



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA

DIPARTIMENTI DI GIURISPRUDENZA, INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE,
SCIENZE ECONOMICHE E AZIENDALI, SCIENZE POLITICHE E SOCIALI, STUDI UMANISTICI

CORSO DI LAUREA INTERDIPARTIMENTALE IN
COMUNICAZIONE, INNOVAZIONE, MULTIMEDIALITÀ

DALL'ALGORITMO ALL'ARTE: INTELLIGENZA ARTIFICIALE
NELL'INDUSTRIA MUSICALE

Relatore:

Chiar.mo Dott./Prof. Flavio Antonio Ceravolo

Correlatore:

Chiar.ma Dott.ssa/Prof.ssa Emanuela Dal Zotto

Laureando:

Alessandro Pederiva

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

INDICE

INDICE	2
INTRODUZIONE.....	4
1. INTRODUZIONE ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE NELLA MUSICA....	5
1.1 Definizione e storia dell'intelligenza artificiale	5
1.2 Storia dell'IA nella Musica	13
1.3 Applicazioni dell'IA nella musica	18
2. ALGORITMI, MACHINE LEARNING, MODELLI GENERATIVI.....	28
2.1 Definizione di algoritmo	30
2.2 Sistemi basati su regole	33
2.3 Modello di Markov.....	35
2.4 Machine learning.....	36
2.5 Deep learning	38
2.6 Reti neurali	40
2.7 Modelli generativi	42
2.7.1 Reti generative avversarie (GANs)	45
2.7.2 Variational auto-encoders (VAEs).....	47
2.7.3 Transformers	49
2.8 Algoritmi genetici.....	51
3. IMPLEMENTAZIONE E SVILUPPO DI MODELLI MUSICALI IA	54
3.1 Modelli per la produzione musicale	54
3.2 Modelli per la raccomandazione musicale	64
4. BENEFICI E OPPORTUNITÀ NELL'INDUSTRIA MUSICALE IA.....	69
5. SVANTAGGI E RISCHI NELL'INDUSTRIA MUSICALE IA.....	78

6. IMPATTO DELLE TECNOLOGIE IA SULL'INDUSTRIA MUSICALE	86
6.1 Impatto sul mercato	86
6.2 Impatto sulla creatività e originalità	88
6.3 Impatto sui lavoratori e professionisti	90
6.4 Impatto sulla privacy e consumo musicale	91
6.5 Impatto sul copyright e proprietà intellettuale	93
7. CASO STUDIO: ALGORITMI E MACHINE LEARNING IN SPOTIFY	96
8. CONCLUSIONI.....	105
BIBLIOGRAFIA.....	107
ABSTRACT	114

INTRODUZIONE

Fin da bambino, la musica ha sempre avuto un ruolo centrale nella mia vita. Suonare strumenti come la chitarra, l'oboe e il pianoforte non era solo un passatempo, ma un modo per esprimere me stesso e dare forma alle mie emozioni. Oggi invece, con una semplice pianola da 25 tasti ed un computer, riesco a creare suoni e combinazioni che prima non avrei nemmeno immaginato. In un certo senso, posso dire di suonare più strumenti che mai, ma attraverso un mezzo completamente diverso.

Anche il modo in cui fruisco della musica è cambiato profondamente. Se prima dovevo procurarmi i brani con strumenti e metodi che ora sembrano lontani, oggi la tecnologia ha reso la musica accessibile in modi immediati e sorprendenti.

Accanto a questa passione musicale, si è sviluppato un forte interesse per la tecnologia e l'innovazione. È proprio l'incontro di queste due sfere, musica e tecnologia, che mi ha portato a intraprendere questo percorso di ricerca.

Chi non si è mai chiesto, ascoltando un brano su una piattaforma di streaming, quale sia il ruolo della tecnologia dietro ogni suggerimento musicale? O se un algoritmo sarà mai in grado di creare una sinfonia capace di emozionare profondamente? Oggi l'intelligenza artificiale non si limita a influenzare ciò che ascoltiamo, ma sta trasformando l'intero ecosistema musicale. Non cambia solo il ruolo del compositore ma ridefinisce anche quello dell'ascoltatore, del produttore e dell'intera filiera musicale.

Attraverso questa tesi, voglio approfondire come si stia ridefinendo il confine tra intervento umano e quello tecnologico. Non si tratta solo di capire come algoritmi avanzati e modelli generativi possano automatizzare il processo creativo, ma di come stiano trasformando l'industria musicale. Quello che un tempo era considerato una fredda tecnologia priva di anima si sta evolvendo in un "collaboratore" artistico e industriale, capace di partecipare attivamente non solo alla creazione musicale ma anche alla sua diffusione, commercializzazione e personalizzazione.

1. INTRODUZIONE ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE NELLA MUSICA

1.1 Definizione e storia dell'intelligenza artificiale

L'intelligenza artificiale (IA) è una branca dell'informatica che ha assunto sempre più un ruolo cruciale nel mondo, rivoluzionando progressivamente il modo in cui pensiamo alla risoluzione dei problemi e all'automazione dei processi. È il prodotto di un lungo cammino di sviluppo che abbraccia diverse discipline e che ha richiesto enorme ingegno umano e capacità computazionali sempre più avanzate.

Le radici dell'IA risalgono in realtà alle antiche civiltà, con filosofi che si interrogavano sull'essenza dell'intelligenza e la possibilità di replicarla artificialmente. Nel corso del tempo questa fascinazione ha trovato espressione in mitologie, racconti popolari e, successivamente, pure nella letteratura di fantascienza, evidenziando la lunga storia dell'uomo e il suo desiderio di creare entità dotate di ragione.

Con il susseguirsi delle epoche si è assistito ad una transizione da un'astratta riflessione filosofica a una solida disciplina scientifica. Le prime macchine calcolatrici meccaniche e i successivi computer digitali hanno gettato le basi per tutti gli sviluppi futuri. Matematici come Alan Turing, con il suo test omonimo pensato per valutare l'intelligenza di una macchina, hanno iniziato a delineare il campo che sarebbe diventato quello delle intelligenze artificiali.

Ritornando all'estate del 1956, il Progetto di Ricerca Estiva di Dartmouth segnò un momento fondamentale per l'Intelligenza Artificiale. Durante questo incontro, John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon, insieme a altri sei scienziati, si riunirono per discutere problemi non ancora risolti nel campo dell'informatica e, per la prima volta, presentarono l'idea di intelligenza artificiale. Questo evento innescò quella che in seguito è stata chiamata la "prima primavera dell'IA".

Tuttavia, a causa delle limitazioni hardware e software dell'epoca, l'IA era confinata principalmente alla simulazione di funzioni cerebrali umane e i

ricercatori si concentravano su problemi specifici in settori ristretti. Durante quel periodo i computer erano principalmente utilizzati per calcoli numerici e le applicazioni di IA come le macchine dimostratrici di teoremi, i programmi per il gioco delle dame e degli scacchi e i robot che manipolavano mattoncini, rappresentavano solo una frazione del potenziale della tecnologia. Questi primi esperimenti riflettevano una visione molto limitata di ciò che si poteva realmente fare.

Dalla conferenza estiva di Dartmouth, quando il concetto di IA fu proposto per la prima volta, lo sviluppo delle tecnologie ha attraversato 60 anni di cambiamenti. In questi 60 anni, lo sviluppo delle IA non è proceduto senza intoppi. Ha attraversato due ondate di sviluppo negli anni '50 e '60 e poi ancora negli anni '80, così come ha attraversato un "inverno" negli anni '70 e '80. Insieme alla crescita esplosiva dei dati e ai grandi miglioramenti nella potenza di calcolo, nonché allo sviluppo e alle enormi capacità del *machine learning* e *deep learning*, abbiamo oggi raggiunto la terza ondata di sviluppo da quando è stato proposto il concetto di IA. Tuttavia questa volta è chiaramente diversa dalle due ondate precedenti: l'influenza di questo ciclo di sviluppo è andata ben oltre il mondo accademico, con governi, imprese e organizzazioni che abbracciano sempre più le tecnologie IA. (Institute, 2020)

La terza ondata di sviluppo in cui ci troviamo è però solo all'inizio. Oggi il rapido sviluppo dell'IA ha sollevato il sipario su una nuova era.

Una sequenza infinita di applicazioni, da Siri di Apple sul telefono a complessi sistemi di sicurezza intelligenti sono comparsi sempre più in articoli accademici, nelle notizie e entrati nella vita quotidiana delle persone. (Blau, 2015)

Sebbene le tecnologie IA si siano sviluppate rapidamente negli ultimi anni, definire chiaramente l'intelligenza artificiale non è un compito semplice. La ricerca è generalmente vista come una nuova scienza tecnica composta da teorie, metodi, tecnologie e applicazioni che possono simulare, estendere e ampliare l'intelligenza umana. Molte attività nella vita quotidiana delle persone, come il calcolo, l'osservazione, il dialogo e l'apprendimento, richiedono intelligenza.

"L'intelligenza" può supervisionare e prevedere, ha la capacità di comprendere il contenuto di un'immagine o di un video, può comunicare tra le persone per iscritto o tramite il linguaggio; può creare una riserva di informazioni che si auto-migliora continuamente, dipingere, scrivere poesie, guidare un'auto o pilotare un aereo. Nelle nostre fantasie se una macchina può svolgere uno o molti di questi compiti, allora può essere considerata dotata di un certo grado di "intelligenza artificiale". Oggi le connotazioni dell'IA si sono notevolmente espanse. È una scienza interdisciplinare che copre molti campi tra cui informatica, statistica, neurologia, arte, scienze sociali e sempre più ne coprirà. Le persone sperano e temono che tramite la ricerca sull'IA, l'intelligenza umana possa essere simulata ed espansa, per assistere o addirittura sostituire molte capacità umane, come distinzione, cognizione, analisi e processo decisionale.

Lo sviluppo dell'intelligenza artificiale ha ormai quindi superato una certa "soglia". Rispetto al precedente boom questa volta l'intelligenza artificiale è diventata molto più affidabile, dato riflesso dal miglioramento delle prestazioni e dall'ottimizzazione dell'efficienza in diversi campi verticali. L'accuratezza della visione artificiale, del riconoscimento vocale e dell'elaborazione del linguaggio naturale non è più bloccata al livello del "gioco di casa" o dell'imitazione della realtà. Le applicazioni non sono più solo un "giocattolo" innovativo, ma stanno gradualmente assumendo un ruolo reale e importante di supporto nel mondo.

Assistenti intelligenti nei nostri smartphone, nelle applicazioni per computer, raccomandazioni intelligenti sui siti web, investimenti intelligenti, sistemi di sicurezza intelligenti si affidano ormai tutti alla tecnologia IA basata su algoritmi di apprendimento automatico. Anche se potremmo non essere sempre consapevoli dell'esistenza degli algoritmi, essi sono diventati parte della nostra vita. Oggi l'AI è intrecciata in gran parte di ciò che facciamo e modella sempre di più chi siamo, cosa e come lo facciamo. La tecnologia digitale è stata notevolmente efficace nel soddisfare le richieste delle nostre società ad alta velocità e la maturità di queste tecnologie fanno pensare che in futuro toccheranno sempre più aspetti della vita.

Ciò che una volta era un desiderio è oggi diventato una realtà a livello mondiale. Quello che iniziò come un sogno filosofico o come scienza sperimentale è ormai diventato qualcosa di comune, anche di routinario. La rivoluzione tecnologica odierna - dalla digitalizzazione 3.0, al cloud computing e alla stampa 3D, ai chatbot, alla telerobotica e ai droni - è orientata a una trasformazione del futuro. Ci viene detto regolarmente da esperti di tecnologia e dai media che la rivoluzione digitale cambierà il modo in cui viviamo e lavoriamo nei decenni a venire. Futuri trasformati sono ovunque e ora c'è un'industria ampia e in costante crescita di specialisti che pensano e anticipano come le tecnologie digitali trasformeranno il modo in cui agiamo, vediamo, sentiamo, pensiamo e parliamo in futuro. (Elliott, 2019)

L'attuale proliferazione di interfacce uomo-macchina ha implicazioni profonde per il modo in cui lavoriamo, viviamo, socializziamo e interagiamo con gli altri, e molti altri aspetti della nostra vita personale e professionale.

L'intelligenza artificiale non è più semplicemente una tecnologia 'esterna' o soltanto 'là fuori'. È penetrata nel nucleo delle nostre vite, influenzando profondamente e ristrutturando le relazioni sociali e l'identità personale. I modi complessi in cui le persone interagiscono con le nuove tecnologie ridefiniscono fondamentalmente lo sviluppo ulteriore di quelle stesse tecnologie. Una delle caratteristiche distintive principali dell'AI avanzata e delle nuove tecnologie digitali correlate è che i confini tra umani e macchine si sono, in misura considerevole, dissolti.

Per descrivere sistematicamente l'IA partendo dallo strato più basso verso l'alto, troviamo come fondamenta l'infrastruttura di base, seguita dallo strato degli algoritmi, poi quello tecnico e infine quello applicativo. L'infrastruttura di base comprende l'hardware/la potenza di calcolo e i grandi database; lo strato degli algoritmi include diversi algoritmi di machine learning, apprendimento automatico e deep learning; salendo ancora ci sono vari aspetti tecnici, come le tecnologie di visione computerizzata o le tecnologie linguistiche con funzioni di cognizione e analisi, la tecnologia di elaborazione del linguaggio naturale (NLP) che fornisce

capacità di comprensione e valutazione, tecnologie che forniscono capacità decisionali/interattive per sistemi di pianificazione e decisione e per analisi statistiche su grandi database. Lo strato più alto è quello delle soluzioni, il livello più vicino agli utenti finali, dove l'IA viene applicata in settori specifici per risolvere problemi concreti o migliorare processi esistenti. (Institute, 2020)

Ripensando allo sviluppo dell'IA, ogni progresso nell'infrastruttura di base ha apportato un miglioramento evidente agli strati tecnici e di calcolo. I computer sono nati negli anni '70 e negli anni '80 si sono diffusi; poi negli anni '90 la velocità di calcolo e la capacità di archiviazione dei computer sono cresciute e l'ascesa di Internet ha portato all'elettronificazione dei dati. Tutto ciò ha lavorato a favore delle intelligenze artificiali. Con l'arrivo del ventunesimo secolo l'efficacia di questi miglioramenti è diventata ancora più evidente. L'apparizione di grandi fornitori di servizi Internet, l'accumulo di grandi database derivanti da ricerche e commercio elettronico e l'aggiornamento e miglioramento delle unità di elaborazione grafica, o GPU, e dei microchip a basso consumo energetico hanno portato all'emergere del deep learning e hanno acceso questa ondata esplosiva.

In questa fase non possiamo ignorare l'importanza della rapida crescita dei dati a disposizione. La quantità di dati utilizzata per addestrare un'intelligenza artificiale, nonché la loro scala e abbondanza, rappresentano un elemento cruciale e fungono da vero e proprio carburante per queste tecnologie. (Strauß, 2018)

Se consideriamo l'IA come un neonato, il volume, la specificità e la profondità dei dati di un particolare campo sono il latte artificiale utilizzato per nutrire questo potenziale genio. La quantità del latte artificiale determina se il bambino crescerà, ma la qualità del latte determina il futuro livello di sviluppo intellettuale del bambino. Dal 2000, grazie a Internet, ai social media, ai dispositivi mobili e ai sensori diventati universali, il magazzino di dati creato in tutto il mondo è aumentato enormemente. Rispetto al passato, la quantità di informazioni memorizzate nei dati oggi e le sue dimensioni sono entrambe sempre maggiori, da semplici testi, immagini e dati sonori, a dati sul movimento, atteggiamento e traiettoria del comportamento umano, fino ai dati ambientali come

geolocalizzazione e temperatura. Man mano che la scala dei dati aumenta e diventa più abbondante, anche i suoi usi per la modellazione diventeranno maggiori.

Il processo di addestramento delle intelligenze artificiali è uno step fondamentale per sviluppare sistemi capaci di compiere compiti specifici con un alto grado di efficienza e precisione. Questo addestramento, noto come "*training*", è essenziale per insegnare agli algoritmi di machine learning come interpretare e rispondere adeguatamente ai dati che ricevono.

