



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Informatica

Corso di Laurea Triennale in Informatica

TESI DI LAUREA

Supervisione Emotiva Responsabile nel Metaverso: Analisi e Prospettive Future

RELATORE

Prof. Fabio Palomba

Dott. Dario di Dario

Università degli Studi di Salerno

CANDIDATO

Maria Immacolata Colella

Matricola: 0512110431

Anno Accademico 2022-2023

Questa tesi è stata realizzata nel

sesa^{lab}
SOFTWARE ENGINEERING
SALERNO

A Rosy e Ludovica,

l'esatta metà del mio cuore.

"La determinazione è la chiave per trasformare i sogni in realtà." - Naruto Uzumaki

Abstract

Con l'avvento della pandemia da COVID-19, il tempo trascorso davanti al computer da parte delle persone è notevolmente aumentato. È stato in quegli anni che il Metaverso ha sperimentato una significativa crescita di popolarità, attirando sempre più utenti grazie alla varietà di realtà virtuali offerte. Questo ambiente virtuale ha creato spazi in cui le persone potevano socializzare, giocare e interagire con altri utenti virtuali, contribuendo a mitigare il senso di isolamento che spesso si è verificato durante i periodi di quarantena. Una caratteristica chiave di questa tecnologia è la sua versatilità, in quanto può essere impiegata non solo per il puro divertimento, ma anche in ambiti utili, come l'istruzione. La tesi si concentra proprio su questa opportunità, cercando di colmare alcune delle lacune comuni riscontrate nelle lezioni online. A tal fine, è stato utilizzato un Metaverso preesistente che simula un'aula virtuale e, in questo ambiente, è stato implementato un modello di Intelligenza Artificiale in grado di riconoscere le emozioni attraverso il riconoscimento facciale. L'adozione di questo modello riveste un'importanza cruciale, poiché permette di migliorare l'esperienza delle lezioni online. Gli studenti possono essere meglio compresi dai docenti in caso di dubbi, e i docenti possono ricevere feedback in tempo reale sull'andamento della lezione, monitorando le emozioni degli studenti e personalizzando il corso in base alle esigenze degli studenti. Questo progresso tecnologico è altamente promettente, poiché ha il potenziale per essere applicato in una vasta gamma di contesti. Ad esempio, potrebbe migliorare notevolmente l'interazione tra utenti virtuali in diverse situazioni in cui il contatto fisico è limitato e la capacità di percepire e comunicare emozioni in modo più efficace può contribuire a colmare il divario tra le interazioni virtuali e quelle in persona. Inoltre, questa tecnologia potrebbe trovare applicazioni nell'ambito della salute mentale, supportando la terapia virtuale e l'assistenza emotiva. L'uso dell'Intelligenza Artificiale per riconoscere e rispondere alle emozioni degli utenti virtuali apre nuove opportunità per migliorare l'esperienza e la comunicazione in ambienti digitali, aprendo la strada a sviluppi futuri in una varietà di settori.

Indice

Elenco delle Figure	iii
1 Introduzione	1
1.1 Motivazioni ed obiettivi	1
1.2 Risultati ottenuti	3
1.3 Struttura della tesi	3
2 Background e Stato dell'arte	5
2.1 Metaverso	5
2.2 Artificial Intelligence	10
2.2.1 Machine Learning	10
2.2.2 Deep Learning	15
2.3 ML per Metaverso	18
3 Applicazione dell'Intelligenza Artificiale al Metaverso	21
3.1 Obiettivi e descrizione dell'applicazione sviluppata	21
3.2 Adattamento del FER al progetto di tesi	22
3.3 Integrazione del modello di IA nel Metaverso	23
4 Analisi dei risultati	26
4.1 Risultati	26

4.2	Considerazioni etiche	28
5	Conclusioni	31
5.1	Conclusioni	31
5.2	Sviluppi futuri	32
	Bibliografia	34

Elenco delle figure

2.1	Alcuni sottogruppi di algoritmi del ML [1]	12
2.2	Artificial Neural Network [2]	16
3.1	Processo nello sviluppo del progetto	25

CAPITOLO 1

Introduzione

1.1 Motivazioni ed obiettivi

Nell'era contemporanea, abbiamo assistito a un progresso tecnologico straordinariamente significativo, con il 2021 che verrà ricordato per l'emergere e la rapida diffusione del Metaverso. Questa innovativa tecnologia costituisce uno spazio virtuale coinvolgente, in cui le persone possono condividere esperienze, interagire a distanza, lavorare, giocare, trascorrere il loro tempo libero, fare acquisti e persino creare terreni virtuali, partecipare a concerti e utilizzare NFT.

In stretta correlazione con il Metaverso, troviamo l'Intelligenza Artificiale (IA), la quale sta assumendo sempre più importanza nelle nostre vite quotidiane, ottimizzando e automatizzando le nostre attività e compiti di tutti i giorni. Di fatto, l'IA sta giocando un ruolo fondamentale nell'agevolare la creazione di esperienze altamente personalizzate, con l'obiettivo di massimizzare il tempo attivo degli utenti e offrire esperienze ancor più coinvolgenti e realistiche all'interno del Metaverso.

L'Intelligenza Artificiale trova una vasta gamma di applicazioni, tra cui la creazione di "avatar digitali" che replicano in modo virtuale una persona reale, mantenendo una somiglianza quanto più fedele possibile e consentendo interazioni più naturali con gli utenti. Inoltre, può essere impiegata per la creazione di interi mondi

esplorabili dall'utente e persino per automatizzare lo sviluppo di software e l'intero Metaverso.

Questa sinergia tra IA e Metaverso avrà un impatto considerevole sulla società. Ad esempio, il Metaverso potrebbe rivoluzionare il modo di lavorare, offrendo una nuova modalità di interazione con i colleghi, anche a distanza. Nell'ambito dell'istruzione, potrebbe avere un'enorme influenza, proponendo un nuovo paradigma per le lezioni online. Questa evoluzione deriva in parte dalla necessità emersa durante la pandemia di Coronavirus nel 2020, quando le lezioni online hanno comportato una diminuzione dell'attenzione degli studenti, una ridotta interazione con i docenti e una minore socializzazione tra gli studenti stessi. Infatti, due sono le cose che emergono in maniera preponderante: una perdita di contatto con il 6-10% degli studenti e un aumento significativo del carico di lavoro che ha causato sfide individuali nella gestione del tempo da parte dei docenti.¹

L'idea di fondo è basata sull'utilizzo di un Metaverso che simula un'aula virtuale, dove gli studenti possono personalizzare il proprio avatar, esplorare la classe, comunicare tramite chat o microfono, interagire con i coetanei e i loro avatar e partecipare alle lezioni in modo simile a quanto avviene in una classe fisica. L'obiettivo principale nell'applicare l'Intelligenza Artificiale a questo tipo di Metaverso è di migliorare l'esperienza in classe degli studenti e, in particolare, fornire ai docenti un feedback significativo sullo svolgimento delle loro lezioni, un aspetto spesso carente nelle lezioni condotte su piattaforme come Teams o Google Meet a causa dell'assenza delle webcam degli studenti e della conseguente limitata interazione durante la lezione. Grazie all'integrazione dell'IA in questo Metaverso,² diventa possibile monitorare l'andamento generale delle lezioni attraverso il riconoscimento delle emozioni basato sulle espressioni facciali degli studenti, il tutto mantenendo rigorosamente la loro privacy.

¹<https://ilbolive.unipd.it/it/news/didattica-italia-durante-pandemia-lezioni-online>

²https://github.com/vipenti/Metaverse_Classroom

1.2 Risultati ottenuti

Il progetto rappresenta un importante passo avanti nell'integrazione tra Intelligenza Artificiale e il Metaverso, dimostrando la loro versatilità in diverse applicazioni. L'utilizzo del riconoscimento delle espressioni facciali come modello di IA nell'istruzione virtuale ha prodotto risultati significativi. Questa integrazione ha aperto nuove opportunità per il monitoraggio emotivo, la personalizzazione dell'apprendimento e ha potenziali applicazioni in vari settori.

Le tecnologie utilizzate sono state scelte con successo, dimostrando la facilità di connettere l'IA e il Metaverso, apparentemente distanti. Questo progresso è particolarmente rilevante nell'istruzione online, dove l'analisi delle espressioni facciali colma il gap di feedback non verbali, migliorando la qualità delle lezioni virtuali e la comprensione delle esigenze degli studenti. L'uso delle espressioni facciali degli studenti aiuta i docenti a valutare meglio il coinvolgimento emotivo, personalizzare le lezioni e migliorare la motivazione e la partecipazione degli studenti. Inoltre, consente una valutazione in tempo reale dell'efficacia delle lezioni, permettendo ai docenti di apportare modifiche immediate per migliorare il processo di insegnamento. Tuttavia, è essenziale garantire la privacy degli studenti, trattare i dati raccolti in modo etico e rispettare le normative sulla privacy, inclusa la trasparenza e il consenso degli studenti.

1.3 Struttura della tesi

La struttura del seguente elaborato è suddivisa nei seguenti capitoli:

- **Capitolo 1: Introduzione:** vengono presentati il contesto applicativo, le motivazioni e gli obiettivi alla base della scelta del tema sviluppato;
- **Capitolo 2: Background e Stato dell'arte:** verrà analizzato lo stato dell'arte attraverso articoli scientifici, con l'obiettivo di investigare ed approfondire i temi trattati e, nello specifico, il Metaverso, l'Intelligenza Artificiale e le applicazioni date dalla combinazione di queste due tecnologie;

- **Capitolo 3: Applicazione dell'Intelligenza Artificiale al Metaverso:** sarà presentato in dettaglio l'intero processo di sviluppo del progetto di tesi, comprese le implementazioni adottate e le varie fasi attraversate;
- **Capitolo 4: Analisi dei risultati:** verranno analizzati i risultati e gli obiettivi ottenuti da questo progetto di tesi e i problemi etici che si potrebbero riscontrare con un errato utilizzo dell'Intelligenza Artificiale all'interno del Metaverso;
- **Capitolo 5: Conclusioni:** considerazioni finali sul tema sviluppato e eventuali sviluppi futuri.

