



KEYWORDS

Artificial intelligence, training, personalization, prevention, objective analysis

Intelligenza Artificiale e sport

Negli ultimi anni, l'Intelligenza Artificiale (IA) è divenuta protagonista dell'innovazione tecnologica ridefinendo aspetti della vita quotidiana e professionale.

Lo sport, tradizionalmente basato su preparazione fisica, talento e intuizione tattica, è oggi uno dei settori più promettenti per l'integrazione di sistemi intelligenti (Xu & Baghaei, 2025) (Parlakyildiz & Avan, 2024): trasformazione che

sta influenzando profondamente la preparazione e l'ottimizzazione delle prestazioni non come semplice supporto, ma come motore capace di ridefinire performance, strategia e prevenzione.

L'idea di una macchina in grado di emulare l'intelligenza umana ha radici lontane (Encyclopaedia Britannica, 2024): negli anni Quaranta e Cinquanta, la nascita della ciber-

netica e la "macchina di Turing" di Alan Turing (2021) - modello astratto di calcolatore in grado di eseguire istruzioni in sequenza - introdussero il concetto di computazione automatica.

Il 1956, con la conferenza di Dartmouth, segna la fondazione ufficiale della disciplina e la coniazione del termine "Intelligenza Artificiale" (Gaikwad, 2024).



Enrico Giovanni Ubbiali
Scienze motorie e sportive,
Università di Bergamo



Matteo Colleoni
Villa Valle SSD ARL; Serie D



Simone Maffioletti
Plays, fisioterapia e performance
medical lab



Nicola Lovecchio
Dpt. di Scienze umane e sociali,
Università di Bergamo



Massimiliano Laube
Direzione sportiva "I Centurioni
Rugby" (Bs)



Dopo un avvio caratterizzato da grandi aspettative e risultati altalenanti, intervallato dai cosiddetti "inverni dell'IA", dagli anni novanta lo sviluppo delle tecnologie informatiche, l'espansione di Internet e la crescita dei dati disponibili aprirono la strada a un'evoluzione stabile e sempre più incisiva. Vennero così poste le basi per le applicazioni avanzate che oggi influenzano in modo significativo numerosi settori della vita... incluso lo sport (Lovergine, 2022).

mato radicalmente il modo in cui lo sport viene analizzato, interpretato e potenziato. L'integrazione di strumenti basati su algoritmi intelligenti ha permesso di superare i limiti dell'osservazione soggettiva, offrendo una lettura oggettiva, dettagliata e scientificamente fondata delle dinamiche che caratterizzano l'attività sportiva.

Parallelamente all'evoluzione del marketing sportivo, che si avvale dei dati per ottimizzare strategie

Le applicazioni dell'IA nello sport sono varie e interessanti: dall'analisi delle micro-variazioni dei movimenti, al rilevamento precoce dei segnali di affaticamento fino allo storing sistematico delle abitudini degli avversari al fine di adattare le strategie di gioco (García-Méndez et al., 2024). La capacità dell'IA di riconoscere pattern nascosti e generare previsioni accurate rappresenta una svolta epocale per atleti e allenatori, i quali possono così affidarsi a strumenti scientifici per orientare le proprie decisioni tecniche e tattiche. L'analisi della performance, basata su modelli predittivi, ha dimostrato livelli di accuratezza superiori al 98% nel riconoscimento degli stati mentali degli atleti, includendo variabili psicofisiche quali lo "slancio", inteso come la capacità di reagire positivamente o negativamente durante la competizione. Questo fattore si rivela decisivo per l'esito di una gara e si riflette in decisioni strategiche, come l'uso dei time-out negli sport di squadra, finalizzati a interrompere l'inerzia negativa di un incontro.

In questo ambito, software come Kinovea, consentono di eseguire un'analisi cinematica ad alta precisione ricostruendo in 3D i gesti atletici e individuando eventuali inefficienze tecniche. Kinovea, grazie alla sua capacità di analizzare video ad alta velocità e applicare misurazioni angolari e temporali, permette di valutare parametri come ampiezza del movimento, tempi di reazione e simmetrie esecutive.

