
Istituto di scienze, lettere ed arti
fondato nel 1812
213° anno accademico

Campo San Fantin 1897, 30124 Venezia
tel. 0415224459
<http://www.ateneoveneto.org>

presidente

Antonella Magaraggia

vicepresidente

Filippo Maria Carinci

segretario accademico

Alvise Bragadin

tesoriere

Giovanni Anfodillo

delegato affari speciali

Paola Marini



1 8 1 2

ATENEO VENETO

Rivista semestrale di scienze, lettere ed arti
Atti e memorie dell'Ateneo Veneto
CCXII, terza serie 24/II (2025)

Autorizzazione del presidente
del Tribunale di Venezia,
decreto n. 203, 25 gennaio 1960
ISSN: 0004-6558
iscrizione al R.O.C. al n. 10161

direttore responsabile

Michele Gottardi

direttore scientifico

Gianmario Guidarelli

segreteria di redazione

Silva Menetto, Carlo Federico Dall'Omo

e-mail

rivista@ateneoveneto.org

comitato di redazione

Antonella Magaraggia, Shaul Bassi,

Linda Borean, Michele Gottardi,

Filippo Maria Paladini,

Simon Levis Sullam

comitato scientifico

Michela Agazzi, Bernard Aikema,

Antonella Barzazi, Fabrizio Borin,

Giorgio Brunetti, Donatella Calabi,

Ilaria Crotti, Roberto Ellero,

Patricia Fortini Brown, Martina Frank,

Augusto Gentili †, Michele Gottardi,

Michel Hochmann, Mario Infelise,

Mario Isnenghi, Paola Lanaro,

Maura Manzelle, Paola Marini, Piero Martin,

Stefania Mason, Letizia Michielon,

Daria Perocco, Dorit Raines,

Michelangelo Savino, Antonio Alberto Semi,

Luigi Sperti, Elena Svalduz, Xavier Tabet,

Camillo Tonini, Alfredo Viggiano,

Guido Zucconi

Progetto grafico e impaginazione

Livio Cassese

Stampa

Grafiche Veneziane soc. coop.

Spedizione in abbonamento

Copyright

© Ateneo Veneto

Tutti i diritti riservati



REGIONE DEL VENETO

Iniziativa regionale realizzata in attuazione
della L.R. n. 17/2019 – art. 32

INDICE

SAGGI

- 9 Jean-Claude Hocquet, *The salt pans of Chioggia, which flourished in 1200, disappeared in 1553?*
- 37 Emanuele Castoldi, *Un'inedita 'cappella Barbarigo' o del presbiterio di Santa Maria degli Angeli di Murano*
- 53 Alice Zitelli, *Aprire a Venezia una galleria di fotografia permanente*

AI, ETICA E RESPONSABILITÀ PROFESSIONALE IN AMBITO CLINICO

- 73 Giorgio Bolla, *AI as Tool for Amplifying Knowledge. L'Intelligenza Artificiale come strumento per il guadagno di conoscenza*
- 77 Alessandro Sperduti, *Intelligenza Artificiale e medicina*
- 97 Massimiliano Badino, *Umani e macchine: verso un'etica integrata?*
- 115 Daniele Rodriguez, *Medico, paziente, Intelligenza Artificiale: una relazione a tre*
- 129 Leopoldo Pagliani, *Intelligenza Artificiale e diagnostica: innovazioni e sfide future in cardiologia. L'evoluzione della medicina cardiovascolare attraverso l'intelligenza artificiale: dalla diagnosi tradizionale alla medicina personalizzata del futuro*

PREMIO "ACHILLE E LAURA GORLATO" GORLATO 2025

- 145 Elisabetta Dalla Giustina, *Garantire la tranquillità domestica: questioni familiari e polizia nel Ducato di Venezia (1798-1805)*

Tavole

Atti dell'Ateneo Veneto

Appendice: organigramma, codice etico, pubblicazioni

Leopoldo Pagliani

U.O.S.D. CARDIOLOGIA

ISTITUTO ONCOLOGICO VENETO – I.O.V. – I.R.C.C.S. – PADOVA

Intelligenza Artificiale e diagnostica: Innovazioni e sfide future in cardiologia. L'evoluzione della medicina cardiovascolare attraverso l'Intelligenza Artificiale: dalla diagnosi tradizionale alla medicina personalizzata del futuro

1. Introduzione: l'intelligenza artificiale entra nella cardiologia

L'intelligenza artificiale (IA) sta rivoluzionando il panorama della cardiologia moderna, trasformando radicalmente il modo in cui diagnosticiamo e gestiamo le malattie cardiovascolari. Questa trasformazione rappresenta un salto qualitativo senza precedenti nella storia della medicina cardiovascolare, paragonabile per impatto all'introduzione dell'ecocardiografia negli anni Settanta o alla coronarografia interventistica nei decenni successivi.