Background e Stato dell'arte

2.1 Metaverso

Con l'avvento di nuove tecnologie software, che permettono soluzioni intuitive di elaborazione dei dati, è emerso il concetto di "Metaverso". Con tale termine, derivato dalla combinazione di "meta" (indicante la superiorità) e "verse" (abbreviazione di universo), si vuole indicare un ambiente sperimentale e artificiale in relazione con il mondo fisico. La prima menzione di questa espressione risale al 1992 quando Neal Stephenson nel suo racconto di fantascienza "Snow Crash" utilizza questo termine, fino ad allora, inesistente [3].

Dall'autore, il Metaverso viene descritto come un vasto ambiente virtuale che coesiste con il mondo reale, in cui gli utenti interagiscono tra di loro tramite individui digitali (avatar), ovvero rappresentazioni simulate di persone su un computer che consentono l'interazione tra intelligenza umana e artificiale [4]. Nello specifico, un avatar digitale rende possibili due operazioni cruciali quali il riconoscimento e l'interazione tra gli utenti che popolano il mondo virtuale.¹

Il Metaverso è, quindi in sintesi, l'ambiente virtuale tridimensionale costituito da personaggi generati al computer e controllati da persone reali. In un contesto tale, gli

¹<https://tech4future.info/avatar-3d-cose-come-funziona/>

utenti hanno la possibilità di controllare i propri avatar all'interno del Metaverso e di utilizzarli per svolgere attività finalizzate al miglioramento delle loro caratteristiche virtuali [5].

Questo concetto si evolve all'interno del mondo digitale (del quale diventano sostanza fondamentale i dati e le informazioni) ed è strettamente correlato all'universo reale, poiché la sua struttura spazio-temporale rispecchia quella dell'universo fisico. Il Metaverso è una realtà parallela composta da dimensioni di lunghezza, larghezza, profondità e tempo, rappresentando essenzialmente un universo virtuale creato e alimentato dalle reti globali di comunicazione.²

Alcuni sistemi di Metaversi sono ben noti nel mondo e anche particolarmente famosi, tanto da essere utilizzati da cantanti e attori internazionali. Un esempio significativo è il concerto virtuale organizzato da Travis Scott durante il periodo di pandemia e lockdown. Il rinomato rapper americano ha tenuto un live all'interno del mondo di Fortnite, al quale hanno partecipato oltre dodici milioni di utenti, che hanno potuto assistere all'esibizione attraverso i loro avatar.³

Il sistema "SecondLife", sviluppato da Linden Lab, è un esempio di metaverso nel quale gli utenti si connettono al sistema tramite un'interfaccia web per interagire sia con altri utenti, sia con il contenuto digitale. Tra le caratteristiche più interessanti di SecondLife ci sono gli strumenti semplici per la creazione di oggetti 3D e la possibilità di utilizzare il linguaggio di scripting per creare contenuti interattivi, compresa la connessione con risorse esterne come pagine web e altri servizi su internet[6]. Ancora, il Metaverso di Meta offre una varietà di servizi che includono social network, giochi, ambienti di lavoro, collaborazione, produttività, etc [4]. Il tutto consente agli utenti di vivere una vita alternativa all'interno di una realtà virtuale che rappresenta una metafora dei mondi reali dell'utente.

Per raggiungere tale dualità tra realtà e virtualità, lo sviluppo del Metaverso deve attraversare tre fasi sequenziali: digital twins, digital native e la coesistenza della realtà fisica e virtuale, ovvero la surrealtà [7]. In particolare, i digital twins rappresentano modelli digitali e entità di grandi dimensioni e ad alta fedeltà duplicati in ambienti virtuali. Questi riflettono fedelmente le proprietà dei loro corrispettivi

²<https://www.digital4.biz/executive/metaverso-cos-e-possibili-applicazioni/>

³<https://www.wired.it/gadget/videogiochi/2020/04/24/concerto-travis-scott-fortnite/>

fisici, inclusi aspetti come le movimentazioni degli oggetti, la temperatura e persino la loro funzione [8]. I digital twins degli stessi esseri umani potrebbero consentire la raccolta e l'analisi di dati fisici, fisiologici e contestuali al fine di migliorare la qualità della vita e favorire il benessere. Ad esempio, si potrebbe prevedere un ictus prima che si verifichi, consentendo di adottare misure preventive [9].

I digital twins hanno diverse caratteristiche:

- **Identificatore univoco.** Ogni digital twins hanno un identificatore per comunicare con il proprio twin.
- **Sensori e attuatori.** I twins reali sono dotati di sensori in modo tale che i digital twins possano replicare i cinque sensi degli utenti utilizzando, a seconda delle esigenze, gli attuatori appropriati.
- **Comunicazione e sicurezza.** I digital twins dovrebbero essere anche in grado di interagire quasi in tempo reale con l'ambiente e con altri digital twins; dovrebbero, inoltre, proteggere l'identità e la privacy del loro twin reale.

La piattaforma Metaverso richiede la creazione di contenuti di alta qualità, che non possono essere prodotti interamente da programmi informatici, ma richiedono necessariamente l'intervento umano. Ne consegue, quindi una seconda fase che si occupa dei soggetti appartenenti alla generazione digital native, noti come "creators", i quali si presentano sotto forma di avatar e si dedicano alla creazione di nuovi contenuti digitali. Tali contenuti possono essere associati ai corrispondenti mondi fisici o esistere solamente all'interno dell'ambiente digitale [7]. Questa evoluzione evidenzia come i programmi informatici siano efficienti dal punto di vista computazionale ma l'input dell'essere umano offre un valore aggiunto in termini di creatività e conoscenza[4].

Nella fase finale, il Metaverso potrebbe addirittura evolversi in un mondo virtuale autonomo e persistente, che esiste e interagisce con il mondo fisico in modo indipendente. In questo modo, gli avatar, potrebbero partecipare in tempo reale a una vasta scelta di attività all'interno di un numero illimitato di mondi virtuali [7, 3].

Inoltre, gli utenti potrebbero generare contenuti all'interno di un videogioco, come Minecraft, e trasferirli su un'altra piattaforma o gioco, come Roblox o Fortnite,

mantenendo la coerenza dell'identità e dell'esperienza [7]. Il Metaverso, inoltre, non vedrebbe utilizzo solo nel campo dei videogames; infatti, potrebbe essere utilizzato con grande successo anche in campo medico, in particolare nell'addestramento degli studenti di chirurgia tramite la realtà virtuale. Questo consentirebbe loro di esercitarsi e migliorare le proprie competenze in un ambiente simulato digitale, prima di affrontare interventi chirurgici sui pazienti reali nell'ambiente fisico [7].

Il Metaverso può essere descritto come una piattaforma che include sette livelli [10] :

- **Infrastruttura:** come 5G, Cloud, data center e tutta la tecnologia che abilita i nostri dispositivi, li collega alla rete e fornisce contenuti.
- **Interfaccia umana:** cellulari, smartwatch, smartglasses, dispositivi VR, voce, movimenti, dispositivi indossabili che avvicineranno gli utenti al Metaverso.
- **Decentralizzazione:** edge computing, agenti di AI, blockchain e microservizi; un sistema decentralizzato è scalabile e consente la crescita del sistema.
- **Spatial computing:** 3D engines, VR, AR e multitasking
- **Creator economy :** design tools ed E-commerce, il tutto per creare esperienze digitali sempre più immersive e sociali.
- **Scoperta :** advertising networks, virtual stores, avatar e chatbot.
- **Esperienza :** giochi, social, E-sports, shopping, festivals, eventi, lezioni e lavoro; questo è possibile data la definizione di Metaverso come smaterializzazione dello spazio fisico. Vengono, quindi, annullati i limiti derivanti dalla distanza, dagli oggetti e dall'esistenza stessa dello spazio fisico.

Per quanto riguarda l'utilizzo del mondo virtuale, il Metaverso può stabilire una connessione con il mondo fisico attraverso diverse strade. Una è quella di acquisire informazioni dell'utente tramite dispositivi indossabili come visori montati sulla testa o auricolari mobili [7]. Negli ultimi decenni, lo sviluppo tecnologico ha portato alla creazione di molte nuove applicazioni nella grafica computerizzata che di occupano proprio di questo aspetto e, quindi, combinano sempre di più il mondo

fisico con quello digitale in spazi interattivi in 3D. Queste applicazioni vengono spesso indicate come Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR) o, in generale, come applicazioni di Extended Reality (XR) [11].

La tecnologia AR integra gli input digitali e gli elementi virtuali nell'ambiente fisico per potenziarlo, creando un collegamento tra il mondo fisico e quello virtuale [12]. Un ulteriore aspetto è che la sovrapposizione di elementi digitali nell'ambiente fisico può creare esperienze in cui gli utenti sono in grado di interagire con oggetti virtuali e fisici contemporaneamente, consentendo una migliore integrazione tra il mondo digitale e quello reale. Potrebbe quindi accadere che le entità digitali appaiano in modo chiaro e tangibile su molti oggetti fisici nelle aree urbane [7].