Per fare un altro esempio, tecnologie come Hawk-Eye - sistema di tracciamento ottico ad altissima precisione impiegato in discipline sportive come l'atletica leggera, trasformano le registrazioni video in serie di dati avanzati, fornendo

Tecniche come il machine learning, il deep learning e l'analisi predittiva hanno trovato progressivamente applicazioni concrete in settori sempre più diversificati, fino a diventare, nell'ultimo decennio, strumenti imprescindibili per l'industria, la medicina, il marketing e, più recentemente, per il mondo dello sport (LeCun et al., 2015; Kumar & Manash, 2019). L'introduzione dell'IA ha trasfor-

comunicative e commerciali, anche lo sport ha intrapreso un percorso analitico fondato sulla raccolta e l'interpretazione di informazioni biometriche, fisiologiche e cinematiche. Questi dati, raccolti in ogni fase della prestazione, permettono non solo una comprensione più profonda dell'esecuzione atletica e quindi la definizione di strategie personalizzate.



do agli staff tecnici informazioni dettagliate sulla posizione e sulla velocità gesto atletico (Huang et al., 2019).

Anche nel mondo paralimpico la sinergia tra hardware ad alta risoluzione e software dedicati, consente l'elaborazione in tempo reale di immagini e dati, offrendo un tracciamento accurato di oggetti e atleti e restituendo informazioni con altissima precisione tecnica. Tecnologie come Vicon Nexus, sviluppate per l'analisi del movimento in atleti con disabilità, permettono la ricostruzione tridimensionale dei gesti atletici, evidenziando compensazioni, asimmetrie e inefficienze biomeccaniche, elementi fondamentali per l'elaborazione di programmi riabilitativi personalizzati o l'adozione di protesi sportive su misura.

Questi strumenti offrono un supporto oggettivo nella correzione tecnica, nella prevenzione degli infortuni e nella personalizzazione dei programmi di allenamento, trasformando l'analisi del gesto atletico in un processo basato su evidenze misurabili.

Oltre alle analisi dei segmenti corporei in movimento, l'elaborazione dei dati mediante algoritmi avanzati consente anche la ricostruzione di scenari di gioco e sequenze dinamiche, identificando in modo oggettivo quali movimenti siano più frequentemente associati a esiti favorevoli o sfavorevoli.

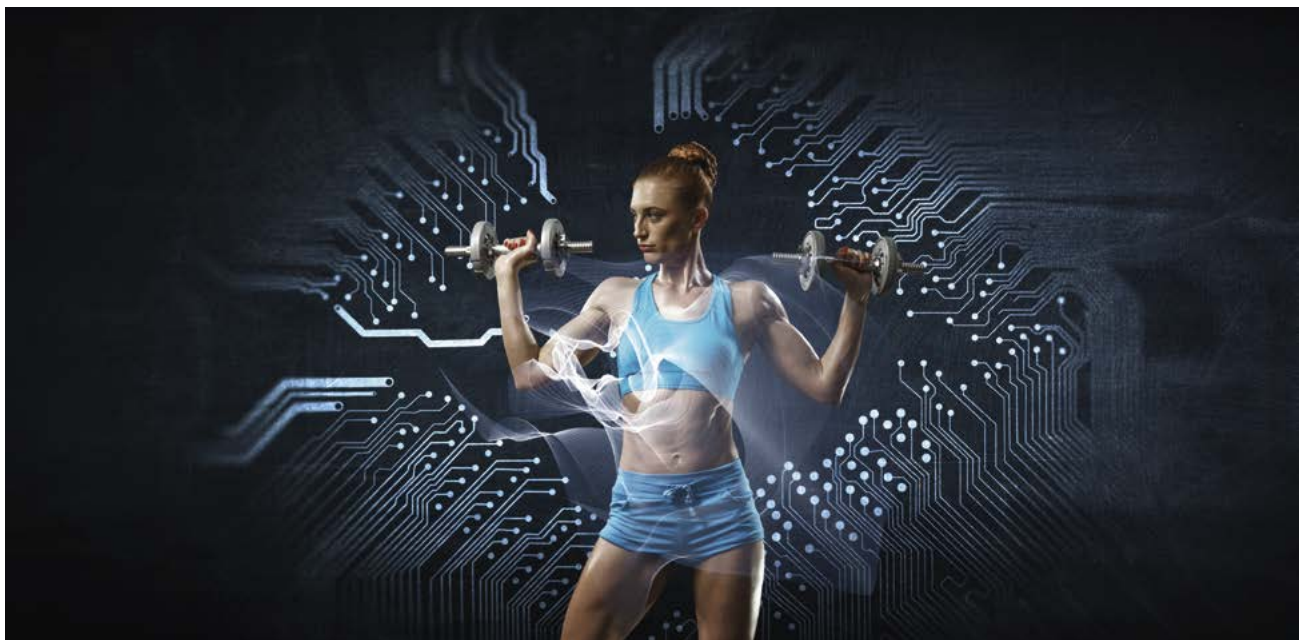
Attraverso il tracciamento continuo delle interazioni tra atleti e fasi di gioco, è possibile modellare schemi tattici e progettare strategie ottimali (Rahimian & Toka, 2022). I sistemi di Augmented Coaching and Sports Training (ACST) integrano i dati visivi con parametri biometrici, restituendo una visione globale, dinamica e interattiva della performance (Cossich et al., 2023).