La crescita esponenziale degli studi scientifici testimonia l'importanza di questa rivoluzione: dal 2024 al 2025 sono stati pubblicati oltre 4.600 articoli su PubMed dedicati all'IA applicata alla cardiologia, evidenziando l'accelerazione della ricerca in questo settore cruciale. Si tratta di numeri che non trovano precedenti nella letteratura cardiologica e che segnalano un punto di non ritorno nella traiettoria della specialità.

Il mercato globale dell'IA in sanità raggiungerà i 102 miliardi di dollari entro il 2028, crescendo del 37% annuo. Questo non è solo un numero: è l'indicatore di una trasformazione epocale che sta ridefinendo i confini della medicina tradizionale. La domanda non è più "se" l'IA cambierà la medicina, ma "quanto velocemente" ridefinirà competenze che credevamo insostituibili. E la cardiologia è in prima linea in

questa rivoluzione silenziosa.

Il presente saggio intende percorrere questa trasformazione in modo sistematico: dalle basi tecnologiche del machine learning e del deep learning, passando per le implicazioni cliniche pratiche nella diagnostica cardiovascolare, fino ad affrontare le sfide etiche, giuridiche e formative che tale rivoluzione impone alla professione medica. Il filo conduttore è una domanda scomoda ma necessaria: in che direzione evolveremo, come cardiologi, di fronte a sistemi algoritmici che in alcuni contesti diagnostici già superano le prestazioni umane? (Fig. 1).

2. Fondamenti tecnologici: machine learning e deep learning

Per comprendere la portata della rivoluzione in atto è necessario acquisire una conoscenza di base dei meccanismi che governano i sistemi di intelligenza artificiale. Il machine learning (ML) è un insieme di tecniche che consentono ai computer di apprendere algoritmicamente rappresentazioni efficienti dei dati senza essere esplicitamente programmati per ogni compito. La differenza tra il machine learning classico e la statistica classica risiede meno nella metodologia che nell'intento: mentre l'obiettivo principale delle statistiche è condurre inferenza sui parametri del campione, il ML si concentra sulla rappresentazione algoritmica della struttura dei dati e sulla formulazione di previsioni o classificazioni. (fig. 2)

2.1 Apprendimento supervisionato

L'apprendimento supervisionato costituisce il paradigma più diffuso in ambito medico. L'algoritmo viene addestrato su un set di dati contenente sia gli input che gli output desiderati (etichette): l'obiettivo è apprendere una funzione che mappa gli input agli output corretti, consentendo al modello di fare previsioni su nuovi dati mai visti prima. In cardiologia, l'esempio più eloquente è la diagnosi automatica dell'infarto miocardico attraverso l'analisi dell'ECG: il modello viene addestrato su decine di migliaia di tracciati etichettati da car-

diologi esperti, imparando a riconoscere pattern morfologici associati all'infarto anche in presenza di variabilità individuale significativa.

Le reti neurali convoluzionali (CNN) rappresentano un tipo specializzato di reti neurali artificiali particolarmente efficaci nell'elaborazione e nell'analisi di dati visivi come immagini e video. Questi modelli svolgono un ruolo fondamentale nell'apprendimento automatico e in particolare nel deep learning. Le CNN sono costituite da strati sovrapposti che includono uno strato di input, uno o più strati nascosti e uno strato di output: i singoli nodi sono connessi tra loro e hanno un peso e una soglia associati. Non appena l'output di un nodo supera il valore di soglia specificato, viene attivato e invia i dati allo strato successivo. Questa architettura permette di riconoscere strutture gerarchiche nei dati, dalle caratteristiche elementari (bordi, forme) fino a pattern complessi (anatomia cardiaca, aree di necrosi miocardica)¹.

2.2 Apprendimento non supervisionato

Nell'apprendimento non supervisionato, l'algoritmo riceve dati non etichettati e deve trovare autonomamente strutture e pattern. L'obiettivo è raggruppare i dati in cluster o individuare schemi e relazioni che non erano immediatamente evidenti. In ambito cardiologico, questi sistemi risultano preziosi per l'identificazione di sottogruppi nascosti di pazienti: un modello non supervisionato può ad esempio raggruppare cartelle cliniche anonimizzate per individuare fenotipi di scompenso cardiaco con caratteristiche fisiopatologiche comuni, non precedentemente identificati dai clinici. Questa capacità di “vedere-circa” l'invisibile apre prospettive straordinarie per la medicina di precisione cardiovascolare.