Per quanto riguarda la tecnologia VR, questa è spesso vista come adatta soprattutto per applicazioni nei giochi e nell'intrattenimento, così come nei settori professionali per la simulazione e la formazione. Durante gli ultimi dieci anni, la VR sta diventando una piattaforma in cui le abilità umane sono potenziate in modo qualitativo oltre che esteso. Allo stesso tempo, i progressi nella tecnologia dei sensori e degli attuatori, stanno portando a una maggiore integrazione tra VR e il concetto di "digital twins" [11].

Le applicazioni VR funzionano attraverso l'utilizzo di un visore che permette agli utenti di vedere a 360 gradi l'ambiente virtuale e di interagire con esso. Questa integrazione di framework VR aumenta le interazioni tra il mondo fisico e quello digitale, e può avere implicazioni sociali significative [11, 13]. Le applicazioni VR sono convenienti per l'interazione degli utenti poiché possono utilizzare le loro abilità motorie, tramite tracciamento del capo attraverso un display indossabile sulla testa [14], per interagire con gli elementi dell'applicazione e completare un obiettivo, guadagnando ricompense in modo graduale [13]. In altre parole, per creare il Metaverso è necessario unire molteplici spazi virtuali condivisi in modo che avatar e oggetti possano interagire simultaneamente in modo fluente, come avatar-oggetto, oggetto-oggetto e avatar-avatar [7].

Ad esempio, Snoop Dogg, un noto rapper, ha comprato un lotto di terreno nel metaverso di Sandbox per \$450.000 [15]. Grazie a questa acquisizione, Snoop Dogg può organizzare eventi virtuali come festival di musica e concerti all'interno del Metaverso. Questi eventi offrono al pubblico partecipante nel mondo virtuale un'esperienza

immersiva grazie alla tecnologia della realtà virtuale [15].

Tuttavia, gestire e sincronizzare gli stati dinamici di questi spazi virtuali è estremamente complesso, soprattutto quando un gran numero di utenti agisce contemporaneamente senza alcuna latenza significativa. Questo rappresenta una sfida notevole per la realizzazione del metaverso, considerando il numero sempre crescente di utenti che interagiscono con esso [7].

Considerando la descrizione precedente del Metaverso, delle sue tecnologie e dei suoi sette livelli, diventa evidente il ruolo significativo dell'Intelligenza Artificiale, sfruttando il Machine Learning (ML) e il Deep Learning (DL). Un'applicazione intuitiva di queste tecniche si trova nei visori VR, i quali possono analizzare sia i semplici movimenti umani che le azioni più complesse, e poi proiettare queste informazioni nel mondo virtuale per interagire con gli oggetti del Metaverso. Inoltre, gli avatar possono utilizzare le modalità reali come espressioni facciali, emozioni e movimenti corporei, oltre al riconoscimento vocale, beneficiando dell'apporto dell'IA per migliorare la precisione e la velocità di elaborazione [10].

2.2 Artificial Intelligence

L'intelligenza artificiale è l'insieme di tecniche che permettono alle macchine, in particolare ai sistemi informatici, di simulare i processi di intelligenza umana [4]. L'IA è diventata sempre più diffusa grazie ai progressi delle tecnologie di Machine Learning e Deep Learning [16], emersi come metodi utilizzati in molti campi della scienza e della tecnologia, tra cui la robotica, il riconoscimento vocale, il natural language processing, computer vision, etc. [16]. Nelle più grandi organizzazioni informatiche mondiali come Google, Apple, Microsoft e Facebook, le tecnologie ML e DL sono state ampiamente utilizzate in servizi come Google Translator, Siri, Cortana, etc.

2.2.1 Machine Learning

Il Machine Learning è un campo che si estende dalle tecnologie dell'informazione alla statistica, alla probabilità, all'intelligenza artificiale, ecc. Il ML è usato per insegna-

re alle macchine come gestire i dati più efficientemente e ha la capacità di apprendere e migliorare le proprie analisi attraverso l'uso di algoritmi computazionali [17, 18].

Questi algoritmi utilizzano grandi insiemi di dati in input e in output per riconoscere schemi e "imparare" efficacemente al fine di addestrare la macchina a fare raccomandazioni o prendere decisioni autonome [17]. Con il ML, i problemi possono essere risolti costruendo un modello che rappresenti accuratamente un insieme di dati selezionati e il processo di apprendimento automatico consiste nella ricerca di regolarità statistiche o di altri schemi nei dati [19]. Dopo un numero sufficiente di ripetizioni e modifiche dell'algoritmo, la macchina diventa in grado di prendere in input e prevedere un output. Gli output sono quindi confrontati con un insieme di risultati noti al fine di valutare l'accuratezza dell'algoritmo, che viene poi iterativamente regolato per perfezionare la capacità di prevedere ulteriori risultati [17].

Il ML ha raggiunto un livello avanzato poiché insegna ai computer a imitare il cervello umano e ha portato la statistica ad un'elevata importanza in quando produce teorie fondamentali per l'elaborazione statistica dei processi di apprendimento. Grazie allo sviluppo di nuove tecnologie informatiche nell'area del Big Data e allo sviluppo recente del ML, è possibile applicare automaticamente una vasta gamma di complesse elaborazioni matematiche a grandi quantità di dati, producendo risultati molto più rapidi [19].

Quindi, in base all'obiettivo desiderato dall'algoritmo, gli algoritmi di apprendimento automatico sono organizzati nei seguenti gruppi [19]:

- **Apprendimento supervisionato:** il compito è quello di apprendere una funzione che mappa un input in un output sulla base di coppie input-output di esempio [18]; gli algoritmi di apprendimento supervisionato sono quelli che necessitano di assistenza esterna.
- **Apprendimento Non Supervisionato:** modella un insieme di input dove gli esempi etichettati non sono disponibili.
- **Apprendimento Semi-Supervisionato:** combina esempi etichettati e non etichettati per generare una funzione o un classificatore appropriato.

- **Apprendimento per Rinforzo:** l'algoritmo apprende una politica su come agire data un'osservazione del mondo. Ogni azione ha un impatto sull'ambiente e quest'ultimo fornisce un feedback che guida l'algoritmo di apprendimento.

La seguente immagine illustra diversi sottoinsiemi di tecniche di Machine Learning e come vengono impiegate nelle applicazioni. Il tipo di algoritmo impiegato dipende dal tipo di problema che si vuole risolvere, dal numero di variabili, dal tipo di modello che si adatta meglio etc [18].

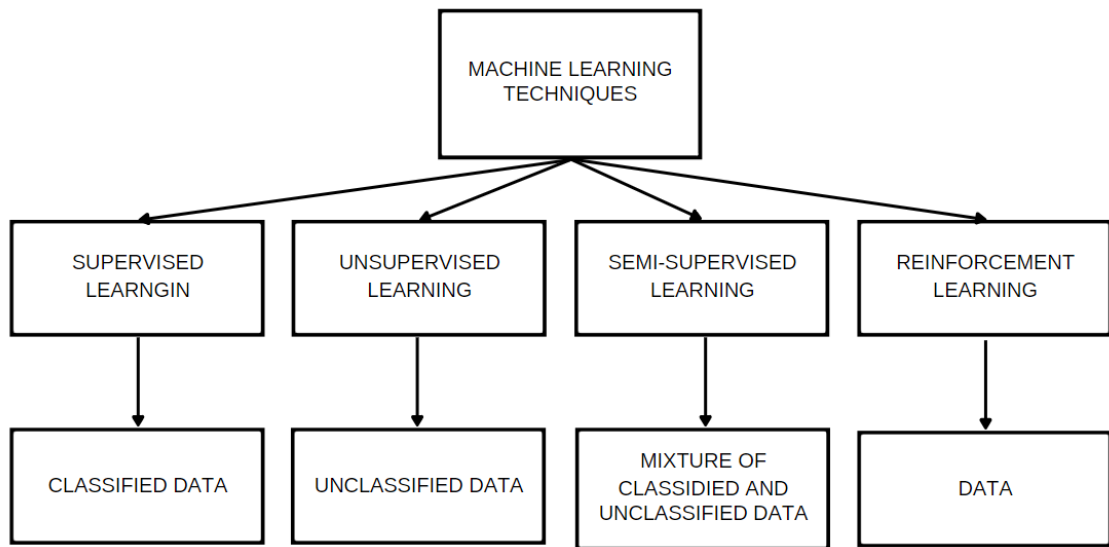


Figura 2.1: Alcuni sottogruppi di algoritmi del ML [1]

Apprendimento supervisionato

L'apprendimento supervisionato è utilizzato più frequentemente nei problemi di classificazione poiché l'obiettivo è quello di far "imparare" alla macchina un sistema di classificazione creato per il problema. L'apprendimento supervisionato è la tecnica più comune per addestrare reti neurali e alberi decisionali. Nel caso delle reti neurali, la classificazione viene utilizzata per determinare l'errore della rete e quindi regolarla per minimizzarlo, mentre negli alberi decisionali le classificazioni vengono utilizzate per determinare quali attributi forniscono le informazioni più utili per risolvere il puzzle di classificazione.

Si realizza, quindi, un apprendimento induttivo che è il processo di apprendimento di un insieme di regole da istanze (esempi in un set di addestramento), o più in

generale, la creazione di un classificatore che può essere utilizzato per generalizzare nuove istanze. Il primo passo è la raccolta del dataset. Il metodo più semplice per ottenerlo è quello del "brute-force", che comporta misurare tutto ciò che è disponibile per isolare le caratteristiche giuste (rilevanti). Tuttavia contiene, nella maggior parte dei casi, rumore e valori di funzionalità mancanti, e quindi richiede una significativa pre-elaborazione. La selezione delle istanze dei dati non è solo utilizzata per gestire il rumore ma anche per far fronte all'impossibilità di apprendere da set di dati molto grandi. La selezione dell'istanza in questi dataset è un problema di ottimizzazione che cerca di mantenere la qualità del mining riducendo la dimensione del campione. Riduce i dati e consente a un algoritmo di data mining di funzionare ed essere efficace con set di dati molto grandi.