L'addestramento consiste nell'elaborare grandi quantità di dati, che servono come esempi da cui l'IA può imparare. Durante questo processo, l'algoritmo cerca di identificare pattern e regole nei dati forniti, che poi usa per fare previsioni o decisioni su nuovi dati simili. Ad esempio un modello di IA addestrato per il riconoscimento di immagini viene alimentato con migliaia, o anche milioni, di immagini etichettate in modo che possa imparare a classificare autonomamente nuove immagini in futuro.

Un altro aspetto importante nello sviluppo della tecnologia IA è stato il miglioramento della potenza di calcolo. L'apparizione di chip per l'IA ha chiaramente aumentato la velocità di elaborazione dei dati ed è particolarmente preferibile a CPU tradizionali per l'elaborazione di dati massivi. Da questa base di CPU che, sebbene abili nel processing/controllo e nei processi complessi, rimanevano ad alto consumo energetico, sono emerse GPU abili nel calcolo parallelo, così come FPGA (Field Programmable Gate Array) e ASIC (Application Specific Integrated Circuit) più adatti ai modelli di deep learning e con una migliore efficienza operativa. Il consumo energetico dei chip è diventato sempre più basso e la loro flessibilità sempre più alta.

Nel discutere dello stato degli algoritmi, è necessario prima chiarire alcuni concetti.

Gli algoritmi di intelligenza artificiale costituiscono la base tecnologica per un'ampia gamma di applicazioni, spaziando dal riconoscimento facciale alle auto autonome. In particolare, il machine learning (ML) e il deep learning (DL) hanno

rivoluzionato il modo in cui le macchine possono apprendere e operare, offrendo soluzioni sempre più efficienti e accurate.

Il machine learning si basa su algoritmi che analizzano i dati inseriti per imparare e prendere decisioni senza essere esplicitamente programmati per ogni compito specifico. Questi algoritmi migliorano il loro rendimento man mano che elaborano più dati. Può essere suddiviso in tre categorie principali:

1. Apprendimento supervisionato: modello che richiede un set di dati etichettato, dove ogni esempio di input è già abbinato a un'etichetta che descrive l'output desiderato. L'IA viene addestrata per minimizzare la differenza tra le sue previsioni e le etichette corrette. Questo tipo di apprendimento è comunemente utilizzato per applicazioni come la classificazione e la regressione.
2. Apprendimento non supervisionato: Gli algoritmi cercano di identificare pattern nei dati che non sono stati etichettati o classificati precedentemente. Questo approccio è utile per l'analisi esplorativa dei dati o per identificare gruppi omogenei all'interno di grandi set di dati.
3. Apprendimento per rinforzo: L'algoritmo impara a prendere decisioni attraverso tentativi ed errori, *trial-and-error*, tramite un sistema di ricompense e penalità. Viene spesso impiegato in contesti dove è necessario automatizzare decisioni in ambienti dinamici, come nei giochi o nella navigazione di veicoli autonomi.

Il deep learning è una specializzazione del machine learning che utilizza reti neurali profonde per analizzare vari livelli di dati. Queste reti sono composte da molti strati (o livelli) di neuroni, e possono catturare relazioni complesse nei dati. Le applicazioni tipiche del deep learning includono il riconoscimento di immagini, la traduzione automatica e la generazione di testo.

Le reti neurali, pilastri del deep learning, sono strutturati in nodi che simulano il funzionamento dei neuroni biologici. Questi modelli sono particolarmente efficaci nel riconoscere pattern dai dati sensoriali, come immagini, suoni e testi. Ogni nodo

in una rete neurale elabora l'input ricevuto e lo passa ai nodi successivi, progressivamente affinando l'output finale del modello.

Le *Generative Adversarial Networks* (GANs) rappresentano una classe innovativa di reti neurali utilizzate per la generazione di dati. Questi modelli includono due componenti principali: un generatore che crea dati nuovi e un discriminatore che valuta la qualità dei dati generati. Il generatore produce campioni sempre più realistici per ingannare il discriminatore, mentre il discriminatore impara a distinguere meglio tra i dati reali e quelli generati. Questo processo di competizione interna migliora la capacità del modello di produrre risultati realistici e dettagliati.

Le reti neurali, una fascia distintiva dell'apprendimento automatico, hanno avuto un percorso di crescita e evoluzione che si estende ben oltre il clamore moderno generato da sistemi come AlphaGo. Questi intricati sistemi di algoritmi, sebbene abbiano guadagnato popolarità pubblica nel XXI secolo, hanno una storia che si snoda per più di sei decenni, un periodo in cui hanno affrontato, come già visto, periodi di intenso entusiasmo seguiti da fasi di disillusione a causa di limiti di dati e potenza computazionale. L'interesse si è acceso di nuovo con i progressi nell'apprendimento profondo, facendo riemergere le reti neurali come un potente mezzo di innovazione tecnologica. Oggi influenzano una vasta gamma di applicazioni, dalla traduzione automatica al riconoscimento facciale.

Parallelamente, gli algoritmi di apprendimento superficiale continuano a svilupparsi, mantenendo la loro rilevanza in specifici ambiti di applicazione. Gli algoritmi come l'albero decisionale, le macchine a vettori di supporto (SVM), AdaBoost e le foreste casuali hanno trovato il loro spazio in particolari contesti dove le reti neurali potrebbero non essere l'opzione più efficiente. Il percorso di queste tecnologie dimostra che, nonostante l'ascesa delle reti neurali, vi è ancora spazio per una varietà di metodi nell'ambito dell'apprendimento automatico. (Elliott, 2019)

1.2 Storia dell'IA nella Musica

L'industria musicale, un tempo dominio esclusivo di strumenti analogici e melodie tradizionali, ha subito una rivoluzione nei decenni recenti grazie a numerosi progressi tecnologici. La condivisione di file, l'emergere del prosumer digitale, lo sviluppo di infinite applicazioni musicali e l'avvento delle piattaforme di streaming hanno rivoluzionato non solo il modo in cui la musica viene prodotta e distribuita, ma anche come viene consumata e apprezzata. (Filimowicz, 2023)

Tra questi numerosi progressi l'intelligenza artificiale è tra le principali ad aver influenzato profondamente il settore, introducendo capacità di analisi, composizione, mixaggio e masterizzazione senza precedenti. Queste competenze, rese possibili da algoritmi avanzati e data science, stanno ora espandendo i confini della creatività, della produzione musicale e della distribuzione musicale. L'AI, che una volta rappresentava un'ambizione futuristica esplorata nella letteratura di fantascienza, è diventata realtà grazie ai progressi di machine learning e alle relative applicazioni algoritmiche.

Le reti supercariche di algoritmi che costituiscono l'IA oggi hanno aperto nuove frontiere che possono competere con la creatività umana, dalle capacità di prevedere tendenze musicali alla creazione di opere completamente originali. Questa trasformazione è stata catalizzata dall'algoritmizzazione delle industrie dei media, un fenomeno che ha preso piede con l'accesso a quantità di dati senza precedenti.

La storia dell'IA nella musica si intreccia con quella della matematica, testimoniando un accumulo di idee che hanno progressivamente plasmato il campo.

I primi esperimenti di musica generata da computer risalgono agli anni '50, concentrandosi sulla creazione musicale algoritmica. L'introduzione della musica generata da computer da parte di pionieri come Alan Turing, utilizzando il computer Manchester Mark II, ha aperto nuove possibilità per la ricerca nell'intelligenza musicale, permettendo ai sistemi computazionali di riconoscere, creare e analizzare la musica. (Ranwala, 2020)

In particolare gli esperimenti iniziali si focalizzarono sulla composizione algoritmica, in cui un computer utilizzava insiemi formali di regole per creare musica. Nel 1957, venne composta la "Illiac Suite for String Quartet", la prima opera realizzata interamente da intelligenza artificiale. Lejaren Hiller e Leonard Isaacson, entrambi compositori americani, utilizzarono modelli matematici e algoritmi per creare l'Illiac Suite. Per raggiungere questo traguardo adottarono l'algoritmo di Monte Carlo, che generava numeri casuali associati a specifiche caratteristiche musicali come la tonalità o il ritmo. Queste caratteristiche casuali erano confinate entro elementi considerati musicalmente "legali", definiti dalle regole tradizionali della teoria musicale, da probabilità statistiche come le catene di Markov e dall'immaginazione dei due compositori.

Un altro innovatore in questo campo fu Iannis Xenakis, compositore e ingegnere, che si avvale delle probabilità stocastiche per supportare la sua creazione musicale. Un processo stocastico è un meccanismo con distribuzioni di probabilità casuali che non possono essere predette, ma che possono essere analizzate statisticamente. Nei primi anni '60 Xenakis utilizzò computer e il linguaggio FORTRAN per tessere insieme molteplici funzioni di probabilità al fine di determinare la struttura complessiva e altri parametri come tonalità e dinamiche di una composizione. (Ranwala, 2020)

Xenakis concepì la sua musica come se stesse modellando un esperimento scientifico, dove ogni strumento, come una molecola, subiva un proprio processo stocastico casuale per determinarne il comportamento, come la frequenza della tonalità e la velocità di determinate note.

Il suo lavoro non solo introdusse nuovi metodi per la creazione sonora ma funse anche da esempio precoce di IA utilizzata come strumento di analisi supplementare, non solo compositiva. Il modo in cui Xenakis creava le sue melodie e orchestrazioni per diversi strumenti trasse ispirazione dagli spazi sonori modellati dal processo stocastico.

Questa dualità dell'IA, sia come creatori autonomi sia come guide supplementari, continua oggi con sistemi sonori intelligenti specializzati sia nella generazione di

pezzi originali come l'Illiatic Suite sia nell'analisi scientifica del suono, come i processi stocastici di Xenakis.

Negli anni che hanno preceduto l'era moderna della musica, l'attenzione si è spostata dalla generazione algoritmica più semplice alla modellazione generativa. Otto Laske, un importante ricercatore nel campo della Sonologia, descrive questo cambiamento come la “differenza tra un robot musicale e l'intelligenza musicale”. Un robot musicale è simile ai primi esperimenti degli anni '50 e '60 — è in grado di riconoscere schemi, possiede una grammatica musicale e ha un senso generale della risoluzione dei problemi, ma raggiunge i suoi obiettivi con metodi diretti e piuttosto grezzi. D'altra parte, l'intelligenza musicale generativa sostituisce l'approccio di ricerca a forza bruta del robot con un sistema di comprensione basato sulla conoscenza, dotato di una propria consapevolezza di come possono funzionare gli elementi musicali.

Questa tendenza verso sistemi di IA che costruiscono una propria comprensione autonoma degli elementi musicali è stata la base per l'intelligenza musicale di alto livello che vediamo oggi.

Negli anni '80 David Cope, un compositore e professore di musica, con i suoi "Experiments in Music Intelligence" (EMI), era un convinto sostenitore del fatto che l'ambito della composizione computerizzata potesse includere una comprensione più profonda della musica attraverso i suoi tre metodi di base:

- Deconstruzione (analisi e separazione in parti)
- Firme (mantenimento di ciò che segnala lo stile)
- Compatibilità (ricombinazione di elementi musicali in nuove opere)

Il lavoro ruotava intorno all'idea di ricombinanza, dove elementi di opere precedenti vengono combinati e modificati per creare nuovi pezzi musicali. Alcuni dei più grandi compositori di tutti i tempi hanno giocato con la ricombinanza, sia consapevolmente sia inconsciamente, mentre riplasmavano idee/stili esistenti nelle loro opere. In EMI, David Cope desiderava replicare questo comportamento attraverso l'uso di computer e delle loro capacità computazionali, ponendo le fondamenta per molti dei modelli di IA attuali nel mercato.

Inizialmente, la musica e i suoi attributi venivano codificati in database; successivamente i segmenti ricombinati venivano estratti utilizzando specifici identificatori e sistemi di corrispondenza dei modelli. I segmenti musicali erano poi categorizzati e ricostruiti in un ordine logico e musicale mediante reti di transizione potenziate fino alla produzione di nuova musica. Questo tipo di costruzione 'rigenerativa' della musica ricorda molte le reti neurali attuali che compongono musica. (Cheng, 2009)

Altri sviluppi di questo periodo hanno continuato a esplorare i confini della creatività computazionale. Robert Rowe ha creato un sistema in cui una macchina può decidere misura, tempo e lunghezza delle note mentre qualcuno suona liberamente una tastiera. Nel 1995 Imagination Engines ha addestrato una rete neurale con melodie popolari utilizzando l'apprendimento per rinforzo, portando alla generazione di oltre 10.000 nuovi ritornelli musicali. L'apprendimento per rinforzo implica l'addestramento di una rete neurale per raggiungere un obiettivo premiando o punendo il modello in base alle decisioni che prende per raggiungere un obiettivo specificato.

Nell'era attuale della tecnologia musicale AI, le radici della modellazione generativa e della composizione algoritmica si sono diffuse dinamicamente nella ricerca di alto livello e persino nell'industria musicale. Con l'uso di algoritmi più sperimentali e reti neurali più profonde, il ruolo dell'intelligenza musicale AI nel processo creativo è cresciuto significativamente. (Verma, 2021)

Con l'avvento e lo sviluppo delle Digital Audio Workstation (DAW) negli anni '80 e '90, algoritmi e IA hanno iniziato a trovare applicazioni pratiche sempre più ampie nella produzione musicale. Programmi come Cakewalk, Logic Pro, Pro Tools hanno iniziato ad incorporare algoritmi per creare strumenti, effetti e plugin che aiutassero gli utenti con il mixing, la masterizzazione e persino la composizione di musica.

Nel 2010, il progetto Iamus di Melomics è stato il primo computer a comporre musica classica nel proprio stile. Iamus è un cluster di computer che utilizza algoritmi evolutivi per comporre i suoi frammenti musicali, mostrando una certa

divergenza dalla modellazione generativa di Cope basata su musica precedente. Come il processo di selezione naturale, un pezzo di musica generato casualmente viene mutato (modifica di tonalità, dinamiche, ecc.) e analizzato da un insieme di regole per vedere se segue le regole stabilite dalla teoria musicale o dal genere. Alla fine, questa evoluzione permette a un frammento di input casuale di svilupparsi in centinaia di composizioni che seguono criteri musicali reali dopo solo un paio di minuti.

Dalla pubblicazione del progetto Iamus di Melomics nel 2010, l'intelligenza artificiale ha continuato a evolversi, diventando sempre più integrata e sofisticata nel processo creativo musicale: dalla creazione di nuove composizioni all'assistenza nella produzione, dal miglioramento delle performance live all'interazione più intuitiva tra gli utenti e gli strumenti musicali.

Nell'attuale panorama musicale, le aziende di software e IT rivestono un ruolo cruciale che abbraccia ogni fase del processo musicale. Le stazioni di lavoro audio digitali, i plugin musicali, gli effetti e le interfacce audio continuano ad essere fondamentali nella creazione e produzione musicale e sempre più sono integrati e ampliati da servizi cloud emergenti che offrono funzioni avanzate come mixaggio, mastering, librerie di campioni e produzione assistita da intelligenza artificiale. Parallelamente, anche il modo in cui scopriamo, distribuiamo e consumiamo musica è stato completamente trasformato da tecnologie di riconoscimento audio come Shazam e da piattaforme di distribuzione e streaming come Bandcamp e Spotify. (Mbamba, 2024)

1.3 Applicazioni dell'IA nella musica

La fusione tra intelligenza artificiale e musica ha aperto un mondo di possibilità che vanno oltre la semplice riproduzione di suoni o pattern, trasformando profondamente l'intera industria musicale. Sebbene siano passati oltre 60 anni dagli esperimenti con la composizione musicale algoritmica, molti esperti e ricercatori musicali considerano ancora questi tempi come gli albori di questa tecnologia che già sta ridisegnando l'industria e il business della musica a livello globale.

Le applicazioni dell'IA nel campo della musica sono numerose e hanno portato alla creazione di strumenti, piattaforme e tecnologie che spaziano dalla composizione alla generazione e personalizzazione di melodie.

L'industria musicale odierna è testimone di una rapida espansione grazie alla proliferazione di servizi di intelligenza artificiale che offrono un'ampia varietà di applicazioni creative, dalla composizione alla personalizzazione melodica.

Progetti come Flow Machines di Sony CSL, Amper Music, Google Magenta, ecc., segnano una nuova era in cui gli artisti sono dotati di strumenti intelligenti per espandere il proprio raggio creativo nella musica. Questi strumenti sfruttano algoritmi per generare, modificare e migliorare autonomamente o in cooperazione la musica, promuovendo un'integrazione innovativa tra tecnologia e intuizione artistica.

