



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Scienze Biomediche

Corso di Laurea Triennale in Scienze Motorie

Tesi di Laurea

**Opportunità e problematiche emergenti dalle applicazioni dell'Intelligenza  
Artificiale all'attività fisica e allo sport**

Relatore: Prof. Viviani Franco

Laureando: Lucchese Marco

N° di matricola: 2010886

Anno Accademico 2023/2024

# INDICE

<b>ABSTRACT ...</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPITOLO 1: INTELLIGENZA ARTIFICIALE.....</b>	<b>4</b>
1.1 Definizione di Intelligenza Artificiale, ambiti di applicazione e possibili prospettive future .....	4
1.2 Cenni storici .....	6
1.3 Big Data e AI.....	8
1.4 Principi etici e AI .....	10
<b>CAPITOLO 2: ALCUNE APPLICAZIONI E OPPORTUNITÀ DELL'AI RISCONTRATE IN LETTERATURA SPECIALISTICA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 AI e sport.....</b>	<b>12</b>
2.1.1 Sensori .....	12
2.1.2 Biomeccanica e AI.....	14
2.1.3 AI nella gestione del carico di lavoro e nella prevenzione degli infortuni.....	15
2.1.4 AI nella analisi della prestazione fisica.....	16
<b>2.2 AI e attività fisica.....</b>	<b>18</b>
2.2.1 I dispositivi indossabili .....	19
2.2.2 Interventi a favore dell'attività fisica assistiti dall'intelligenza artificiale .....	21
<b>2.3 Discussione della letteratura considerata.....</b>	<b>26</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>30</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>34</b>

## **ABSTRACT**

Prospettive entusiasmanti e sfide etiche e pratiche emergono con l'applicazione dell'Intelligenza Artificiale (AI) nello Sport e nell'Attività Fisica. L'AI ha progressivamente guadagnato terreno, trasformando radicalmente il modo in cui concepiamo l'allenamento, il monitoraggio delle performance atletiche e le strategie di squadra. Tramite l'analisi della letteratura scientifica è possibile individuare numerosi esempi all'interno del mondo sportivo di personalizzazione degli allenamenti, ottimizzazione delle prestazioni e sviluppo di strategie innovative assistiti dalle tecniche di Intelligenza Artificiale. Le nuove tecnologie hanno anche il potenziale di aiutare la popolazione nell'abbandono di abitudini nocive alla salute ed all'adozione di uno stile di vita attivo e sano. L'Intelligenza Artificiale può assistere il personale sanitario nel percorso di cura del paziente, guidare le persone nell'esercizio fisico ed incentivare la pratica di attività fisica. Nel testo si cerca di delineare lo stato attuale dell'applicazione dell'Intelligenza Artificiale a programmi di promozione dell'attività fisica attraverso l'esplorazione e l'analisi critica di casi di studio clinici.

Questo elaborato mira ad offrire una panoramica delle attuali dinamiche emergenti nel connubio tra Intelligenza Artificiale, Sport e Attività Fisica, gettando le basi per un dibattito informato e orientato al futuro.

## INTRODUZIONE

Dopo un periodo di 70 anni fatto di progressi, fallimenti e anni di stallo (i cosiddetti “inverni dell'Intelligenza Artificiale”), conferire ad oggetti inanimati le capacità di ragionamento umano oggi giorno sembra essere più tangibile che mai grazie all’accelerazione nello sviluppo delle tecnologie degli ultimi decenni, che hanno chiuso il divario che le separava dalle teorie. A partire dagli anni Novanta, infatti, si sono evolute le moderne tecniche di Intelligenza Artificiale. Esse non sono ancora in grado di replicare il cervello umano nella totalità delle sue capacità, ma per quanto riguarda determinate funzioni, tuttavia, garantiscono prestazioni all’altezza o addirittura superiori a quelle dell’uomo. Su tutte, le capacità analitiche dei modelli computazionali ad apprendimento automatico sono molto avanzate ed essi sono in grado di gestire ed elaborare l’enorme quantità di informazioni nascoste all’interno del vasto insieme eterogeneo di dati rappresentato dal termine *Big Data*. Negli ultimi anni, l'Intelligenza Artificiale (abbreviata AI dall'inglese *Artificial Intelligence*) ha trasformato profondamente molteplici settori, rivoluzionando processi, servizi e la nostra stessa concezione del possibile. Uno dei campi in cui l'AI ha iniziato a manifestare il suo potenziale è lo sport e l'attività fisica. Da analisi avanzate delle prestazioni fisiche degli atleti professionisti a programmi individualizzati di allenamento per soggetti sedentari, le applicazioni dell'AI stanno aprendo nuove opportunità e sollevando interrogativi etici e pratici.

Questo elaborato si propone di presentare le attuali tecniche AI e di esplorare il panorama sempre più ampio dell'utilizzo dell'Intelligenza Artificiale nello sport e nell'attività fisica, analizzando le opportunità entusiasmanti che queste tecnologie offrono, insieme alle problematiche emergenti che richiedono un attento esame. Dalla personalizzazione degli allenamenti all'ottimizzazione delle strategie di squadra, saranno passate in rassegna alcune delle molteplici sfaccettature di come l'AI sta cambiando il modo in cui ci avviciniamo al mondo dello sport e della salute fisica.

## CAPITOLO 1: INTELLIGENZA ARTIFICIALE

### 1.1 Definizione di Intelligenza Artificiale, ambiti di applicazione e possibili prospettive future

L'Intelligenza Artificiale non è affatto un concetto nuovo. Come sarà accennato nel paragrafo successivo, è apparso per la prima volta in giornali e ricerche scientifiche negli anni '50. Nonostante ciò, ancora oggi non esiste una definizione standard e unanimemente riconosciuta di questo concetto. In generale, l'intelligenza artificiale oggi è intesa come una branca della *computer science* focalizzata sulla creazione di “macchine intelligenti” che funzionano e reagiscono in modo simile a quello degli esseri umani.

Il gruppo di esperti della Commissione Europea (*High-Level Expert Group on Artificial Intelligence* – AI HLEG) nel 2019 ne ha proposto la seguente definizione estesa:

“I sistemi di intelligenza artificiale sono sistemi *software* (ed eventualmente *hardware*) progettati dall'uomo che, dato un obiettivo complesso, agiscono nella dimensione fisica o digitale percependo il proprio ambiente attraverso l'acquisizione di dati, interpretando i dati strutturati o non strutturati raccolti, ragionando sulle conoscenze, o elaborando le informazioni derivate da questi dati e decidendo le migliori azioni da intraprendere per raggiungere l'obiettivo dato. I sistemi di AI possono usare regole simboliche o apprendere un modello numerico, e possono anche adattare il loro comportamento analizzando come l'ambiente è influenzato dalle loro azioni precedenti.

Come disciplina scientifica, l'AI include diversi approcci e diverse tecniche, come l'apprendimento automatico (di cui l'apprendimento profondo e l'apprendimento per rinforzo sono esempi specifici), il ragionamento meccanico (che include la pianificazione, la programmazione, la rappresentazione delle conoscenze e il ragionamento, la ricerca e l'ottimizzazione), e la robotica (che include il controllo, la percezione, i sensori e gli attuatori e l'integrazione di tutte le altre tecniche nei sistemi ciberfisici).” (1)

L'obiettivo a lungo termine dei ricercatori che sognano più in grande consiste nella creazione di una AI denominata Forte (*General* o *Strong AI*), ossia una macchina, o possiamo chiamarlo robot, che offra prestazioni superiori a quelle umane sostanzialmente in qualsiasi compito. Attualmente, però, i progressi maggiori si stanno compiendo nell'ambito dell'AI Debole (*Narrow* o *Weak AI*), ossia nella ricerca che mira a creare modelli che superino le prestazioni umane in un determinato compito.

È in tale ambito che sono utilizzate, di fatto, tutte le tecniche elencate nella definizione estesa proposta dal gruppo di esperti della Comunità Europea.

In particolare, il ragionamento meccanico (*reasoning*) utilizza tecniche che partendo dall'acquisizione dei dati "grezzi" modellano le conoscenze e quindi su questa modellizzazione sono in grado di "ragionare". Ossia, formulando inferenze sulla base di regole simboliche, pianificano e programmano attività, ricercano e ottimizzano soluzioni. L'apprendimento invece adotta tecniche che consentono ad un sistema di imparare a risolvere problemi che non possono essere definiti in modo preciso, o il cui metodo di soluzione non può essere descritto con regole di ragionamento simboliche. In questo contesto l'apprendimento automatico (*Machine Learning*) consente di definire un modello matematico che viene utilizzato per ottenere una decisione a partire dai dati.

Il *Machine Learning* (ML), si caratterizza per differenti metodi di apprendimento, tra i quali va evidenziato il *Deep Learning* (DL), attualmente alla base di molti processi automatizzati. Il DL rimanda ad un insieme di tecniche che simulano i processi di apprendimento del cervello umano attraverso reti neurali artificiali altamente stratificate.

La maggior parte degli esempi noti, dai computer che battono il campione del mondo di scacchi alle auto che si guidano da sole, si basano sull'addestramento di *software* tramite tecnologie come il *Deep Learning* e il *Natural Language Processing* (NLP), che hanno l'obiettivo di svolgere attività specifiche tramite l'elaborazione di grandi quantità di dati e il riconoscimento dei modelli presenti negli stessi. Invece di organizzare i dati per eseguire equazioni predefinite, il DL imposta dei parametri di base sui dati ed istruisce il computer affinché impari da solo riconoscendo i modelli attraverso molteplici livelli di elaborazione. Mediante tali tecniche è possibile risolvere problemi di apprendimento automatico molto complessi, senza la necessità di dover esplorare e preparare i dati per i passi successivi. Ritroviamo le tecniche di DL, ad esempio, all'interno di computer che eseguono attività in maniere simile a quella umana, quali il riconoscimento delle immagini (*Computer Vision*), la comprensione del linguaggio parlato (NLP) o fare previsioni.

Tecnologie come DL e NLP sono alla base del riconoscimento vocale e delle *chatbot* presenti sulle *app* per smartphone e altri dispositivi, ma al di là di queste applicazioni specifiche, l'adozione dell'intelligenza artificiale è ormai pervasiva. Ad esempio, la ritroviamo nel commercio elettronico e nella politica per analizzare i comportamenti dei consumatori e il *sentiment* dei cittadini/elettori, nel settore manifatturiero per ottimizzare la produzione,

monitorare la qualità e prevedere guasti delle macchine, in sanità per analizzare grandi quantità di dati medici al fine di diagnosticare malattie, predire risultati e personalizzare trattamenti per i pazienti, nei trasporti per la gestione del traffico per renderli più sicuri ed efficienti e nello sviluppo di veicoli autonomi, in finanza per l'analisi dei rischi, la rilevazione di frodi, il *trading* automatizzato e la gestione degli investimenti, ma in generale la ritroviamo in tantissimi altri settori, ivi compreso ovviamente quello sportivo con impatti sempre più evidenti.

Inoltre, i costi dell'applicazione dell'AI sono diminuiti enormemente, proporzionalmente alla facilità di adozione di queste tecnologie oggi disponibili come soluzioni "as a service" erogate da tutti i principali *cloud provider* come *AWS*, *Google Cloud* o *Microsoft Azure*. Combinato con l'esplosione della potenza di elaborazione e della generazione e disponibilità di grandi quantità di dati utili, l'AI è sempre più in grado di eseguire prestazioni specifiche e compiti senza istruzioni esplicite.