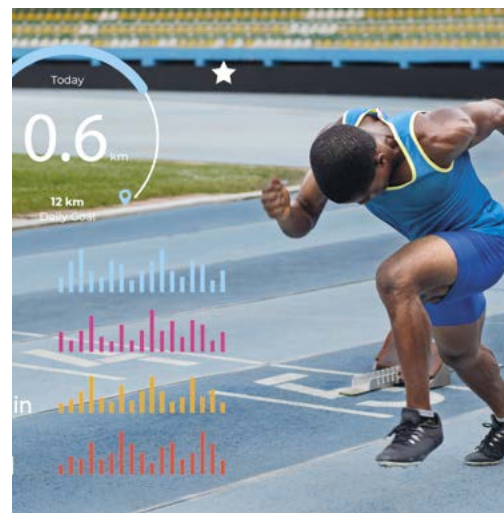
Tali tecnologie hanno già trovato applicazione nella valutazione dell'efficienza della corsa in atleti paralimpici. Studi mirati hanno evidenziato come alcune disfunzioni, come una limitata estensione del ginocchio o squilibri muscolari, possano compromettere la performance e aumentare il rischio di infortuni.

Grazie ai dati ottenuti mediante motion capture, è stato possibile definire piani di allenamento mirati al miglioramento della simmetria motoria e dell'equilibrio dinamico.

Accanto a questa fase di rilevazione e correzione si colloca oggi una nuova frontiera: l'IA generativa (Feuerriegel, Hartmann, Janiesch & Zschech, 2023). Essa rappresenta un'evoluzione significativa nella capacità di elaborazione e simulazione, consentendo la generazione di scenari virtuali realistici anche in assenza di un ampio archivio di dati video. È ora possibile costruire modelli predittivi su base comportamentale, capaci di simulare il rendimento di un atleta o di una squadra durante un'intera stagione.

Tali modelli non si basano su coordinate fisse, ma suddividono lo spazio in celle spaziali, offrendo previsioni più flessibili e attendibili anche in presenza di input imprecisi. Tuttavia, la natura complessa e imprevedibile dello sport rende difficile la formulazione di previsioni dettagliate sul lungo termine.





Pertanto, gli approcci più recenti si orientano verso la descrizione delle decisioni più probabili in un dato contesto, piuttosto che sull'identificazione dell'azione esatta che avverrà. Anche l'attività di scouting, quindi, subirà una profonda trasformazione grazie all'IA. Se in passato la selezione degli atleti dipendeva prevalentemente dall'osservazione diretta e dall' intuito degli osservatori, oggi l'analisi statistica consente valutazioni più oggettive e numericamente fondate. Oggi piattaforme come Wyscout e SportsNGEN permettono di esaminare le prestazioni passate e potenziali degli atleti con un elevato grado di precisione, riducendo significativamente il margine di errore e i costi legati a valutazioni errate (Franco, 2024). Questi strumenti avanzati, nei fatti, permettono l'accesso a grandi quantità di dati e contenuti

video, che possono essere analizzati tramite algoritmi predittivi in grado di stimare, secondo alcuni criteri, il valore di un atleta considerando anche interazioni con i compagni e impatto strategico complessivo.