Apprendimento non supervisionato

L'apprendimento non supervisionato si riferisce a un approccio di apprendimento automatico in cui gli algoritmi devono interpretare autonomamente dati non etichettati al fine di scoprirne il significato. A differenza dell'apprendimento supervisionato, in cui si utilizza un dataset di addestramento con etichette preimpostate, l'apprendimento non supervisionato si basa sulla capacità dell'algoritmo di apprendere direttamente dai dati senza supervisione esterna.⁴ L'obiettivo principale è permettere alla macchina di imparare senza assistenza, in modo da poter regolare i risultati e identificare raggruppamenti o pattern rilevanti. Alcuni degli algoritmi utilizzati in questo tipo di apprendimento includono clustering e riduzione della dimensionalità.⁵

Negli algoritmi di clustering, i dati di input sono raggruppati in diversi insiemi, detti cluster, in base alla similarità delle loro caratteristiche; lo scopo principale è trovare una collocazione in una collezione di dati che non sono categorizzati. Tecnicamente viene calcolata una distanza tra i dati di input e in base a questa vengono creati dei cluster. La modalità di calcolo della distanza tra i dati di input

⁴<https://www.ai4business.it/intelligenza-artificiale/unsupervised-learning-cose-ed-esempi-di-apprendimento-non-supervisionato/>

⁵<https://www.tibco.com/it/reference-center/what-is-unsupervised-learning>

influisce sul risultato e, il successo del modello dipende molto da questa scelta.⁶

Gli algoritmi della riduzione della dimensionalità, sono algoritmi che in presenza di un numero elevato di dati di input permettono di estrarre le caratteristiche più importanti o di ricombinare i dati di partenza per ottenere componenti separate. Hanno lo svantaggio che le componenti ricavate non sono facilmente interpretabili come significato.

Apprendimento per rinforzo

In questo paradigma di apprendimento la macchina acquisisce conoscenza tramite l'interazione con l'ambiente mediante un processo di sperimentazione ed errori. A differenza degli approcci precedenti, la macchina non riceve istruzioni specifiche su come agire, ma deve esplorare e scoprire autonomamente le azioni che massimizzano la ricompensa a lungo termine, in base al contesto in cui si trova.

Questo contesto potrebbe non permettere di prevedere in anticipo tutte le possibili circostanze, rendendo necessaria l'adattabilità dell'agente nell'affrontare situazioni impreviste.⁷ Esistono due tipi di rinforzo:⁸

- **Positivo:** una conseguenza si verifica a seguito di un determinato comportamento e ha l'effetto di aumentare intensità e frequenza del comportamento stesso. In breve, il rinforzo positivo agisce in modo favorevole sul comportamento, contribuendo al suo consolidamento e alla sua ripetizione.
- **Negativo:** agisce come un'incitazione per il soggetto a eseguire il comportamento a causa di una condizione negativa evitata.

Il funzionamento dell'apprendimento per rinforzo parte dalla conoscenza da parte dell'agente dell'obiettivo, senza sapere come raggiungerlo non avendo un dataset di esempio per l'addestramento.⁹ L'agente inizia ad osservare l'ambiente

⁶<https://www.ai4business.it/intelligenza-artificiale/unsupervised-learning-cose-ed-esempi-di-apprendimento-non-supervisionato/>

⁷<https://www.bigdata4innovation.it/intelligenza-artificiale/reinforcement-learning-cose-come-funziona-ed-esempi-dell'apprendimento-per-rinforzo/>

⁸<https://www.intelligenzaartificialeitalia.net/post/apprendimento-per-rinforzo-reinforcement-learning>

⁹<https://www.andreaminini.com/ai/machine-learning/apprendimento-con-rinforzo>

circostante, trasformandolo in un vettore di caratteristiche X in cui ogni combinazione di elementi del vettore è un differente stato dell'ambiente. Nel momento in cui viene presa una decisione, l'agente analizza il cambiamento dell'ambiente e i feedback tramite una funzione di rinforzo. Questa funzione misura il grado di successo di una decisione rispetto all'obiettivo di partenza.

- Se il feedback è positivo, l'agente ottiene una **ricompensa**, ovvero un valore positivo.
- Se il feedback è negativo, la macchina ottiene una **penalizzazione**, ovvero un valore negativo.

Durante l'apprendimento e l'aumento dell'esperienza, la macchina raccoglie informazioni che salva in una Knowledge Base, quest le permette di ripetere e azioni più favorevoli, imparando come comportarsi al meglio nel contesto.¹⁰

L'apprendimento per rinforzo è utilizzato in diversi ambiti: la robotica, il trading e nel mondo dei videogiochi. Uno degli esempio più famosi è, sicuramente, AlphaGo, il software per il gioco cinese "Go" di DeepMind: inizialmente è stato addestrato prima con apprendimento supervisionato e, in una seconda fase con apprendimento per rinforzo. Al termine del processo è riuscito a battere il giocatore più forte al mondo.¹¹

2.2.2 Deep Learning

Il Deep Learning è una forma avanzata di apprendimento automatico che si basa su algoritmi che cercano di emulare in modo approssimativo il funzionamento del cervello umano utilizzando reti neurali artificiali (Artificial Neural Network, ANN), cioè modelli matematici basati sulle reti neurali biologiche presenti nel sistema nervoso.

All'interno di queste reti sono presenti dei "neuroni", ciascuno di essi costituisce un nodo computazionale dotato di collegamenti verso altri neuroni. Ad ogni connessione è associato un peso, ovvero un parametro, che viene attribuito nel corso

¹⁰<https://www.andreaminini.com/ai/machine-learning/apprendimento-con-rinforzo>

¹¹<https://www.bigdata4innovation.it/intelligenza-artificiale/reinforcement-learning-cose-come-funziona-ed-esempi-dellapprendimento-per-rinforzo/>

dell'addestramento.¹² Tutti i neuroni artificiali si dispongono su strati; neuroni sullo stesso livello non comunicano tra di loro, ma possono essere connessi a nodi dello strato precedente e successivo.

Sono presenti tre tipi di livelli:¹³

- **Input layer:** primo strato della rete, permette l'ingresso dei dati verso i neuroni del livello.
- **Hidden layer:** strati intermedi della rete, la quantità di questi livelli influisce sulla potenzialità di calcolo e sulla complessità della rete stessa.
- **Output layer:** ultimo strato della rete, permette l'uscita dei dati tramite i neuroni del livello.

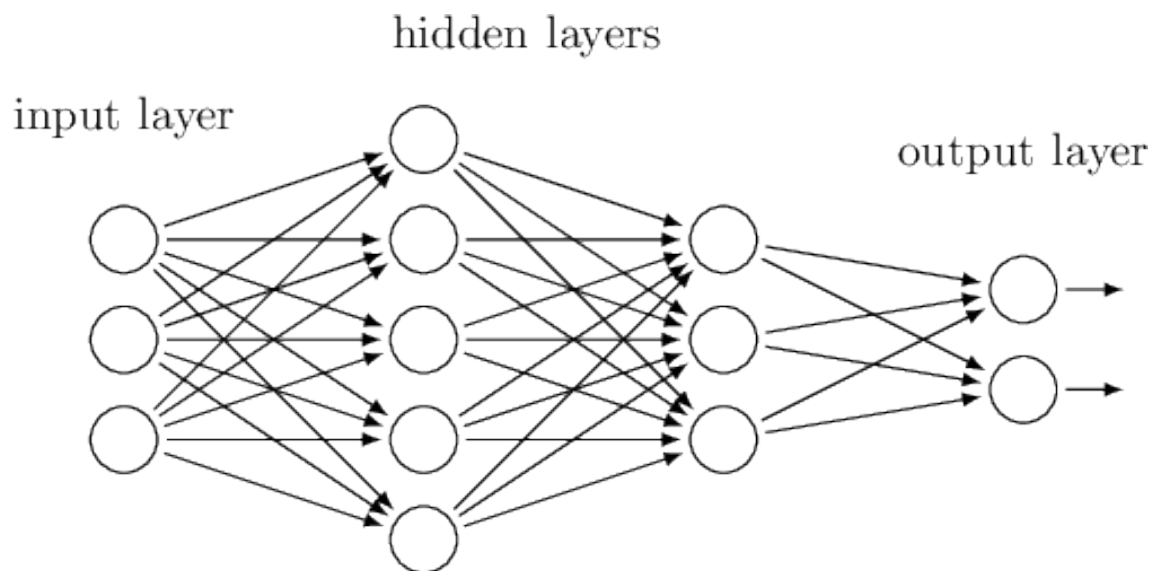


Figura 2.2: Artificial Neural Network [2]

Considerando questa configurazione, il processo di apprendimento di una rete neurale ha inizio con una fase di inizializzazione casuale dei pesi. Successivamente, attraverso un'iterazione, la rete viene addestrata utilizzando coppie di input e output appartenenti a un insieme di dati specificato in precedenza. Durante questo processo,

¹²<https://www.zerounoweb.it/analytics/cognitive-computing/deep-learning-cose-e-in-quali-casi-si-usa-lapprendimento-profondo/>

¹³<https://www.eage.it/machine-learning/reti-neurali/>

i pesi vengono aggiornati in modo da minimizzare la funzione di costo, che rappresenta la distanza tra gli output desiderati e quelli calcolati dalla rete neurale, ovvero l'errore.¹⁴

Una caratteristica distintiva del Deep Learning rispetto al Machine Learning è la scalabilità; infatti, i sistemi di DL migliorano le loro prestazioni all'aumentare dei dati disponibili, mentre i sistemi di ML raggiungono un limite oltre il quale non possono essere ulteriormente scalati.¹⁵

Tra i modelli più importanti del Deep Learning è presente la Convolutional Neural Network (CNN).

