Intelligenza artificiale nel laboratorio di PMA: applicazioni emergenti e implicazioni per la qualità dei processi

Federica D'Amato - Clinica Raprui, Roma, Italia

Pubblicato: 12/10/2026 | DOI: 10.82098/icmed-mag.2026.08.005

ABSTRACT

L'intelligenza artificiale sta trasformando i laboratori di procreazione medicalmente assistita (PMA), introducendo nuove possibilità per la valutazione embrionale, l'analisi dei gameti e la standardizzazione dei processi. Dalle applicazioni di computer vision ai modelli predittivi, queste tecnologie possono contribuire a ridurre la variabilità operativa e migliorare l'efficienza del laboratorio. La loro integrazione richiede tuttavia un'attenta validazione clinica, affinché l'innovazione tecnologica si traduca in benefici concreti, mantenendo centrali la competenza dell'embriologo e la qualità dei processi.

Intelligenza artificiale nel laboratorio di PMA: applicazioni emergenti e implicazioni per la qualità dei processi

L'intelligenza artificiale (AI) sta progressivamente entrando nella pratica dei laboratori di procreazione medicalmente assistita (PMA), modificando le modalità di acquisizione, analisi e integrazione dei dati biologici. Il principale interesse risiede nella possibilità di trasformare valutazioni tradizionalmente qualitative e operatore-dipendenti in informazioni quantitative, standardizzabili e riproducibili (Salih et al., 2023). Le prime applicazioni si sono concentrate sulla *computer vision* e sulla valutazione morfologica degli embrioni; successivamente, l'AI si è estesa all'analisi della dinamica dello sviluppo embrionale, alla valutazione dei gameti e al supporto di diverse fasi del processo laboratoristico.

Valutazione della morfologia e dello sviluppo embrionale

La selezione embrionale rappresenta l'ambito di applicazione dell'AI maggiormente studiato in

 © 2026 ICMED S.r.l.

embriologia umana. Le reti neurali convoluzionali (CNN) consentono di analizzare le immagini embrionali identificando pattern morfologici complessi. La systematic review di Salih et al. ha evidenziato performance favorevoli dei sistemi AI, ma anche un'elevata eterogeneità metodologica, con prevalenza di studi retrospettivi e dataset spesso monocentrici (Salih et al., 2023).

Un'applicazione utile per i laboratori privi di sistemi *time-lapse* è rappresentata da DeepEmbryo. Borna et al. hanno sviluppato un modello basato su CNN e *transfer learning* utilizzando immagini statiche dell'embrione, acquisite a circa 19, 43 e 67 ore

post-inseminazione (Borna et al., 2024). Il modello ha raggiunto un'accuratezza fino al 75% nella previsione dell'esito di gravidanza, superiore a quella ottenuta utilizzando una singola immagine. L'impiego di immagini sequenziali consente quindi di introdurre informazioni sulla dinamica dello sviluppo embrionale, senza richiedere un monitoraggio continuo.

Un ulteriore ambito riguarda la predizione probabilistica dell'euploidia. ERICA (*Embryo Ranking Intelligent Classification Algorithm*), sviluppato da Chavez-Badiola et al., utilizza immagini statiche di blastocisti per identificare caratteristiche associate alla probabilità di euploidia e impianto (Chavez-Badiola et al., 2020). Nel dataset di 1231 immagini, il modello ha raggiunto un'accuratezza del 70% nella predizione dello stato di euploidia. Tra gli embrioni classificati come euploidi, il 79% risultava effettivamente euploide all'analisi genetica effettuata successivamente. Inoltre, un embrione euploide è stato selezionato come

prima scelta nel 78,9% dei casi e almeno un embrione euploide è stato incluso nei primi due nel 94,7% dei casi. Questi risultati devono tuttavia essere interpretati con cautela: l'analisi delle immagini non determina direttamente l'assetto cromosomico, ma stima la probabilità di euploidia sulla base di caratteristiche morfologiche. La predizione AI della ploidia non è pertanto equivalente a una diagnosi genetica, ma può rappresentare uno strumento di supporto alla selezione embrionale.

Un'evoluzione recente è rappresentata dall'introduzione di modelli multimodali. Wang et al. hanno sviluppato IVFormer, in grado di integrare immagini embrionali, sequenze temporali ottenute tramite *time-lapse* e informazioni cliniche (Wang et al., 2024). Questo approccio considera lo sviluppo embrionale come un processo dinamico, integrando morfologia, cinetica dello sviluppo e caratteristiche cliniche nella valutazione dell'outcome.

Dall'embrione ai gameti: nuove applicazioni nel laboratorio

L'impiego dell'AI non si limita alla selezione embrionale, ma coinvolge anche altre attività del laboratorio di PMA. Goss et al. hanno sviluppato un sistema per identificare spermatozoi in campioni chirurgici di pazienti con azoospermia non ostruttiva (Goss et al., 2024). Nella

simulazione di utilizzo clinico, l'assistenza dell'AI ha ridotto il tempo medio di ricerca degli spermatozoi da circa 169 a 99 secondi. L'interesse di questa applicazione risiede quindi sia nell'identificazione di spermatozoi rari sia nella riduzione di una fase laboriosa e operatore-dipendente, mantenendo l'embriologo responsabile della verifica finale.