Anche l'ambito della preparazione atletica e della prevenzione degli infortuni non traumatici stanno traendo benefici dall'AI. Sistemi integrati con tecnologie biomeccaniche e analisi tattiche consentono di monitorare posture, gesti e dinamiche di gioco, contribuendo al perfezionamento tecnico e alla prevenzione degli infortuni.

Anche il contesto amatoriale beneficia oggi di strumenti sempre più accessibili, capaci di fornire feedback dettagliati tramite dispositivi mobili, rendendo l'analisi sportiva fruibile da un pubblico ampio e variegato.

La preparazione atletica e la prevenzione degli infortuni hanno, in particolare, tratto enormi benefici dall'introduzione di sistemi di tracciamento elettronico (EPTS) e dispositivi biometrici (AI Mannai, 2025). Grazie a sensori GPS, test dinamometrici e strumenti isocinetici, combinati con piattaforme software come Mywellness Technogym, che permette di raccogliere, organizzare e analizzare dati biometrici e di performance in tempo reale, è possibile costruire programmi di allenamento personalizzati, monitorare i progressi e ottimizzare i carichi di lavoro in base allo stato fisico dell'atleta. Allo stesso tempo, strumenti come Injury Forecaster supportano la prevenzione degli infortuni attraverso l'elaborazione di modelli predittivi: analizzano dati storici e parametri biometrici per identificare squilibri muscolari o sovraccarichi funzionali,

stimando il rischio di infortuni e suggerendo interventi mirati sul piano di allenamento o sul recupero (Rossi et al., 2018).

Tuttavia, a fronte delle potenzialità offerte da tali tecnologie, emergono anche rilevanti interrogativi di natura etica e sociale. La raccolta massiva di dati personali e biometrici impone una riflessione sulla tutela della privacy e sulla gestione sicura delle informazioni sensibili. Allo stesso modo, la crescente dipendenza da modelli predittivi solleva quesiti sul ruolo dell'intuizione umana, sulla trasparenza degli algoritmi e sull'equità competitiva tra atleti e squadre. È pertanto necessario accompagnare l'innovazione con adeguati strumenti normativi e riflessioni critiche, affinché l'integrazione dell'AI nello sport possa avvenire in modo responsabile,

inclusivo e sostenibile (Commissione Europea, 2021; Suman 2022, Coeckelbergh, 2020).

L'IA si configura oggi come un elemento di trasformazione profonda all'interno del mondo sportivo. Affinché tale evoluzione sia realmente sostenibile, risulta imprescindibile promuovere l'accessibilità alle tecnologie emergenti, investire nella formazione delle figure professionali coinvolte e definire un solido impianto etico e normativo. Il progresso, pertanto, dovrà mantenere al centro l'atleta, salvaguardando i valori fondanti dello sport e orientando l'innovazione verso finalità umane e inclusive.

L'IA e le piattaforme di analisi non sono più strumenti "aggiuntivi" o opzionali, ma si stanno affermando come elementi strutturali.

Il valore aggiunto non risiede soltanto nella possibilità di raccogliere dati oggettivi e precisi, ma nella capacità di interpretarli in chiave strategica, per intervenire in modo mirato e personalizzato.

Tuttavia, questa evoluzione richiede un equilibrio delicato: il rischio di affidarsi eccessivamente ai modelli predittivi, trascurando la componente emotiva, creativa e imprevedibile dello sport, è concreto.

La sfida dei prossimi anni non sarà soltanto sviluppare tecnologie sempre più potenti, ma educare atleti, allenatori e società sportive a un loro uso consapevole e, soprattutto, critico. La vera innovazione sarà quella capace di potenziare l'essere umano, senza ridurlo a una semplice somma di parametri numerici.