Convolutional Neural Network

Le Convolutional Neural Network sono analoghe alle reti neurali tradizionali, quindi composte da neuroni che si auto-ottimizzano attraverso l'apprendimento, l'unica differenza con le ANN è che le CNN sono utilizzate principalmente nel campo del riconoscimento di pattern all'interno delle immagini[20]. La CNN è una costruzione matematica che di solito è composta da tre tipi di strati: convoluzione, pooling e strati completamente connessi.

I primi due strati svolgono l'estrazione delle caratteristiche, mentre il terzo classifica le caratteristiche nell'output finale. Quest'ultimo livello svolge un ruolo chiave ed è composto da una serie di operazioni matematiche quale, appunto, la convoluzione. Nelle immagini digitali, i valori dei pixel sono memorizzati in una scala di grigi bidimensionale e in una piccola griglia di parametri chiamata kernel, ovvero un estrattore di caratteristiche. Man mano che uno strato alimenta il suo output allo strato successivo, le caratteristiche estratte potrebbero diventare sempre più complesse in modo gerarchico. In questa fase entra in gioco il kernel che ha il compito di minimizzare la differenza tra gli output e le etichette [21].

Proprio a causa di ciò, una delle limitazioni più importanti delle forme tradizionali delle ANN è che tendono a lottare con la complessità computazionale richiesta per elaborare dati di immagini; se si considera un input di immagine a colori 64x64, il numero di pesi su un singolo neurone sarebbe 12.288 soltanto nel primo strato [20].

¹⁴<https://www.domsoria.com/2021/02/cosa-e-la-back-propagation-dell'errore/>

¹⁵<https://www.oracle.com/it/artificial-intelligence/machine-learning/what-is-deep-learning/>

2.3 ML per Metaverso

Il Machine Learning e, più in generale, le tecniche e gli algoritmi di Intelligenza Artificiale sono fondamentali per lo sviluppo del Metaverso. Come visto precedentemente, le applicazioni Metaverso possono rendere vari settori più interessanti, efficienti e offrire una migliore esperienza all'utente. Per raggiungere tale fine, questo tipo di applicazioni necessita del supporto delle tecnologie IA per realizzare funzioni intelligenti [4]. Alcuni utilizzi dell'IA nel Metaverso sono [7]:

- **Automatic digital twin.** Riprendendo il concetto di digital twin introdotto precedentemente, questi cloni potrebbero essere utilizzati per fornire servizi quali classificazione, riconoscimento, previsione etc. Pertanto, è necessario automatizzare il processo di elaborazione e analisi dei dati.

Il Deep Learning ha sicuramente un grande potenziale di utilizzo per facilitare l'implementazione dei digital twins. Infatti, è stato proposto un modello digitale autonomo tale che, nella fase di addestramento, i dati del Metaverso e dei sistemi fisici vengono fusi per l'apprendimento e il testing del DL. Se i risultati finale soddisfano i requisiti, il sistema verrà implementato.

- **Computer agent.** Il Computer Agent, anche noto come Non-Player Character (NPC), si riferisce ad un personaggio non controllato da un giocatore reale. Con il crescente realismo all'interno dei videogiochi, l'IA viene applicata agli NPC per imitare il comportamento dei giocatori al fine di soddisfare le aspettative di quest'ultimi in termine di qualità di intrattenimento.

Il modello più adottato per il controllo del comportamento degli NPC è quello di una Finite State Machine (FSM) le cui componenti sono: stato, condizione, azione e stato successivo. Le FSM presuppongono che un oggetto abbia stati finiti nel suo ciclo di vita; una volta che una condizione viene soddisfatta, l'oggetto assumerà una nuova azione e cambierà il suo stato corrente nello stato successivo. Gli alberi decisionali sono tipicamente utilizzati per consentire agli NPC di prendere decisioni nei giochi, in cui ogni nodo denota uno stato e ogni arco un'azione.

L'apprendimento per rinforzo è il classico algoritmo utilizzato per gli NPC dove, in questo caso, l'obiettivo da raggiungere è aumentare l'intrattenimento del gioco e non di sconfiggere i giocatori umani.

- **AR/VR.** Utilizzando dispositivi indossabili basati sui sensori e altre interfacce uomo-macchina, i movimenti umani dai semplici ai più complessi, possono essere analizzati e riconosciuti proprio grazie all'IA.

Pertanto, i movimenti degli utenti nel mondo reale vengono proiettati nei mondi virtuali, consentendo agli utenti di controllare del tutto i propri avatar e interagire con gli oggetti del Metaverso. Inoltre, questi personaggi virtuali possono rapportarsi anche con espressioni, emozioni, movimenti del corpo e interazioni fisiche. [15].

Come già illustrato nel capitolo precedente, l'integrazione dell'Intelligenza Artificiale nel Metaverso attraverso i dispositivi di Realtà Aumentata/Realtà Virtuale offre notevoli vantaggi nell'arricchire l'immersione virtuale. Questi dispositivi consentono di amplificare la percezione della realtà all'interno di ambienti del tutto virtuali, tracciando in modo preciso i movimenti degli utenti e replicandoli coerentemente nel mondo virtuale.

Tuttavia, c'è ancora una significativa lacuna da colmare: l'aspetto delle emozioni umane. Le emozioni umane solitamente vengono comunicate attraverso gesti, espressioni facciali e microespressioni che non vengono pienamente rappresentate o percepite all'interno di un ambiente simulato. Sebbene una chat vocale possa contribuire a comunicare alcune emozioni, essa non è in grado di trasmettere appieno quelle emozioni che richiedono un contatto visivo, il movimento delle labbra e altri dettagli simili.

In breve, la parte emotiva dell'interazione umana all'interno del Metaverso rappresenta ancora una sfida notevole e richiede soluzioni innovative per garantire un'esperienza più completa e autentica. Questa sfida apre la strada a ulteriori ricerche e sviluppi nel campo dell'IA, dell'AR/VR e delle interfacce utente, al fine di consentire una rappresentazione e una comprensione più accurate delle emozioni umane all'interno del mondo virtuale. Questo progresso potrebbe portare a un'int-

razione più ricca e coinvolgente nel Metaverso, con applicazioni potenziali in vari settori, dalla formazione all'intrattenimento e oltre.

Applicazione dell'Intelligenza Artificiale al Metaverso

3.1 Obiettivi e descrizione dell'applicazione sviluppata

Come evidenziato precedentemente, c'è un forte bisogno di integrare un sistema di riconoscimento delle espressioni facciali, noto come Facial Expression Recognition (FER), all'interno del Metaverso al fine di migliorare l'esperienza degli utenti e rendere l'interazione più autentica. Lo scopo principale di questo progetto di tesi è proprio questo: collegare il FER al Metaverso utilizzando tecniche di Machine Learning, aggiungendo un elemento che può notevolmente migliorare l'ambiente virtuale. Questo approccio mira a gettare le fondamenta per una più ampia adozione dell'intelligenza artificiale all'interno del Metaverso.

In particolare, l'obiettivo è anche quello di conferire un valore pratico a questa integrazione. Il progetto di ricerca si concentra sulla creazione e l'implementazione di un sistema di intelligenza artificiale in un Metaverso educativo preesistente, sviluppato utilizzando Unity3D. Questa scelta è stata motivata dalla situazione che abbiamo vissuto negli ultimi anni a causa della pandemia di COVID-19. Durante questo periodo, è emersa la necessità di introdurre un elemento emotivo ed emotivo nelle lezioni online, una dimensione che è stata spesso assente nel passato. Questa mancanza è stata particolarmente evidente nei giovani, che hanno trascorso gran

parte del loro tempo chiusi in casa e hanno avuto poche opportunità di interagire socialmente al di fuori dei dispositivi elettronici. Pertanto, il progetto mira non solo a migliorare l'interazione all'interno del Metaverso ma anche a fornire uno strumento utile per arricchire l'esperienza di apprendimento, soprattutto considerando le sfide dell'istruzione online in un mondo sempre più digitalizzato.

Il concetto chiave consiste nell'impiegare un modello di apprendimento automatico per riconoscere le espressioni facciali attraverso la webcam del pc di ogni studente durante le sessioni di insegnamento all'interno del Metaverso. Questo permette ai docenti di monitorare il progresso delle lezioni osservando le emozioni espresse dagli studenti attraverso le loro espressioni facciali. In altre parole, l'IA aiuta i docenti a capire come gli studenti stanno reagendo alle lezioni e se stanno affrontando difficoltà o hanno bisogno di ulteriore supporto. Questo tipo di integrazione tra Intelligenza Artificiale e Metaverso offre la possibilità di rendere l'istruzione più interattiva e personalizzata, migliorando così l'apprendimento degli studenti.

3.2 Adattamento del FER al progetto di tesi

La prima fase di questa ricerca ha comportato uno studio mirato per trovare un modello di Riconoscimento delle Espressioni Facciali da incorporare nel progetto, con l'obiettivo di personalizzarlo per le nostre esigenze specifiche.