In termini prospettici non si può quindi che prevedere una accelerazione costante nella adozione di queste soluzioni e nella loro evoluzione. Possiamo facilmente immaginare un aumento dell'autonomia e dell'automazione in molteplici settori, riducendo la dipendenza dall'intervento umano e migliorando l'interazione Uomo-Macchina, consentendo esperienze sempre più naturali e intuitive. Si prevede una progressiva evoluzione verso un'intelligenza artificiale più generale e flessibile, in grado di affrontare una vasta gamma di compiti e problemi. Con l'aumentare dell'adozione dell'AI, si pongono inoltre sfide etiche e questioni riguardanti la responsabilità, la trasparenza e la *privacy* dei dati, che richiederanno un'attenta regolamentazione e normativa che solo ora si sta iniziando ad approcciare.

## **1.2 Cenni storici**

Definire e valutare l'intelligenza e l'essere intelligenti è un compito non semplice che affascina e tormenta l'uomo da millenni e che, nel corso degli ultimi secoli, ha visto diversi approcci e altrettante conclusioni: dalle teorie che propongono l'intelligenza come un tratto altamente ereditario (delle quali, purtroppo, si contano ancora sostenitori) all'idea che essa sia una capacità unitaria dalla quale dipendono altre prestazioni intellettive; dal concetto di intelligenza intesa come insieme di più fattori parzialmente indipendenti, alla concezione che sia un insieme multidimensionale di abilità distinte. Attualmente quest'ultima interpretazione pare essere la più accreditata e nello psicologo Gardner (1983) essa trova la sua forma più estremizzata. Egli, infatti, assume l'esistenza di otto diversi tipi di

intelligenza, espressioni di sistemi neuronali indipendenti tra loro: logico-matematica, linguistica, spaziale, naturalistica, corporo-cinestesica, musicale, intrapersonale e interpersonale. Secondo l'Autore le diverse intelligenze opererebbero all'interno di ciascun individuo in misura più o meno incisiva e il prevalere di una o più intelligenze sulle altre spiegherebbe il modo in cui gli individui affrontano e risolvono i problemi.

Trasferire una definizione del genere e poterla applicare ad oggetti inanimati può sembrare un'idea folle, ma questa idea - nelle fantasie dell'uomo sin da tempi antichi - ha trovato terreno fertile, con la nascita dei sistemi computazionali, nella ricerca informatica e scientifica.

Agli albori, per creare macchine capaci di dimostrare intelligenza umana, la ricerca partì direttamente dallo studio del cervello stesso e del suo funzionamento: già nel 1943 venne proposto il primo modello di neurone artificiale da McCulloch e Pitts, fondamentale per il successivo sviluppo delle reti neurali. I padri fondatori di questa disciplina, però, sono considerati Turing e McCarthy. Il primo formulò l'ipotesi di una macchina in grado di svolgere qualsiasi tipo di calcolo e propose un test per valutare l'intelligenza delle macchine, mentre il secondo coniò il termine *Artificial Intelligence* e partecipò allo sviluppo di algoritmi di percezione. Assieme svolsero un ruolo chiave nel gettare le basi teoriche e nel promuovere le ricerche sull'intelligenza artificiale. Negli anni '50 queste si focalizzarono sulla creazione di programmi capaci di imitare il ragionamento umano e le deduzioni logiche. In particolare, fu sviluppata la prima rete neurale artificiale, composta da un singolo strato di unità logiche: il *Perceptron*, ispirato al funzionamento dei neuroni biologici e uno dei primi tentativi di creare un sistema che potesse apprendere autonomamente dai dati. Nonostante alcuni successi nella risoluzione di problemi pratici, come, per esempio, i progetti di mappatura delle strade negli anni '70 prodotti da DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*), questi modelli evidenziarono dei limiti nel risolvere problemi complessi.

In seguito a uno dei primi "inverni dell'AI", negli anni '80 lo sviluppo della cosiddetta AI simbolica guidò la ripresa delle ricerche. Questa branca dell'apprendimento automatico si concentra sulla rappresentazione della conoscenza principalmente come regole "*if-then*" esplicitamente scritte da mano umana, dove se si verifica una determinata condizione (*IF*) allora avviene una certa azione (*THEN*). Sulle basi di queste regole sono quindi stati sviluppati i sistemi esperti e *knowledge-based*, in grado di affrontare problemi complessi (e.g.: SHRDLU). Negli stessi anni, alcuni studi teorici di algoritmi che sfruttano la retroazione



dell'errore nei processi di apprendimento hanno migliorato le capacità delle reti neurali di adattarsi ai dati, aprendo nuove possibilità per l'AI.

La ricerca, poi, subì nuove sfide e rallentamenti: furono riscontrati diversi limiti nei sistemi esperti, in particolare la loro dipendenza dalle informazioni fornite inizialmente (conoscenza di base) e gli sforzi e costi significativi richiesti dalla manutenzione e aggiornamento di queste informazioni. A tutto ciò conseguì inevitabilmente il taglio degli investimenti, ancora fortemente vincolati a fondi governativi.

Negli ultimi decenni, a partire dal 2000, grazie agli enormi progressi tecnologici nella capacità di elaborazione dati, di potenza di calcolo e negli algoritmi avanzati, combinati con la gigantesca quantità di dati generati che è possibile avere a disposizione e onerosi investimenti privati, sono esplosi ricerca, sviluppo ed efficienza dei modelli analitici di *Machine Learning*, i quali utilizzano metodi provenienti dalle reti neurali, dalla statistica, dalla ricerca operativa e dalla fisica, per trovare informazioni nascoste nei dati senza essere stati esplicitamente programmati su dove guardare o a quali conclusioni giungere.

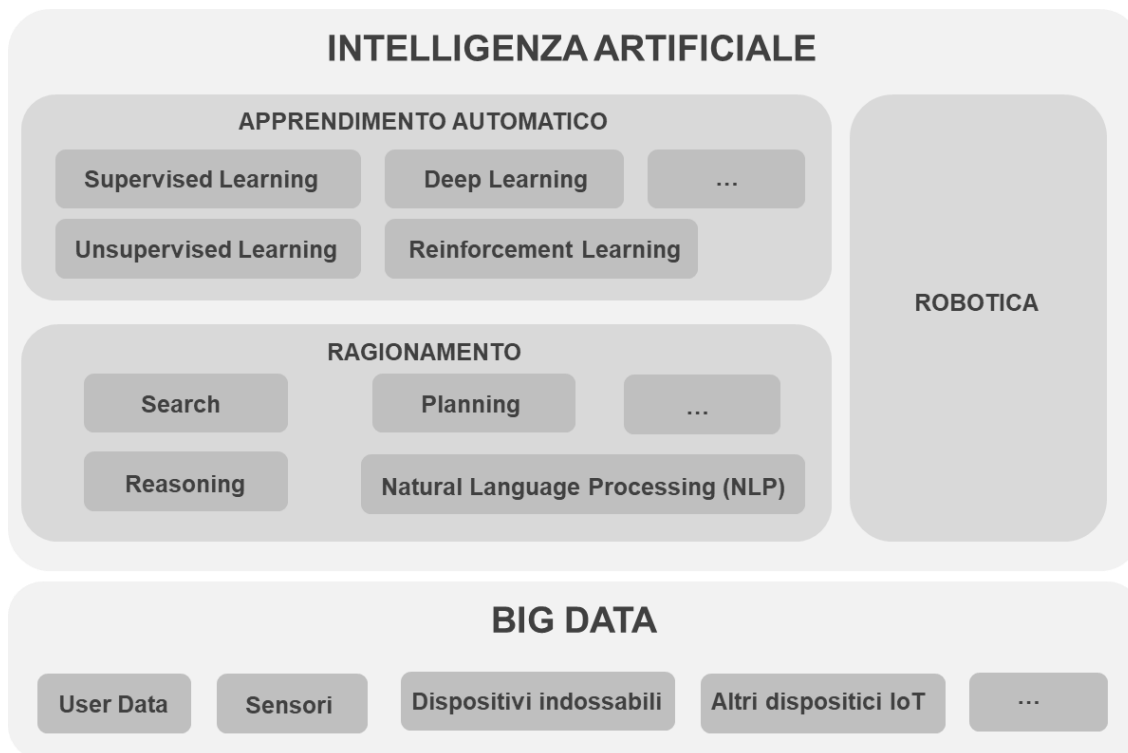
Oggi giorno, il termine Intelligenza Artificiale è arrivato a raggruppare una serie di soluzioni e tecniche più o meno indipendenti tra loro che, come nell'uomo l'insieme multidimensionale di abilità, permettono alle macchine di riprodurre particolari azioni corrispondenti, solitamente, ad un'espressione di intelligenza. Le capacità computazionali dei sistemi *hardware* e *software* attuali consentono ai computer di esprimere caratteristiche tipicamente umane quali, ad esempio, le percezioni visive, spazio-temporali e decisionali.

La disciplina dell'AI quindi, è estremamente vasta e comprende teorie, metodi, tecnologie e materie molto diverse, tra cui informatica, analisi dei dati e statistica, ingegneria hardware e software, linguistica, neuroscienza e persino filosofia e psicologia.

### **1.3 Big Data e AI**

Se, come abbiamo visto, l'AI non è un concetto nuovo, ciò che ha portato a far guadagnare alle tecniche di AI la assoluta centralità ed i suoi effetti quasi infiniti e pervasivi in tutti i settori è stata la combinazione di disponibilità e accesso senza precedenti a grandi quantità di dati (*Big Data*), insieme all'aumento significativo della potenza di calcolo, alla fruibilità di potenti librerie e ad alcuni importanti sviluppi sul piano teorico. Questo ha rappresentato un cambio di paradigma e fornisce un accesso totalmente nuovo e rapido a una miriade di funzionalità, che stanno letteralmente rivoluzionando il nostro modo di lavorare, vivere e produrre.

Alla base dell'odierno concetto di AI, possiamo individuare, quindi, le tecnologie (in particolare il *Machine Learning*) illustrate nel paragrafo 1.1, "alimentate" dai *Big Data*, l'enorme quantità di dati generati dalle persone e dal "*Internet of Things*" (IoT), come evidenziato nello schema seguente, adattamento del quadro semplificato delle sottodiscipline dell'AI proposto in (1).



Con il neologismo IoT ci si riferisce ad una rete di oggetti e dispositivi connessi dotati di sensori (e altre tecnologie) che consentono loro di trasmettere e ricevere dati, da e verso altri oggetti e sistemi. I dati creati tramite questo *network* si sommano a quelli generati dagli esseri umani tramite l'utilizzo di internet, *social media*, *wearable devices* e *smartphones*, andando a definire i *Big Data*. In termini generali, con il nome *Big Data* ci si riferisce a questi *set* multiformi di dati in continua espansione e le relative infrastrutture tecnologiche e analitiche a loro supporto. Per descriverli vengono citate, comunemente, le tre V: Volume, in relazione alla grandezza; Varietà, in riferimento ai tipi di dati e la loro struttura; Velocità, indicando la generazione continua del flusso di dati e il ritmo con cui essi dovrebbero essere analizzati. Altre "V" come Variabilità, Veridicità e Valore completano il quadro, dando l'idea del potere dei *Big Data*, nascosto dietro le possibilità offerte dalla loro analisi. E, a questo proposito, tornano estremamente utili le capacità delle tecniche di AI di ottenere informazioni

utili da vaste banche dati. Le metodologie tradizionali di analisi statistica, infatti, non sono in grado di trattare quantità così larghe e complesse, ma, applicando i metodi moderni di *Machine Learning*, i sistemi possono imparare dai dati e, attraverso la disamina di relazioni significative tra *input* e *output*, ricavare correlazioni, modalità, modelli predittivi e prendere decisioni con un minimo intervento umano.