2.3 Apprendimento per rinforzo

Il terzo paradigma fondamentale è l'apprendimento per rinforzo, nel quale un “agente” impara interagendo con un ambiente, compiendo azioni e ricevendo feedback sotto forma di ricompense o punizioni. L'analogia con l'apprendimento umano è immediata: come

1 Y. LECUN, Y. BENGIO, G. HINTON, *Deep learning*, «Nature», 521 (2015), pp. 436-444.

un bambino che impara a camminare attraverso tentativi riceve un rinforzo positivo (l'applauso del genitore) quando riesce, allo stesso modo la macchina individua progressivamente i percorsi migliori in funzione dell'obiettivo determinato. In cardiologia interventistica, questo paradigma sta trovando applicazione nell'ottimizzazione delle strategie di rivascularizzazione e nella personalizzazione della terapia anticoagulante nei pazienti con fibrillazione atriale.

3. Big Data e medicina cardiovascolare

La cosiddetta quarta rivoluzione industriale ha come combustibile il dato. Il dato, pur avendo un proprio valore intrinseco, assume significati differenti a seconda del contesto nel quale è utilizzato. L'informazione elabora il dato nel contesto di interesse attribuendogli significato; la sfida della medicina contemporanea è estrarre informazioni utili dall'oceano di dati disponibili. Per avere un'idea della dimensione del fenomeno: ogni minuto vengono generati 21 milioni di messaggi su WhatsApp, vengono caricate 500 ore di contenuti su YouTube, quasi 700.000 nuove foto su Instagram. Nel 2022 sono stati creati 97 zettabyte di informazioni – uno zettabyte corrisponde a un trilione di gigabyte.

In cardiologia, questa massa di dati proviene da fonti eterogenee: cartelle cliniche elettroniche, dati di monitoraggio continuo (Holter, telemetria, dispositivi impiantabili), imaging (ecocardiogrammi, RMN cardiaca, TAC coronarica), biobanche genomiche, dati wearable. La capacità di integrare e analizzare queste sorgenti in modo sinergico è il valore fondamentale che l'IA porta in cardiologia: nessun clinico, per quanto esperto, è in grado di processare e correlare simultaneamente migliaia di variabili per ogni paziente (Fig. 3).

Le caratteristiche dei grandi insiemi di dati sono sintetizzate nel modello delle "8 V": Volume (quantità di dati), Velocità (rapidità di generazione e trasmissione), Varietà (diversità di formati e fonti), Veridicità (accuratezza e affidabilità dei dati), Valore (beneficio estraibile), Variabilità (cambiamento di significato in base al contesto), Visibilità/Visualizzazione (rappresentazione comprensibile) e Virality (capacità

di un insight di diffondersi rapidamente). Ciascuna di queste dimensioni pone sfide specifiche in ambito medico: la veridicità, ad esempio, è cruciale quando si tratta di dati clinici su cui si fondano decisioni terapeutiche.

4. IA nella diagnostica cardiovascolare: applicazioni pratiche

Le applicazioni pratiche dell'intelligenza artificiale in cardiologia spaziano dalla diagnostica per immagini all'analisi del segnale ECG, dal supporto alle decisioni terapeutiche al monitoraggio remoto dei pazienti. Le reti neurali sono in grado di analizzare immagini di raggi X, TAC e RM per rilevare precocemente patologie, superando a volte la precisione umana e velocizzando significativamente il processo diagnostico².

4.1 IA per la sicurezza delle cure e il rilevamento del deterioramento

Un filone di ricerca particolarmente rilevante riguarda l'utilizzo dell'IA per la sicurezza delle cure e il rilevamento precoce del deterioramento clinico. I sistemi di Early Warning Score basati sull'analisi trend in tempo reale hanno dimostrato, in studi randomizzati, risultati migliori rispetto ai sistemi di allarme precoce tradizionali: maggiore specificità, riduzione significativa del numero di falsi allarmi e capacità di predire precocemente la mortalità e il ricovero in terapia intensiva, fornendo al personale clinico il tempo prezioso per intervenire prima del deterioramento³.

A questi sistemi si affiancano strumenti di documentazione clinica intelligente, che migliorano l'esperienza dei pazienti sia in ospedale che dopo la dimissione, e sistemi di avvisi automatici sugli esami di laboratorio: tecnologie che notificano immediatamente ai medici di guardia i risultati urgenti che riguardano la condizione del paziente,

2 P. RAJPURKAR, J. IRVIN, R.L. BALL ET AL., *Deep learning for chest radiograph diagnosis*, «PLOS Medicine», 15(11) (2018).

3 D. BELL ET AL., *A trend-based Early Warning Score can be implemented in a hospital EMR to effectively predict inpatient deterioration*, «Critical Care Medicine» (2021).

in tempo reale, supportando le decisioni cliniche nelle ore notturne e durante i momenti di massima pressione assistenziale.