ABSTRACT

In recent years, Artificial Intelligence (AI) has revolutionized the sports, adding to athletic training the analysis of strategy and the evaluation of injuries events. Advanced technologies such as machine learning, deep learning and kinematic analysis systems allow accurated and objective analysis of performance, overcoming the limitations of subjective observation. Even in paralympic context there are software that favors the customization of rehabilitation programs. Moreover, generative AI, using platforms that objectively assess the potential of athletes, expands new frontiers in realistic simulation and scouting. Biometric and electronic tracking devices, integrated with software, allow the pianification of training paths to prevent injuries. However, the adoption of AI raises ethical, privacy and competitive equity issues, which require regulation and critical use. Innovation must therefore aim to empower the athlete while keeping human and sporting values central.



BIBLIOGRAFIA

1. Coeckelbergh, M. (2020). *AI Ethics*. Cambridge, Stati Uniti: The MIT Press
2. Cossich, V. R., Carlgren, D., Holash, R. J., & Katz, L. (2023). Technological breakthroughs in sport: Current practice and future potential of artificial intelligence, virtual reality, augmented reality, and modern data visualization in performance analysis. *Applied Sciences*, 13(23), 12965
3. *Encyclopaedia Britannica* (2024). Artificial intelligence. In *Encyclopaedia Britannica*. Chicago: Encyclopaedia Britannica
4. Europea, C. (2021). *Proposta di Regolamento sull'Intelligenza Artificiale*
5. Feuerriegel, S., Hartmann, J., Janiesch, C., & Zschech, P. (2024). Generative ai. *Business & Information Systems Engineering*, 66(1), 111-126
6. Franco, T. M. (2024). *Predicting Baseball Players' Value through Machine Learning: "Traditional metrics" vs "Advanced metrics"*. (Doctoral dissertation, UNIVERSITAT AUTÓNOMA DE BARCELONA)
7. Gaikwad, S.R. Role of artificial intelligence in smart manufacturing of automobile industry in India. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3178, No. 1, p. 070012). AIP Publishing LLC, 2024
8. García-Méndez, S., de Arriba-Pérez, F., González-Castaño, F. J., & Vales-Alonso, J. (2024). Unsupervised explainable activity prediction in competitive Nordic Walking from experimental data. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 13(6), 37-55
9. Huang, Y. C., Liao, I. N., Chen, C. H., Ik, T. U., & Peng, W. C. (2019). Tracknet: A deep learning network for tracking high-speed and tiny objects in sports applications. In *2019 16th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS)* (pp. 1-8) IEEE
10. Kumar, P. R., & Manash, E. B. K. (2019, May). Deep learning: A branch of machine learning. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1228, No. 1, p. 012045). IOP Publishing
11. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436-444
12. Lovergine, S. (2022). Breve disamina degli algoritmi di intelligenza artificiale (aspetti tecnici e metodologici) *Inapp*
13. Mannai, A. A. (2025). Investigating cultural dimensions and technological acceptance: The adoption of electronic performance and tracking systems in Qatar's football sector
14. Parlakyıldız, S., & Avan, S. K. (2024) Artificial Intelligence and the Internet of Things in Recreation: A Systematic Literature Review. *Spor Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 9(3), 374-388
15. Rahimian, P., & Toka, L. (2022). Optical tracking in team sports: A survey on player and ball tracking methods in soccer and other team sports. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 18(1), 35-57
16. Rossi, A., Pappalardo, L., Cintia, P., Iaia, F. M., Fernández, J., & Medina, D. (2018). Effective injury forecasting in soccer with GPS training data and machine learning. *PLoS one*, 13(7), e0201264
17. Suman, D. C. (2022). Artificial intelligence in sport: an ethical issue. *Unity Journal*, 3(01), 27-39
18. Turing, A. M. (2021). Computing machinery and intelligence (1950). *Mind*, 59(236), 33-60
19. Xu, T., & Baghaei, S. (2025). Reshaping the future of sports with artificial intelligence: Challenges and opportunities in performance enhancement, fan engagement, and strategic decision-making. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 142, 109912