Ciò è estremamente utile nella ricerca scientifica perché i dati analizzati da professionisti nel contesto di un progetto di ricerca, producono conoscenza. Spesso gli scienziati hanno utilizzato metodi in relazione ai dati, come gli astronomi e i genetisti, mentre per altre branche disciplinari essi rappresentano una novità, per cui faticano a formulare i cosiddetti *Data Management Plans* (DMP), ormai richiesti per ottenere fondi dalla Comunità Europea e altre agenzie governative (2). Tuttavia, pressoché tutte le comunità di ricerca hanno ormai un *Metadata Management System*, censito su un apposito registro online (<https://www.re3data.org>).

Questo enorme flusso di dati e la sua elaborazione ha purtroppo notevoli costi energetici e quindi ripercussioni ambientali, dei quali la comunità internazionale si preoccupa poco (3). Si stima che *Chat GPT*, la *Chatbot* creata da *Open AI* a San Francisco, stia già consumando l'energia di 30.000 abitazioni e che, nel corso degli anni, i sistemi allargati di Intelligenza Artificiale necessiteranno dell'energia di intere nazioni.

Entro il 2025 si stima ci saranno 463 exabyte di dati creati ogni giorno (4). In un mondo che continuerà ad essere sempre più connesso, con un numero sempre crescente di dispositivi elettronici, continuerà a crescere anche la generazione dei dati. Gestire questa complessità richiederà sistemi sempre più intelligenti in grado di analizzare questa miniera di dati ma allo stesso tempo porterà alla creazione di un'intelligenza artificiale sempre più efficace e approfondita, grazie alla possibilità di addestrare al meglio i modelli con questa aumentata disponibilità di dati.

#### **1.4 Principi etici e AI**

Nonostante i sistemi AI siano in grado di elaborare correlazioni di dati tanto complesse dove l'uomo non ne ha la possibilità, le capacità di ragionamento dell'intelligenza artificiale non sono ancora equiparabili a quelle umane. È doveroso ricordarlo dal momento che "...l'AI è soggetta a cicli di esagerazione perché è una speranza o una paura che abbiamo da quando siamo stati cacciati dal Paradiso: qualcosa che fa tutto per noi, meglio di noi, con tutti i vantaggi sognati (saremo in vacanza per sempre) e i rischi paventati (saremo in schiavitù

per sempre) che ne derivano” (p. 85, Etica dell’IA, Floridi).

I numerosi dibattiti degli ultimi anni riguardo l’intelligenza artificiale sono doverosi e, anzi, necessari nella misura in cui producano le giuste norme che riguardino la Direzione dell’innovazione, fattore che spaventa il genere umano a causa della nostra mancanza di visione. È opportuno tenere conto che, in realtà, UE, OCSE e Cina convergono su principi etici dell’AI molto simili, e che le “esagerazioni” recenti rischiano di trarre in inganno l’opinione pubblica sia su una tecnologia potenzialmente utili, sia sui suoi rischi reali. Tentativi di delineare un quadro di principi etici sono già stati intrapresi, e le conclusioni degli esperti si possono raccogliere in cinque capisaldi entro i quali possono essere formulate politiche, migliori pratiche e altre raccomandazioni: Beneficenza (promuovere il benessere, preservare la dignità e sostenere il pianeta); Non Maleficenza (*privacy*, sicurezza e “cautela della capacità”); Autonomia (il potere di “decidere di decidere”); Giustizia (promuovere la prosperità, preservare la solidarietà, evitare l’iniquità); Esplicabilità (rendere possibili gli altri principi tramite l’intelligibilità e la responsabilità).

Muoversi all’interno di questi principi e determinare da essi regolamentazioni specifiche è fondamentale, in quanto “Lo sviluppo e l’uso dell’AI hanno un potenziale impatto sia positivo sia negativo sulla società, al fine di alleviare o amplificare le disuguaglianze esistenti, di risolvere problemi vecchi e nuovi o di causarne senza precedenti. Tracciare il percorso socialmente preferibile (equo) e sostenibile dal punto di vista ambientale dipenderà non solo da una regolamentazione ben articolata e da standard comuni, ma anche dall’utilizzo di un quadro di principi etici, all’interno del quale si possono collocare azioni concrete. Il quadro presentato in questo capitolo, in quanto emerge dal dibattito in corso, può fungere da preziosa architettura per garantire risultati sociali positivi frutto della tecnologia AI e per procedere dai buoni principi alle buone pratiche.” (p. 105, Etica dell’IA, Floridi).

## **CAPITOLO 2: ALCUNE APPLICAZIONI E OPPORTUNITÀ DELL'AI RISCONTRATE IN LETTERATURA SPECIALISTICA**

### **2.1 AI e sport**

Come abbiamo detto, nella nostra epoca dove ci sono dati si trova Intelligenza Artificiale. Nello stesso modo in cui il *marketing* utilizza le informazioni prodotte dagli utenti *web* e di *social media*, così i parametri fisiologici, cinematici e biomeccanici dell'atleta, raccolti prima, durante o dopo la prestazione, nonché i dati di una squadra nel suo complesso o del singolo giocatore in campo sono sfruttati dagli scienziati sportivi per approfondire le proprie conoscenze e fornire strumenti per una valutazione completa tramite modelli di apprendimento automatico.

#### **2.1.1 Sensori**

“I sensori intelligenti in grado di raccogliere dati e agire sugli eventi fisici nel momento in cui si verificano, ci consentiranno di costruire modelli che abbiano la conoscenza e la capacità di interagire con l'incredibile diversità delle cose nel mondo fisico” - Kevin Scott, *Microsoft CTO*

Prima di approfondire per quali scopi vengono utilizzate le tecniche AI all'interno del mondo sportivo, è doveroso introdurre le tecnologie attraverso le quali vengono rilevati i dati necessari ai modelli e agli addetti ai lavori: i sensori. Essi sono una categoria di dispositivi IoT e sono costituiti dall'unità di rilevamento adibita a captare immagini, velocità etc., e da un processore capace di trattare i dati sul momento.

Fonte primaria di informazione è la visione, il primo e più affidabile metodo di analisi in possesso dell'uomo. L'acquisizione di immagini è sempre più precisa e sofisticata grazie a sensori ottici avanzati che, abbinati a reti neurali artificiali, sono in grado di produrre, per esempio, una segmentazione e una stima della posa che potrebbero essere sufficienti per diverse applicazioni di analisi del movimento, dal punto di vista cinetico e cinematico.

Spesso, però, le informazioni ricavabili tramite l'analisi visiva non sono esaustive, complete (la visione del target potrebbe essere occultata in determinati fotogrammi) o sufficientemente precise, ed è necessario ricorrere e integrarle con le rilevazioni effettuate dagli IMU (*Inertial Movement Sensors*), i quali offrono dati cinematici del movimento integrando giroscopi, accelerometri e, opzionalmente, magnetometri e dispositivi di geolocalizzazione. Questi sono, di per sé, sensori che misurano, rispettivamente, velocità

angolare, accelerazione, direzione e intensità di un campo magnetico, latitudine e longitudine e, talvolta, velocità ed elevazione. Gli IMUs non necessitano di una visione diretta del soggetto, non soffrono da occultamenti e forniscono dati ad una frequenza assai maggiore, catturando complessivamente la rotazione e i movimenti dei segmenti corporei con elevata precisione. Questa tipologia di sensori è integrabile agli equipaggiamenti dell'atleta oppure applicabile direttamente sul suo corpo (attraverso i dispositivi indossabili) ed è fondamentale per la loro accuratezza una disposizione e calibrazione ottimali.

Uno strumento ampiamente utilizzato nel mondo dello sport è il sensore di pressione. Questi dispositivi forniscono mappe di pressione e dati riguardo i punti di contatto e la distribuzione del carico sul piede e la forza di reazione del terreno, informazioni molto utili in alcune aree dell'analisi del movimento.

I sensori elettromiografici sono estremamente utili nella misurazione delle contrazioni muscolari e offrono dati per quanto concerne l'attività dei muscoli.

La misurazione della frequenza cardiaca è considerato, ancora oggi, uno dei metodi oggettivi più validi per effettuare valutazioni del carico interno di lavoro e dello sforzo fisico di un atleta. Grazie al cardiofrequenziometro e ai dati che esso fornisce, gli addetti ai lavori sono in grado di ricavare informazioni preziose anche nell'analisi di infortuni e dei fattori legati al suo rischio, come fatica e stress. La variabilità della frequenza cardiaca, inoltre, offre buone indicazioni riguardo l'equilibrio e la salute del sistema nervoso. Questa tipologia di sensori è ampiamente diffusa e utilizzata da qualsiasi atleta, dal professionista al jogger occasionale.

I sensori generalmente si suddividono in due tipologie: indossabili e non indossabili. Quest'ultimi, in ambito fitness, misurano l'attività dell'utente attraverso il loro collocamento su oggetti. Ad esempio, i sensori integrati ai macchinari della palestra registrano informazioni riguardo il carico, la velocità di esecuzione e la potenza espresse nel corso della sessione d'allenamento dall'utente specifico (7).

L'insieme dei sensori offre nuove tipologie di dati e in quantità ben maggiori rispetto al passato. I *dataset* creati dai sensori possono essere molto utili e, attraverso l'utilizzo di varie tecniche AI, gli scienziati sportivi hanno a disposizione nuovi strumenti e opportunità che li sostengono e aiutano nel loro lavoro. Tramite i sensori indossabili, per esempio, possono essere raccolti dati in tempo reale su parametri come frequenza cardiaca, temperatura corporea, livelli di ossigeno nel sangue, e così via, mentre gli algoritmi AI analizzano questi

dati per estrarre informazioni utili sulla condizione fisica degli atleti e, di conseguenza, gli allenatori e i preparatori atletici possono adattare gli allenamenti in base alle esigenze individuali. Di sicuro, un campo nel quale la combinazione di dati cinetici e modelli di apprendimento automatici può risultare più immediata è la Biomeccanica.

### 2.1.2 Biomeccanica e AI

Alcuni parametri cinematici sono difficilmente rilevabili dal vivo ma possono essere stimati utilizzando input a minor risoluzione come quelli forniti dagli IMU: i dati inerziali provenienti dal bacino e arti inferiori (cosce e stinchi), tramite modelli di ML, sono in grado di determinare un'approssimazione, tanto fedele alla realtà quanto la qualità dei dati iniziali, degli angoli articolari e momenti di anca, ginocchio e caviglia (8,9).