Flow Machines è un progetto pionieristico nel campo della creatività musicale aumentata, sostenuto dal Consiglio Europeo della Ricerca. Questo progetto si dedica alla ricerca e allo sviluppo di sistemi di intelligenza artificiale in grado di comporre brani autonomamente o in sinergia con compositori umani, aprendo nuove frontiere nella composizione musicale.

Il 22 marzo 2020, i Sony Computer Science Laboratories (Sony CSL) hanno lanciato Flow Machines Professional (FM Pro), un servizio di produzione musicale assistito dall'intelligenza artificiale. Questo strumento rappresenta un'innovazione significativa nel panorama musicale, offrendo un sistema di raccomandazione musicale basato su IA che suggerisce melodie, armonie e linee

di basso per completare i contenuti creati dagli utenti. FM Pro è disponibile come plug-in di terze parti, operando all'interno delle DAW degli utenti, simile a molti degli strumenti sviluppati dal progetto Magenta di Google. Con FM Pro, l'utente può semplicemente premere "componi" per avviare la creazione musicale, incarnando la previsione di Attali e Xenakis, secondo cui il compositore del futuro diventerà un "pilota" che preme pulsanti per creare musica. (Fawaz, 2020)

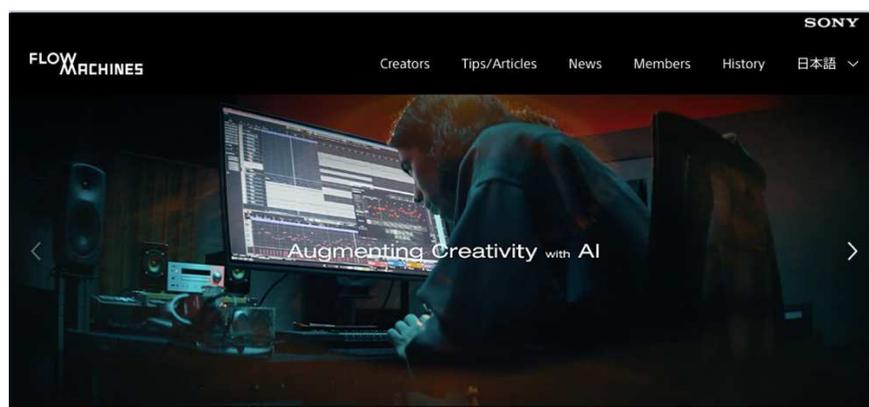


Figura 1.1 Flow Machines

Magenta Studio rappresenta un passo significativo nella democratizzazione della creazione musicale basata sull'intelligenza artificiale. Rilasciato da Google, questo generatore di musica AI gratuito include un insieme di strumenti creativi compatibili sia con dispositivi MacOS che Windows, oltre a essere integrabile come plugin in Ableton Live, uno dei software di produzione musicale più utilizzati al mondo. Il cuore di Magenta Studio è costituito da una rete neurale avanzata che permette agli utenti di creare, modificare e trasformare brevi melodie o riff in composizioni strumentali complete e di qualsiasi stile.

Il pacchetto Magenta Studio offre cinque applicazioni principali: "Continue", "Drumify", "Generate", "Groove" e "Interpolate". Questi strumenti non sono semplici plugin, ma potenti mezzi per espandere la creatività musicale. Ad esempio, "Continue" permette di prendere un file MIDI e prolungarne il contenuto con nuovi elementi musicali generati automaticamente, mentre "Drumify" trasforma melodie o linee di basso in pattern di batteria, aggiungendo un elemento

ritmico essenziale a qualsiasi traccia. "Generate" funziona come un generatore di note casuali, ideale per creare spunti musicali inaspettati, mentre "Groove" modifica il ritmo di una traccia di batteria per renderla più naturale e "umana". Infine, "Interpolate" permette di collegare due melodie MIDI distinte, creando una transizione musicale fluida e coerente.

L'importanza di Magenta Studio va oltre le sue funzionalità di base. La comunità che si è sviluppata attorno al progetto Magenta, nota come "Experiments with Google", ha portato alla nascita di numerosi progetti innovativi che hanno esteso le capacità del software.

Tutti i progetti Magenta si basano su TensorFlow, una piattaforma open-source di machine learning sviluppata da Google. TensorFlow fornisce una vasta gamma di strumenti e librerie per lo sviluppo di reti neurali profonde, rendendo l'IA accessibile sia a programmatori che artisti.

Un altro progetto significativo è GANSynth, un modello di deep learning che utilizza reti generative avversarie per creare audio grezzo in tempo reale. GANSynth rappresenta un notevole avanzamento rispetto a modelli precedenti come WaveNet, che richiedevano tempi di elaborazione molto più lunghi. GANSynth, invece, sfrutta l'elaborazione parallela per generare l'intera registrazione audio in una frazione del tempo, rendendo possibile la creazione di musica in tempo reale senza la necessità di intervento umano. (TensorFlow, 2024)

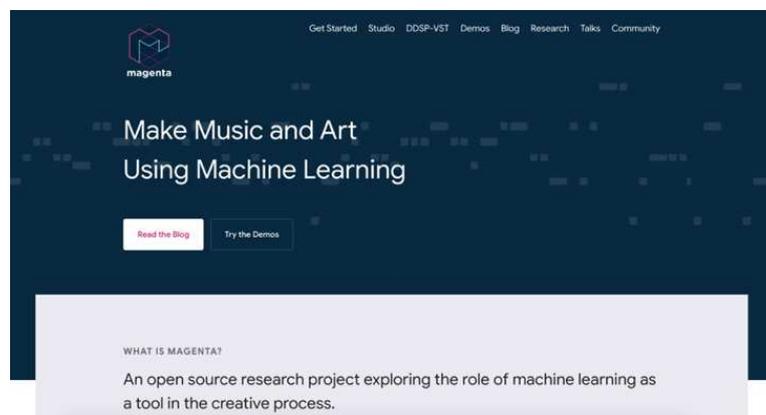


Figura 1.2 Magenta

AIVA Technologies rappresenta uno dei casi più emblematici di come l'intelligenza artificiale possa supportare e rivoluzionare la composizione musicale. AIVA (Artificial Intelligence Virtual Artist) è una stazione di lavoro audio digitale che utilizza l'intelligenza artificiale per assistere i compositori nei loro progetti creativi.

L'obiettivo principale di AIVA è produrre musica che possa essere utilizzata in una varietà di contesti multimediali, tra cui film, videogiochi, pubblicità e altro ancora. Permette agli utenti di generare musica originale partendo da zero o utilizzando come ispirazione brani già esistenti, che possono essere modificati fino a ottenere una composizione unica. Questo approccio si adatta perfettamente alle esigenze sia di compositori professionisti che di creatori di contenuti con meno esperienza musicale, democratizzando l'accesso a strumenti di composizione avanzati.

AIVA si distingue per la sua capacità di operare come una DAW tradizionale, consentendo la modifica delle tracce musicali generate attraverso file MIDI, rendendo così possibile una personalizzazione dettagliata del risultato finale. La tecnologia si basa su una rete neurale ricorrente (RNN) e su una gamma di algoritmi sofisticati che permettono all'IA di comporre in diversi "stili predefiniti" come "Cinematografico del XX secolo", "Cinematografico moderno", "Pop", "Rock", "Tango", "Sea Shanty" e "Cinese". Questi stili coprono un ampio spettro di emozioni e atmosfere, rendendo AIVA uno strumento versatile per compositori e produttori.

Uno degli aspetti più innovativi è la possibilità di caricare una traccia temp di colonna sonora, che viene utilizzata come set di addestramento per l'analisi dell'IA. Questo processo, comune nel montaggio cinematografico, consente al montatore di creare un montaggio provvisorio del film su una colonna sonora temporanea, che poi viene raffinata dall'IA per creare un brano originale con un "impatto emotivo simile". Questo approccio non solo migliora l'efficienza del processo creativo, ma riduce anche i rischi di violazione del copyright, poiché l'IA genera una composizione nuova e originale. (Technologies, 2018)

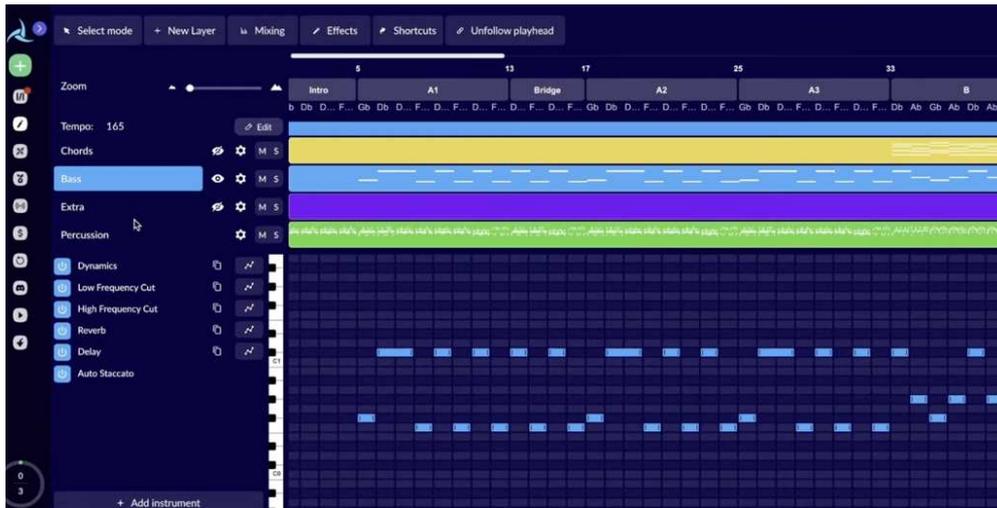


Figura 1.3 DAW AIVA

IBM Watson Beat rappresenta un importante passo avanti nell'integrazione dell'intelligenza artificiale nella composizione musicale, sfruttando sofisticati approcci matematici per applicare le regole della teoria musicale alla creazione di ritmi e melodie. Questo progetto si inserisce all'interno di una lunga tradizione di IBM nel campo della musica generata dall'IA, dimostrando l'impegno dell'azienda nel coniugare tecnologia e creatività artistica. (IBM, 2024)

Watson Beat utilizza file MIDI come punto di partenza, consentendo agli utenti di selezionare l'umore della composizione, che l'IA poi trasforma in una nuova creazione musicale. Il supercomputer IBM Watson, che è alla base di Watson Beat, opera attraverso livelli multipli di reti neurali per identificare schemi e somiglianze nei dati di addestramento, analizzandoli secondo i principi della teoria musicale.

IBM Watson Beat non si limita a generare musica in modo autonomo, ma funziona come un vero e proprio strumento creativo per i musicisti, consentendo loro di esplorare nuove possibilità compositive. Grazie alle sue capacità di apprendimento profondo, Watson Beat può analizzare file musicali esistenti, identificare pattern e creare nuove composizioni che rispettano le regole della teoria musicale, ma che allo stesso tempo offrono un tocco di originalità.

Oltre a Watson Beat, IBM ha sviluppato altre applicazioni musicali basate sull'intelligenza artificiale, come Watson Tone Analyzer, che analizza i testi di

canzoni per rilevare il tono emotivo e comprendere meglio le tendenze musicali. IBM ha anche lanciato il Watson Artist Discovery Tool, utilizzato nel contesto dei Grammy Awards per scoprire nuovi talenti musicali. Queste applicazioni dimostrano come IBM stia cercando di espandere il ruolo dell'IA nella musica, non solo per la generazione di contenuti, ma anche per la scoperta e l'analisi musicale. MuseNet è un modello di intelligenza artificiale sviluppato da OpenAI che genera composizioni musicali multifoniche. Capace di comporre pezzi fino a 4 minuti con fino a 10 strumenti diversi, MuseNet apprende autonomamente nozioni di armonia, ritmo e stile esaminando vasti archivi di file MIDI. Si basa su una tecnologia simile ai modelli di linguaggio come GPT-2, utilizzando una struttura basata sui transformer per predire i prossimi elementi in una sequenza di dati. WavTool è una stazione di lavoro audio generativa basata su browser, progettata per modernizzare la produzione musicale attraverso l'uso di intelligenza artificiale. Offre funzionalità come la generazione audio unica, la separazione degli stem e la trasformazione di audio in MIDI, facilitando ai musicisti la creazione, modifica e miglioramento delle tracce. Include strumenti avanzati per la composizione automatica e la registrazione sia audio che MIDI, offrendo un ambiente completo per la produzione musicale digitale. Orb Producer Suite è una serie di plugin musicali alimentati da intelligenza artificiale, progettati per migliorare la produzione musicale. Offre quattro plugin principali: Orb Chords, Orb Melody, Orb Bass e Orb Arpeggios, che permettono agli utenti di generare automaticamente progressioni di accordi, melodie, linee di basso e arpeggi. La suite è integrata perfettamente con diverse digital audio workstations e supporta i formati VST2, VST3 e AU. (OrbPlugins, 2023)



Figura 1.4 Orb Producer Suite

Ecrett Music è una piattaforma di composizione musicale AI-driven che offre agli utenti la possibilità di creare tracce musicali royalty-free. Gli utenti possono selezionare tra vari scenari, umori e generi musicali per adattare le composizioni ai loro specifici progetti multimediali. Il servizio è dotato di una libreria musicale vasta e versatile con personalizzazioni aggiuntive disponibili per strumenti e layout delle tracce. L'accessibilità e la semplicità di uso lo rendono particolarmente adatto sia a dilettanti che a professionisti che cercano di arricchire i loro contenuti. Soundraw combina IA e strumenti manuali per personalizzare la musica, permettendo ai creatori di generare e modificare brani in base alle proprie esigenze creative. (SoundRaw, 2018)

Mubert AI utilizza algoritmi per generare musica strumentale, sfruttando descrizioni testuali per creare atmosfere sonore che si adattano perfettamente all'ambiente mediatico in cui vengono inserite. (Mubert, 2016)

Song Lyrics Generator e Voicemod rappresentano le capacità dell'IA di generare testi musicali e canzoni partendo da input testuali forniti dagli utenti.

Synthesizer V è un plugin VST che offre un cantante virtuale estremamente realistico, al punto che è difficile distinguerlo da una vera registrazione umana, cantando le note desiderate senza errori ed eseguendo i testi anche con vibrato e glissando. Sono offerte diverse voci al suo interno. (DreamTonics, 2024)

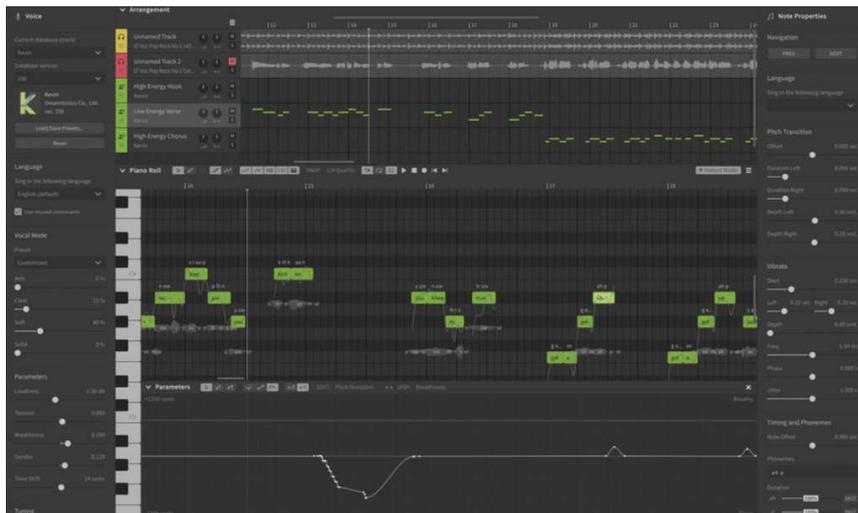


Figura 1.5 Synthesizer V VST

AWS Deep Composer di Amazon è una tastiera musicale combinata con un servizio AI generativo.