4.2 Telemedicina e monitoraggio remoto

L'intelligenza artificiale trova una sinergia naturale con la telemedicina, che nel contesto italiano ha ricevuto un forte impulso normativo dall'Accordo Stato-Regioni "Indicazioni nazionali per l'erogazione di prestazioni in telemedicina" del 17 dicembre 2020. Il sistema si articola in quattro modalità principali: la televisita (atto medico di interazione a distanza in tempo reale con il paziente, con possibilità di scambio dati clinici e refertazione), il teleconsulto (interazione tra medici per seconda opinione specialistica), il telemonitoraggio (rilevamento continuo e trasmissione a distanza di parametri clinici mediante sensori) e la teleassistenza (interazione tra professionista e paziente o caregiver tramite videochiamata)⁴⁵⁶.

Il telemonitoraggio cardiologico, in particolare, rappresenta un campo in cui l'IA esalta le proprie potenzialità: i dati provenienti da dispositivi impiantabili (pacemaker, defibrillatori, loop recorder), indossabili (smartwatch con sensori ECG, ossimetri) e applicazioni per smartphone vengono processati da algoritmi che identificano aritmie, variazioni della frequenza cardiaca, modifiche del peso corporeo indicative di ritenzione idrica nello scompenso cardiaco, allertando tempestivamente il team curante. Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), nella Missione 6, ha stanziato ingenti risorse (15,63 miliardi di euro per reti di prossimità e telemedicina, 7 miliardi per innovazione e digitalizzazione del SSN) che renderanno queste tecnologie accessibili su scala nazionale.

4 European Commission, Digital Economy and Society Index (DESI) 2021, Bruxelles, 2021.

5 Accordo Stato-Regioni, "Indicazioni nazionali per l'erogazione di prestazioni in telemedicina", 17 dicembre 2020.

6 5. Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), Missione 6 – Salute, Governo Italiano, 2021.

5. La verità scomoda: quando l'IA supera il medico

Uno studio pubblicato su *Nature Medicine* ha generato un acceso dibattito nella comunità cardiologica dimostrando che i sistemi di IA superano costantemente i cardiologi esperti in compiti specifici di diagnosi per immagini. I dati numerici sono inequivocabili: nella diagnosi di infarto miocardico da ECG, i sistemi di IA raggiungono un'accuratezza del 94,6% contro il 78,2% dei medici, con un tasso di errore dello 0,3% rispetto al 12,7% umano. In compiti di imaging coronarico, i falsi positivi si attestano su livelli analoghi.

A rafforzare questa evidenza, uno studio randomizzato controllato pubblicato su *Nature Medicine*⁷ ha confrontato le prestazioni di medici supportati da GPT-4 rispetto a medici che utilizzavano solo risorse convenzionali nella gestione di casi clinici complessi. I risultati mostrano un miglioramento statisticamente significativo nei punteggi di performance del gruppo IA-assistito. Interessante e provocatorio il confronto con le prestazioni del solo modello GPT-4, che in alcune tipologie di casi mostrava performance paragonabili o superiori a quelle dei medici senza supporto algoritmico. (Fig. 4)

Questi dati pongono una domanda provocatoria ma necessaria: se un algoritmo è più accurato di noi nel diagnosticare un infarto, quale valore aggiunto offriamo come professionisti? La risposta a questa domanda non può essere difensiva o negazionista: deve essere costruttiva e strategica. Il valore del cardiologo non risiede solo nella capacità di riconoscere un pattern sull'ECG, ma nella gestione della relazione terapeutica, nel governo dell'incertezza diagnostica in contesti complessi, nella ponderazione dei valori del paziente nelle decisioni terapeutiche⁸.

7 J.W. AYERS ET AL., *GPT-4 assistance for improvement of physician performance on patient care tasks: a randomized controlled trial*, «*Nature Medicine*», vol. 31 (aprile 2025), pp. 1233-1238.

8 E.J. TOPOL, *High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence*, «*Nature Medicine*», 25 (2019), pp. 44-56.

6. Rischi e criticità: bias, opacità e responsabilità

L'adozione acritica dell'IA in medicina non è priva di rischi, e una trattazione onesta dell'argomento non può ignorarli. Il problema più insidioso non è la scarsa efficacia dei modelli, ma la loro opacità. I modelli di deep learning sono notoriamente “black box”: producono risultati accurati ma non spiegano il ragionamento. Un algoritmo può diagnosticare un infarto con il 95% di accuratezza, ma non può spiegare perché. Questa incapacità esplicativa non è un difetto marginale: quando ci affidiamo a decisioni algoritmiche che non comprendiamo, perdiamo progressivamente la capacità di ragionamento clinico indipendente.

