

Come l'intelligenza artificiale può aiutare a sconfiggere l'antibiotico resistenza

Maria Cristina Caroleo¹, Luca Gallelli¹, Erika Cione², Emilio Russo¹, Antonio Leo¹

¹Dipartimento di Scienze della Salute-Università "Magna Graecia" di Catanzaro
Unità Operativa di Farmacologia Clinica e Farmacovigilanza Azienda Ospedaliero-
Universitaria "Renato Dulbecco" - Catanzaro

²Dipartimento di Farmacia e SSN-Università della Calabria-Rende (CS)

Gli autori dichiarano di non avere conflitti di interesse in relazione all'argomento trattato

Riassunto

L'intelligenza artificiale (IA) può essere uno strumento strategico per contrastare l'antibiotico resistenza, grazie alla sua capacità di integrare e analizzare grandi quantità di dati clinici, microbiologici ed epidemiologici.

I modelli predittivi consentono di individuare nuove molecole ad attività antimicrobica e di riconoscere *pattern* evolutivi emergenti nei geni di resistenza.

Inoltre, sistemi di sorveglianza basati sull'IA integrano dati globali per anticipare la diffusione di ceppi resistenti e guidare interventi mirati di sanità pubblica.

Grazie a queste potenzialità, l'IA non si limita a supportare le pratiche esistenti, ma introduce un cambiamento strutturale nel modo in cui la resistenza antimicrobica può essere prevenuta e affrontata.

Agosto 2026

© 2026 COSIsiFA

Questo documento è stato prodotto nell'ambito del progetto COSIsiFA (Cittadini e Operatori Sanitari sempre in-formati sul Farmaco) finanziato con i fondi regionali di farmacovigilanza gestiti dall'Agenzia Italiana del Farmaco (AIFA). Le informazioni e le opinioni contenute in questo documento sono quelle degli autori e non riflettono necessariamente l'opinione ufficiale dell'AIFA. L'AIFA non garantisce l'accuratezza dei dati inclusi in questo documento e declina ogni responsabilità per l'uso che potrebbe essere fatto delle informazioni qui contenute.

Introduzione

Negli ultimi decenni, l'antibiotico resistenza è emersa come una delle più gravi minacce per la salute pubblica a livello globale.¹

L'ampia diffusione di batteri capaci di resistere ai trattamenti antimicrobici compromette l'efficacia di terapie che per decenni sono state alla base della medicina moderna. Molte procedure comuni – dalla chirurgia ai trapianti, fino ai trattamenti oncologici – dipendono strettamente dalla disponibilità di antibiotici efficaci. La loro progressiva perdita di efficacia mette quindi a rischio non solo la gestione delle infezioni, ma anche la sicurezza di queste pratiche e, più in generale, la stabilità dell'intero sistema sanitario. La crescente resistenza batterica è dovuta a molteplici fattori: uso eccessivo o improprio di antibiotici in ambito umano e veterinario, carenze nei sistemi di prevenzione e controllo delle infezioni, insufficiente accesso a diagnosi tempestive, oltre a una ideazione e produzione di nuovi antibiotici sempre più scarsa.^{1,2}

Parallelamente, l'intelligenza artificiale (IA) ha conosciuto un'accelerazione straordinaria grazie alla disponibilità crescente di dati biomedici, alla potenza di calcolo e allo sviluppo di tecniche avanzate di *machine learning* e *deep learning*.^{3,4} Queste tecnologie consentono di affrontare problemi complessi con un'efficacia senza precedenti, permettendo di analizzare grandi quantità di informazioni biologiche, cliniche ed epidemiologiche. L'applicazione dell'IA in ambito medico ha già portato a risultati significativi nella diagnosi precoce, nella predizione del rischio, nella personalizzazione dei trattamenti e nella scoperta di nuovi farmaci.^{3,5,7}

Il punto di incontro tra IA e antibiotico resistenza appare particolarmente promettente. Da un lato, l'IA può accelerare la ricerca scientifica identificando nuove molecole antimicrobiche, prevedendo i meccanismi di resistenza e analizzando *pattern* epidemiologici complessi.^{3,6,7} Dall'altro, può migliorare le pratiche cliniche attraverso strumenti di supporto decisionale che guidano il medico verso scelte terapeutiche più appropriate, contribuendo a limitare l'uso non necessario degli antibiotici.⁸

L'integrazione tra queste tecnologie avanzate e le necessità della microbiologia moderna apre quindi scenari innovativi per affrontare una crisi sanitaria che non può essere risolta con gli approcci tradizionali.