IZotope Neutron offre funzionalità di assistenza nel mixaggio attraverso tecniche di apprendimento automatico per impostare automaticamente i livelli tra diverse tracce di un mix. Aiuta gli utenti a raggiungere un punto di partenza equilibrato per il loro mix analizzando l'audio e suggerendo regolazioni ai livelli delle tracce. (iZotope, 2024)

Atlas 2 di Algonaut è un plugin browser di sample e sequencer alimentato da intelligenza artificiale. Il software crea "sample maps" facili da esplorare: anziché dover cercare in più cartelle sul disco fisso, Atlas crea e posiziona automaticamente sample simili tra loro, permettendo di cercare facilmente suoni alternativi. Il plugin include anche un sequencer completo che genera pattern automaticamente. (Algonaut, 2021)

Loudly è una piattaforma di musica AI che genera autonomamente canzoni royalty-free, stems e suoni. Gli utenti possono filtrare la musica per genere, umore, temi ed energia. La piattaforma funziona attraverso la conversione di prompt testo in musica (text to music), permettendo una personalizzazione avanzata delle tracce.

Synplant di Sonic Charge è un plugin di sound design per synth unico che utilizza la tecnologia Genopatch per creare diverse patch e suoni synth a partire da sample inseriti. Questa tecnologia impiega l'intelligenza artificiale per determinare le impostazioni ottimali del sintetizzatore in base al campione audio fornito. L'interfaccia intuitiva, che simula la crescita delle piante, permette agli utenti di esplorare e modificare suoni in modo creativo e organico. (SonicCharge, 2024)

Fadr è una piattaforma di creazione musicale che utilizza l'intelligenza artificiale per facilitare il remixaggio di brani. Offre strumenti per l'estrazione di voci e strumenti da canzoni, identificazione di bpm, tonalità, progressione degli accordi, e molto altro. Gli utenti possono fare remix, mashup e modificare tracce con facilità, senza bisogno di conoscenze avanzate di teoria musicale. (Fadr, 2024)

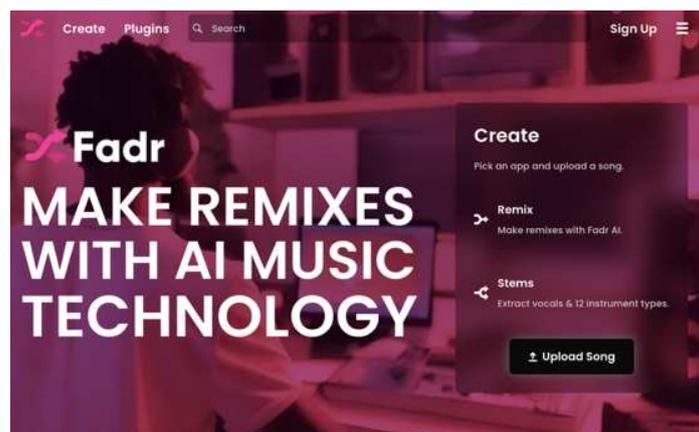


Figura 1.7 Fadr

Spotify, una delle piattaforme di streaming musicale più popolari al mondo, non è solo un gigante nel settore della distribuzione musicale digitale, ma è anche un pioniere nell'applicazione dell'intelligenza artificiale per la personalizzazione dell'esperienza utente. Fin dalla sua fondazione nel 2006 a Stoccolma, Spotify ha puntato su una combinazione di algoritmi avanzati di machine learning e ampie raccolte di dati per offrire una delle esperienze di ascolto più personalizzate disponibili sul mercato.

Il motore di raccomandazione di Spotify è al cuore del successo della piattaforma, capace di suggerire brani, playlist e artisti che rispecchiano i gusti unici di ciascun

utente. Questo sistema si basa su una complessa rete di tecnologie che includono il filtraggio collaborativo, il filtraggio basato sul contenuto e modelli di deep learning.

La piattaforma utilizza anche tecniche di analisi semantica per comprendere meglio i testi delle canzoni e i temi trattati. Questa capacità consente a Spotify di fornire suggerimenti più raffinati e mirati, come playlist che rispecchiano stati d'animo specifici o che affrontano temi particolari, migliorando ulteriormente l'esperienza dell'utente. (Spotify R&D, 2023)

Questi esempi dimostrano come l'IA sia diventata ormai uno strumento indispensabile per migliorare non solo la produzione musicale ma anche la scoperta e la fruizione della musica.

2. ALGORITMI, MACHINE LEARNING, MODELLI GENERATIVI

L'applicazione dell'informatica alla composizione musicale ha visto una continua evoluzione, passando dalle prime sperimentazioni a sistemi sofisticati che sfruttano le più recenti tecniche di intelligenza artificiale. Questa transizione ha portato alla nascita di una vasta gamma di algoritmi e metodologie, che spaziano dai sistemi basati su regole fisse ai modelli probabilistici, fino ai moderni approcci basati sull'apprendimento profondo e sulle tecniche evolutive.

Nell'era contemporanea, i sistemi di generazione musicale hanno attraversato una significativa evoluzione, passando dalle prime metodologie basate su regole fisse ai paradigmi basati sull'apprendimento profondo, oggi onnipresenti. Questa evoluzione è stata caratterizzata da un graduale miglioramento della complessità e della qualità della musica generata, con un progresso che ha visto passare da frammenti musicali monofonici semplici e brevi a composizioni polifoniche intricate, capaci di incorporare accordi armoniosi e durate prolungate. La transizione da modelli rigidi, basati su regole predefinite, a modelli flessibili fondati su reti neurali profonde ha ampliato enormemente le possibilità creative, consentendo la generazione di musica che non solo rispetta le regole compositive tradizionali, ma che può anche esplorare nuove forme espressive e stilistiche.

Oggi, i sistemi di generazione musicale possono essere classificati in base a diversi criteri, come l'algoritmo utilizzato, il genere musicale, il *dataset* impiegato e il tipo di rappresentazione adottata. Questi sistemi possono essere suddivisi in diverse categorie principali, ciascuna delle quali si concentra su un aspetto specifico della generazione musicale. Ad esempio, la generazione di melodie si occupa della creazione di linee melodiche per strumenti come il basso o la batteria, mentre i generatori di composizioni sono in grado di produrre armonie, melodie principali e contrappunti. La generazione audio, invece, implica la modellazione della musica direttamente a livello audio, generando segmenti sonori che coinvolgono diversi strumenti e stili musicali. Tuttavia, questo approccio presenta sfide

significative, tra cui la complessità computazionale e la difficoltà di catturare la struttura semantica dai dati audio grezzi.

Il trasferimento di stile è un'altra area di grande interesse, che comprende la conversione del timbro e la trasformazione dello stile di arrangiamento. Questo processo mira ad applicare uno stile specifico (come quello di un compositore o di un genere musicale) o di uno strumento particolare (ad esempio, la batteria o il basso) alla composizione musicale originale, utilizzando tecniche di arrangiamento automatico. La capacità di manipolare lo stile e l'arrangiamento della musica apre nuove possibilità per la personalizzazione e l'innovazione nella composizione musicale automatica, consentendo la creazione di opere che possono variare ampiamente in base ai parametri stilistici scelti dall'utente.

Sebbene molti algoritmi di generazione musicale impieghino combinazioni e nidificazioni di diverse tecniche, come l'uso di Variational Auto-Encoder (VAE) combinati con reti neurali ricorsive (RNN), gli algoritmi di generazione musicale possono generalmente essere suddivisi in quattro categorie principali:

1. **Sistemi basati su regole:** Questi sistemi utilizzano un insieme di regole predefinite per generare musica. La qualità del risultato dipende fortemente dalla creatività e dalla competenza del programmatore nel definire queste regole. Tali sistemi, sebbene limitati nella loro capacità di adattarsi a nuove strutture, sono stati fondamentali nelle prime fasi dello sviluppo della generazione automatica di musica.
2. **Modelli di Markov:** Questi modelli probabilistici sono particolarmente adatti per la generazione di sequenze temporali, come le melodie, catturando le transizioni tra note e accordi in base a probabilità derivate da dati esistenti. I modelli di Markov possono essere efficaci per la creazione di combinazioni melodiche brevi e semplici, ma tendono a essere limitati nella generazione di strutture musicali più lunghe e complesse.
3. **Machine Learning/Deep Learning:** Comprendendo modelli avanzati come le reti LSTM (*Long Short-Term Memory*), i VAE e le GAN (*Generative Adversarial Networks*), l'apprendimento profondo ha

rivoluzionato il campo della generazione musicale grazie alla sua capacità di apprendere rappresentazioni complesse e di generare musica in modo più flessibile e creativo. Questi modelli possono gestire grandi volumi di dati e catturare le sfumature stilistiche e strutturali delle composizioni musicali, producendo output di alta qualità.

4. **Evoluzione Computazionale (EC):** In questo approccio, tecniche ispirate all'evoluzione biologica, come gli algoritmi genetici, vengono utilizzate per esplorare lo spazio delle possibili composizioni musicali e ottimizzare la generazione di musica in base a criteri specifici. L'evoluzione computazionale consente di generare musica che può variare in modo adattivo, rispondendo a diverse esigenze creative. (Zhao, 2024)

2.1 Definizione di algoritmo

Un algoritmo, nel contesto dell'informatica e della matematica, è un insieme finito di istruzioni ben definite che descrivono un processo passo-passo per risolvere un problema o raggiungere un obiettivo specifico. Questi strumenti fondamentali della programmazione offrono una sequenza logica di azioni per ottenere un risultato desiderato, a partire da un insieme di input. Gli algoritmi sono essenziali in molteplici applicazioni, dalla gestione dei dati all'automazione di processi complessi e si trovano alla base delle moderne tecnologie digitali.

Una delle principali caratteristiche degli algoritmi è la loro finitezza, il che significa che devono sempre terminare dopo un numero finito di passi. Questa proprietà garantisce che, indipendentemente dalla complessità del problema affrontato, l'algoritmo arriverà a una conclusione evitando cicli infiniti. La finitezza è cruciale non solo per l'efficacia pratica dell'algoritmo, ma anche per la sicurezza e l'affidabilità, particolarmente in contesti critici.

Un'altra caratteristica fondamentale è il determinismo. Per ogni specifico insieme di input, un algoritmo deve produrre un output chiaro e definito. Questo aspetto assicura che ogni volta che l'algoritmo viene eseguito con gli stessi dati esso produca gli stessi risultati. Il determinismo è essenziale per la verifica e la

validazione degli algoritmi, poiché consente di prevedere con precisione il loro comportamento, garantendo la consistenza dei risultati. Questa proprietà è particolarmente importante nelle applicazioni dove la precisione è cruciale, come nei sistemi di controllo industriale e nelle transazioni bancarie. (Marmo, 2020)

Gli algoritmi operano accettando uno o più input, che rappresentano i dati iniziali forniti al sistema e producendo uno o più output, che sono i risultati del processo computazionale. Gli output devono essere definiti chiaramente, permettendo così una valutazione del successo dell'algoritmo. La gestione precisa degli input e degli output è fondamentale per assicurare che l'algoritmo possa essere applicato in diversi contesti e per vari scopi, garantendo la corretta interpretazione dei risultati. Esistono diverse tipologie di algoritmi, classificabili in base a vari criteri. Gli algoritmi di ricerca e ordinamento, ad esempio, sono progettati per cercare elementi specifici all'interno di un insieme di dati o per organizzarli secondo un certo criterio. Tra questi, la ricerca binaria e gli algoritmi di ordinamento come quicksort e mergesort sono ampiamente utilizzati per l'efficienza con cui gestiscono i dati. Altri algoritmi, come quelli di ottimizzazione, sono impiegati per trovare la soluzione migliore in presenza di vincoli, ottimizzando risorse come tempo e costi. Un esempio classico è l'uso di algoritmi di programmazione lineare in economia e logistica. Infine, gli algoritmi di grafi affrontano problemi rappresentabili come grafi, con applicazioni che spaziano dalle reti di comunicazione all'analisi delle reti sociali.

È importante distinguere tra un algoritmo e un programma. Mentre l'algoritmo rappresenta una descrizione teorica e astratta di una sequenza di passaggi per risolvere un problema, un programma è la sua implementazione concreta in un linguaggio di programmazione. Il programma è eseguibile da un computer e include tutti i dettagli pratici necessari per l'esecuzione, come la gestione delle risorse di sistema e la gestione degli errori. L'algoritmo fornisce la logica di base della soluzione, mentre il programma ne realizza l'esecuzione pratica.

Gli algoritmi sono il fondamento della tecnologia moderna, permettendo l'automazione di processi complessi, migliorando l'efficienza e consentendo

l'elaborazione di grandi quantità di dati in tempo reale. Nel campo dell'intelligenza artificiale, gli algoritmi di machine learning e deep learning sono essenziali per la capacità delle macchine di apprendere dai dati e migliorare le proprie prestazioni nel tempo. Questi algoritmi sono alla base di numerose applicazioni avanzate, dai motori di ricerca ai sistemi di raccomandazione, fino alle auto a guida autonoma e ai sistemi di diagnosi medica.

Gli algoritmi possono essere poi distinti in due categorie principali: deterministici e probabilistici, ciascuna con caratteristiche e applicazioni specifiche. Questa distinzione si basa principalmente sulla prevedibilità e sulla natura dei risultati che producono.

Gli algoritmi deterministici sono caratterizzati dal fatto che, dato un insieme di input, producono sempre lo stesso output attraverso una sequenza fissa di passi ben definiti. Non esistono elementi di casualità o incertezza nel loro funzionamento; ogni fase del processo è predeterminata, garantendo che il risultato sia sempre riproducibile e prevedibile. Questa proprietà rende gli algoritmi deterministici estremamente affidabili in situazioni dove è fondamentale ottenere lo stesso risultato in ogni esecuzione. Questa ripetibilità è cruciale in ambiti come la crittografia, la matematica computazionale e i sistemi operativi, dove precisione e sicurezza sono essenziali.

D'altra parte, gli algoritmi probabilistici introducono elementi di casualità nelle loro operazioni, permettendo una variabilità nei risultati anche con gli stessi input iniziali. Questi algoritmi utilizzano variabili casuali o distribuzioni di probabilità per prendere decisioni durante il loro processo, il che può portare a una serie di possibili esiti. Questo approccio è particolarmente utile quando si lavora con problemi complessi o in contesti in cui la variabilità è accettabile o addirittura desiderabile. Un esempio tipico è rappresentato dagli algoritmi Monte Carlo, che utilizzano simulazioni ripetute per approssimare soluzioni a problemi complessi, come la valutazione dei rischi finanziari o la modellazione di sistemi fisici. Questi algoritmi sono capaci di gestire l'incertezza e di fornire una visione probabilistica

dei possibili risultati, offrendo flessibilità e adattabilità che i metodi deterministici non possono sempre garantire. (Carbone, 2022)

La scelta tra un algoritmo deterministico e uno probabilistico dipende fortemente dal contesto e dai requisiti specifici del problema da risolvere. Gli algoritmi deterministici sono preferibili quando è necessaria un'elevata precisione e la riproducibilità dei risultati è cruciale. Ad esempio, nelle applicazioni di sicurezza informatica, dove la certezza di output precisi è fondamentale, si preferiscono approcci deterministici. Tuttavia, in contesti come l'intelligenza artificiale e l'apprendimento automatico, dove i dati possono essere incerti o incompleti, gli algoritmi probabilistici sono spesso la scelta migliore. Questi ultimi sono in grado di fornire risultati utili anche in presenza di informazioni limitate, adattandosi meglio a scenari complessi e dinamici. (Florkin, 2024)

La distinzione tra algoritmi deterministici e probabilistici non riguarda solo le loro caratteristiche intrinseche, ma anche il modo in cui vengono applicati ai problemi reali. Mentre i primi garantiscono certezza e uniformità nei risultati, i secondi offrono flessibilità e capacità di adattamento, particolarmente utili in situazioni di incertezza.

2.2 Sistemi basati su regole

La generazione musicale basata su regole è un approccio che si fonda sull'applicazione di principi teorici e regole formali della musica per creare composizioni. Questo modello non adattivo si basa su un insieme di regole predefinite derivate dalla teoria musicale per guidare il processo di composizione. A differenza di modelli più avanzati come quelli basati sull'apprendimento automatico, i sistemi basati su regole operano in modo deterministico, applicando regole specifiche per decidere ogni passo nella creazione della musica.

Il funzionamento di un sistema basato su regole è relativamente semplice, almeno in termini concettuali. Prima di tutto il sistema richiede una rappresentazione della musica che possa essere manipolata mediante regole. Questa rappresentazione potrebbe essere sotto forma di note, intervalli, ritmi, accordi o altre entità musicali

che il sistema è in grado di riconoscere e trattare. Le regole stesse possono essere ispirate da principi di armonia, contrappunto, teoria delle scale e altre discipline musicali.