6.1 Bias sistemici e disparità diagnostiche

I sistemi di IA sono addestrati su dataset che riflettono i bias storici della medicina. La sottorappresentazione di donne, minoranze etniche e pazienti anziani nei dati di training può portare a disparità diagnostiche sistematiche. Un caso reale emblematico: un algoritmo per la diagnosi di melanoma ha mostrato bias razziali significativi, con tassi di falsi negativi del 17% più alti in pazienti con pelle scura. In cardiologia, analoghi rischi riguardano la sottostima del rischio cardiovascolare nelle donne (le cui sindromi coronariche acute hanno spesso presentazioni atipiche) e nei pazienti di origine asiatica o africana. La precisione statistica dell'IA può creare un falso senso di sicurezza: gli algoritmi possono fallire catastroficamente in scenari non previsti durante l'addestramento, e quando falliscono, lo fanno in modo imprevedibile.

6.2 Il problema della responsabilità medico-legale

La dimensione giuridica rappresenta un terreno ancora largamente inesplorato. In caso di errore diagnostico da parte di un sistema di IA, la responsabilità ricade ancora sul medico che ha accettato la raccomandazione? I framework legali attuali non sono preparati per

questa realtà. La questione si articola in tre livelli: la responsabilità medico-legale (quando IA e intuizione clinica sono in conflitto, quale dovrebbe prevalere?), il consenso informato (i pazienti devono essere informati quando la loro diagnosi è stata formulata anche parzialmente da un algoritmo?) e i dilemmi etici fondamentali (come cambia il rapporto medico-paziente quando la diagnosi è mediata da macchine?).

La domanda etica fondamentale che questa situazione pone è lapidaria: “Se deleghiamo le decisioni cliniche agli algoritmi, stiamo ancora praticando medicina o stiamo semplicemente supervisionando macchine?”. La risposta che daremo determinerà se rimarremo medici o diventeremo tecnici specializzati. Non si tratta di retorica: è la questione centrale che la professione medica dovrà affrontare nel prossimo decennio.

7. L'erosione delle competenze cliniche: il rischio della generazione “AI-native”

Uno degli aspetti meno dibattuti ma potenzialmente più dirompenti riguarda l'impatto dell'IA sulla formazione medica e sull'acquisizione delle competenze cliniche. Una generazione di medici sta crescendo con l'IA come supporto costante. La domanda che si pone con urgenza crescente è: cosa accade alle competenze di auscultazione, palpazione e osservazione clinica quando tutto è mediato da algoritmi? Stiamo formando medici o supervisori di macchine?

Gli specializzandi in cardiologia imparano a leggere gli ECG con l'assistenza dell'IA, interpretano gli ecocardiogrammi con algoritmi di supporto, calcolano il rischio cardiovascolare con modelli predittivi automatizzati. Questa dipendenza tecnologica potrebbe creare una generazione di cardiologi tecnicamente competenti ma clinicamente fragili. Cosa succederà quando l'algoritmo non sarà disponibile, quando il sistema andrà in crash, quando dovranno prendere decisioni basate solo sulla propria esperienza clinica? Il rischio è la cosiddetta “atrofia delle abilità diagnostiche”: quando ci affidiamo eccessivamente alla tecnologia, perdiamo progressivamente l'intuizione clinica e il ragionamento diagnostico indipendente.

Sul piano formativo, le scuole di medicina stanno già rivedendo i programmi per includere competenze in AI e machine learning. Ma il dibattito è aperto: cosa eliminiamo per fare spazio a queste nuove discipline? L'anatomia? La fisiopatologia? La semeiotica? Non si tratta di domande retoriche: sono scelte di politica sanitaria e accademica con implicazioni dirette sulla qualità dell'assistenza futura.

8. Il futuro del cardiologo: evolversi o estinguersi

L'evoluzione del ruolo del cardiologo nell'era dell'IA può essere letta attraverso una traiettoria temporale: nel 2025, l'IA è già integrata come supporto diagnostico, con il cardiologo che mantiene il controllo decisionale ma è supportato da algoritmi sempre più sofisticati. Entro il 2030, si profila una partnership uomo-macchina in cui il cardiologo si specializza nei casi complessi, nella relazione umana e nelle decisioni etiche difficili. Al 2035, emergeranno nuovi ruoli professionali: "AI whisperer", specialisti in interpretazione algoritmica, consulenti per dilemmi etici AI-correlati.