Sono state sfruttate le risorse messe a disposizione dalla comunità di data scientist su Kaggle, che offre una vasta gamma di dataset. In particolare, è stato individuato un dataset contenente un grande numero di immagini in scala di grigio, ognuna rappresentante una delle sette emozioni fondamentali: felicità, tristezza, neutralità, sorpresa, rabbia, spavento e disgusto. Questo dataset è stato poi utilizzato per addestrare la nostra rete neurale.¹

Durante i vari esperimenti sul modello, è scoperto che per ottenere prestazioni ottimali è necessaria una buona illuminazione e una risoluzione elevata delle immagini. Inoltre, durante i test con soggetti che indossavano occhiali, è stato notato che il modello poteva occasionalmente identificare erroneamente più volti nella cornice

¹<https://www.kaggle.com/datasets/msambare/fer2013>

della webcam, anche se ne era visibile solo uno. Questo poteva accadere a causa di informazioni relative alle ombre e alle forme presenti sul viso.

Successivamente, una volta individuato il modello appropriato e averlo testato e validato, è stato integrato un modulo che permettesse di catturare immagini del volto attraverso la telecamera del computer e condurre l'analisi. In particolare, ogni frame acquisito veniva convertito in scala di grigi e adattato al modello FER al fine di ottenere un riconoscimento preciso delle espressioni facciali. Questa integrazione ha reso possibile il monitoraggio delle emozioni espresse dagli studenti durante le sessioni di insegnamento all'interno del Metaverso.

3.3 Integrazione del modello di IA nel Metaverso

In questa fase, è stato necessario concepire un metodo di integrazione del modulo di Machine Learning all'interno della classe Metaverso. Il processo è stato suddiviso in seguenti tappe:

- **Trasmissione delle informazioni dal modello agli script di Unity:** prima di tutto, c'è stata la necessità di abilitare il modello in modo che potesse trasmettere in tempo reale le sue previsioni a uno degli script implementati in Unity per il Metaverso. Questo è essenziale per consentire al Metaverso di comprendere e rispondere alle espressioni facciali degli utenti.
- **Attivazione del modello all'interno del Metaverso:** questa fase ha permesso l'attivazione in tempo reale del modello direttamente da uno degli script all'interno del Metaverso. Questo assicura che il modello sia operativo quando l'avatar dell'utente è presente nell'ambiente del Metaverso.

Per quanto riguarda la fase iniziale, relativa alla trasmissione dei dati dal modello agli script, sono stati considerati due approcci distinti: il primo tramite l'impiego di socket e il secondo mediante l'uso di API (Interfacce di Programmazione Applicativa).

Un socket è una componente software che agevola la trasmissione e la ricezione di dati, consentendo la comunicazione tra host remoti attraverso una rete o tra processi locali. D'altro canto, un'API rappresenta un insieme di definizioni e protocolli che facilitano la creazione e l'integrazione di applicazioni software, consentendo a prodotti

o servizi sviluppati di comunicare tra loro, indipendentemente dall'implementazione specifica di ciascuno di essi.

Durante l'implementazione di entrambi gli approcci, si è constatato che l'adozione delle API risultava notevolmente più agevole in termini di connettività rispetto all'utilizzo dei socket. Di conseguenza, è stata presa la decisione di adottare l'infrastruttura FastAPI per questa finalità.

FastAPI è un framework web avanzato progettato per lo sviluppo di API con Python 3.6+ ed è noto per le sue prestazioni elevate. È particolarmente adatto per la creazione di API web ad alte prestazioni in Python grazie alla sua velocità superiore e alla sintassi intuitiva. È stato una scelta ideale per il nostro progetto, garantendo una comunicazione fluida tra il modello di Machine Learning e il Metaverso, consentendo così il riconoscimento delle espressioni facciali degli utenti all'interno dell'ambiente virtuale.

Per avviare il modello in modo che potesse iniziare a trasmettere i dati, è stato sufficiente eseguire il comando seguente dal prompt dei comandi:

```
1 uvicorn Assets.Scripts.model_fer:app --reload
```

Dopo aver effettuato la trasmissione dei dati attraverso l'API, è stato possibile recuperarli agevolmente utilizzando l'indirizzo IP e la porta corrispondente. Questo ha permesso di acquisire i dati e manipolarli all'interno del Metaverso. In particolare, ogni volta che vengono inviati dati riguardanti le emozioni sperimentate, questi dati vengono utilizzati all'interno della classe Metaverso per mantenere aggiornato l'umore in tempo reale di ciascuno studente presente nell'aula virtuale.

Nella seconda fase, è stato di vitale importanza stabilire un metodo per avviare il modello in modo automatico all'apertura della classe Metaverso. Dal momento che l'avvio del modello richiedeva l'esecuzione del comando precedentemente definito tramite il prompt dei comandi, si è reso necessario avviare il prompt dei comandi direttamente dallo script Unity. Questo ha permesso l'esecuzione del comando inviato direttamente dallo script, garantendo il corretto funzionamento dell'intero processo.

Per realizzare questo obiettivo, abbiamo sfruttato il pacchetto *System.Diagnostics*, il quale fornisce le classi per interagire con i processi del sistema, i log degli eventi e i contatori delle prestazioni. Questa scelta si è dimostrata estremamente utile per

gestire il processo del prompt dei comandi, grazie all'utilizzo della classe *Process*, che offre accesso ai processi locali e remoti e consente di avviare e terminare i processi locali del sistema. Infatti, è stato sufficiente inviare il comando di avvio del modello, precedentemente descritto, all'oggetto *Process* e avviare il processo. In questo modo, il prompt dei comandi si apre automaticamente non appena lo studente accede alla classe Metaverso e il modello inizia a decifrare le emozioni.

Il risultato finale si è concretizzato in un Metaverso in cui ogni studente può partecipare con il proprio avatar e seguire la lezione. La webcam, operando in tempo reale, cattura l'espressione facciale dello studente, permettendo di monitorarne l'umore. Ciò consente al professore di essere costantemente informato e comprenderne le eventuali esigenze, garantendo un'esperienza di apprendimento più attenta e personalizzata. A seguire, una spiegazione grafica del processo di sviluppo di questo processo, dalla scelta e pulizia del dataset, fino alla fase finale di visualizzazione delle emozioni all'interno del Metaverso.

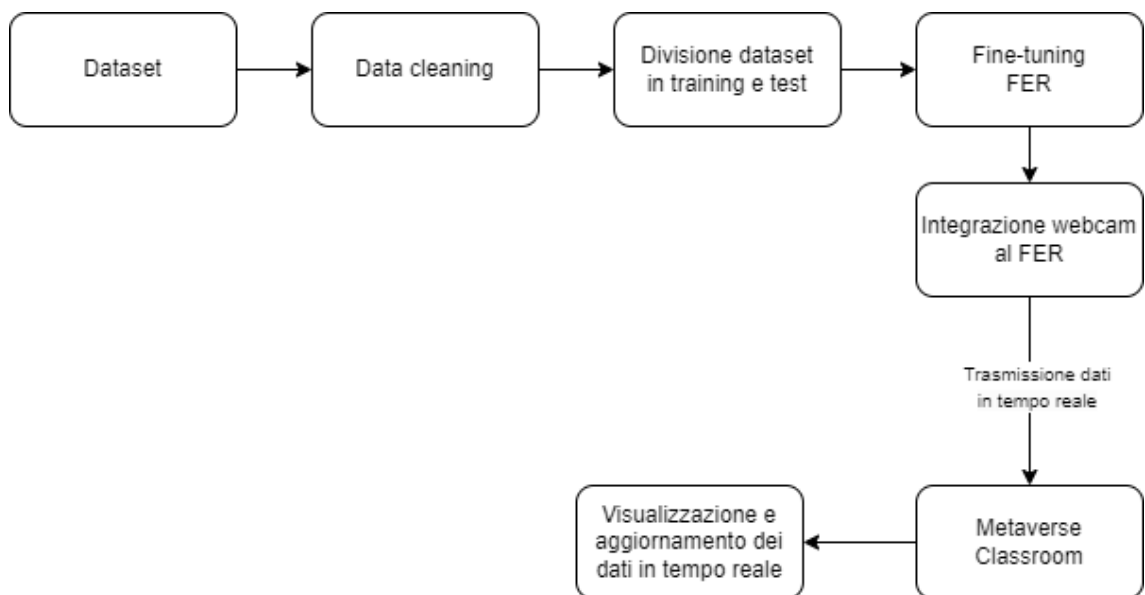


Figura 3.1: Processo nello sviluppo del progetto

CAPITOLO 4

Analisi dei risultati

4.1 Risultati

Il processo di ricerca per questo progetto rappresenta un importante passo avanti nell'integrazione sinergica dell'Intelligenza Artificiale e del Metaverso all'interno di un unico contesto applicativo. Questo risultato apre le porte a innumerevoli altre possibili implementazioni, dimostrando la versatilità di questa combinazione in una vasta gamma di ambienti e situazioni.

Nella fase iniziale, la scelta di un modello di Intelligenza Artificiale dedicato al riconoscimento delle emozioni umane tramite l'analisi delle espressioni facciali è stata una decisione fondamentale. Questo modello di IA è stato adattato con grande attenzione per essere utilizzato come strumento di monitoraggio e visualizzazione dell'andamento delle lezioni tenute dai professori all'interno del Metaverso.

I risultati ottenuti da questa integrazione sono stati notevoli e hanno contribuito a trasformare il panorama tecnologico. In primo luogo, è importante sottolineare il successo nella scelta delle tecnologie utilizzate. In particolare, abbiamo adottato un'API semplice ma efficace per stabilire la connessione tra il modello di IA e l'ambiente immersivo del Metaverso. Questa scelta di design ha evidenziato la sorprendente facilità con cui è possibile combinare due mondi apparentemente distanti e distinti.