Ad esempio, una regola potrebbe specificare che, in una progressione armonica, un accordo di dominante (V) deve essere seguito da un accordo tonica (I). Altre regole potrebbero riguardare la costruzione delle frasi musicali, imponendo che ogni frase termini con una cadenza o che la melodia non debba mai superare un certo intervallo tra due note successive.

Il sistema applica queste regole in modo sequenziale o parallelo per costruire la composizione. In alcuni casi, le regole possono essere gerarchiche, con regole di alto livello che guidano la struttura generale della composizione (ad esempio, la forma ABA di un pezzo) e regole di basso livello che gestiscono i dettagli fini, come la scelta delle note in una scala o l'articolazione ritmica.

Uno dei principali vantaggi dei sistemi di generazione musicale basati su regole è la loro prevedibilità e controllabilità. Poiché le regole sono esplicitamente definite, i compositori o programmatori possono facilmente prevedere come il sistema risponderà ad un determinato input. Questo rende tali sistemi ideali per applicazioni dove è richiesto un controllo rigoroso, come la composizione automatizzata di musica educativa o la creazione di esercizi musicali.

Tuttavia, questo approccio presenta anche limitazioni significative. La musica è un'arte complessa, ricca di sfumature e variazioni che spesso sfuggono a una codificazione rigida. Sebbene le regole possano catturare molti degli aspetti superficiali della musica, esse tendono a fallire nel catturare le strutture più profonde e le dinamiche emotive che caratterizzano le opere più espressive. Inoltre, man mano che il numero di regole aumenta, cresce anche la complessità del sistema e la probabilità di ambiguità o conflitti tra regole diventa più alta, il che può portare a risultati meno coerenti.

Un altro limite importante è la capacità di innovazione. Poiché le regole sono predefinite e statiche, un sistema basato su regole è intrinsecamente limitato dalla creatività del suo progettista. Non può facilmente adattarsi a nuovi stili o generare

idee veramente originali, poiché opera all'interno dei confini rigidi stabiliti dal suo set di regole. (Montiel, 2018)

2.3 Modello di Markov

Il modello di Markov è un approccio probabilistico che si basa sulla teoria delle catene di Markov, uno strumento matematico che descrive un processo in cui il futuro stato di un sistema dipende unicamente dallo stato attuale e non dalla sequenza di eventi che lo hanno preceduto. Applicato alla musica, questo significa che la generazione della nota successiva in una melodia o l'accordo successivo in una progressione armonica dipende solo dall'elemento musicale corrente. (Sephiri, 2011)

In un sistema di generazione musicale basato su Markov, la musica viene rappresentata come una sequenza di stati, dove ogni stato corrisponde a un elemento musicale (come una nota o un accordo). Le transizioni tra stati sono governate da una matrice di probabilità che definisce la probabilità di passare da uno stato all'altro. Questa matrice è costruita analizzando un corpus di musica esistente per determinare le frequenze con cui certi passaggi musicali tendono a verificarsi.

Ad esempio, se in un dataset musicale si osserva che un do maggiore è spesso seguito da un sol maggiore, il modello di Markov assegnerà una probabilità alta a questa transizione. Durante la generazione il sistema sceglie la nota o l'accordo successivo in base a queste probabilità, permettendo così di creare una nuova composizione che riflette le tendenze statistiche del corpus di addestramento.

Uno dei vantaggi del modello di Markov è la sua capacità di catturare e replicare le caratteristiche stilistiche di un corpus musicale, rendendolo utile per generare musica che sia stilisticamente coerente con il materiale di addestramento. Inoltre, il modello di Markov è relativamente semplice da implementare e comprende un grado di controllo maggiore rispetto a modelli più complessi, poiché le transizioni tra stati sono chiaramente definite e possono essere facilmente modificate per ottenere determinati effetti.

Tuttavia anche il modello di Markov presenta limiti importanti, soprattutto quando si tratta di catturare strutture musicali a lungo termine. Poiché ogni transizione dipende solo dallo stato immediatamente precedente, il modello tende a perdere di vista la coerenza globale e può produrre composizioni che, pur essendo localmente coerenti, mancano di una struttura generale ben definita. Questo problema diventa più evidente quando si tenta di generare sequenze musicali più lunghe, dove il rischio di ripetizioni e mancanza di innovazione aumenta.

Inoltre, il modello di Markov non è in grado di catturare dipendenze complessive o tematiche, come il ritorno di un tema musicale dopo diverse battute, perché queste dipendenze richiederebbero una memoria di stati passati più complessa di quella che il modello può gestire. Di conseguenza, le composizioni generate possono risultare ripetitive e prive di una narrativa musicale più ampia, limitando così la capacità del modello di creare musica veramente espressiva e coinvolgente.

2.4 Machine learning

Il *machine learning*, o apprendimento automatico, è una disciplina chiave dell'intelligenza artificiale che si concentra sullo sviluppo di algoritmi capaci di apprendere dai dati e migliorare le proprie prestazioni senza essere esplicitamente programmati per compiere specifiche operazioni. Questo approccio si distingue per la capacità di adattarsi e evolvere con l'esposizione a nuovi dati, migliorando continuamente le capacità decisionali e predittive del sistema.

Esistono diverse tipologie di machine learning che si distinguono principalmente per il tipo di apprendimento che gli algoritmi utilizzano.

Una delle metodologie principali del machine learning è l'apprendimento supervisionato, in cui l'algoritmo viene addestrato su un set di dati etichettato. In questo contesto, ogni esempio di training è composto da un input e da un output corrispondente e l'obiettivo è apprendere una funzione che possa mappare correttamente questi input sugli output desiderati. Questo processo richiede che il modello generalizzi dai dati di training per fare previsioni accurate su dati nuovi e non visti. Algoritmi come la regressione lineare, la regressione logistica, le

macchine a vettori di supporto (SVM) e le reti neurali artificiali (ANN) sono ampiamente utilizzati per compiti di classificazione e regressione. Un esempio comune è la classificazione delle email in spam o non spam, dove il modello impara a riconoscere i pattern che distinguono le email indesiderate da quelle legittime. Un altro esempio include il riconoscimento vocale, dove il modello è addestrato a identificare le parole pronunciate dagli utenti, traducendole in testo. (BNova, 2023)

L'apprendimento non supervisionato, invece, si distingue per l'assenza di output etichettati durante la fase di training. L'obiettivo principale è scoprire strutture nascoste o pattern nei dati. Questo tipo di apprendimento è particolarmente utile in situazioni in cui non si dispone di una chiara categorizzazione dei dati. Tecniche comuni in questo campo includono il *clustering* e l'analisi delle associazioni. Il clustering, ad esempio, raggruppa i dati in cluster omogenei in base alla loro similarità, con algoritmi come k-means e DBSCAN. Questi algoritmi sono ampiamente utilizzati in settori come il marketing, per segmentare la clientela in gruppi distinti, o in biologia, per classificare specie simili. L'analisi delle associazioni, d'altra parte, cerca di identificare regole e relazioni tra variabili nei dati, come le combinazioni di prodotti frequentemente acquistati insieme nei supermercati. Questo è utile per strategie di *cross-selling* e per ottimizzare l'organizzazione degli scaffali.

L'apprendimento per rinforzo rappresenta un'altra importante metodologia del machine learning. In questo scenario, un agente apprende a compiere una serie di azioni in un ambiente, al fine di massimizzare una ricompensa cumulativa. L'agente esplora l'ambiente e riceve feedback sotto forma di ricompense o penalità, che vengono utilizzate per migliorare le decisioni future. Questo tipo di apprendimento è particolarmente rilevante in contesti in cui le decisioni devono essere prese in sequenza e dove l'ambiente è dinamico e complesso. Esempi includono il controllo robotico, dove un robot deve imparare a navigare in un ambiente evitando ostacoli, o nei giochi, dove l'agente deve sviluppare strategie per vincere contro avversari. Algoritmi come il Q-learning e le reti neurali

profonde utilizzate nei Deep Q-Networks (DQN) hanno dimostrato notevoli successi, ad esempio, nell'addestramento di intelligenze artificiali a giocare a giochi complessi come Go o scacchi.

Il machine learning trova applicazioni in una vasta gamma di settori, grazie alla sua capacità di automatizzare compiti complessi e di analizzare grandi volumi di dati con elevata precisione. Nel settore finanziario, ad esempio, viene utilizzato per la rilevazione delle frodi attraverso l'analisi di schemi di comportamento anomali nelle transazioni. Nel campo della medicina, modelli di machine learning aiutano nella diagnosi precoce di malattie, analizzando immagini mediche o sequenze genetiche. Anche l'industria dell'intrattenimento sfrutta queste tecnologie, come nel caso delle piattaforme di streaming che offrono contenuti personalizzati in base ai gusti degli utenti, analizzando le loro preferenze di visione o ascolto. (Liu, 2019)

Possiamo ritenerla una delle innovazioni più tecnologiche più potenti e versatili dell'era digitale, con un impatto profondo su numerosi settori. La sua capacità di apprendere e adattarsi autonomamente rende possibile l'ottimizzazione di processi, la scoperta di nuove conoscenze dai dati e l'automazione di decisioni complesse. Man mano che i dati disponibili continuano a crescere e le tecniche di apprendimento automatico diventano sempre più sofisticate, le applicazioni e l'importanza del machine learning sono destinate ad espandersi ulteriormente, aprendo nuove frontiere per l'innovazione tecnologica e scientifica.

2.5 Deep learning

Il *deep learning* è una sottodisciplina del machine learning che utilizza reti neurali artificiali profonde per apprendere rappresentazioni complesse dai dati. Questo approccio si ispira alla struttura e al funzionamento del cervello umano, dove numerosi strati di neuroni elaborano le informazioni per estrarre caratteristiche significative. Nel deep learning queste reti sono composte da molteplici strati di nodi, o neuroni, che elaborano i dati in modo gerarchico, consentendo di

apprendere livelli di astrazione sempre più alti man mano che i dati passano attraverso i vari strati.

Una delle caratteristiche distintive del deep learning è la sua capacità di gestire e processare grandi quantità di dati non strutturati, come file audio, immagini e testo, senza la necessità di un'esplicita definizione manuale delle caratteristiche rilevanti. Le reti neurali profonde sono in grado di identificare autonomamente i pattern nei dati, rendendole particolarmente utili in applicazioni complesse dove i dati sono abbondanti ma difficili da interpretare manualmente. Questo automatismo è reso possibile da tecniche di addestramento come la retropropagazione dell'errore, che ottimizza i pesi delle connessioni tra i neuroni minimizzando l'errore tra le previsioni del modello e i dati reali.

Nel campo della musica il deep learning ha trovato applicazioni innovative sfruttando la capacità delle reti neurali di elaborare informazioni in modo sofisticato. Le reti neurali convoluzionali (CNN), ad esempio, vengono utilizzate per analizzare gli spettrogrammi, che sono rappresentazioni visive della frequenza audio nel tempo. Questo tipo di analisi è fondamentale per riconoscere generi musicali, identificare strumenti e persino per il riconoscimento del timbro vocale. Le CNN sono particolarmente efficaci nel catturare caratteristiche locali nei dati, come i pattern ripetitivi delle onde sonore, rendendole ideali per analisi di strutture musicali complesse.

Un'altra applicazione significativa del deep learning nella musica è la generazione automatica di musica. Le reti neurali ricorrenti (RNN), e in particolare le *long short-term memory* (LSTM), sono utilizzate per generare sequenze musicali che tengono conto delle dipendenze temporali a lungo termine. Queste reti sono in grado di modellare la progressione armonica e melodica, producendo nuove composizioni che possono imitare lo stile di determinati artisti o generi musicali. Ad esempio, modelli come il progetto Magenta di Google utilizzano RNN per creare nuove opere musicali basate su input di stile specifici, offrendo nuovi strumenti creativi per i musicisti e i compositori.

Il deep learning viene anche utilizzato per migliorare le esperienze di ascolto personalizzato, come nelle piattaforme di streaming musicale. Gli algoritmi di deep learning analizzano le preferenze di ascolto degli utenti e forniscono raccomandazioni musicali personalizzate. Questo non solo migliora l'esperienza dell'utente, ma aiuta anche a scoprire nuove musiche che potrebbero non essere emerse attraverso metodi di scoperta tradizionali. Queste tecniche di raccomandazione sono basate sull'analisi di enormi quantità di dati di ascolto, che vengono utilizzati per identificare pattern di preferenze e suggerire brani simili a quelli già apprezzati dagli utenti.

2.6 Reti neurali

Le reti neurali artificiali (ANN) rappresentano una tecnologia cruciale nel campo dell'intelligenza artificiale e del machine learning, ispirandosi alla struttura e al funzionamento del cervello umano. Le ANN sono composte da una serie di nodi o neuroni artificiali, che sono organizzati in strati distinti: uno strato di input, uno o più strati nascosti e uno strato di output. Ogni neurone riceve input dai neuroni dello strato precedente, elabora questi segnali attraverso una funzione di attivazione e trasmette l'output ai neuroni del successivo strato. Questo processo permette alla rete di apprendere rappresentazioni complesse e di estrarre caratteristiche dai dati. (Marmo, 2020)

Il processo di apprendimento nelle ANN avviene attraverso un meccanismo noto come retropropagazione dell'errore. Durante l'addestramento, la rete riceve dati di input e produce una previsione, che viene confrontata con il valore effettivo. La differenza tra la previsione e il valore reale, detta errore, viene calcolata e utilizzata per aggiornare i pesi delle connessioni tra i neuroni. Questo aggiornamento avviene minimizzando l'errore complessivo tramite un processo iterativo, ottimizzando i pesi fino a quando la rete non raggiunge un livello accettabile di accuratezza. Le funzioni di attivazione, come la ReLU (*Rectified Linear Unit*), introducono non linearità nella rete, permettendo di apprendere relazioni non lineari complesse nei dati.

Le ANN sono utilizzate in una vasta gamma di applicazioni, tra cui la classificazione e creazione di immagini e audio, il riconoscimento vocale, la traduzione automatica e la diagnosi medica. Ogni strato della rete è responsabile dell'apprendimento di diversi livelli di astrazione: gli strati iniziali catturano caratteristiche semplici come linee o contorni, mentre gli strati più profondi sono in grado di identificare strutture complesse come volti o oggetti interi. Questo processo di estrazione gerarchica delle caratteristiche è fondamentale per il successo delle ANN in molteplici campi.

Le reti neurali profonde (DNN) sono un'estensione delle ANN, caratterizzate da un numero molto maggiore di strati nascosti. Questa profondità consente alle DNN di apprendere rappresentazioni gerarchiche e altamente astratte dei dati, essenziali per la gestione di problemi complessi come il riconoscimento di oggetti in immagini o la comprensione del linguaggio naturale. Le DNN utilizzano una combinazione di tecniche avanzate per affrontare le sfide dell'addestramento su reti profonde, come il problema della dispersione del gradiente, che può ostacolare l'ottimizzazione dei pesi nelle reti molto profonde. Per superare queste difficoltà, le DNN impiegano tecniche come le funzioni di attivazione avanzate, la regolarizzazione con *dropout* e gli algoritmi di ottimizzazione avanzati.

Nel campo della musica sono utilizzate per una serie di applicazioni innovative. Ad esempio, possono analizzare spettrogrammi per identificare caratteristiche come il timbro, la tonalità e il ritmo, permettendo la classificazione automatica dei generi musicali o il riconoscimento degli strumenti utilizzati in una registrazione. Questo è possibile grazie alla capacità di apprendere pattern complessi nei dati acustici, catturando le sfumature del suono che distinguono diversi stili musicali o artisti.

Un'altra applicazione significativa delle DNN nella musica è la generazione automatica di musica. Utilizzando architetture come le *long short-term memory*, che sono una variante delle reti neurali ricorrenti, le DNN possono generare sequenze musicali che tengono conto delle dipendenze temporali a lungo termine. Questo consente di creare composizioni che hanno coerenza melodica e armonica,

emulando lo stile di compositori specifici o esplorando nuovi territori musicali. Progetti come Magenta di Google utilizzano queste tecniche per sperimentare con la creatività assistita dall'IA, producendo nuove opere musicali basate su input stilistici forniti dagli utenti. (Jaques, 2017)

Le DNN sono inoltre fondamentali per migliorare l'esperienza di ascolto personalizzato nelle piattaforme di streaming musicale. Gli algoritmi di raccomandazione basati su deep learning possono analizzare le preferenze di ascolto degli utenti e suggerire brani o artisti che si allineano con i gusti musicali individuali. Questo è reso possibile dall'analisi di enormi dataset di comportamenti di ascolto, che le DNN utilizzano per modellare i gusti musicali degli utenti e prevedere quali brani potrebbero piacere loro.