Le competenze del cardiologo del futuro si articoleranno su quattro assi fondamentali. Primo: l'interpretazione algoritmica, ovvero la capacità di comprendere, validare e contestualizzare gli output di sistemi di IA complessi – non per replicarli, ma per integrarne le indicazioni con il giudizio clinico. Secondo: la gestione dell'incertezza, l'abilità nel navigare situazioni dove IA e intuizione clinica divergono, riconoscendo i limiti di ciascun approccio. Terzo: la comunicazione empatica, quelle competenze relazionali che nessun algoritmo può replicare e che costituiscono il nucleo irriducibile della relazione medico-paziente. Quarto: l'etica computazionale, una comprensione profonda delle implicazioni etiche dell'IA in medicina.

Lo scenario che si profila per il 2035 è triplice. Nello scenario pessimistico, il cardiologo viene progressivamente marginalizzato: l'IA gestisce diagnosi di routine, interpretazione di imaging, calcolo del rischio e monitoraggio dei pazienti, e il cardiologo diventa un semplice supervisore di algoritmi. Nello scenario ottimistico, l'IA diventa un potente alleato che libera il medico da compiti routinari, permet-

tendogli di concentrarsi su casi complessi e innovazione clinica: il cardiologo evolve in un “meta-clinico” che orchestra tecnologie avanzate. Nello scenario più realistico, la professione si biforca: da un lato cardiologi di base sempre più sostituibili dall’IA, dall’altro super-specialisti che dominano tecnologie complesse.

9. Strategie di sopravvivenza professionale

Di fronte a questo scenario, la risposta passiva o negazionista è la più pericolosa. Quattro strategie si profilano come indispensabili per il cardiologo che voglia rimanere protagonista della trasformazione. La prima è abbracciare l’inevitabile: smettere di resistere e iniziare a collaborare. L’IA non è il nemico: è uno strumento che ridefinirà il ruolo del medico. Chi si adatta prima, sopravvive meglio.

La seconda strategia è sviluppare competenze ibride: investire nella formazione continua in AI/ML applicata alla medicina. Non si tratta di diventare informatici o data scientist, ma di acquisire la capacità di comprendere i linguaggi e i limiti degli algoritmi, di valutarne criticamente le indicazioni, di collaborare con gli ingegneri nello sviluppo di strumenti clinicamente utili e sicuri. La terza strategia è rivendicare il valore umano: concentrarsi su ciò che l’IA non può replicare – l’empatia, il giudizio etico, la comunicazione complessa con il paziente e i familiari, la gestione dell’incertezza in contesti di sofferenza umana.

La quarta strategia, forse la più importante, è guidare la trasformazione: partecipare attivamente allo sviluppo e alla validazione dei sistemi di IA. Chi definisce gli standard oggi, determina il futuro della professione. I cardiologi che siedono nei comitati scientifici delle aziende tecnologiche, che partecipano alla costruzione dei dataset di training, che guidano la validazione clinica degli algoritmi sono quelli che garantiranno che l’IA in cardiologia sia sviluppata nel rispetto dei valori della medicina e degli interessi dei pazienti.

10. Conclusioni

La domanda che sintetizza il senso di questa riflessione è al contempo scomoda e necessaria: tra dieci anni, quando un paziente avrà un infarto, chiamerà ancora un cardiologo? La medicina ha sempre evoluto attraverso rivoluzioni tecnologiche. Dalla scoperta degli antibiotici all'avvento della diagnostica per immagini, ogni generazione di medici ha dovuto adattarsi. Ma questa volta è diverso: l'IA non sostituisce solo uno strumento, potenzialmente sostituisce il processo cognitivo del medico, la sua capacità di ragionamento, la sua esperienza clinica accumulata in decenni di pratica.

Ciò nonostante, la trasformazione non è necessariamente una minaccia esistenziale per la professione medica: è un'opportunità di ridefinizione. L'Italia, con il 25° posto tra i 27 Paesi dell'UE nell'indice DESI di digitalizzazione (European Commission, 2021), ha molto da recuperare sul piano infrastrutturale. Il PNRR rappresenta un'occasione storica per colmare questo gap e costruire un sistema sanitario digitale all'altezza delle aspettative dei cittadini e delle possibilità offerte dalla tecnologia.

La paura è razionale; l'inazione è suicida. L'intelligenza artificiale trasformerà radicalmente la cardiologia: la domanda non è se accadrà, ma se i cardiologi saranno protagonisti o vittime di questa trasformazione. Il futuro appartiene a chi ha il coraggio di abbracciare l'incertezza e ridefinire il proprio valore professionale. Come recita l'apoforisma attribuito a Charles Darwin, “non è la specie più forte che sopravvive, né la più intelligente, ma quella più reattiva al cambiamento”. La scelta è ancora nostra. Per ora.