I dati

Secondo le stime del *Global Burden of Disease study* dedicate all'antimicrobico resistenza, nel 2019 si sono verificati oltre 1,27 milioni di decessi direttamente imputabili a infezioni resistenti e quasi 5 milioni in cui la resistenza antimicrobica ha contribuito.^{1,2} I principali "patogeni prioritari" includono *Escherichia coli* ESBL-produttore, *Klebsiella pneumoniae* resistente ai carbapenemi, stafilococchi meticillino resistenti (MRSA), *Pseudomonas aeruginosa* e *Acinetobacter baumannii*, con tassi di resistenza particolarmente elevati nei Paesi a basso e medio reddito, dove la pressione selettiva e le carenze diagnostiche favoriscono la diffusione di ceppi batterici multiresistenti. In Europa si stimano oltre 670.000 infezioni resistenti e circa 35.000 decessi annui, con un incremento costante degli *Enterobacterales* resistenti ai carbapenemi.¹

Clinicamente, le infezioni da microrganismi multiresistenti determinano un aumento della mortalità del 30-70%, un prolungamento della degenza di 7-14 giorni e un maggiore ricorso ad antibiotici di seconda/terza linea. L'onere economico è significativo: i costi diretti aumentano di 8.000-30.000 € per paziente, mentre i costi indiretti – perdita di produttività e riduzione dell'aspettativa di vita – raggiungono miliardi di euro su scala europea.¹ Complessivamente, la resistenza antimicrobica rappresenta un carico sanitario paragonabile a quello delle principali malattie croniche e infettive ad alto impatto globale.^{1,2}

La questione

La resistenza antimicrobica è un processo evolutivo naturale, accelerato però da fattori antropici come l'uso eccessivo di antibiotici, la pressione selettiva in ospedali e allevamenti e la diffusione globale dei patogeni. I batteri acquisiscono resistenza attraverso mutazioni o trasferimento genico orizzontale, meccanismi che permettono un adattamento rapido, spesso nell'arco di pochi mesi. Questa velocità contrasta con la lentezza dello sviluppo di nuovi antibiotici, che richiede 10-15 anni e investimenti elevati, contribuendo a un crescente divario terapeutico. La situazione è aggravata dalla scarsità di diagnostica rapida, che porta a trattamenti empirici non ottimali, e dalla limitata produzione di nuove molecole antimicrobiche, frenata da costi e scarsa redditività. In questo contesto, l'intelligenza artificiale è un'opportunità per colmare molte delle attuali lacune nella gestione dell'antibiotico resistenza. Grazie alla capacità di integrare e analizzare grandi volumi di dati genomici, clinici, ambientali ed epidemiologici, l'IA può identificare nuove molecole con potenziale attività antibatterica, prevedere l'evoluzione dei

meccanismi di resistenza in specifici contesti epidemiologici, supportare la selezione del trattamento ottimale per singoli pazienti e consentire il riconoscimento rapido di patogeni e dei loro determinanti genetici di resistenza. L'adozione di questi strumenti di IA apre la strada a un nuovo paradigma di contrasto alla resistenza antimicrobica, più predittivo, personalizzato ed efficiente rispetto agli approcci tradizionali.

Dalla letteratura

La letteratura scientifica degli ultimi anni evidenzia come l'IA stia diventando uno strumento centrale nella lotta alla resistenza antimicrobica, introducendo innovazioni significative in vari ambiti della ricerca e della clinica.^{3,7,8}

Un filone particolarmente promettente riguarda la scoperta di nuovi antibiotici: modelli di *deep learning* hanno dimostrato la capacità di analizzare librerie chimiche contenenti milioni di composti e di identificare molecole con potenziale attività antibatterica, come nel caso emblematico della scoperta dell'halicina.⁹

Accanto a questo, diversi studi mostrano come algoritmi predittivi applicati a dati genomici permettano di identificare con estrema rapidità i geni di resistenza, superando talvolta l'accuratezza delle metodiche classiche.⁷ Tali approcci non si limitano a riconoscere meccanismi di resistenza già noti, ma sono in grado di prevedere l'evoluzione di nuove resistenze sulla base di modelli evolutivi e *pattern* epidemiologici complessi. Parallelamente, l'impiego dell'IA nella diagnostica ha portato allo sviluppo di sistemi in grado di distinguere infezioni batteriche da quelle virali attraverso l'analisi automatizzata di immagini radiologiche o microscopiche.