Reti neurali artificiali e reti neurali profonde rappresentano tecnologie avanzate e versatili, con una capacità senza precedenti di apprendere e generalizzare da grandi volumi di dati. Le loro applicazioni nel campo musicale non solo facilitano la comprensione e la classificazione della musica, ma aprono anche nuove possibilità per la creazione e la personalizzazione della musica, trasformando radicalmente il modo in cui interagiamo con il suono e la creatività artistica.

2.7 Modelli generativi

I modelli generativi sono diventati una componente fondamentale nel campo dell'intelligenza artificiale e del machine learning, con applicazioni che spaziano dalla creazione di contenuti artistici alla simulazione di scenari complessi. Questi modelli sono progettati per comprendere la distribuzione dei dati di input e per generare nuovi dati che siano statisticamente simili a quelli del set di addestramento. Questo non solo permette di replicare dati esistenti ma anche di esplorare nuovi spazi creativi, creando contenuti completamente nuovi che mantengono coerenza e realismo.

I modelli generativi nel campo della musica rappresentano una svolta innovativa, permettendo la creazione e l'analisi di brani musicali attraverso l'apprendimento delle caratteristiche e delle strutture presenti nei dati esistenti. Questi modelli, che

includono tecnologie come le reti generative avversarie (GAN) e i *variational autoencoders* (VAE), sono in grado di apprendere la distribuzione statistica dei dati musicali e di generare nuovi esempi che seguono lo stesso stile o le stesse regole implicite. La capacità di questi modelli di generare dati realistici e creativi li rende particolarmente utili per la composizione automatica di musica, dove possono creare nuove melodie e intere composizioni che riflettono i tratti distintivi dei dati di addestramento.

Oltre alle GAN e ai VAE, un'altra importante classe di modelli generativi è costituita dai modelli autoregressivi. Questi modelli prevedono una sequenza di dati un elemento alla volta, utilizzando le previsioni precedenti come input per generare le successive. Questo approccio è particolarmente utile per la generazione di testi e musica, dove la coerenza temporale è fondamentale. Modelli come GPT-3 per il linguaggio naturale o MuseNet per la musica sfruttano architetture autoregressive per creare testi e melodie che hanno una continuità e una fluidità sorprendente. Nel caso di MuseNet, ad esempio, il modello è in grado di generare composizioni musicali che imitano lo stile di compositori classici come Mozart o Beethoven, oppure di combinare elementi di diversi generi musicali per creare fusioni uniche.

La capacità dei modelli generativi di apprendere e replicare la distribuzione dei dati li rende strumenti potenti non solo per la creazione artistica, ma anche per l'innovazione in settori tecnici. In ambito industriale, per esempio, i modelli generativi possono essere utilizzati per simulare scenari complessi, come la previsione di dinamiche di mercato o la progettazione di nuovi prodotti. Nel campo della sanità, possono essere impiegati per generare dati sintetici utili per addestrare modelli diagnostici senza compromettere la privacy dei pazienti. Inoltre, la generazione di dati sintetici può essere utilizzata per aumentare la varietà e la quantità dei dataset di addestramento, migliorando così la robustezza e l'accuratezza dei modelli di machine learning.

Rappresentano una delle aree più dinamiche e promettenti dell'intelligenza artificiale; la loro capacità di creare nuovi dati che mantengono la coerenza con i

dati originali apre un'infinità di possibilità, dalla produzione artistica all'ottimizzazione industriale. Con l'avanzare delle tecnologie e l'incremento della potenza computazionale, è probabile che vedremo un'espansione delle applicazioni dei modelli generativi, che continueranno a trasformare il modo in cui creiamo, apprendiamo e interagiamo con la tecnologia e l'arte.

I modelli generativi sono anche utilizzati per la sintesi del suono, ovvero la creazione di nuovi timbri e suoni che possono non esistere in natura. Questa applicazione consente ai produttori musicali di arricchire le loro librerie di suoni con texture sonore uniche e innovative, che possono essere utilizzate in vari generi musicali, dalla musica elettronica all'ambient. Le reti neurali convoluzionali, ad esempio, sono impiegate per migliorare la qualità dei suoni sintetizzati, rendendoli più realistici o adattandoli a specifiche esigenze stilistiche.

Un altro importante utilizzo dei modelli generativi nella musica riguarda l'arrangiamento e l'orchestrazione assistiti. Questi modelli possono suggerire combinazioni di strumenti, arrangiamenti armonici e dinamiche che migliorano una melodia o un tema musicale. Questo strumento è particolarmente utile per compositori e arrangiatori, permettendo loro di esplorare rapidamente diverse opzioni di orchestrazione e di trovare combinazioni che potrebbero non essere immediatamente evidenti. Inoltre, offre la possibilità di creare arrangiamenti complessi anche a musicisti meno esperti, che possono così sperimentare con tecniche avanzate senza una conoscenza approfondita della teoria musicale.

I modelli generativi trovano applicazione anche nella generazione di testi musicali, utilizzando tecnologie come le reti neurali ricorrenti e i transformer per creare liriche che seguono uno stile o un tema specifico. Questa tecnologia può aiutare gli artisti a trovare ispirazione per nuovi testi, generando liriche che rispecchiano le tendenze tematiche e stilistiche del genere di riferimento. È particolarmente utile per la composizione di testi in generi musicali che richiedono un alto grado di coerenza narrativa e stilistica, come il rap o la musica pop.

Infine, i modelli generativi stanno anche trasformando le performance musicali dal vivo, creando esperienze interattive e immersive. Questi sistemi possono generare

accompagnamenti, suggerire improvvisazioni o modificare dinamicamente la musica in risposta alle azioni del performer, creando una sinergia tra uomo e macchina che arricchisce l'esperienza performativa. L'interazione in tempo reale con l'intelligenza artificiale permette di esplorare nuove forme di espressione artistica, rendendo ogni esibizione unica e adattabile al momento. (Chakraborty, 2023)

2.7.1 Reti generative avversarie (GANs)

Le reti generative avversarie rappresentano una famiglia avanzata di modelli generativi profondi ed una delle tecniche più avanzate e innovative nel campo della generazione musicale. Il concetto chiave dietro le GANs è l'allenamento simultaneo di due reti neurali: un generatore (G) e un discriminatore (D). Il generatore ha il compito di creare nuovi dati che simulano il più possibile quelli reali, mentre il discriminatore tenta di distinguere tra i dati reali e quelli generati. Durante l'addestramento, queste due reti sono in competizione tra loro in un gioco a somma zero, dove l'obiettivo finale è che il generatore produca dati così convincenti da ingannare il discriminatore, che non sarà più in grado di distinguere i due tipi di dati.

Nel contesto della generazione musicale, le GANs sono utilizzate per creare composizioni originali, arrangiamenti e persino per il trasferimento di stili musicali tra diversi generi. Tuttavia, generare musica con le GANs presenta sfide uniche rispetto ad altre forme di dati, come le immagini. La musica, infatti, è caratterizzata da una natura sequenziale e temporale, con molteplici tracce e strumenti che devono interagire armoniosamente. Questa complessità richiede che i modelli GAN siano in grado di catturare non solo le caratteristiche statiche di una singola nota o suono, ma anche le dinamiche temporali e relazionali che definiscono una composizione musicale coerente. (Hernandez-Olivan, 2021)

Uno dei primi modelli GAN applicati alla musica è stato il C-RNN-GAN, che utilizza una rete neurale ricorrente (RNN) sia come generatore che come discriminatore. Questo modello è stato progettato per lavorare con sequenze

continue di dati musicali, come frequenza, lunghezza, intensità e temporizzazione, che sono elementi essenziali per rappresentare segnali musicali. Sebbene C-RNN-GAN abbia aperto la strada, successivi sviluppi hanno cercato di migliorare la capacità di queste reti di gestire la complessità della musica polifonica e multi-traccia.

Ad esempio, il modello ORGAN combina una rete LSTM come generatore e una rete CNN come discriminatore, utilizzando una funzione di ricompensa basata sul *reinforcement learning* (RL). Questo approccio consente al generatore di apprendere non solo le caratteristiche musicali ma anche di ottimizzarsi rispetto a metriche specifiche del dominio musicale, come la coerenza armonica e la stabilità temporale.

Per affrontare la sfida della generazione di musica polifonica multi-traccia hanno sviluppato MuseGAN, un modello che integra componenti generativi e temporali. MuseGAN è in grado di generare musica barra per barra, gestendo più tracce simultaneamente. Tuttavia, nonostante i progressi, MuseGAN ha mostrato limiti nella coerenza musicale e nell'armonia, con note talvolta frammentate e una mancanza di continuità tra i segmenti musicali.

La complessità della musica richiede che i modelli GAN siano non solo accurati nella generazione di singoli suoni, ma anche capaci di mantenere la coerenza temporale e l'armonia tra le tracce. Per superare le limitazioni dei modelli basati su CNN è stato proposto il modello *Dual Multi-branches GAN* (DBM-GAN). Questo modello integra il meccanismo di *self-attention*, che permette di apprendere le dipendenze temporali e di estrarre caratteristiche spaziali, migliorando così la coerenza e la qualità della musica generata.

Un altro contributo significativo è stato dato con il modello MusAE, il primo autoencoder avversariale musicale. MusAE utilizza una regolarizzazione avversariale che sostituisce la divergenza di Kullback-Leibler (KL) tipica dei VAE, consentendo la ricostruzione e l'interpolazione di frasi musicali tra diverse rappresentazioni latenti, migliorando la capacità di manipolare specifici attributi musicali.

L'applicazione delle GANs nella generazione musicale non si limita solo alla creazione di nuove composizioni, ma si estende anche all'arrangiamento e al trasferimento di stile. Ad esempio, Liu e Yang hanno sviluppato un modello per l'arrangiamento di *lead sheet*, che genera l'accompagnamento per una melodia data utilizzando strumenti come chitarra, basso, pianoforte, archi e batteria. Questo modello combina una rete convoluzionale ricorrente con un approccio di addestramento avversariale, suddividendo il processo in tre fasi: generazione della *lead sheet*, estrazione delle caratteristiche armoniche e generazione dell'arrangiamento.

L'abilità di trasferire un brano musicale da un genere a un altro è un altro ambito affascinante dove le GANs trovano applicazione.

Nonostante le loro potenzialità, le GANs applicate alla musica presentano ancora sfide significative. Tra queste, la difficoltà nell'addestramento, la scarsa interpretabilità dei modelli e la complessità nella modellazione dei dati sequenziali come partiture musicali o testi. Tuttavia, con i continui progressi nella ricerca e lo sviluppo di architetture sempre più sofisticate, le GANs stanno gradualmente diventando strumenti indispensabili per la creazione e l'innovazione nel campo della musica generativa. (Dadman, 2022)

2.7.2 Variational auto-encoders (VAEs)

I *variational auto-encoders* sono diventati uno strumento fondamentale nel campo della generazione musicale, grazie alla loro capacità di creare nuove composizioni che rispettano le caratteristiche stilistiche apprese dai dati di addestramento. La struttura di base di un VAE si compone di due parti principali: un encoder e un decoder, che lavorano insieme per trasformare input musicali in una rappresentazione latente e poi ricostruire la musica a partire da questa rappresentazione.

Nel contesto musicale, l'encoder di un VAE prende un frammento di musica, come una sequenza MIDI e lo trasforma in un vettore di numeri che rappresentano le caratteristiche principali di quel frammento, come melodia, armonia, ritmo e

timbro. Questa rappresentazione numerica, chiamata spazio latente, cattura le variazioni stilistiche e strutturali della musica, comprimendo l'informazione in un formato che può essere facilmente manipolato.

A differenza degli autoencoder tradizionali, che mappano direttamente ogni frammento musicale in un singolo punto nello spazio latente, i VAEs introducono un elemento di aleatorietà, generando una distribuzione di probabilità per ogni input. Questo significa che ogni frammento di musica è rappresentato non da un singolo punto, ma da un "cluster" di punti nello spazio latente, permettendo al modello di esplorare diverse variazioni della stessa sequenza musicale.

Una volta che l'encoder ha trasformato la musica nello spazio latente, il decoder prende questi vettori e li trasforma nuovamente in sequenze musicali. Questo processo consente di generare nuova musica che, pur essendo originale, mantiene le caratteristiche stilistiche del dataset di addestramento.

Uno degli esempi più noti di applicazione dei VAEs nella musica è il modello MusicVAE, sviluppato per generare melodie e sequenze polifoniche. MusicVAE utilizza una struttura gerarchica di reti neurali ricorrenti per catturare la struttura a lungo termine delle sequenze musicali, come le progressioni armoniche o lo sviluppo tematico. Il modello è stato addestrato su un ampio corpus di file MIDI, che include melodie monofoniche, pattern di batteria e sequenze trio (batteria, basso, melodia), permettendo di generare nuove composizioni che combinano questi elementi in modi innovativi.

Un aspetto cruciale di MusicVAE è la sua capacità di manipolare lo spazio latente per creare transizioni fluide tra stili o per interpolare tra diverse sequenze musicali. Ad esempio, è possibile prendere due melodie distinte e utilizzare MusicVAE per generare una sequenza che le collega in modo graduale e coerente, esplorando nuovi percorsi musicali tra i due estremi.

PianoTreeVAE è un altro esempio di come i VAEs possono essere utilizzati per gestire la complessità della musica polifonica. Questo modello sfrutta una struttura ad albero per rappresentare le relazioni gerarchiche tra le note e gli accordi, catturando le interazioni tra le varie componenti di una composizione. Questo

approccio è particolarmente utile per generare musica che rispetta le regole armoniche e la coerenza temporale, caratteristiche fondamentali nella musica polifonica.

Un'altra applicazione interessante dei VAEs nella musica è la tecnica del audio inpainting, che consiste nel completare parti mancanti di una composizione musicale. Ad esempio, dato un frammento di melodia o armonia, il VAE può essere utilizzato per generare le note mancanti in modo coerente con il contesto esistente, riempiendo i vuoti in modo naturale e armonioso. Questo tipo di applicazione è particolarmente utile nella ricostruzione di brani incompleti o nella creazione di variazioni su temi musicali esistenti.

Inoltre, l'integrazione dei VAEs con altre tecniche di deep learning, come le generative adversarial networks (GANs), ha portato allo sviluppo di modelli ibridi che combinano i punti di forza di entrambi gli approcci. Ad esempio, i modelli VAE-GAN sono in grado di migliorare la qualità del contenuto generato sfruttando la capacità delle GANs di produrre dati ad alta fedeltà, mentre i VAEs mantengono la coerenza stilistica e strutturale.

2.7.3 Transformers

I transformer hanno rivoluzionato il campo della generazione musicale automatica grazie alla loro capacità di gestire sequenze complesse, come quelle presenti nella musica, in modo efficiente e scalabile. L'architettura dei transformer si basa su un meccanismo di attenzione che permette al modello di focalizzarsi su elementi specifici delle sequenze di input e output, cogliendo le relazioni rilevanti tra questi elementi senza dipendere esclusivamente dall'ordine sequenziale, come avviene nei modelli tradizionali basati su reti neurali ricorrenti (RNN).

Nel contesto musicale, i transformer elaborano sequenze di note o eventi musicali, dove ogni evento può rappresentare informazioni come il *pitch*, la durata, il timbro, o altre caratteristiche del suono. A differenza delle RNN, che elaborano gli input sequenzialmente (ovvero una nota alla volta), i transformer elaborano l'intera sequenza simultaneamente, grazie alla loro capacità di calcolo parallelo. Questo

permette ai transformer di superare uno dei principali limiti delle RNN: la difficoltà nel mantenere informazioni a lungo termine. Nella musica, la capacità di catturare e mantenere dipendenze a lungo termine è cruciale, poiché le strutture musicali spesso si sviluppano e si ripetono su scale temporali estese.