ABSTRACT

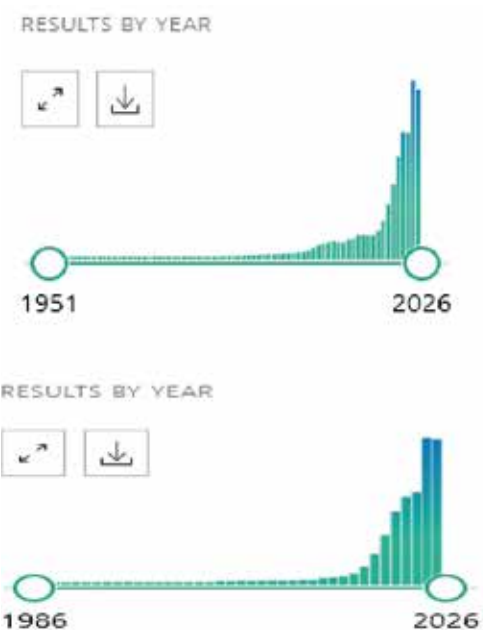
L'intelligenza artificiale (AI) è un campo multidisciplinare difficile da definire in modo univoco, poiché riflette la complessità del concetto di intelligenza umana. Fin dalle origini ha integrato approcci diversi, dal ragionamento logico ai sistemi esperti fino al machine learning. In medicina, le prime applicazioni negli anni Sessanta e Settanta miravano a supportare diagnosi e decisioni cliniche, ma richiedevano una complessa codifica manuale della conoscenza. Una svolta è avvenuta con il deep learning e le reti neurali profonde, capaci di apprendere direttamente dai dati e analizzare immagini e testi su larga scala. Lo sviluppo dei foundation models e dell'apprendimento auto-supervisionato ha ampliato ulteriormente le applicazioni, dall'analisi automatica di immagini mediche al supporto alle decisioni cliniche e alla ricerca scientifica. Restano tuttavia criticità rilevanti, tra cui dipendenza dalla qualità dei dati, rischio di bias e vulnerabilità alla disinformazione. La diffusione globale di questi sistemi può amplificare eventuali errori, rendendo essenziali regolamentazione, governance e supervisione umana per un uso etico e responsabile dell'AI in medicina.

Artificial intelligence (AI) is a multidisciplinary field that is difficult to define precisely, as it reflects the complexity of the concept of human intelligence itself. Since its origins, AI has integrated diverse approaches, from logical reasoning and expert systems to machine learning. In medicine, early applications in the 1960s and 1970s aimed to support diagnosis and clinical decision-making, but they required extensive manual encoding of expert knowledge.

A major shift occurred with the emergence of deep learning and neural networks, which can learn directly from data and analyze images and text at large scale. The development of foundation models and self-supervised learning has further expanded AI applications, including automated medical image analysis, clinical decision support, and assistance in scientific research. However, significant challenges remain, including dependence on data quality, the risk of bias, and vulnerability to misinformation. The global deployment of AI systems can also amplify errors at scale, making regulation, governance, and human oversight essential to ensure ethical and responsible use of AI in medicine.

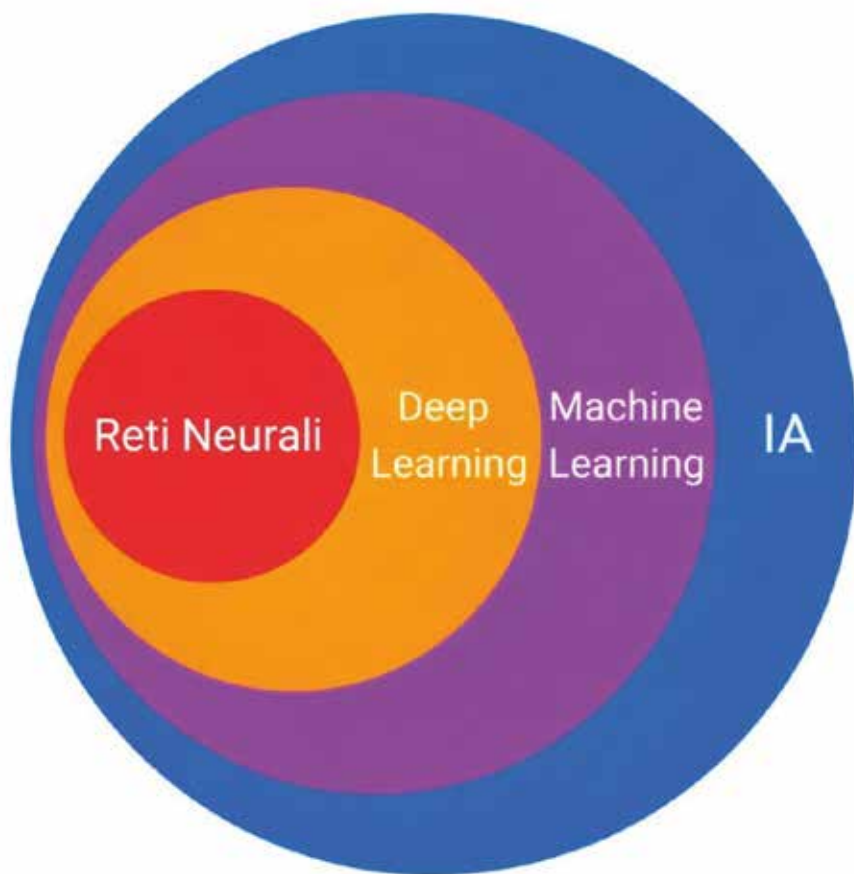
Leopoldo Pagliani

Intelligenza Artificiale e diagnostica: innovazioni e sfide future in cardiologia