Altre possibili applicazioni riguardano la classificazione dei gameti, l'assistenza alla micromanipolazione e all'ICSI, l'analisi automatizzata delle immagini, l'elaborazione dei dati prodotti dai sistemi *time-lapse* e il supporto alla gestione dei flussi di lavoro del laboratorio (ASRM & SRBT, 2026).

Dalla performance algoritmica alla validazione clinica

Un aspetto fondamentale nell'interpretazione della letteratura è la distinzione tra performance predittiva e beneficio clinico. Un algoritmo può infatti mostrare elevate capacità di classificazione senza determinare necessariamente un miglioramento dell'outcome.

Un'evidenza particolarmente rilevante è il trial multicentrico randomizzato di Illingworth et al. (2024), che ha coinvolto 1066 pazienti in 14 centri e ha confrontato la selezione embrionale mediante il sistema di deep learning iDAScore, con la selezione basata sulla morfologia convenzionale. Il tasso di gravidanza clinica è risultato pari al 46,5% nel gruppo AI e al 48,2% nel gruppo convenzionale; il criterio prestabilito di non inferiorità non è stato quindi raggiunto (Illingworth et al., 2024).

Questi risultati evidenziano come l'introduzione dell'AI non possa basarsi sulla sola accuratezza algoritmica, ma richieda validazione in popolazioni e contesti indipendenti e, soprattutto, la dimostrazione di un reale beneficio clinico.

Conclusioni

L'AI sta evolvendo da strumento per l'analisi automatizzata delle immagini a tecnologia potenzialmente applicabile a diverse fasi del laboratorio di PMA, dalla selezione embrionale alla valutazione dei gameti e alla gestione dei processi laboratoristici.

Il suo valore non risiede nella sostituzione dell'embriologo, ma nella possibilità di affiancarlo con strumenti capaci di ridurre la variabilità e aumentare la standardizzazione nelle fasi critiche. L'AI può inoltre contribuire all'efficienza organizzativa, riducendo le attività ripetitive e favorendo un monitoraggio più quantitativo delle performance. La sua introduzione richiede tuttavia un approccio prudente, basato su validazione prospettica, verifica della riproducibilità e della sicurezza e dimostrazione di una reale utilità clinica, oltre alla semplice accuratezza predittiva.

Il futuro del laboratorio di PMA potrebbe quindi essere rappresentato da un modello

AI-assisted, nel quale tecnologia, competenza dell'embriologo e sistema di qualità siano integrati per rendere i processi più standardizzati, tracciabili, efficienti e riproducibili.

Bibliografia

1. American Society for Reproductive Medicine; Society of Reproductive Biologists and Technologists. Artificial intelligence in the in vitro fertilization laboratory: a committee opinion. *Fertil Steril.* 2026. doi:10.1016/j.fertnstert.2026.05.004.

2. Borna MR, Sepehri MM, Maleki B. An artificial intelligence algorithm to select most viable embryos considering current process in IVF labs. *Front Artif Intell.* 2024;7:1375474. doi:10.3389/frai.2024.1375474.

3. Chavez-Badiola A, Flores-Saiffe-Farías A, Mendizabal-Ruiz G, Drakeley AJ, Cohen J. Embryo Ranking Intelligent Classification Algorithm (ERICA): artificial intelligence clinical assistant predicting embryo ploidy and implantation. *Reprod Biomed Online.* 2020;41(4):585-593. doi:10.1016/j.rbmo.2020.07.003.

4. Goss DM, Vasilescu SA, Vasilescu PA, Cooke S, Kim SH, Sacks GP, et al. Evaluation of an artificial intelligence-facilitated sperm detection tool in azoospermic samples for use in ICSI. *Reprod Biomed Online.* 2024;49(1):103910. doi:10.1016/j.rbmo.2024.103910.

5. Illingworth PJ, Venetis C, Gardner DK, Nelson SM, Berntsen J, Larman MG, et al. Deep learning versus manual morphology-based embryo selection in IVF: a randomized, double-blind noninferiority trial. *Nat Med.* 2024;30(11):3114-3120. doi:10.1038/s41591-024-03166-5.

6. Salih M, Austin C, Warty RR, Tiktin C, Rolnik DL, Momeni M, et al. Embryo selection through artificial intelligence versus embryologists: a systematic review. *Hum Reprod Open.* 2023;2023(3):hoad031. doi:10.1093/hropen/hoad031.

7. Wang G, Wang K, Gao Y, Chen L, Gao T, Ma Y, et al. A generalized AI system for human embryo selection covering the entire IVF cycle via multi-modal contrastive learning. *Patterns (N Y).* 2024;5(7):100985. doi:10.1016/j.patter.2024.100985.

Citazione suggerita:

 © 2026 ICMED S.r.l.

D’Amato F. Intelligenza artificiale nel laboratorio di PMA: applicazioni emergenti e implicazioni per la qualità dei processi. ICMED Magazine. 2026;2026(8). doi:10.82098/icmed-mag.2026.08.005

 © 2026 ICMED S.r.l.