Questo progetto ha dimostrato che l'IA e il Metaverso possono lavorare congiuntamente per migliorare le esperienze degli utenti, offrendo nuove opportunità per il monitoraggio delle emozioni e la personalizzazione dell'apprendimento. Inoltre, ha aperto la strada a ulteriori sviluppi e applicazioni che possono sfruttare questa potente combinazione tecnologica in settori come l'istruzione, l'intrattenimento, la salute e molto altro ancora. La ricerca e l'innovazione continuano a guidare l'integrazione di queste tecnologie, aprendo nuovi orizzonti per il futuro digitale.

Nello specifico, l'integrazione del riconoscimento delle espressioni facciali in una classe virtuale rappresenta un passo significativo nell'evoluzione dell'istruzione online e dell'interazione nel mondo digitale. Questo progetto ha aperto nuove porte all'analisi dei sentimenti e delle emozioni degli studenti, offrendo un potenziale notevole miglioramento nella qualità delle lezioni virtuali e nella comprensione delle esigenze degli studenti. Un aspetto fondamentale da considerare è il fatto che l'apprendimento online spesso manca di feedback non verbali che caratterizzano le interazioni faccia a faccia. Il riconoscimento delle espressioni facciali consente di colmare questa lacuna, fornendo ai docenti un mezzo per valutare meglio il coinvolgimento emotivo degli studenti. Questo può aiutare i docenti a identificare quando uno studente potrebbe essere confuso o annoiato, consentendo loro di adattare le lezioni in tempo reale per soddisfare le esigenze specifiche dell'individuo. Questa capacità di personalizzazione può migliorare notevolmente l'efficacia dell'insegnamento online. Inoltre, l'integrazione del riconoscimento delle espressioni facciali può avere un impatto positivo sulla motivazione degli studenti. Quando gli studenti si sentono ascoltati e compresi, sono più inclini a impegnarsi attivamente nelle lezioni e a partecipare attivamente. Questo può creare un ambiente di apprendimento più stimolante e coinvolgente, che è essenziale per il successo dell'istruzione online. Un altro beneficio significativo è la possibilità di valutare l'efficacia delle lezioni in tempo reale. I docenti possono monitorare le reazioni degli studenti durante la lezione e apportare modifiche immediate per migliorare la comprensione e l'assimilazione del materiale didattico. Questo tipo di feedback istantaneo può essere estremamente prezioso per il miglioramento continuo del processo di insegnamento.

Tuttavia, è importante sottolineare che l'uso del riconoscimento delle espressioni facciali deve essere attentamente bilanciato con la privacy degli studenti. È essenziale

garantire che i dati raccolti siano trattati in modo etico e che vengano rispettate tutte le normative sulla privacy. La trasparenza e il consenso degli studenti sono aspetti fondamentali da considerare in questo contesto.

4.2 Considerazioni etiche

Legato al discorso precedentemente aperto, un aspetto di cruciale importanza da considerare riguarda l'aspetto etico dell'impiego di tecnologie avanzate come i modelli di Intelligenza Artificiale, ad esempio il modello FER, e come queste vengono utilizzate in diversi contesti. È innegabile che tali tecnologie abbiano un potenziale positivo, come ad esempio nel campo dell'istruzione online o all'interno di Metaversi ludici, dove gli utenti possono comunicare le proprie emozioni, intensificando l'immersione nella realtà virtuale. In questo contesto, utilizzando il modello di IA in maniera inadeguata, si sarebbe potuto compromettere la privacy delle emozioni degli studenti, potenzialmente esponendo le loro sensazioni in situazioni in cui ciò non fosse necessario o appropriato.

Tuttavia, è essenziale porre una particolare attenzione all'eticità dell'uso di tali tecnologie in contesti inappropriati, pericolosi o in modo scorretto. Ad esempio, durante il periodo della pandemia da COVID-19, è stata avanzata l'idea di utilizzare modelli di IA per analizzare le espressioni facciali al fine di prevedere la probabilità che una persona fosse affetta da depressione. Inoltre, è stato discusso l'impiego di questa tecnologia in luoghi pubblici per anticipare potenziali attacchi terroristici.

In queste circostanze, sorgono legittime preoccupazioni. Inizialmente, l'accuratezza di questi modelli di IA potrebbe destare preoccupazioni rilevanti, poiché l'errore nel riconoscere erroneamente un individuo come potenziale minaccia potrebbe avere conseguenze per la persona coinvolta.

Inoltre, le piattaforme del Metaverso potrebbero raccogliere una vasta quantità di dati sugli utenti, inclusi i loro movimenti, le interazioni sociali, i comportamenti di navigazione e, appunto, le espressioni facciali attraverso dispositivi di realtà virtuale. Questa sorveglianza invasiva potrebbe essere utilizzata per scopi non solo commerciali, ma anche per controllare le azioni e le preferenze delle persone in modo più ampio.

Altri problemi includono la disconnessione con la realtà poichè, quando le persone trascorrono la maggior parte del loro tempo immersi in ambienti virtuali, potrebbero gradualmente perdere il contatto con la vita reale. Questo potrebbe tradursi in un impoverimento delle relazioni personali e sociali, con un aumento della solitudine e dell'isolamento. Le persone potrebbero trascurare i momenti significativi con amici e familiari, nonché le responsabilità quotidiane, come il lavoro, lo studio e il mantenimento di una buona salute fisica e mentale.

Ancora, in questo contesto, si può parlare di manipolazione emotiva; l'IA potrebbe essere utilizzata per manipolare le emozioni degli utenti all'interno del Metaverso. Questo fenomeno può assumere diverse forme e avere un impatto significativo sul comportamento e sul benessere degli utenti. Alcuni punti chiave riguardo questa problematica sono:

- *Targeting emotivo*: le tecnologie di riconoscimento delle espressioni facciali e l'IA consentono di adattare i contenuti del Metaverso in base alle emozioni degli utenti. Ad esempio, se un individuo sembra triste, potrebbe essere bombardato da contenuti che cercano di alleviare la tristezza, mentre se sembra arrabbiato, potrebbe essere esposto a contenuti progettati per calmare l'ira. Questo livello di adattamento può influenzare le emozioni e i comportamenti degli utenti in modi che possono non essere nell'interesse del singolo individuo.
- *Abuso da parte di aziende*: se non esistono regole etiche o legali chiare sull'uso del targeting emotivo nell'ambiente del Metaverso, ciò potrebbe essere abusato da aziende, organizzazioni politiche o altre entità per scopi non etici. Ad esempio, potrebbe essere utilizzato per manipolare l'opinione pubblica, influenzare il voto o spingere gli utenti a compiere azioni che vanno contro i loro interessi.

Inoltre, nel Metaverso, la mancanza di capacità di esprimere il consenso e di controllo adeguato da parte degli utenti nel Metaverso, soprattutto in relazione all'uso del riconoscimento delle espressioni facciali e di altre tecnologie di sorveglianza, solleva questioni fondamentali legate alla protezione dei diritti individuali e alla necessità di garantire il consenso informato e il controllo dell'utente. Ad esempio, nel Metaverso, le persone potrebbero essere coinvolte in esperienze digitali complesse senza essere pienamente consapevoli dell'uso del riconoscimento delle espressioni facciali. La

mananza di consenso esplicito o la difficoltà nel fornirlo in un ambiente virtuale può rendere gli utenti vulnerabili all'uso indiscriminato di tecnologie di sorveglianza. Questo solleva preoccupazioni riguardo alla legittimità dell'acquisizione e dell'uso dei dati biometrici delle persone senza il loro consenso informato.

Per gestire questi problemi e ridurre i rischi, dobbiamo fare tre cose importanti: creare leggi e regole giuste, far sì che le aziende siano chiare e responsabili quando usano l'IA e il Metaverso, e aiutare le persone a pensare in modo etico sulla tecnologia. Trovare un equilibrio tra la tecnologia avanzata e la protezione dei valori umani sarà una sfida molto importante nel futuro.

Conclusioni

5.1 Conclusioni

L'obiettivo centrale di questa tesi è stato dimostrare che l'applicazione di un modello di Intelligenza Artificiale nel contesto del Metaverso può notevolmente migliorare l'esperienza degli utenti, arricchendo l'ambiente virtuale in modo significativo. Questo apre la porta a ulteriori sviluppi in diversi ambiti, non solo per il divertimento, ma anche per applicazioni sociali ed educative, tra molte altre.

Il nucleo del progetto di tesi si è concentrato sull'integrazione del modulo di Riconoscimento delle Espressioni Facciali (FER) all'interno di un ambiente di classe virtuale nel Metaverso. Questo ha comportato un notevole miglioramento della qualità delle lezioni online, contribuendo non solo a ottimizzare l'esperienza degli studenti, ma anche a fornire uno strumento prezioso per il supporto dei docenti. Grazie a questa innovazione, i professori hanno ora la capacità di monitorare in modo preciso lo svolgimento delle loro lezioni virtuali. Possono rilevare segnali di disinteresse o insoddisfazione da parte degli studenti rispetto all'insegnamento, valutare attentamente il coinvolgimento degli studenti nella materia trattata e, in situazioni specifiche, decidere se sia opportuno adeguare il ritmo delle lezioni o introdurre elementi interattivi per stimolare l'attenzione degli studenti.