Un'altra delle funzioni maggiori dell'AI in biomeccanica è a sostegno dell'analisi del passo, tanto da essere stato coniato il termine *Smart Gait* (SG) per indicare i sistemi che la integrano con AI (10). I compiti effettuati tramite *Smart Gait* esulano dallo sport e vanno dal semplice conteggio dei passi alla valutazione della mobilità e stato fisico del soggetto; dal determinare il rischio di caduta per un anziano al riconoscimento di camminate anormali sintomo di malattie neurologiche e così via. Le tecniche di *Machine Learning* sono utilizzate con successo per migliorare diversi aspetti del *Gait Analysis*: aiutano con il pre-processamento e l'aggregazione dei dati; lavorano con altre forme di AI per migliorare la propria prestazione, interpretabilità e accuratezza; classificano le diverse fasi della camminata e fanno previsioni sui possibili eventi. I modelli di *Deep Learning*, inoltre, sono in grado di estrarre automaticamente i valori ottimali dai dati spaziotemporali "grezzi" senza che ne venga richiesta una lavorazione particolare. (11)

Grazie a questi miglioramenti delle prestazioni, anche in ambito sportivo i sistemi *Smart Gait* sono ampiamente utilizzati, a partire, appunto, dal trattamento dei dati di base (*data engineering, data labeling*) sino a compiti più complessi. Onodera et al., nel 2017 (12) hanno valutato il ruolo delle scarpe e della loro struttura sulla biomeccanica di corsa; altri studi si sono focalizzati sull'abilità di riconoscimento e classificazione di attività sportive, o sul monitoraggio di più giocatori e la loro identificazione. Hassan et al. (13), sempre nel 2017 si sono serviti di tecnologie SG per valutare in tempo reale un dispositivo di elettrostimolazione muscolare per l'allenamento sportivo.

Diverse ricerche, poi, si sono interessate della prevenzione e previsione degli infortuni.

Taborri e colleghi (14), per esempio, hanno proposto una valutazione mediante modelli di ML del rischio di infortunio al legamento crociato anteriore tra cestiste. Dati relativi alla stabilità e mobilità della gamba e alla capacità di assorbimento del carico in seguito a un salto forniscono “*The Landing Error Scoring System*”, il quale identifica le atlete a maggior rischio d’infortunio.

### **2.1.3 AI nella gestione del carico di lavoro e nella prevenzione degli infortuni**

La prevenzione e gestione degli infortuni non si risolve solo attraverso l’approccio biomeccanico. Già vent’anni fa uno studio ha applicato metodi di ML su dataset medici per estrarre informazioni che potrebbero aiutare la diagnosi di infortuni sportivi. Oggi sensori ed algoritmi AI permettono di analizzare i dati della prestazione atletica e le relative variabili biomeccaniche e fisiologiche sia in tempo reale, sia sul lungo periodo e, come già detto, gli istruttori possono basarsi su queste analisi per somministrare la giusta intensità e metodologia di allenamento (15). Considerando anche altri parametri, come lo stato fisico e la storia d’infortuni dell’atleta, viene resa possibile la creazione di algoritmi in grado di segnalare i fattori di rischio che potrebbero sfuggire all’operatore umano. In questo modo allenatori e medici sono aiutati nell’individuazione di infortuni (e possono così intervenire tempestivamente nell’eventualità che esso sia già occorso) oppure gli è possibile effettuare una valutazione ottimale del rischio d’infortunio (16, 17). Tale evento, infatti, rappresenta un vero pericolo sia per l’atleta stesso e la sua carriera che per l’intera industria sportiva, con costi di riabilitazione spesso elevati e perdita d’incassi derivata dall’assenza del giocatore. Recentemente, Eliakim et al. (18), hanno stimato un costo totale di 45 milioni di sterline per club di *Premier League* a stagione a causa degli infortuni. Non sorprende, quindi, che previsione, prevenzione e gestione degli infortuni aiutate dall’AI attirino sempre maggior interesse nel mondo sportivo e in quello calcistico in particolare.

Uno studio belga (19), con l’obiettivo di determinare il rischio d’infortunio in giovani atleti di calcio, ha raccolto all’inizio della stagione dati demografici, antropometrici (includendo livello di crescita e maturità fisica), dati riguardanti la coordinazione motoria e la prestazione fisica dei ragazzi. In seguito alla stagione, durante la quale sono stati registrati infortuni e frequenza di allenamento, i modelli di ML si sono dimostrati abbastanza precisi nel prevedere gli infortuni e anche, seppur meno efficientemente, nel classificarli (*overuse – acute injuries*).



In generale, l'opinione scientifica è relativamente d'accordo nel collegare il carico di allenamento (e soprattutto le sue variazioni nel tempo) con il rischio d'infortunio muscoloscheletrico. La questione per gli scienziati sportivi sta nell'individuare i parametri ideali per rappresentare il carico di lavoro e i dati provenienti dai sistemi di geolocalizzazione si prestano a questo utilizzo in vari studi sia di prevenzione che di gestione degli infortuni (20, 21)

Detto questo, è giusto segnalare che le tecniche di ML non sembrano avere un'alta abilità predittiva in tutte le situazioni, dal momento che ogni atleta è soggetto a carichi di lavoro specifici. Di conseguenza, l'accuratezza dei modelli può essere migliorata utilizzando dati collezionati il più temporalmente vicino possibile all'infortunio. Dati in tempo reale sulle condizioni fisiologiche dell'atleta, sulla tecnica dei suoi movimenti (la fatica può indurre modificazioni tecniche) e su altri fattori contestuali (condizioni del campo, delle scarpe etc.) possono aggiungere ulteriore valore ai modelli di *Machine Learning*. Ricerche future, inoltre, dovranno considerare anche la dinamica degli infortuni muscoloscheletrici per essere in grado di fornire risultati ancora più significativi.

#### **2.1.4 AI nella analisi della prestazione fisica**

Uno degli obiettivi primari degli scienziati sportivi è quello di afferrare e comprendere schemi e azioni più strettamente correlati al successo e che offrono maggior vantaggio nella competizione. I poteri analitici e predittivi dei modelli di apprendimento automatico si prestano molto efficacemente a questo scopo ed è, infatti, nel campo della *Performance Analysis* che l'Intelligenza Artificiale ha spopolato maggiormente. In quest'ambito, le ricerche scientifiche hanno indagato le funzionalità del ML, principalmente, in compiti di previsione degli eventi e di riconoscimento di schemi/modelli. (22, 23)

Gli allenatori sono chiamati a prendere uno svariato numero di decisioni, dalla selezione dei giocatori alla scelta delle tattiche. Analogamente alla prevenzione degli infortuni, fornendo agli algoritmi predittivi l'adeguata selezione di dati registrabili, i *coaches* hanno la possibilità di sapere anticipatamente ciò che può, o sta per, avvenire in campo, con tutti i vantaggi del caso. Attraverso questa capacità dei modelli predittivi, gli scienziati sportivi hanno esplorato la possibilità di pronosticare i risultati di partite (o addirittura interi campionati), riscontrando percentuali di successo relativamente elevate. Questo concetto di prevedere nel futuro ha riscontri pratici maggiori quando applicato nella determinazione dell'efficacia di azioni

d'attacco. Considerando i dati di posizionamento dei giocatori e altre statistiche di gioco, i modelli di apprendimento automatico simulano una grande quantità di situazioni, arrivando a determinare quale tattica e disposizione della squadra offrono probabilità di successo più alte. Gli operatori possono sfruttare queste indicazioni nelle scelte tattiche e di formazione. Studi futuri dovrebbero portare il focus anche sulla fase difensiva, finora tralasciata.

Le aree sulle quali ha avuto maggior impatto l'intelligenza artificiale sono, però, il riconoscimento di schemi/modelli e i sistemi di tracciamento. Queste funzionalità sono di profonda utilità nell'analisi della prestazione sportiva, soprattutto in sport di squadra nei quali si vedono scontrarsi due formazioni con atteggiamenti contrapposti (attacco – difesa). Sequenze di azioni possono essere analizzate con l'obiettivo di riconoscere modelli di movimento e interazioni tra giocatori che hanno portato ad un risultato specifico (successo o fallimento). Così facendo gli analisti sono aiutati nell'identificazione di determinate tattiche, schemi di movimento (individuali o di sottogruppi di giocatori) e modelli di coordinazione interpersonale.

Una tecnologia che supporta in maniera fondamentale il lavoro degli analisti sportivi sono gli *Automated Tracking Systems* (24). Le registrazioni video sono la principale fonte di informazioni nell'analisi degli incontri passati e negli ultimi anni sono moltiplicati i sistemi in grado di tracciare i movimenti dei giocatori e della sfera di gioco nei filmati. Questa funzionalità implica un impressionante risparmio di tempo da parte degli analisti sportivi, ai quali vengono forniti i dati temporali relativi ai soggetti in movimento ed una dettagliata caratterizzazione e analisi del comportamento degli atleti. L'utilità degli *Automated Tracking Systems* è dimostrata, per esempio, dall' algoritmo in grado di rilevare automaticamente le situazioni di mischia durante un match di rugby. L'efficienza degli operatori aumenta drasticamente dal momento che in precedenza erano chiamati ad utilizzare tecniche notazionali tradizionali che richiedono molto tempo (*time consuming*).

I sistemi di tracciamento trovano, inoltre, sempre più impiego nell'assistenza ai giudici di gioco determinando automaticamente, per esempio, si può osservare guardando un'attuale partita di calcio, quando il pallone oltrepassa la linea di porta o meno.

Bisogna comunque notare che all'interno della letteratura sono molto carenti gli studi che combinano i metodi di analisi tradizionali con quelli di *Deep Learning*. I lavori futuri dovrebbero interessarsi a questo riguardo, puntando a migliorare i sistemi di tracciamento abbinandoli alle capacità valutative degli analisti esperti. Inoltre, la ricerca dovrà mirare a

minimizzare gli elevati costi computazionali dei sistemi di tracciamento con l'aiuto di sofisticati metodi di processamento dati, rendendo così disponibili a tutti gli appassionati sportivi le nuove tecnologie.

## **2.2 AI e attività fisica**

Nel mondo sportivo l'utilizzo delle tecnologie d'Intelligenza Artificiale è, come abbiamo visto, ampiamente sdoganato e in costante sviluppo con ricerche che mirano a testare nuovi algoritmi e a rendere quelli già esistenti sempre più efficienti e i dati sempre più precisi e fedeli alla realtà. Tuttavia, si tratta quasi esclusivamente di sport professionistico, e tendenzialmente ai livelli più alti. Infatti, per essere supportati, i modelli e l'elevata quantità di dati trattati necessitano di tecnologie di supporto avanzate, e di conseguenza molto costose, che solo le società con ampie capacità di investimento sono in grado di permettersi. Il fatto che la maggioranza degli studi in questo campo e le loro applicazioni si riscontrino in ambito calcistico e nelle leghe professionistiche americane, globalmente riconosciute come le industrie sportive più facoltose, ne è sintomo evidente.

Nonostante ciò, l'Intelligenza Artificiale è uno strumento che offre moltissime opportunità anche al mondo dell'attività fisica, del quale - quasi - tutti possiamo far parte. Le forme, i modi e i livelli di intensità in cui è possibile praticarla sono molteplici e diversi. Essi includono l'esercizio di capacità motorie essenziali, il gioco attivo, le attività ricreative come passeggiare, danzare, fare escursionismo, andare in bicicletta, fare sport ed effettuare esercizi ben strutturati. L'attività fisica può essere svolta in tutta una serie di domini e contesti, nel "verde" e nel "blu" (paesaggi acquatici), a scuola e al lavoro, spostandosi da un luogo all'altro, a casa o nell'ambito di attività quotidiane come il giardinaggio o i lavori domestici.