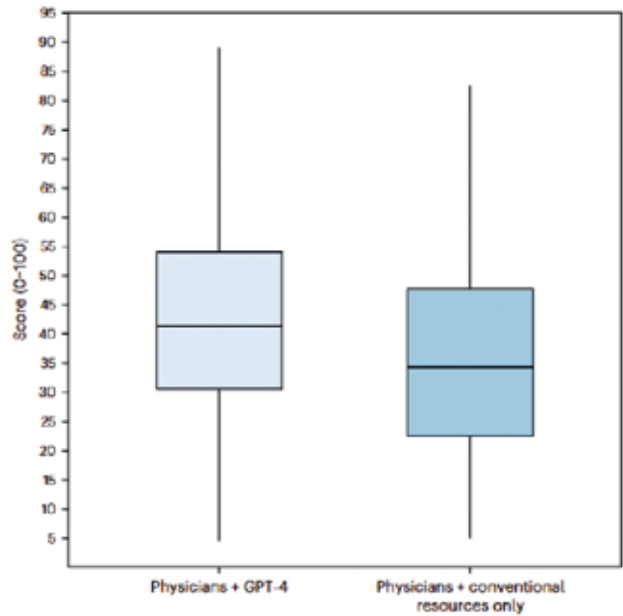


4600+
Articoli pubblicati
Dal 2024 al 2025

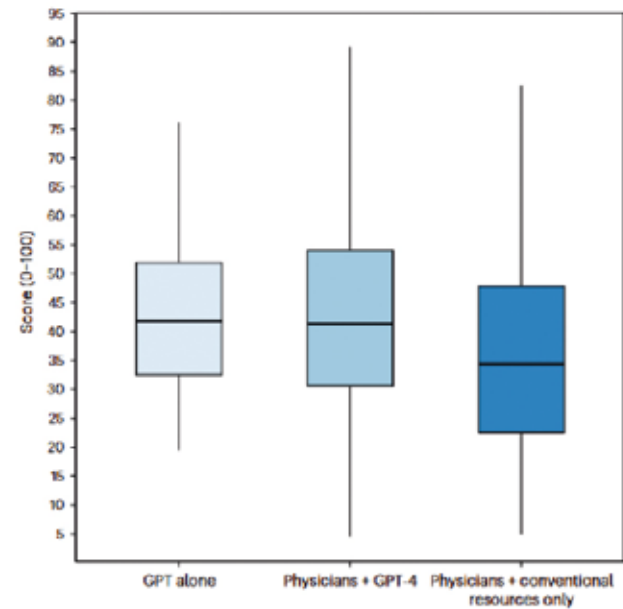
1. Crescita esponenziale delle pubblicazioni scientifiche: oltre 4600 articoli PubMed 2024-2025.



2. Definizione di Machine Learning.



3.
Prestazioni comparative IA vs.
medici: accuratezza diagnostica
nell'infarto miocardico.
Nature Medicine | Volume 31 |
April 2025 | 1233-1238





Il cardiologo del futuro:

2026: Integrazione

IA come supporto diagnostico. Il cardiologo mantiene il controllo decisionale ma è supportato da algoritmi sempre più sofisticati.

1

2030: Collaborazione

Partnership uomo-macchina. Il cardiologo si specializza in casi complessi, relazione umana e decisioni etiche complesse.

Competenze del cardiologo del futuro

Interpretazione algoritmica

Capacità di comprendere, validare e contestualizzare output di sistemi di IA complessi

Comunicazione empatica

Competenze relazionali che nessun algoritmo può replicare

4.
Il cardiologo del futuro:
competenze chiave per l'era
dell'IA (2025-2035)



evolversi o estinguersi

2036: Trasformazione

Nuovi ruoli emergenti: "AI whisperer", specialista in interpretazione algoritmica, consulente per dilemmi etici AI-correlati.

2

3

Gestione dell'incertezza

Abilità nel navigare situazioni dove IA e intuizione clinica divergono

Etica computazionale

Comprensione profonda delle implicazioni etiche dell'IA in medicina