Inoltre, questo risultato non solo dimostra la potenza dell'IA nel contesto educativo e della formazione, ma sottolinea anche le immense opportunità offerte dall'integrazione del Metaverso. L'ambiente immersivo del Metaverso offre una piattaforma innovativa per l'apprendimento, e l'aggiunta di un modello di IA per il riconoscimento delle emozioni rappresenta solo un assaggio delle potenzialità inesprese di questa combinazione. L'interesse e la curiosità generati da questa ricerca dimostrano quanto sia promettente l'integrazione tra IA e Metaverso. Questo campo in rapida crescita offre un terreno fertile per ulteriori esplorazioni e innovazioni. Alcune delle direzioni future possibili includono:

- L'utilizzo dell'IA per monitorare le emozioni e le reazioni degli utenti consente la personalizzazione delle interazioni virtuali. Questo può portare a esperienze altamente coinvolgenti e su misura per le esigenze individuali degli utenti, che spaziano dalla formazione personalizzata all'intrattenimento su misura.
- L'apprendimento automatico potrebbe essere utilizzato per affinare ulteriormente i modelli di IA, rendendoli più precisi nel riconoscimento delle emozioni e delle espressioni facciali. Ciò consentirebbe un monitoraggio e un adattamento ancora più efficaci delle interazioni virtuali.
- In ambito sanitario, l'integrazione tra IA e Metaverso potrebbe portare a avanzamenti significativi nell'assistenza sanitaria virtuale. Ad esempio, i medici potrebbero monitorare le reazioni emotive dei pazienti durante le sessioni di telemedicina per valutare meglio il loro stato di salute e benessere.

5.2 **Sviluppi futuri**

Questo progetto costituisce un fondamentale punto di partenza per una serie di ulteriori sviluppi mirati al potenziamento della tesi stessa. In particolare è di grande importanza condurre un sondaggio coinvolgendo gli utenti chiave, tra cui studenti e docenti. L'obiettivo dell'indagine sarebbe quello di raccogliere opinioni e feedback in merito alla fattibilità di acquisire le emozioni degli studenti durante una lezione tenutasi all'interno del Metaverso e sfruttarle per valutare l'andamento dell'insegnamento. Questo approfondimento consentirebbe di affrontare questioni di

natura etica precedentemente discusse nella sezione 4.2. Esplorare la percezione degli utenti, comprese le loro considerazioni sull'uso delle emozioni come strumento di monitoraggio delle lezioni, rappresenterebbe un passo importante verso lo sviluppo e l'ottimizzazione del progetto di tesi. Inoltre, potrebbe aprire la strada a ulteriori riflessioni e approfondimenti sui possibili impatti di questa innovativa metodologia all'interno dell'ambiente educativo virtuale.

Un passaggio successivo fondamentale riguarda la validazione dell'applicazione creata, in particolare, attraverso l'implementazione di esperimenti mirati. Questo approccio mira a verificare se le emozioni percepite dagli studenti durante le lezioni virtuali nel Metaverso possano costituire un indicatore utile per il docente al fine di valutare l'efficacia dell'insegnamento e la necessità di eventuali miglioramenti. La conduzione di questi esperimenti offre l'opportunità di raccogliere dati concreti e oggettivi sul modo in cui le emozioni degli studenti possono influire sull'apprendimento e sulla qualità delle lezioni. Ciò potrebbe contribuire a definire strategie più efficaci per gli insegnanti e migliorare l'esperienza educativa nel Metaverso. Inoltre, questa fase di verifica rappresenta un importante passo avanti nel processo di sviluppo, consentendo di mettere alla prova la validità dell'applicazione in condizioni reali, con il coinvolgimento diretto degli studenti e dei docenti.

Un ulteriore miglioramento cruciale da apportare a questo progetto riguarda l'esecuzione del modello di intelligenza artificiale integrato. Attualmente, durante l'avvio, l'applicazione apre il prompt dei comandi (CMD), mostrando tutto il processo di esecuzione e i dati trasmessi. Per fermare il modello, l'utente deve chiudere manualmente il prompt dei comandi. Sarebbe fondamentale garantire che l'esecuzione del modello avvenga in modo del tutto discreto, senza coinvolgere l'utente o richiedere la sua interazione diretta. Tuttavia, è essenziale che l'utente sia comunque consapevole dell'attività in corso. In altre parole, il processo dovrebbe svolgersi in background in modo trasparente, senza richiedere all'utente di intervenire manualmente, ma allo stesso tempo fornendo notifiche o informazioni chiare sulla sua esecuzione, in modo che l'utente sia informato e possa monitorare l'attività dell'IA senza interromperla involontariamente. Questa miglioria consentirebbe un'esperienza utente più fluida e user-friendly, assicurando che l'IA lavori in modo efficiente e trasparente.

Bibliografia

- [1] V. K. Mololoth, S. Saguna, and C. Åhlund, "Blockchain and machine learning for future smart grids: A review," *Energies*, vol. 16, no. 1, 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/1/528> (Citato alle pagine iii e 12)
- [2] "<https://www.codingninjas.com/studio/library/intro-to-feedforward-neural-networks>". (Citato alle pagine iii e 16)
- [3] J. Joshua, "Information bodies: computational anxiety in neal stephenson's snow crash," *Interdisciplinary Literary Studies*, vol. 19, no. 1, pp. 17–47, 2017. (Citato alle pagine 5 e 7)
- [4] H. Zhu, "Metaaid: A flexible framework for developing metaverse applications via ai technology and human editing," *arXiv preprint arXiv:2204.01614*, 2022. (Citato alle pagine 5, 6, 7, 10 e 18)
- [5] J. Kim, "Advertising in the metaverse: Research agenda," *Journal of Interactive Advertising*, vol. 21, no. 3, pp. 141–144, 2021. (Citato a pagina 6)
- [6] "Mettere una skin "metaverso" di second life sui sistemi di gestione dell'apprendimento," in *Atti del seminario educativo di Second Life alla convention della community di Second Life*, vol. 20. Università di Paisley CA, San Francisco. (Citato a pagina 6)

-
- [7] L.-H. Lee, T. Braud, P. Zhou, L. Wang, D. Xu, Z. Lin, A. Kumar, C. Bermejo, and P. Hui, "All one needs to know about metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda," *arXiv preprint arXiv:2110.05352*, 2021. (Citato alle pagine 6, 7, 8, 9, 10 e 18)
- [8] N. Mohammadi and J. E. Taylor, "Thinking fast and slow in disaster decision-making with smart city digital twins," *Nature Computational Science*, vol. 1, no. 12, pp. 771–773, 2021. (Citato a pagina 7)
- [9] A. El Saddik, "Digital twins: The convergence of multimedia technologies," *IEEE multimedia*, vol. 25, no. 2, pp. 87–92, 2018. (Citato a pagina 7)
- [10] Q.-V. Pham, X.-Q. Pham, T. T. Nguyen, Z. Han, D.-S. Kim *et al.*, "Artificial intelligence for the metaverse: A survey," *arXiv e-prints*, pp. arXiv–2202, 2022. (Citato alle pagine 8 e 10)
- [11] I. Horvath, Á. B. Csapó, B. Berki, A. Sudar, and P. Baranyi, "Definition, background and research perspectives behind 'cognitive aspects of virtual reality'(cvr)," *INFOCOMMUNICATIONS JOURNAL: A PUBLICATION OF THE SCIENTIFIC ASSOCIATION FOR INFOCOMMUNICATIONS (HTE)*, no. SP, pp. 9–14, 2023. (Citato a pagina 9)
- [12] S. Mystakidis, "Metaverse," *Encyclopedia*, vol. 2, no. 1, pp. 486–497, 2022. (Citato a pagina 9)
- [13] "Empowering metaverse through machine learning and blockchain technology: A study on machine learning, blockchain, and their combination to enhance metaverse," *ScienceOpen Preprints*. (Citato a pagina 9)
- [14] M. Speicher, B. D. Hall, and M. Nebeling, "What is mixed reality?" in *Proceedings of the 2019 CHI conference on human factors in computing systems*, 2019, pp. 1–15. (Citato a pagina 9)
- [15] T. Huynh-The, Q.-V. Pham, X.-Q. Pham, T. T. Nguyen, Z. Han, and D.-S. Kim, "Artificial intelligence for the metaverse: A survey," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 117, p. 105581, 2023. (Citato alle pagine 9, 10 e 19)

-
- [16] M. M. John, H. H. Olsson, and J. Bosch, "Developing ml/dl models: A design framework," in *Proceedings of the International Conference on Software and System Processes*, 2020, pp. 1–10. (Citato a pagina 10)
- [17] J. M. Helm, A. M. Swiergosz, H. S. Haeberle, J. M. Karnuta, J. L. Schaffer, V. E. Krebs, A. I. Spitzer, and P. N. Ramkumar, "Machine learning and artificial intelligence: definitions, applications, and future directions," *Current reviews in musculoskeletal medicine*, vol. 13, pp. 69–76, 2020. (Citato a pagina 11)
- [18] B. Mahesh, "Machine learning algorithms-a review," *International Journal of Science and Research (IJSR).[Internet]*, vol. 9, pp. 381–386, 2020. (Citato alle pagine 11 e 12)
- [19] V. Nasteski, "An overview of the supervised machine learning methods," *Horizons. b*, vol. 4, pp. 51–62, 2017. (Citato a pagina 11)
- [20] K. O'Shea and R. Nash, "An introduction to convolutional neural networks," *arXiv preprint arXiv:1511.08458*, 2015. (Citato a pagina 17)
- [21] Z. Li, F. Liu, W. Yang, S. Peng, and J. Zhou, "A survey of convolutional neural networks: analysis, applications, and prospects," *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 2021. (Citato a pagina 17)