Dovrebbe essere ormai pienamente riconosciuto che praticare attività fisica durante tutto il corso della vita è un presupposto fondamentale per preservare la salute mentale, mantenere il peso corporeo ottimale e l'organismo sano, allontanando le probabilità di insorgenza di malattie cardiovascolari, cancro e diabete, benefici ampiamente supportati da numerose revisioni sistematiche e meta-analisi. La *World Health Organization*, a tal proposito, ha stilato una lista di raccomandazioni all'interno della quale viene indicato l'impegno minimo e il tipo di attività fisica consigliato in base alla fascia di età. Così, per esempio, si può leggere che agli ultrasessantacinquenni viene consigliato di praticare settimanalmente da 150 a 300 minuti di moderata-intensa attività aerobica, oppure 75-150 minuti ad intensità

più elevate, o comunque una combinazione delle due, inserendo anche esercizi funzionali all'equilibrio e alle attività quotidiane per migliorare le proprie capacità funzionali e prevenire le cadute, sempre più a rischio con l'avanzare dell'età. Per quanto riguarda bambini e adolescenti (5-17 anni), invece, viene raccomandato un minimo di 60 minuti al giorno ad intensità moderata-intensa, principalmente di tipo aerobico ma inserendo anche attività di rinforzo muscolare e osseo. Continuando a scorrere questa lista, la WHO si rivolge anche alle donne incinta o in post-parto, persone affette da malattie croniche, bambini, adolescenti e adulti con disabilità, senza esentare nessuno dal bisogno di praticare attività fisica (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK566046/>).

Tuttavia, nonostante le evidenze scientifiche, una fetta sempre più grande della popolazione non rispetta queste raccomandazioni minime e ricade in un atteggiamento sedentario, esponendosi ai rischi precedentemente citati (25). È quindi fondamentale promuovere l'attività fisica, aumentandone la pratica e riducendo i comportamenti nocivi alla salute per ottenere l'ottimale benessere fisico e mentale.

Nel contesto degli interventi a favore di uno stile di vita attivo e sano, l'intelligenza artificiale racchiude il potenziale per rivoluzionare il modo in cui questi programmi vengono implementati e progettati.

### **2.2.1 I dispositivi indossabili**

Lo sviluppo e l'entrata in commercio dei dispositivi indossabili (*Wearable Devices*) ha dato un'enorme spinta all'integrazione di AI e Attività Fisica. Queste tecnologie, già citate precedentemente, contengono microprocessori e sensori, tipicamente le Unità di Misura Inerziale (IMU), ma possibilmente anche altre tipologie, e sono capaci di registrare informazioni e scambiarle attraverso diversi sistemi di rete (26).

Gli algoritmi ad apprendimento automatico, in quest'ambiente, si prestano molto efficientemente nella categorizzazione ed elaborazione dei dati raccolti, rendendo possibili svariate applicazioni dei dispositivi indossabili. Una delle più significative è in campo medico: rendono possibile il monitoraggio dello stato di salute di chi li indossa attraverso il costante rilevamento di frequenza cardiaca, pressione sanguigna, temperatura corporea, saturazione di ossigeno nel sangue etc. Ad esempio, il *Parkinson Smartwatch* registra continuamente l'andamento della malattia e rende disponibili i dati ovunque e in qualsiasi momento, grazie ai quali il dottore regola il dosaggio ideale dei farmaci (27).

Nel contesto del Fitness e dell'attività fisica, orologi e braccialetti intelligenti e altri dispositivi indossabili raccolgono le statistiche relative alla prestazione fisica e facilitano i *personal trainers* ad adattare i programmi di allenamento secondo le esigenze e sostengono gli amatori più intraprendenti a monitorare i propri progressi lungo le sessioni di allenamento indipendentemente.

I *wearable devices* nel Fitness possono supportare gli utenti nella loro attività, ma le loro misurazioni non sono sempre accurate. Ad esempio, Dooley e colleghi (28), nel 2017 hanno valutato e confrontato le prestazioni di tre orologi intelligenti chiamati *Fitbit Charge HR*, *Apple Watch* e *Garmin Forerunner 225*, in un esperimento che ha coinvolto 62 partecipanti tra i 18 e i 38 anni. I tre dispositivi sono stati usati per misurare la frequenza cardiaca e la spesa energetica dei partecipanti e la loro accuratezza è stata valutata nei limiti dell'accettabile.

Ciononostante, le capacità dei dispositivi indossabili sono indiscutibili e sono state ancor più messe in risalto dall'integrazione con l'Intelligenza Artificiale. Negli anni alcuni studi si sono proposti di strutturare sistemi complessi di monitoraggio della spesa energetica di un individuo, in modo da valutare se le raccomandazioni giornaliere venissero rispettate. Una decina di anni fa, Reiss & Stricker (29) hanno creato un modello per monitorare l'attività aerobica globale, con gli obiettivi di identificare le attività fisiche basiche e di stimarne l'intensità. Nel loro lavoro hanno analizzato i dati raccolti da un cardiofrequenzimetro e da tre accelerometri disposti sull'avambraccio, sul petto e sul piede; creato una banca dati contenente 14 diverse attività svolte da 8 soggetti diversi, incluse attività e posture base, sport e attività quotidiane; comparato i diversi algoritmi AI e studiato la catena di processamento dati. Per quanto riguarda il compito di stima dell'intensità (leggera – moderata – vigorosa), tra le diverse combinazioni di sensori valutate la più efficiente è risultata essere quella tra cardiofrequenzimetro e accelerometro sul petto. Mentre per ottenere una classificazione dell'attività discreta sono richiesti tutti i sensori utilizzati. Questi sistemi sono, tuttavia, complessi e dispendiosi, sia a livello tempistico che economico.

Oggi, gli sviluppi tecnologici e l'aumentata disponibilità dei collegamenti ad Internet, con dispositivi come smartphones e computers portatili, e "L'Internet delle cose", hanno reso possibile l'accesso dei dati registrati dai wearable devices direttamente al soggetto interessato attraverso applicazioni nel cellulare o indirizzi web. I modelli AI e ad apprendimento automatico, inoltre, sono in grado di elaborare in tempo reale le informazioni

e comunicare con l'utente, offrendo supporto nel monitoraggio degli allenamenti attraverso rappresentazioni grafiche e tabelle dati, ma anche fornendo consigli individualizzati e messaggi motivazionali personalizzati.

### **2.2.2 Interventi a favore dell'attività fisica assistiti dall'intelligenza artificiale**

Ricevere supporto personalizzato da professionisti della salute, come dietisti e fisiologi dell'esercizio fisico, è una delle modalità più efficaci per promuovere e incentivare al movimento, ad un consumo equilibrato e salutare di alimenti, all'abbandono di abitudini nocive alla salute e ad uno stile di vita sano in generale. Tuttavia, l'accesso a questa tipologia di supporto richiede necessariamente visite dirette in sito, con i relativi compromessi finanziari e tempistici che non tutti i pazienti sono in grado di sostenere. In questo modo numerose persone con cattive abitudini e soggetti affetti da malattie croniche o a rischio, potrebbero non beneficiare dell'aiuto di professionisti.

L'esistenza di vie alternative ed efficaci per fornire supporto a sempre più individui è stata dimostrata da diversi studi di revisione della letteratura; una di questa è lo sviluppo di assistenti virtuali guidati dall'Intelligenza Artificiale (30, 31). Attraverso la loro integrazione in piattaforme web di comunicazione e in app mobili, essi hanno una grande capacità di promuovere gli interventi a favore di una vita sana, con la possibilità di renderli più inclusivi ed accessibili anche a popolazioni che trovano barriere nei programmi tradizionali.

In questo contesto, è doveroso fare un accenno agli assistenti virtuali: le chatbot, o agenti conversazionali, sono programmi computazionali che, grazie a tecnologie di comprensione ed elaborazione del linguaggio naturale (*Natural Language Processing*, NLP), sono in grado di interagire efficacemente con gli utenti. Questi agenti possono essere inseriti in diverse piattaforme, come siti internet, applicazioni, programmi di messaggistica o altri social media, per raggiungere e gestire facilmente e convenientemente un largo numero di persone. Applicando loro gli algoritmi ad apprendimento automatico, gli assistenti virtuali forniscono riscontri e raccomandazioni personalizzate sulla base dei dati specifici individuali raccolti tramite i dispositivi indossabili e smartphones.

Gli allenatori virtuali basati sulle *chatbot* e AI sono, per le loro sue capacità elaborative e comunicative intrinseche, rappresentano potenzialmente una strada innovativa per ottenere maggiori livelli di partecipazione all'attività fisica e ad uno stile di vita sano.

Diversi studi clinici controllati randomizzati (*Randomized Controlled Trial*, RCT) sono stati intrapresi per dare evidenze scientifiche nella valutazione della fattibilità e dell'efficacia di alcuni interventi a favore dell'attività fisica basati sull'utilizzo delle *chatbot*:

- (32) Randomized trial of two artificial intelligence coaching interventions to increase physical activity in cancer survivors. Hassoon et al. 2021
- (33) Effect of an Artificial Intelligence–Based Self-Management App on Musculoskeletal Health in Patients With Neck and/or Low Back Pain Referred to Specialist Care A Randomized Clinical Trial. Marcuzzi et al. 2023
- (34) Effects of an Artificial Intelligence–Assisted Health Program on Workers With Neck/Shoulder Pain/Stiffness and Low Back Pain: Randomized Controlled Trial. Anan et al. 2021
- (35) A Smartphone Healthcare Application, CALO mama Plus, to Promote Weight Loss: A Randomized Controlled Trial. Nakata et al. 2022
- (36) App-technology to increase physical activity among patients with diabetes type 2 - the DiaCert-study, a randomized controlled trial. Bonn et al. 2018
- (37) Dietary habits after a physical activity mHealth intervention: a randomized controlled trial. Sjöblom et al., 2023

Tra gli interventi presi in considerazione, l'obiettivo di entrambi gli allenatori virtuali in (33) e (34) è quello di fornire a soggetti maggiorenni aventi cervicalgia e/o lombalgia il supporto necessario nell'autogestione di queste condizioni.

La popolazione di (32) è costituita da ex pazienti oncologici in sovrappeso od obesi; lo studio (35) è focalizzato su adulti giapponesi con obesità o in sovrappeso; soggetti maggiorenni affetti da diabete di tipo due compongono, infine, la popolazione di (36). Tutti e tre gli interventi mirano ad aumentare i livelli di attività fisica tra i partecipanti.

Negli studi (34), (35) e (36), i partecipanti sono stati divisi in gruppi di controllo, nei quali hanno proseguito con la propria terapia usuale, e gruppi d'intervento ai quali è stato applicato il relativo programma basato sull'intelligenza artificiale.

Anche nello studio (33) il gruppo di controllo ha continuato la terapia usuale ma, a differenza degli altri studi, i partecipanti rimanenti sono stati divisi in due ulteriori gruppi, denominati

*eHelp group* e *App group*: al loro interno le cure usuali sono supportate, rispettivamente, da indicazioni generali non specifiche per l'autogestione di lombalgia e cervicgia fornite tramite sito *web* (gruppo *eHelp*) e da esercizi e suggerimenti personalizzati con lo stesso obiettivo, somministrati tramite un'applicazione *smartphone* totalmente automatizzata (gruppo *App*). Diversamente, in (32), Hassoon et al. hanno messo a confronto due interventi automatizzati e personalizzati basati sull'AI e *chatbot*, dei quali uno comunica attraverso assistente vocale (*MyCoach*) e l'altro attraverso la generazione di messaggi scritti (*SmartText*), e il gruppo di controllo nel quale è stato semplicemente messo a disposizione del materiale educativo riguardo l'attività fisica.