Anche la microbiologia clinica beneficia dell'automazione: algoritmi di visione artificiale sono utilizzati per la lettura di antibiogrammi, l'analisi di colonie batteriche e la standardizzazione dei parametri fenotipici.

Infine, un crescente numero di studi documenta l'efficacia dei sistemi informatici di supporto decisionale, migliorando gli esiti e riducendo l'impiego di antibiotici ad ampio spettro.

Ricadute pratiche

L'impiego dell'IA nella gestione dell'antibiotico resistenza ha ricadute pratiche di grande rilevanza lungo tutto il percorso diagnostico-terapeutico e nei processi di sorveglianza e ricerca. In ambito clinico, l'IA consente diagnosi più rapide e accurate grazie all'elaborazione automatizzata di dati microbiologici, immagini e profili genomici, permettendo l'identificazione

precoce dei patogeni resistenti e dei loro determinanti genetici. Questo si traduce in una riduzione dell'uso empirico di antibiotici ad ampio spettro, in una scelta terapeutica più mirata e in un minore rischio di favorire nuova pressione selettiva, con conseguente diminuzione dei fallimenti terapeutici e della durata dei ricoveri.

Sul fronte della sorveglianza epidemiologica, modelli predittivi analizzano in tempo reale dati provenienti da laboratori, strutture sanitarie e ambiente, facilitando l'individuazione precoce di focolai, la previsione della diffusione di ceppi batterici multiresistenti e la pianificazione di interventi di contenimento più tempestivi ed efficaci.

Nella ricerca e sviluppo di nuovi antibiotici, l'IA accelera in modo significativo lo *screening* di milioni di composti, selezionando quelli con maggiore probabilità di efficacia contro patogeni resistenti e riducendo i tempi e i costi della fase preclinica.

Infine, vi sono ricadute economiche rilevanti: l'uso più appropriato degli antibiotici, la riduzione delle ospedalizzazioni prolungate e la prevenzione delle epidemie da ceppi resistenti consentono una diminuzione dei costi sanitari diretti e dei costi indiretti legati alla perdita di produttività.

Nel complesso, l'IA offre strumenti concreti e operativi per migliorare la gestione clinica, ottimizzare le politiche di *stewardship* antibiotica, rafforzare la sorveglianza e favorire lo sviluppo di nuove terapie, ponendosi come un elemento chiave nel contrasto alla diffusione globale dell'antibiotico resistenza.

Bibliografia

1. Murray C, Ikuta K, et al. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. Lancet 2022;399:629–55. 
2. Naghavi M, Abate D, et al. Global burden of bacterial antimicrobial resistance 1990–2021. The Lancet 2024;404:1199–1226. 
3. Arnold A, McLellan S, et al. How AI can help us beat AMR. NPJ Antimicrob Resist 2025; DOI:10.1038/s44259-025-00085-4. 
4. Bilal H, Khan M, et al. The role of artificial intelligence and machine learning in predicting and combating antimicrobial resistance. Comput Struct Biotechnol J 2025;27:423-439. 
5. Fanelli U, Pappalardo M, et al. Role of artificial intelligence in fighting antimicrobial resistance in pediatrics. Antibiotics (Basel) 2020; DOI:10.3390/antibiotics9110767. 
6. Kasse G, Cosh S, et al. Leveraging artificial intelligence for One Health: opportunities and challenges in tackling antimicrobial resistance - scoping review. One Health Outlook 2025; DOI:10.1186/s42522-025-00170-8. 
7. Olatunji I, Bardaji D, et al. Artificial intelligence tools for the identification of antibiotic resistance genes. Front Microbiol 2024; DOI:10.3389/fmicb.2024.1437602. 
8. Pennisi F, Pinto A, et al. Artificial intelligence and machine learning models in enhancing antimicrobial stewardship. Antibiotics 2025;14(2):134. 
9. Stokes J, Yang K, et al. A deep learning approach to antibiotic discovery. Cell 2020;180(4):688–702.e13. 

Legenda

 assenza di conflitti di interesse

 presenza di lievi conflitti di interesse

 presenza di conflitti d'interesse dichiarati e/o fondi da aziende farmaceutiche

 presenza di importanti conflitti d'interesse (per esempio firmatari dell'articolo dipendenti di aziende farmaceutiche)

ND conflitti non dichiarati