Un elemento chiave dell'architettura transformer è la *self-attention*, che consente al modello di calcolare l'importanza relativa di ciascun elemento della sequenza rispetto agli altri. Questo meccanismo permette al modello di identificare e valorizzare pattern ripetitivi, strutture armoniche e motivi tematici, che sono fondamentali nella costruzione musicale. Ad esempio, se una melodia introduce un tema in una parte del brano, il meccanismo di attenzione può aiutare il modello a riconoscere e riutilizzare questo tema in altre parti del brano, garantendo coerenza e coesione musicale.

Un altro aspetto fondamentale dell'architettura transformer, particolarmente rilevante nella generazione musicale, è la codifica posizionale. Poiché non elaborano i dati in un ordine sequenziale predefinito, è necessario un metodo per indicare al modello la posizione relativa di ciascun evento nella sequenza. La codifica posizionale viene aggiunta ai vettori di input per fornire al modello informazioni sull'ordine degli eventi musicali. Questo è essenziale per la musica, dove la sequenza temporale delle note e delle pause determina la melodia, il ritmo e l'armonia.

Nella generazione musicale, i transformer sono spesso utilizzati in architetture sequenza-sequenza (*sequence-to-sequence*), dove un encoder trasforma una sequenza di input in una rappresentazione intermedia e un decoder genera la sequenza di output finale. Nel caso della musica, l'encoder potrebbe prendere una sequenza di note e trasformarla in una rappresentazione interna che cattura le caratteristiche salienti della melodia, mentre il decoder utilizza questa rappresentazione per generare nuove sequenze di note che mantengono la coerenza stilistica e strutturale con l'input originale.

L'uso dei transformer nella musica non è esente da sfide. Uno dei problemi principali è la tendenza dei modelli a generare musica che diventa casuale o

disordinata dopo poche battute. Questo accade perché, pur essendo potenti nel catturare dipendenze locali, i transformer possono faticare a mantenere coerenza su lunghe distanze temporali, soprattutto in contesti dove la musica richiede un alto grado di struttura e continuità. Per affrontare questo problema, sono state sviluppate varie estensioni e modifiche all'architettura transformer. Music Transformer utilizza un meccanismo di attenzione relativa che permette di catturare meglio le relazioni tra eventi musicali in diversi punti della sequenza, migliorando la capacità del modello di generare brani musicali coerenti e ben strutturati.

Inoltre, la combinazione di Transformer con altre tecniche di deep learning ha dimostrato di migliorare la qualità della musica generata. Combinare transformer con reti generative avversarie permette di sfruttare i punti di forza di entrambe le architetture: i transformer possono concentrarsi sull'apprendimento delle strutture temporali complesse, mentre le GAN possono migliorare la qualità complessiva del contenuto generato, fornendo un feedback continuo che guida il modello verso output più armoniosi e musicalmente validi.

Un'altra innovazione è l'uso di rappresentazioni musicali avanzate come REMI, che codifica la musica in modo da catturare non solo le note, ma anche le strutture ritmiche e armoniche. Questo tipo di rappresentazione aiuta i transformer a comprendere meglio le gerarchie musicali e a generare musica che rispetti queste strutture, migliorando la fedeltà stilistica e l'espressività delle composizioni prodotte.

2.8 Algoritmi genetici

Gli algoritmi genetici, ispirati dai processi di evoluzione naturale, hanno trovato una vasta applicazione nella generazione musicale, offrendo un approccio innovativo per creare e ottimizzare composizioni musicali. Questi algoritmi si basano su una popolazione di soluzioni candidate, ciascuna delle quali rappresenta un frammento musicale codificato come un cromosoma. Il cromosoma può

includere elementi musicali come melodie, armonie, ritmi e altri parametri rilevanti. (Jacob, 1996)

Nel contesto musicale, l'applicazione degli algoritmi genetici inizia con la definizione del problema, come ad esempio la creazione di una melodia o l'arrangiamento di un brano. Il primo passo consiste nel codificare le componenti musicali in una forma che l'algoritmo possa manipolare. Questo può includere rappresentazioni delle note, della durata, dell'intensità e delle relazioni armoniche. A partire da una popolazione iniziale di sequenze musicali generate casualmente, l'algoritmo genetico procede selezionando le migliori soluzioni in base a una funzione di fitness specifica per la musica.

La funzione di fitness, in un contesto musicale, è progettata per valutare quanto bene una sequenza musicale soddisfa criteri prestabiliti. Questi criteri possono includere la coerenza melodica, l'armonia, la somiglianza con uno stile musicale predefinito o l'adesione a determinate regole compositive. Per esempio, in una composizione armonica, la funzione di fitness potrebbe valutare l'uso corretto delle progressioni di accordi e la risoluzione delle dissonanze. Più la soluzione musicale è vicina all'ideale stabilito, maggiore sarà il punteggio di fitness.

Una volta valutata la popolazione iniziale, l'algoritmo procede con la selezione delle sequenze migliori, che vengono combinate attraverso operatori di *crossover*, per creare nuove soluzioni. Il *crossover* in un contesto musicale potrebbe comportare la combinazione di frammenti di melodie o armonie da due soluzioni diverse per creare una nuova sequenza che eredita caratteristiche da entrambe. Oltre al *crossover*, viene applicato anche l'operatore di mutazione, che introduce variazioni casuali in alcune parti della sequenza musicale, permettendo all'algoritmo di esplorare nuove possibilità creative che potrebbero non emergere attraverso la semplice combinazione delle soluzioni esistenti.

Attraverso diverse generazioni, la popolazione evolve e le sequenze musicali tendono a migliorare rispetto ai criteri definiti dalla funzione di fitness. Questo processo iterativo permette all'algoritmo genetico di esplorare un vasto spazio di

soluzioni musicali, evolvendo progressivamente verso composizioni che rispettano i criteri estetici o stilistici prefissati.

Uno degli aspetti più interessanti degli algoritmi genetici applicati alla musica è la loro capacità di generare idee musicali nuove e originali, partendo da elementi di base specificati. Questo approccio può essere particolarmente utile per i compositori che cercano di esplorare nuove direzioni creative o per la creazione automatizzata di musica per applicazioni specifiche, come colonne sonore per film o videogiochi.

Inoltre, gli algoritmi genetici possono essere adattati per generare musica in tempo reale, rispondendo a input dinamici o preferenze dell'utente. Ad esempio, è possibile sviluppare un sistema in cui l'utente fornisce un tema o un motivo musicale di base e l'algoritmo genetico genera variazioni e sviluppi di quel tema, producendo un'intera composizione che mantiene coerenza con l'input iniziale ma esplora al contempo nuove possibilità melodiche e armoniche.

Nei primi algoritmi evolutivi applicati alla musica, la misura di fitness era spesso basata su adattamenti interattivi, richiedendo un significativo intervento umano. Tuttavia, questo approccio presentava limiti in termini di robustezza e applicabilità, oltre a restringere il potenziale creativo del sistema. Con il tempo, sono state introdotte misure di fitness più complesse e automatizzate, migliorando le capacità dei sistemi di generazione musicale.

3. IMPLEMENTAZIONE E SVILUPPO DI MODELLI MUSICALI IA

3.1 Modelli per la produzione musicale

L'implementazione e lo sviluppo di modelli musicali basati sull'intelligenza artificiale e il machine learning richiedono una combinazione di tecniche avanzate di programmazione, gestione dei dati e metodologie di sviluppo software. Questo processo coinvolge diverse fasi, tra cui la raccolta e la preparazione dei dati, la scelta delle architetture di rete, l'addestramento dei modelli e l'ottimizzazione delle prestazioni.

La generazione musicale rappresenta un campo di ricerca focalizzato sulla rappresentazione della musica come sequenza di simboli. Questi simboli possono includere note, durate, dinamiche e altre proprietà musicali, che vengono successivamente utilizzati per l'apprendimento delle caratteristiche musicali e per la modellazione generativa, con l'obiettivo di creare nuove composizioni. Questo approccio consente di trattare la musica come una serie di eventi discreti, manipolabili da algoritmi di intelligenza artificiale per generare nuove opere musicali.

Due proprietà essenziali caratterizzano la composizione musicale simbolica: la consapevolezza strutturale e la capacità interpretativa. La consapevolezza strutturale si riferisce alla capacità dei modelli generativi di creare musica che rispetti le strutture formali tipiche della composizione musicale. La musica non è una semplice sequenza casuale di note ma è organizzata in forme che includono ripetizioni, variazioni, progressioni armoniche e motivi tematici. I modelli consapevoli della struttura sono in grado di produrre brani musicali che mantengono una coerenza naturale e che rispecchiano le relazioni a lungo termine presenti nelle composizioni umane. Questa capacità è particolarmente importante per generare musica che possa evolvere nel tempo, mantenendo un filo conduttore riconoscibile e apprezzabile dall'ascoltatore. Dall'altra parte, la capacità interpretativa si riferisce all'abilità del modello di tradurre complessi modelli computazionali in interfacce utilizzabili durante le performance musicali. Questa

proprietà consente ai musicisti di interagire in tempo reale con il sistema, modificando e influenzando l'output musicale. Per esempio, un compositore può utilizzare un'interfaccia per manipolare i parametri di un modello generativo e creare variazioni immediate di un tema musicale, adattandolo alle esigenze espressive del momento. Questo rende i sistemi di generazione musicale non solo strumenti per la creazione, ma anche piattaforme per l'esplorazione musicale interattiva.

La generazione musicale simbolica può servire a diversi scopi, offrendo strumenti innovativi sia ai compositori che agli ascoltatori. I compositori possono utilizzare questi sistemi per sviluppare materiale esistente, esplorare nuove idee compositive o sperimentare con stili musicali diversi. La tecnologia permette di ampliare l'orizzonte creativo dei compositori, fornendo spunti e suggerimenti che possono essere integrati nelle loro opere. Inoltre, può servire come fonte di ispirazione, aiutando i compositori a superare il blocco creativo. Per gli ascoltatori, questi sistemi offrono la possibilità di personalizzare l'esperienza musicale, ad esempio attraverso la creazione di playlist personalizzate basate sulle preferenze dell'utente o la modifica in tempo reale di un brano musicale per adattarlo all'umore o alle circostanze del momento.

Nel processo di generazione musicale, il contenuto deve essere prima codificato in formato digitale per essere utilizzato come input nell'algoritmo. Successivamente, l'algoritmo viene addestrato e perfezionato, consentendo di generare vari segmenti musicali, tra cui melodie, accordi, tracce audio, transizioni di stile, e altro ancora. I sistemi di composizione basati sull'intelligenza artificiale, noti come *music generation systems*, seguono un processo articolato in diverse fasi fondamentali. La composizione rappresenta la fase in cui viene creata la struttura di base di un brano musicale, inclusa la melodia, l'armonia e il ritmo. In un sistema di intelligenza artificiale, l'algoritmo genera queste componenti utilizzando modelli addestrati su ampi dataset musicali. Dopo aver composto la struttura di base, il sistema organizza le diverse parti del brano, decidendo come distribuire i vari strumenti o voci in modo coerente e armonioso, un processo noto come

arrangiamento. Successivamente, il *sound design* si occupa della creazione e manipolazione dei suoni che verranno utilizzati nel brano, che può includere la sintesi di nuovi timbri o la modifica di suoni esistenti per adattarli meglio al contesto della composizione. Il mixaggio è il processo che combina le varie tracce audio in un'unica traccia stereo o multicanale, bilanciando i livelli, equalizzando le frequenze e aggiungendo effetti come riverbero o *delay*. Il mastering rappresenta la fase finale del processo di produzione musicale, ottimizzando il brano per la distribuzione e la riproduzione su vari dispositivi. In sintesi, ciascuna di queste fasi contribuisce a creare un brano musicale completo e coerente, pronto per essere ascoltato o ulteriormente elaborato.

Gli elementi fondamentali della musica – altezza, durata, intensità e timbro – costituiscono i mattoni con cui si costruiscono melodie, armonie, ritmi e tonalità. Nella composizione automatica, questi elementi vengono trattati come dati simbolici, che possono essere manipolati da algoritmi di intelligenza artificiale per creare nuove composizioni. La melodia rappresenta spesso il focus principale nei sistemi di generazione musicale automatica, con l'algoritmo che cerca di creare melodie stilisticamente coerenti con un determinato genere musicale, come la musica folk occidentale o il jazz libero. La generazione melodica richiede una comprensione profonda delle relazioni tra le note e delle regole che governano la loro successione nel tempo. L'armonia aggiunge profondità e complessità alla melodia, fornendo un contesto sonoro più ricco. Nei sistemi di generazione automatica, l'armonia viene spesso generata rispettando le regole stilistiche specifiche, che garantiscono la coerenza stilistica all'interno del brano. Il ritmo e il timbro sono altrettanto cruciali per definire il carattere di un brano musicale, dove il ritmo organizza le note nel tempo e il timbro determina la qualità del suono prodotto. In un sistema di intelligenza artificiale, il ritmo può essere manipolato per creare variazioni che aggiungono dinamismo alla composizione, mentre il timbro può essere modificato attraverso il *sound design* per adattarsi meglio all'atmosfera desiderata.

La struttura gerarchica della musica, che si sviluppa nel tempo attraverso motivi, frasi e segmenti, è un altro aspetto fondamentale da considerare nella generazione musicale automatica. Ogni livello di questa gerarchia contribuisce a formare il tema, il ritmo e l'emozione di un brano. Un motivo può essere ripetuto e variato per creare una frase, che a sua volta può essere combinata con altre frasi per formare un segmento più grande. La gestione di queste complesse interazioni è una delle sfide principali nella generazione musicale automatica, poiché i sistemi di intelligenza artificiale devono essere in grado di comprendere e replicare queste strutture complesse per generare musica che sia non solo tecnicamente corretta, ma anche emotivamente coinvolgente. La capacità di un modello di IA di gestire la polifonia e l'armonizzazione, dove più voci o strumenti devono interagire in modo armonioso, è cruciale per produrre composizioni che abbiano una coerenza interna e che siano piacevoli all'ascolto.

La rappresentazione musicale è un concetto fondamentale nella generazione automatica di musica, poiché la musica può essere vista come un flusso di informazioni che trasmette emozioni a diversi livelli di astrazione. Il modo in cui la musica viene rappresentata come input per un sistema generativo ha un'influenza cruciale sul numero di nodi di input e output del sistema, sulla correttezza dell'addestramento e sulla qualità del contenuto generato. In sostanza, la rappresentazione scelta determina il modo in cui l'algoritmo percepisce e manipola la musica, influenzando profondamente il risultato finale.

Le rappresentazioni musicali si dividono principalmente in due categorie: audio e simbolica. La differenza principale tra queste due categorie è che l'audio è un segnale continuo, mentre il simbolo è un segnale discreto. La rappresentazione audio, ad esempio, tratta la musica come un flusso continuo di dati, dove la forma d'onda o lo spettrogramma sono tra i metodi più comuni per rappresentare i segnali musicali. Il vantaggio di utilizzare la rappresentazione del segnale audio è che la forma d'onda originale conserva le proprietà espressive della musica, permettendo di produrre contenuti musicali che riflettono fedelmente l'esperienza sonora originale. Tuttavia, questa forma di rappresentazione presenta alcune limitazioni

significative. I frammenti musicali nel dominio audio originale sono solitamente rappresentati come forme d'onda continue, il che richiede una grande quantità di dati, specialmente quando si considerano brevi frammenti musicali a frequenze di campionamento elevate. Questa quantità di dati può rendere complessa la modellazione dell'audio grezzo, poiché i sistemi di intelligenza artificiale trovano difficile apprendere i temi musicali di alto livello, come dimostrato dal progetto Jukebox di OpenAI, che richiede circa nove ore per generare un minuto di musica. D'altra parte, la rappresentazione simbolica della musica offre un approccio diverso, trattando i frammenti musicali come una serie di simboli discreti. Tra le principali forme di rappresentazione simbolica troviamo gli eventi MIDI, il formato Piano-roll e la notazione ABC. Gli eventi MIDI, per esempio, sono un'interfaccia digitale musicale che garantisce l'interoperabilità tra vari strumenti musicali elettronici, software e apparecchiature. Questa rappresentazione utilizza simboli per indicare l'inizio e la fine delle note (*Note on e Note off*) e specifica l'altezza della nota tramite un numero intero compreso tra 0 e 127. Inoltre, la struttura dati MIDI include un valore temporale incrementale per specificare l'intervallo di tempo relativo tra le note, permettendo di gestire la temporalità della musica in modo efficace. Tuttavia, gli eventi MIDI non sono ideali per rappresentare la polifonia complessa, ovvero la riproduzione simultanea di più note su più tracce.