In generale, in tutti e cinque gli studi, gli agenti virtuali somministrano esercizi specifici, ricompense, messaggi motivazionali e consigli personalizzati generati dagli algoritmi ad apprendimento automatico sulla base dei dati individuali. Quest'ultimi sono in continuo aggiornamento grazie alle informazioni fornite dal singolo paziente attraverso l'interazione con l'allenatore virtuale. In (33), oltre a queste informazioni, è integrato il monitoraggio giornaliero del numero di passi, registrato grazie alla funzione di accelerometro offerta dai moderni cellulari. Negli studi (32), (35) e (36) sono coinvolti dispositivi indossabili, connessi alle rispettive applicazioni e i cui dati inerenti all'attività fisica ne completano le banche dati. Infine, esclusivamente l'applicazione *CALO mama Plus*, utilizzata nello studio (35), monitora e richiede l'inserimento anche di informazioni relative alla dieta. È opportuno segnalare che l'efficienza dell'assistente virtuale *CALO mama* nel migliorare la qualità della dieta è già stata testata da Sato et al. in uno studio longitudinale intrapreso durante la pandemia di Covid-19 (38). Nakata e colleghi valutano la capacità della versione aggiornata di questo assistente virtuale nel ridurre il peso corporeo del soggetto.

Il risultato primario considerato da Nakata et al. (35) è, infatti, la variazione del peso corporeo dopo tre mesi. Ai pazienti è richiesto anche di rispondere ad una serie di questionari e di effettuare esami del sangue per valutarne parametri specifici.

L'efficacia dei programmi considerati in (33) e (34) è stata valutata in relazione alle risposte dei pazienti a diversi questionari: Marcuzzi et al. (33) hanno utilizzato come prima fonte il questionario di salute muscoloscheletrica (MSK-HQ; 39), somministrato all'inizio dello studio, dopo tre mesi e dopo sei mesi; Anan et al. (34), invece, una serie di autovalutazioni del dolore percepito in scala da 1 a 5 sottoposte all'inizio e in seguito a dodici settimane d'intervento.



Hassoon et al. (32) considerano come risultato primario la variazione di passi giornalieri a quattro settimane dall'inizio dell'intervento.

Bonn et al. (36), infine, si affidano in primis ad un accelerometro triassiale e ai dati oggettivi inerenti all'attività fisica da esso misurati. Il dispositivo indossabile viene consegnato a tre, a sei e a dodici mesi dall'inizio dell'intervento, e il suo utilizzo è richiesto per sette giorni consecutivi ad ogni partecipante. Ad essi è richiesto, a questi intervalli, anche di effettuare dei prelievi del sangue per collezionare parametri specifici della loro condizione di diabetici e di rispondere ad alcuni questionari.

Quasi tutti gli autori sono arrivati a valutare positivamente i programmi basati sull'AI da loro considerati. Hassoon et al. (32) hanno constatato che in entrambi i gruppi d'intervento i livelli di attività fisica sono aumentati, particolarmente nel gruppo *MyCoach* piuttosto che nel gruppo *SmartText*, all'interno del quale il cambiamento non differisce molto da quello del gruppo di controllo e va diminuendo nel corso delle settimane. I componenti del primo gruppo, invece, hanno mantenuto e aumentato importanti livelli di attività fisica lungo tutto il periodo di studio. Lo studio di Hassoon e colleghi dimostra che, all'interno dell'ambiente domestico, l'interazione vocale con l'assistente, rispetto a quella basata sullo scambio di messaggi scritti, è potenzialmente più efficace dal momento che non è richiesto l'utilizzo delle mani. L'approfondimento di interventi a favore dell'attività fisica attraverso questa tecnologia, favorita anche dalla diffusione sempre maggiore degli assistenti vocali (ad esempio, l'altoparlante intelligente *Amazon Echo*), è una direzione interessante per gli sviluppatori. Un altro dei motivi della maggior efficacia del programma *MyCoach* può essere la sua flessibilità nel comunicare con il soggetto, essendo il rapporto bidirezionale e dipendente quindi anche dal desiderio del partecipante stesso di ricevere consigli. Ciò dimostra che le tecnologie che consentono all'utente di decidere quando e come interagire con l'agente possono avere maggiori possibilità di raggiungere il proprio obiettivo.

In (34), i soggetti del gruppo d'intervento hanno, al termine delle 12 settimane di studio, riscontrato risultati positivi nella percezione soggettiva del dolore e miglioramenti nell'evoluzione della propria condizione. L'agente virtuale è in grado quotidianamente di fornire al paziente l'assistenza necessaria nel continuare la propria routine di esercizi, evitando quindi la richiesta di contatti diretti e frequenti con specialisti. Tuttavia, c'è il rischio concreto che il coinvolgimento e l'aderenza al programma scemino col tempo, andando a compromettere i risultati nonostante la possibile efficacia dell'applicazione. Questo può

essere uno dei motivi per cui Marcuzzi et al. (33) non hanno riscontrato differenze significative all'interno dei gruppi del proprio studio, la cui popolazione coincide con quella di (34). I componenti del gruppo *eHelp* e del gruppo *App*, infatti, non dimostrano salute muscoloscheletrica migliore rispetto a quella del gruppo controllo.

L'efficacia dell'applicazione *Calo mama Plus*, studiata da Nakata et al. in (35), è dimostrata dal cambiamento, in positivo, del peso corporeo degli utenti nel gruppo d'intervento rispetto a quelli del gruppo di controllo. Ciononostante, non sono state riscontrate differenze significative nell'apporto calorico e nei livelli di attività fisica. Il motivo può essere ricercato nella poca affidabilità dei resoconti autoriferiti di apporto energetico, spesso sottostimato. In questo studio, inoltre, il personale tecnico ha monitorato la frequenza d'inserimento dati per incentivare e migliorare l'aderenza al programma del gruppo d'intervento.

I dati inerenti all'attività fisica dello studio (36) non sono ancora stati pubblicati. Tuttavia, il medesimo Istituto ha effettuato nel 2023 un altro tipo di valutazione dell'intervento presentato da Bonn e colleghi (Sjöblom et al., 37). Infatti, nonostante ricerche precedenti abbiano riscontrato un'associazione positiva tra attività fisica e abitudini alimentari, non è ancora stabilito se queste ultime cambino come effetto di un'intervento a favore dell'attività fisica tra pazienti con diabete di tipo 2. Sottoponendo i partecipanti a due questionari riguardanti il consumo di alimenti, all'inizio intervento e in seguito a tre mesi, gli autori hanno voluto valutare l'effetto indiretto che ha l'attività fisica verso la dieta e hanno concluso che essa può migliorare il consumo totale di frutta e verdura tra le donne, almeno nel breve periodo. Dal momento che questo effetto non è stato riscontrato tra gli uomini, i risultati suggeriscono che potrebbero esserci differenze di sesso nei termini dell'effetto transfer (il fenomeno per il quale un intervento mirato ad un comportamento salutare facilita le modificazioni di altri atteggiamenti).

### 2.3 Discussione della letteratura considerata

La revisione di studi clinici controllati e randomizzati, rivolti all'analisi dell'utilizzo di assistenti virtuali basati sull'Intelligenza Artificiale con lo scopo di promuovere l'attività fisica, suggerisce diverse conclusioni. Innanzitutto, è provato che queste tecnologie abbiano il potenziale di indurre modifiche positive e portare efficacemente ad uno stile di vita attivo. Esse hanno anche la capacità di affiancare e sostenere il personale sanitario nella gestione e monitoraggio del percorso di cura del paziente. Quest'ultimo, a sua volta, si sente seguito e supervisionato durante la giornata, nonostante non vengano impiegate risorse umane. Ciò può essere utile sia a lavoratori molto impegnati ai quali gli appuntamenti con specialisti risultano complicati, sia agli specialisti stessi per alleggerire il proprio carico di lavoro e poter investire le loro capacità in interventi in cui è richiesto direttamente contatto umano. Al paziente, inoltre, è possibile accedere all'assistente virtuale in qualsiasi momento e luogo grazie ai moderni cellulari.

La forza degli assistenti virtuali nel modificare comportamenti ed abitudini risiede soprattutto nella capacità di offrire risposte fluente ed interazioni simili a quelle umane. Le apparenti abilità di percepire e capire le emozioni umane possono aiutare gli utenti a sentirsi a proprio agio e a condividere informazioni personali con le *chatbot* (40). Tuttavia, essi non sono effettivamente in grado di empatizzare con l'utente e di comprenderne completamente il contesto e la situazione. Un rischio reale, come sottolineato del giornalista Stokel-Walker, è dato dall'eccessiva rappresentazione antropomorfizzata dell'AI nella letteratura scientifica. Un'analisi dei testi accademici (41) ha individuato come all'AI vengano sempre più attribuite qualità umane e come ci si riferisca ad essa con pronomi umani. All'interno dei servizi d'informazione questi meccanismi accadono in misura ancora maggiore. Tutto ciò implica una possibile sopravvalutazione del potenziale attuale delle nuove tecnologie da parte del pubblico, andando ad influenzare anche la loro gestione e regolazione.

Gli utenti, inoltre, spinti ad assumere di interagire con un essere umano, sono portati a condividere con gli assistenti virtuali informazioni sensibili che gli stessi spesso non riescono a gestire efficacemente. L'esposizione dei dati personali può avvenire a causa di sistemi di sicurezza non adatti, attraverso la condivisione con terze parti o eventi di hackeraggio. In questo contesto sono assolutamente necessarie tecniche di salvaguardia più avanzate rispetto a quelle attuali. I nuovi servizi tecnologici, ad esempio, dovrebbero avere regolazioni e principi trasparenti per tutelare la *privacy* degli utenti, preferibilmente lasciando al singolo

le decisioni riguardo la gestione delle proprie informazioni.

La questione della *privacy* è di fondamentale importanza e al centro dei principali dibattiti che stanno avendo luogo attorno all'Intelligenza Artificiale. La raccolta e l'elaborazione massiccia di grandi quantità di dati solleva numerose implicazioni, ancora maggiori nell'ambito degli assistenti virtuali data la loro diretta interazione con gli utenti. L'accesso indiscriminato e l'uso improprio dei dati possono innanzitutto minare la fiducia dei cittadini nelle nuove tecnologie. Solo attraverso un equilibrio ponderato tra innovazione e rispetto della *privacy* è possibile garantire che queste tecnologie contribuiscano positivamente alla società. A questo scopo è cruciale investire nella ricerca di metodologie avanzate di anonimizzazione e protezione dei dati, garantendo che le informazioni personali siano trattate con la massima sicurezza possibile. La collaborazione tra settore pubblico e privato è essenziale per sviluppare standard globali che tutelino la *privacy* in ogni ambito dell'intelligenza artificiale.

Come dimostrato dagli studi considerati, l'integrazione degli assistenti virtuali è realizzabile in diverse piattaforme internet e dispositivi digitali. Ad esempio, gli esercizi e i consigli dell'allenatore virtuale di (34) sono comunicati attraverso l'applicazione giapponese di messaggistica mobile *LINE* (<https://line.me/en/>); il gruppo d'intervento *MyCoach* di (32) riceve le indicazioni attraverso l'altoparlante intelligente di Amazon; il gruppo d'intervento di (35), invece, attraverso l'applicazione creata appositamente dagli sviluppatori. Ciò comporta l'esistenza di diverse vie di sviluppo da esplorare. Tuttavia, possono presentarsi potenziali ostacoli qualora le piattaforme di comunicazione vengano aggiornate e l'utente sia inabilitato ad accedervi, o nel caso la *chatbot* stessa presenti limitazioni nella sua funzionalità (ad esempio non è in grado di rispondere a determinate domande).

Nonostante la fattibilità in grande scala degli interventi assistiti dalle nuove tecnologie sembri essere possibile, è assolutamente necessario approfondire la loro realizzabilità attraverso studi più ampi e generalizzati. L'utilizzo dell'Intelligenza Artificiale e delle *chatbot* come allenatori virtuali, infatti, è una possibilità nata recentemente e gli studi presi in considerazione rappresentano alcuni dei primi tentativi di valutarne l'efficacia. Per questo motivo le loro caratteristiche presentano numerose limitazioni.

In primo luogo, è necessario che gli esperimenti futuri coinvolgano un numero di partecipanti maggiore, seguiti e monitorati per periodi molto più lunghi. Le popolazioni e la durata degli studi sopra citati, infatti, sono troppo ristrette. Essi si concentrano su risultati intermedi e a

breve termine senza affrontare completamente l'adozione a lungo termine di abitudini di vita attiva. Analisi dei risultati ottenuti successivamente 12 mesi dall'inizio dell'intervento e oltre, degli studi presi in considerazione e di quelli futuri, sono richieste per valutarne l'efficacia a lungo termine. I campioni delle prossime indagini, inoltre, dovranno essere più eterogenei: gli strumenti digitali, così come possono allargare la disponibilità dei servizi di cura, possono anche esacerbare le disparità già esistenti, soprattutto nei confronti di individui con difficoltà ad utilizzare o accedere alle nuove tecnologie. Allargando il numero e le caratteristiche dei partecipanti e aumentando il periodo degli studi futuri, quindi, sarà possibile analizzare gli effetti delle tecnologie emergenti nel corso del tempo e generalizzarne i risultati in sicurezza. Tuttavia, mantenere un controllo dell'effettivo utilizzo e adozione delle *chatbot*, e di conseguenza sull'efficacia dell'intervento, può essere complesso. Differenze nella frequenza di interazione, nella comprensione delle istruzioni o nelle preferenze di utilizzo possono influenzare l'efficacia complessiva dell'intervento. Una soluzione può essere l'utilizzo di strumenti di monitoraggio, come analisi degli accessi e dati di utilizzo, per valutare la consistenza nell'interazione con l'allenatore virtuale.

È importante, inoltre, raccogliere opinioni e considerazioni dagli utenti per identificare eventuali problemi o frustrazioni legate all'utilizzo di queste nuove tecnologie e "aggiustare" gli sviluppi futuri su di essi. Tale "design partecipativo" di sviluppo è fondamentale per tutelare i valori e l'autonomia degli utenti finali. Gli sviluppatori e la comunità scientifica, infatti, sono tenuti a considerare anche il possibile impatto che gli algoritmi autonomi e di apprendimento potranno avere sull'autodeterminazione del singolo. La letteratura sottolinea il rischio che le scelte degli utenti vengano eccessivamente influenzate dai sistemi AI andando così ad ostacolare la capacità decisionale e l'autonomia umana (42). Un accorgimento che può aiutare a superare questa difficoltà è una maggiore trasparenza relativa ai processi decisionali con cui determinate decisioni sono delegate agli algoritmi, coinvolgendo tutte le parti interessate (sviluppatori e utenti). La condivisione con il pubblico di informazioni sulle nuove tecnologie e un'adeguata educazione riguardo la natura, l'utilizzo e gli sviluppi dell'AI, sono altrettanto fondamentali per garantire l'ottenimento ottimale e in sicurezza dei benefici che queste tecnologie offrono. Fornendo conoscenza e chiarezza, inoltre, l'accettazione sociale degli interventi automatizzati può beneficiarne e la loro diffusione tra il pubblico può essere supportata da una maggiore comprensione dei meccanismi alla base di essi.

Tornando agli studi clinici recenti, un'ulteriore difficoltà è data dalla definizione degli strumenti e delle misure ottimali che riflettano l'efficacia dell'intervento. Un approccio per affrontare questa sfida può essere l'utilizzo di una combinazione di misure oggettive, autovalutazione degli utenti e indicatori di salute per ottenere una visione completa dell'effetto delle *chatbot*. In quest'ottica merita ulteriore approfondimento l'integrazione dei dispositivi indossabili ai programmi di promozione di attività fisica. Degli studi presi in considerazione, infatti, solo tre presentano questa innovazione, e di quest'ultimi solo uno in maniera continuativa. Pianificare applicazioni e interventi che presentino il monitoraggio dei dati in tempo reale attraverso *wearable devices* è di fondamentale importanza per raccogliere dati che rappresentino adeguatamente l'evoluzione dei parametri considerati ed elaborare conclusioni ad elevato livello di affidabilità.

Infine, è doveroso considerare che gli studi clinici sono comunemente caratterizzati dall'effetto Hawthorne. Con quest'ultimo si indica l'insieme delle variazioni di un fenomeno, o di un comportamento, che si verificano per effetto della presenza di osservatori, ma che non durano nel tempo. In particolare, a causa dell'effetto Placebo i sintomi dei pazienti migliorano a causa della loro consapevolezza di ricevere il trattamento, anche se questo non è efficace. Nella valutazione degli studi tecnologici futuri sarà necessario adottare qualche accorgimento per limitare l'influenza di questi effetti, come misurazioni oggettive, gruppi di controllo attivi e interventi miscelati.

## CONCLUSIONI

Nel periodo storico attuale le fonti di produzione dati si sono moltiplicate e l'insieme di dati disponibili è sempre più vasto ed eterogeneo. Sensori e dispositivi indossabili, dati satellitari, telefonici, finanziari e via dicendo, raccolgono una quantità di informazioni estremamente elevata e varia. I metodi tradizionali di gestione e analisi statistica non riescono a sostenere ed effettuare elaborazioni su questo complesso mondo di dati in costante evoluzione. Le scoperte e i progressi scientifici del ventesimo secolo hanno consegnato alla comunità scientifica strumenti tecnologici innovativi in grado di trattare l'insieme eterogeneo di dati rappresentato con il termine *Big Data*. Grazie all'Intelligenza Artificiale e i metodi di apprendimento automatico, dal potenziale in continuo divenire, è possibile ricavare dai *Big Data* nuove tipologie d'informazione, come correlazioni tra dati, tendenze, schemi ed ulteriori indici statistici. L'applicazione della moderna Intelligenza Artificiale è riscontrabile nei più svariati ambiti, dal *marketing* alla produzione industriale, dalla finanza all'assistenza sanitaria, e offre nuove opportunità ad ognuno di essi.

All'interno del mondo sportivo, i metodi di apprendimento automatico hanno la possibilità di analizzare contemporaneamente una serie molto vasta e diversificata di dati fisici, spaziali e temporali raccolti attraverso i sensori. Le tecniche di Intelligenza Artificiale, così facendo, ricavano nuove informazioni estremamente utili ai professionisti dello sport. Attraverso l'elaborazione di parametri biomeccanici e fisiologici è possibile ottimizzare la prestazione atletica individuale, ottenendo indicazioni sul controllo del carico di lavoro e sulla gestione e prevenzione degli infortuni. L'analisi della prestazione atletica di squadra beneficia particolarmente della capacità del *Machine Learning* di identificare schemi e tattiche vincenti dai dati di posizionamento dei giocatori. I sistemi automatizzati di tracciamento, inoltre, supportano i giudici di gara a prendere determinate decisioni, ma sono implementati anche sulle telecamere per riprendere senza necessità di un operatore e automatizzare le regie televisive.

È comunque importante sottolineare che, per garantire agli atleti suggerimenti fondati e il supporto opportuno, gli scienziati sportivi devono essere formati e informati e capire come ottenere, processare, "pulire" e interpretare adeguatamente i dati, senza fare esclusivamente affidamento ai modelli computazionali. Avere più dati, infatti, non significa necessariamente avere a disposizione più qualità. A tal proposito, Adjerid e Kelley (43) hanno sottolineato la necessità di effettuare misurazioni di alto livello per poter intraprendere

lavori scientifici validi; a questo scopo sono richieste nuove tipologie di sensori più sofisticati e precisi dei quali è fondamentale lo sviluppo tecnologico in corso.

Attraverso l'intelligenza artificiale il lavoro dei professionisti dello sport è reso più efficiente, grazie alle capacità elaborative degli algoritmi, e più efficace a livello di risultati, grazie a nuovi punti di vista che precedentemente era difficile o impossibile ottenere.

La relazione tra Intelligenza Artificiale e Sport, tuttavia, non è esclusivamente unidirezionale. Un interessante articolo uscito sulla rivista Nature nel 2021 (44) fa notare come l'intelligenza umana si sia evoluta soprattutto attraverso la collaborazione tra individui. Allo stesso modo, quindi, per sviluppare una Intelligenza Artificiale globale e in grado di aiutare socialmente tutta la popolazione è necessario che la comunità scientifica studi ed impari da altri ambiti alla cui base sono situati i rapporti interpersonali. Uno di questi è sicuramente rappresentato dallo sport, la cui natura competitiva e cooperativa allo stesso tempo, basata su regole e comportamenti specifici, può offrire all'AI il terreno ideale per crescere nella giusta direzione. Lo sport, in questo modo, ha la possibilità di diventare sia il soggetto che il beneficiario delle ricerche scientifiche.

Gli algoritmi intelligenti hanno anche il potenziale di affiancare il personale sanitario nella lotta alla sedentarietà e ad altri stili di vita nocivi alla salute. Attraverso lo sviluppo di applicazioni e programmi basati sull'AI, infatti, è resa possibile la somministrazione automatizzata di interventi personalizzati a favore dell'attività fisica. I modelli ad apprendimento automatico gestiscono ed elaborano le informazioni personali fornite dagli utenti e i loro dati relativi all'esercizio motorio. Gli assistenti virtuali comunicano attraverso differenti piattaforme i programmi di allenamento e i consigli individualizzati, fornendo anche messaggi motivazionali e affiancando l'utente nel proprio percorso di cura. L'efficienza degli allenatori virtuali può ricevere una spinta grazie all'integrazione di dispositivi indossabili per il monitoraggio di parametri fisici. Lo studio clinico di questa tipologia di interventi è stato recentemente affrontato dalla letteratura scientifica. La loro fattibilità ed efficacia sono state dimostrate attraverso studi clinici controllati e randomizzati che presentano tuttavia alcuni limiti. È infatti assolutamente necessario che popolazione e durata degli studi vengano allargate e che strumenti e misure di valutazione ottimale vengano meglio definiti per procedere alla somministrazione su vasta scala di interventi personalizzati basati sull'Intelligenza Artificiale.

Per concludere, è importante sottolineare che per poter cogliere in pieno i vantaggi che



l'adozione dell'AI può portare anche in ambito sportivo e dell'attività fisica è necessaria una approfondita conoscenza dei suoi meccanismi da parte di tutti i suoi possibili fruitori, i quali devono essere educati a riguardo. L'istruzione e la formazione sono fondamentali per garantire che l'intelligenza artificiale sia sviluppata, utilizzata e gestita in modo etico, sicuro e rispettoso dei diritti umani. Investire nella formazione delle persone è essenziale per sfruttare appieno il potenziale dell'intelligenza artificiale e per preparare i cittadini alle sfide e alle opportunità che essa comporta (45). Senza l'adeguata educazione c'è il possibile rischio che le attuali capacità dell'AI vengano sopravvalutate e gli utenti facciano eccessivo affidamento ad essa, arrivando a "spegnere" il proprio pensiero critico. Ciò può avvenire sia tra gli atleti di alto livello negli sport professionistici sia tra gli individui che si avvicinano all'attività fisica grazie alle applicazioni smartphone.

Inoltre, se in alcuni campi le capacità analitiche dell'AI potrebbero totalmente rimpiazzare il lavoro umano e offrire risultati probabilmente irraggiungibili senza il supporto degli algoritmi, rivolgere l'attenzione esclusivamente all'analisi avanzata in ambito sportivo e dell'esercizio fisico è insufficiente (46). A questa tesi dà valore l'esempio del Liverpool FC. La sua squadra di *data analyst* è stata una delle prime ad integrare nel proprio lavoro l'Intelligenza Artificiale, affidandosi alle tecniche ad apprendimento automatico per elaborare l'insieme di dati a loro disposizione. Il supporto da loro offerto, tuttavia, si è concretizzato in un vantaggio competitivo effettivo solo in seguito all'arrivo del tecnico tedesco Klopp, il quale ha combinato le intuizioni dettate dai dati e dall'AI con le sue competenze ed abilità umane, come l'intelligenza emozionale e sociale (47).

Solo abbinando il potere analitico degli algoritmi intelligenti alle caratteristiche uniche dell'intelligenza umana è realmente possibile ottenere i vantaggi che l'intelligenza artificiale offre. Un corpo fisico come quello umano, inoltre, ricostruisce la realtà che lo circonda anche grazie ai suoi organi, compresi quelli di senso, che fungono da interfaccia tra il corpo stesso e il mondo esterno. Ammesso e non concesso quindi che la coscienza sia "embodied", vale a dire incarnata nel corpo stesso e non solo un prodotto del lavoro encefalico, un computer o un robot non potranno mai completamente sostituire l'uomo. Oltretutto, la logica del cervello umano è analogica, mentre quella dell'AI è digitale. Sono due mondi diversi. Esistono funzioni come la comprensione del contesto, delle emozioni e dei rapporti interpersonali (di fondamentale importanza nell'ambito delle scienze motorie), che risulteranno impraticabili all'AI.

Ci sono alcune abilità, come per esempio l'empatia, l'intelligenza emozionale, le abilità offerte dagli organi di senso, la collaborazione, nelle quali l'intelligenza umana è superiore e gli umani saranno sempre in vantaggio. A meno che non vengano costruiti in futuro dei robot dotati di un corpo biologico che ricalchi quello umano.

## BIBLIOGRAFIA

1. High-Level Expert Group on Artificial Intelligence, (2019), Una definizione di IA: principali capacità e discipline scientifiche. European Commission. [https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc\\_id=60430](https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=60430)
2. Viviani, F., (2018), Nuove frontiere della ricerca, è questione di dati. Il Bò. <https://ilbolive.unipd.it/it/nuove-frontiere-ricerca-e-questione-dati>
3. Crawford, K., (2024), Generative AI's environmental costs are soaring — and mostly secret. *Nature* 626, 693
4. Desjardins, J., (2019), "How much data is generated in a day?", World Economic Forum, [www.weforum.org/agenda/2019/04/how-muchdata-is-generated-each-day-cf4bddf29f](http://www.weforum.org/agenda/2019/04/how-muchdata-is-generated-each-day-cf4bddf29f)
5. Floridi, L., (2022), Etica dell'intelligenza artificiale. Sviluppi, opportunità, sfide. Raffaello Cortina Editore
6. Ashley, K. (2020), Sensors. In: Applied Machine Learning for Health and Fitness. Apress, Berkeley, CA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5772-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5772-2_5)
7. Farrokhi, A., et al., (2021), "Application of Internet of Things and artificial intelligence for smart fitness: A survey." *Computer Networks* 189
8. Mansour, M., et al., (2023), "Estimation of lower limb joint moments based on the inverse dynamics approach: a comparison of machine learning algorithms for rapid estimation." *Medical & Biological Engineering & Computing* 61.12
9. Mundt, M., et al., (2021), "A comparison of three neural network approaches for estimating joint angles and moments from inertial measurement units." *Sensors* 21.13
10. Shivalila, A. H., et al., (2021), "Smart Gait Detection System With IoT and Machine Learning." *2021 International Conference on Design Innovations for 3Cs Compute Communicate Control (ICDI3C) IEEE*
11. Harris, E. J., I-Hung K. and Emel D., (2022), "A survey of human gait-based artificial intelligence applications." *Frontiers in Robotics and AI* 8

12. Onodera, A. N., et al., (2017), "Immediate effects of EVA midsole resilience and upper shoe structure on running biomechanics: a machine learning approach." *PeerJ* 5
13. Hassan, M., et al., (2017), "Footstriker: An EMS-based foot strike assistant for running." *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies* 1.1: 1-18
14. Taborri, J., et al., (2021), "A machine-learning approach to measure the anterior cruciate ligament injury risk in female basketball players." *Sensors* 21.9
15. Wei, S., et al., (2021), "Exploring the application of artificial intelligence in sports training: a case study approach." *Complexity* 2021
16. Guelmami N., Fekih-Romdhane F., Mechraoui O., Bragazzi, N.L., (2023), *Injury Prevention, Optimized Training and Rehabilitation: How Is AI Reshaping the Field of Sports Medicine*. N Asian J Med
17. Seshadri, D. R., Thom, M. L., Harlow, E. R., Gabbett, T. J., Geletka, B. J., Hsu, J. J., Drummond, C.K., Phelan, D. M. and Voos, J. E., (2021), *Wearable Technology and Analytics as a Complementary Toolkit to Optimize Workload and to Reduce Injury Burden*. *Front. Sports Act. Living* 2
18. Eliakim, E., et al., (2020), "Estimation of injury costs: Financial damage of English Premier League teams' underachievement due to injuries." *BMJ Open Sport & Exercise Medicine* 6.1
19. Rommers, N., et al., (2020) "Risk of acute and overuse injuries in youth elite soccer players: body size and growth matter." *Journal of science and medicine in sport* 23.3: 246-251
20. Rossi A, Pappalardo L, Cintia P, Iaia FM, Fernández J, Medina D., (2018), Effective injury forecasting in soccer with GPS training data and machine learning. *PLoS ONE*
21. Piłka, T., Grzelak, B., Sadurska, A., Górecki, T., Dyczkowski, K., (2023), Predicting Injuries in Football Based on Data Collected from GPS-Based Wearable Sensors. *Sensors* 2023
22. Rico-González M., et al., (2023), Machine learning application in soccer: a systematic

review. *Biol Sport*. 2023;40(1):249–263

23. Araújo, Duarte, et al., (2021), Artificial intelligence in sport performance analysis. Routledge
24. Rahimian, P., and 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
25. Kohl, H. et al., (2012), The pandemic of physical inactivity: global action for public health. *Lancet* 380, 294–305
26. Nahavandi, D., et al., (2022), "Application of artificial intelligence in wearable devices: Opportunities and challenges." *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 213
27. Sharma, V., et al., (2014), "SPARK: personalized parkinson disease interventions through synergy between a smartphone and a smartwatch." *Design, User Experience, and Usability. User Experience Design for Everyday Life Applications and Services: Third International Conference, DUXU 2014, Held as Part of HCI International 2014, Heraklion, Crete, Greece, June 22-27, 2014, Proceedings, Part III* 3. Springer International Publishing
28. Dooley, E., Golaszewski, N. M. and Bartholomew, J. B., (2017), "Estimating accuracy at exercise intensities: a comparative study of self-monitoring heart rate and physical activity wearable devices." *JMIR mHealth and uHealth* 5.3
29. Reiss, A., Stricker, D., (2014), "Aerobic activity monitoring: towards a long-term approach." *Universal Access in the Information Society* 13 (2014): 101-114.
30. Aggarwal, A., et al., (2023), "Artificial Intelligence–Based Chatbots for Promoting Health Behavioral Changes: Systematic Review." *Journal of Medical Internet Research* 25
31. Singh, B., et al., (2023), "Systematic review and meta-analysis of the effectiveness of chatbots on lifestyle behaviours." *npj Digital Medicine* 6.1
32. Hassoon, A., et al., (2021), "Randomized trial of two artificial intelligence coaching

- interventions to increase physical activity in cancer survivors." *npj Digital Medicine* 4.1
33. Marcuzzi, A., et al., (2023), "Effect of an Artificial Intelligence–Based Self-Management App on Musculoskeletal Health in Patients With Neck and/or Low Back Pain Referred to Specialist Care: A Randomized Clinical Trial." *JAMA Network Open* 6.6
34. Anan, T., et al., (2021), "Effects of an artificial intelligence–assisted health program on workers with neck/shoulder pain/stiffness and low back pain: randomized controlled trial." *JMIR mHealth and uHealth* 9.9
35. Nakata, Y., et al., (2022), "A Smartphone Healthcare Application, CALO mama Plus, to Promote Weight Loss: A Randomized Controlled Trial." *Nutrients* 14.21
36. Bonn, S. E., et al., (2018), "App-technology to increase physical activity among patients with diabetes type 2-the DiaCert-study, a randomized controlled trial." *BMC Public Health* 18: 1-7.
37. Sjöblom, Linnea, et al., (2023), "Dietary habits after a physical activity mHealth intervention: a randomized controlled trial." *BMC nutrition* 9.1
38. Sato K., et al., (2021), "Working from home and dietary changes during the COVID-19 pandemic: A longitudinal study of health app (CALO mama) users." *Appetite* 165
39. Tingulstad, A., et al., (2021), "Validity and reliability of the Norwegian version of the Musculoskeletal Health Questionnaire in people on sick leave." *Health and Quality of Life Outcomes* 19.1
40. Shin, D., (2021), "The effects of explainability and causability on perception, trust, and acceptance: Implications for explainable AI." *International Journal of Human-Computer Studies* 146
41. Cheng, M., et al., (2024), "AnthroScore: A Computational Linguistic Measure of Anthropomorphism." *arXiv preprint arXiv:2402.02056*
42. Guang-Zhong, Y., et al., (2018), "The grand challenges of science robotics." *Science robotics* 3.14

43. Adjerid, I., and Kelley, K., (2018), "Big data in psychology: A framework for research advancement." *American Psychologist* 73.7
44. Dafoe, A. et al., (2021), "Cooperative AI: machines must learn to find common ground." *Nature* 593.7857: 33-36
45. Pedone, A., (2024), "Formare i lavoratori all'IA: perché serve un approccio "umano-centrico." <https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/competenze-digitali/formazione-continua-per-lia-perche-serve-un-approccio-umano-centrico/>
46. Wilson, H. J., and Daugherty, P. R., (2018), "Collaborative intelligence: Humans and AI are joining forces." *Harvard Business Review* 96.4: 114-123
47. Lichtenthaler, U., (2022), "Mixing data analytics with intuition: Liverpool Football Club scores with integrated intelligence." *Journal of Business Strategy* 43.1: 10-16