Il formato Piano-roll rappresenta una delle forme più comuni di rappresentazione simbolica nella generazione musicale. Esso quantizza le note in una matrice, dove l'asse x rappresenta il tempo, l'asse y rappresenta l'altezza e l'asse z rappresenta la traccia MIDI. Ogni traccia ha una propria matrice one-hot, che rende visibile la struttura della melodia e facilita la manipolazione della polifonia. Il formato Piano-roll è ampiamente utilizzato nei sistemi di generazione musicale perché permette di visualizzare facilmente la struttura della melodia e non richiede la serializzazione della musica polifonica. Tuttavia presenta alcune limitazioni, come l'incapacità di catturare dettagli come il timbro, la velocità e l'espressività delle note. Inoltre, non riesce a distinguere tra note lunghe e note corte ripetute e la

presenza di numerosi zeri nella matrice può ridurre l'efficienza dell'addestramento del modello.

Un'altra rappresentazione simbolica è la notazione ABC, che codifica le melodie in una rappresentazione testuale. Originariamente progettata per la musica folk e tradizionale dell'Europa occidentale, questa notazione è stata successivamente adottata per altri tipi di musica. La notazione ABC è concisa e facile da leggere, il che la rende utile per la generazione di melodie monofoniche. Tuttavia, la sua applicazione è limitata quando si tratta di rappresentare musica polifonica o armonica complessa, poiché manca di una notazione specifica per la polifonia o l'armonia. (Zhao, 2024)

La prima fase nell'implementazione di modelli musicali è la raccolta dei dati, che include la compilazione di un dataset ampio e diversificato di esempi musicali. Questi dati possono includere file audio, trascrizioni musicali, e metadati associati come genere, artista e anno di pubblicazione. La qualità e la diversità dei dati sono cruciali, poiché influenzano direttamente la capacità del modello di generalizzare e creare output di alta qualità. Per garantire una rappresentazione accurata della musica, è essenziale utilizzare dataset che coprano un ampio spettro di stili musicali e periodi storici.

La selezione di un dataset musicale adatto è una componente essenziale per i sistemi di generazione musicale. Oltre a determinare la rappresentazione musicale più appropriata, la scelta del dataset influenza in modo determinante la qualità dell'addestramento e, di conseguenza, la capacità del modello di generare musica che sia stilisticamente coerente, espressiva e tecnicamente valida. I dataset musicali costituiscono il fondamento su cui vengono costruiti e perfezionati i modelli di intelligenza artificiale e la varietà e la qualità di questi dataset giocano un ruolo cruciale nel determinare le potenzialità creative del sistema.

I dataset musicali disponibili pubblicamente includono una vasta gamma di generi e tipi di musica, come musica multi-traccia, corale, pianistica, folk e rappresentazioni che spaziano dai segnali audio agli eventi MIDI e ai simboli ABC. Ogni tipo di dataset offre vantaggi specifici per diverse applicazioni e

consente di addestrare i modelli su una varietà di stili musicali e tecniche compositive.

Un esempio emblematico di dataset ampiamente utilizzato è Nsynth, che contiene oltre 305.000 note, ciascuna caratterizzata da un *pitch*, un timbro e un *envelope* unici. Questo dataset è composto da campioni provenienti da 1.006 strumenti inclusi in una libreria commerciale di suoni, con registrazioni di strumenti singoli della durata di quattro secondi per ciascun pitch (nell'intervallo da 21 a 108) e a diverse velocità di esecuzione (25, 50, 75, 100, 127) di un pianoforte MIDI standard. La ricchezza e la varietà di questo dataset lo rendono particolarmente prezioso per i modelli che devono apprendere le complessità delle interazioni tra diverse proprietà sonore, contribuendo a sviluppare capacità di sintesi sonora avanzate e a generare musica con una qualità timbrica ricca e dettagliata.

Lakh MIDI Dataset rappresenta un'altra risorsa fondamentale nel campo della generazione musicale. Con i suoi 176.581 file MIDI unici, di cui 45.129 allineati con le voci del One Million Songs Dataset, questo dataset è progettato per facilitare il recupero su larga scala di informazioni musicali, sia in forma simbolica (utilizzando file MIDI) che basata su contenuti audio (utilizzando informazioni estratte dai file MIDI come annotazioni per il *matching* dei file audio). La combinazione di dati simbolici e audio in un unico dataset permette di sviluppare modelli capaci di comprendere la relazione tra la partitura e il suono finale, migliorando la coerenza e la fedeltà delle composizioni generate rispetto ai brani originali.

Un altro esempio significativo è il JSB-Chorales Dataset, noto per la sua applicazione nella modellazione della musica corale. Questo dataset offre tre risoluzioni temporali: quarto, ottavo e sedicesimo di nota. Le "quantizzazioni" sono create mantenendo i toni su una griglia temporale specifica, permettendo ai modelli di IA di apprendere le complesse strutture ritmiche e armoniche tipiche della musica corale. Tuttavia, una limitazione di questo dataset è l'assenza di codifica per le fermate e l'incapacità di distinguere tra note tenute e ripetute, il che

può limitare la fedeltà della generazione musicale nei contesti in cui tali dettagli sono cruciali.

Groove MIDI Dataset (GMD) è un'altra risorsa preziosa, composta da 13,6 ore di suoni di batteria espressivi, eseguiti da musicisti umani e resi disponibili sia in formato MIDI che in audio sintetico. Questo dataset contiene 1.150 file MIDI e oltre 22.000 suoni di batteria ed è particolarmente utile per la generazione di pattern ritmici complessi e per lo studio dell'espressività nei suoni di batteria. La disponibilità di esecuzioni realistiche e umanizzate rende questo dataset ideale per modelli di IA che mirano a replicare la spontaneità e la varietà ritmica tipica delle performance umane.

Nonostante l'abbondanza di dataset musicali, è evidente che la maggior parte delle risorse si concentra prevalentemente sulla raccolta e l'elaborazione di generi musicali occidentali, con un'attenzione relativamente limitata ai generi musicali orientali. Sebbene alcuni ricercatori abbiano raccolto e processato musica da tradizioni orientali, è preoccupante che solo pochi di questi dataset siano accessibili. Per esempio, il dataset MG-VAE ha digitalizzato le canzoni popolari di varie regioni della Cina, documentate nella "Chinese Folk Music Collection", convertendole in 2.000 composizioni regionali presentate in formato MIDI. Questo tipo di dataset è fondamentale per preservare e studiare le tradizioni musicali orientali, oltre che per arricchire le capacità dei modelli di IA nella generazione di musica con caratteristiche stilistiche diverse da quelle occidentali.

Nonostante l'esistenza di questi dataset orientali, la loro accessibilità è spesso limitata, probabilmente a causa di preoccupazioni legate al *copyright* e ad altre questioni. Per promuovere l'avanzamento della ricerca in questo campo, è necessario un impegno maggiore e coordinato per costruire dataset più completi e diversificati, in grado di soddisfare meglio le esigenze della ricerca musicale globale. Questo richiede una collaborazione internazionale estesa, conformità culturale, trasparenza dei dati e innovazione tecnologica. Aumentare la diversità dei dataset, promuovere la condivisione aperta, utilizzare tecniche di arricchimento dei dati e sfruttare la partecipazione della comunità sono passi fondamentali per

fornire risorse più ricche e complete per la ricerca sulla generazione musicale, contribuendo così alla comprensione e alla preservazione creativa e culturale della musica orientale. La creazione e la condivisione di questi dataset non solo arricchirebbero la ricerca musicale, ma giocherebbero anche un ruolo cruciale nella conservazione delle tradizioni musicali attraverso l'uso di tecnologie moderne.

Il *preprocessing* dei dati sarà il passo seguente che prepara i dati grezzi per l'analisi. Nel campo della musica questo processo può includere diverse operazioni chiave. La normalizzazione del volume è essenziale per garantire che le differenze di volume tra diverse registrazioni non influenzino l'analisi. Questo processo rende le tracce audio comparabili, indipendentemente dalle condizioni di registrazione originali. La rimozione del rumore è un'altra tecnica importante, utilizzata per eliminare suoni indesiderati che possono interferire con l'analisi dei dati. Questo può includere la rimozione di rumori di fondo o interferenze esterne presenti nelle registrazioni audio.

Un aspetto centrale del *preprocessing* è la trasformazione dei segnali audio. Utilizzando la trasformata di Fourier, i segnali audio possono essere convertiti dal dominio del tempo al dominio delle frequenze. Questo processo permette di analizzare la composizione spettrale della musica, identificando componenti frequenziali critiche come armonie e timbri. L'analisi delle frequenze è particolarmente utile per la caratterizzazione del timbro degli strumenti e la rilevazione di strutture musicali come accordi e scale.

La segmentazione dei dati è un'altra tecnica di *preprocessing* fondamentale, che implica la divisione di tracce audio in segmenti più piccoli, come battute, frasi musicali o sezioni. Questa segmentazione facilita l'analisi dettagliata di specifiche parti del brano e consente una gestione più efficiente dei dati durante l'addestramento dei modelli. Ad esempio, segmentare un brano in battute può essere utile per analizzare il ritmo o la struttura temporale della musica.

La estrazione delle caratteristiche è forse uno degli aspetti più critici del *preprocessing*. In questo processo, vengono estratti attributi rilevanti dai dati

audio, come la melodia, l'armonia, il ritmo e il timbro. Questi attributi, noti come *feature*, vengono utilizzati come input per i modelli di machine learning. Ad esempio, l'estrazione di un cromagramma, che rappresenta la distribuzione delle energie spettrali sulle 12 note della scala cromatica, può aiutare a determinare la tonalità di un brano musicale. Allo stesso modo, l'identificazione delle caratteristiche del ritmo può essere utilizzata per il riconoscimento del genere musicale o per l'allineamento temporale dei brani.

L'uniformità e la pulizia dei metadati sono vitali per evitare confusione e garantire la coerenza delle analisi.

Una volta preparati i dati, la scelta dell'architettura di rete è un passaggio critico. A seconda dell'obiettivo del modello, si possono utilizzare diverse tipologie di reti neurali. Le CNN sono ideali per il riconoscimento di pattern nei dati audio e visivi, come nel caso della classificazione dei generi musicali o del riconoscimento di strumenti. Le reti neurali ricorrenti (RNN) e le loro varianti, come le *long short-term memory* (LSTM), sono invece più adatte per modellare sequenze temporali, rendendole ideali per la generazione di musica o la previsione di sequenze di accordi. Le GAN e i VAE sono utilizzate per la generazione di nuovi contenuti musicali, sfruttando la loro capacità di apprendere la distribuzione dei dati e creare nuove istanze realistiche.

L'addestramento del modello è un processo intensivo in termini di calcolo, che richiede l'uso di hardware avanzato, come GPU o TPU, per gestire la complessità computazionale. Durante l'addestramento, i modelli sono esposti ai dati di input e imparano a minimizzare l'errore tra le loro predizioni e i dati reali. Questo processo iterativo di ottimizzazione dei pesi delle connessioni neuronali continua fino a raggiungere un livello accettabile di accuratezza. È essenziale monitorare il processo di addestramento per evitare problemi come l'*overfitting*, che si verifica quando il modello diventa troppo adattato e simile ai dati di addestramento e perde la capacità di generalizzare nuovi dati.

L'ottimizzazione delle prestazioni è un'altra fase cruciale, che può includere tecniche come il *fine-tuning*, l'implementazione di tecniche di regolarizzazione

come il *dropout*, e l'uso di ottimizzatori avanzati come Adam. L'obiettivo è migliorare la generalizzazione del modello e garantire che esso funzioni bene non solo sui dati di addestramento ma anche su dati non visti. Questo processo include anche la valutazione del modello su un set di test e l'eventuale raffinamento dell'architettura o dei parametri per ottenere risultati migliori.

L'implementazione finale del modello può includere la sua integrazione in applicazioni pratiche, come strumenti di composizione assistita, applicazioni di raccomandazione musicale o sistemi interattivi di creazione musicale. In questo contesto, è importante considerare aspetti pratici come la scalabilità, la latenza e la facilità d'uso, per garantire che il modello possa essere utilizzato efficacemente da musicisti, compositori e utenti finali.

3.2 Modelli per la raccomandazione musicale

Nel contesto odierno della musica digitale, i sistemi di raccomandazione musicale svolgono un ruolo cruciale nell'organizzare l'esperienza dell'ascoltatore e nel determinare il successo commerciale degli artisti. Con la crescita esponenziale della disponibilità di musica e la diffusione delle piattaforme di streaming, la capacità di guidare l'ascoltatore attraverso milioni di tracce è diventata essenziale, non solo per migliorare l'esperienza utente, ma anche per promuovere la scoperta di nuovi talenti e la diversificazione dei gusti musicali.

I sistemi di raccomandazione musicale sono progettati per suggerire brani, album o artisti che potrebbero piacere a un determinato utente, basandosi su un'analisi approfondita di dati comportamentali, come la cronologia degli ascolti, le preferenze espresse, le interazioni sociali, e persino il contesto in cui la musica viene ascoltata. Questi sistemi agiscono come mediatori attivi tra l'utente e l'enorme quantità di contenuti disponibili, influenzando le decisioni degli utenti e contribuendo a plasmare le tendenze musicali globali. (Afchar, 2021)

Le principali piattaforme di streaming musicale, come Spotify, Apple Music e Deezer, hanno integrato questi sistemi di raccomandazione come componente centrale dei loro servizi. Attraverso l'utilizzo di algoritmi avanzati di intelligenza

artificiale e machine learning, queste piattaforme analizzano grandi volumi di dati per personalizzare l'esperienza dell'utente in modi che sarebbero stati impensabili solo pochi anni fa. Ad esempio, playlist personalizzate come "Discover Weekly" di Spotify o "My Mix" di YouTube Music utilizzano modelli predittivi complessi per proporre settimanalmente nuove canzoni che potrebbero piacere all'utente, basandosi sui suoi precedenti comportamenti di ascolto.

Oltre alla comodità, l'importanza di questi sistemi risiede nella loro capacità di influenzare significativamente l'economia della musica digitale. Per gli artisti emergenti, essere inclusi nelle raccomandazioni può rappresentare una svolta cruciale, consentendo loro di raggiungere un vasto pubblico. Per le piattaforme di streaming, offrire raccomandazioni pertinenti e attraenti è fondamentale per mantenere alta la fidelizzazione degli utenti, in un mercato caratterizzato da una concorrenza sempre più agguerrita.

Dal punto di vista dell'utente, questi sistemi offrono un'esperienza di ascolto altamente personalizzata, in grado di adattarsi alle sue preferenze e necessità in continua evoluzione. La capacità di scoprire nuova musica senza sforzo, attraverso suggerimenti che spesso anticipano i desideri dell'utente, contribuisce a creare un legame più forte tra l'ascoltatore e la piattaforma, migliorando la qualità complessiva dell'esperienza musicale.

I sistemi di raccomandazione musicale si basano su una varietà di algoritmi e tecnologie, ognuno con i propri punti di forza e limiti. Tra i più utilizzati vi è il filtraggio collaborativo, un metodo che sfrutta la conoscenza collettiva degli utenti per generare raccomandazioni. Questo approccio si basa sul principio che se due utenti hanno gusti musicali simili, le raccomandazioni fatte a uno potrebbero essere rilevanti anche per l'altro. (David Hesmondhalgh, 2023)

Il filtraggio collaborativo si divide in due varianti principali: basato sugli utenti (*user-based*) e basato sugli oggetti (*item-based*). Il filtraggio collaborativo basato sugli utenti confronta i profili di ascolto degli utenti per identificare quelli con gusti simili, generando così raccomandazioni mirate. Ad esempio, se un utente A ha gusti simili a un utente B, e A ha ascoltato un brano che B non ha ancora

scoperto, il sistema di raccomandazione proporrà quel brano a B. Questo metodo è efficace quando vi sono grandi quantità di dati sugli utenti, consentendo la creazione di correlazioni forti tra i profili di ascolto.

Il filtraggio collaborativo basato sugli oggetti, invece, analizza le somiglianze tra i brani stessi. In questo caso, se un utente ha apprezzato una canzone, il sistema suggerirà altri brani simili basandosi sulle preferenze di ascolto di altri utenti. Questo approccio è più robusto rispetto al filtraggio basato sugli utenti in contesti dove ci sono meno dati sugli utenti o dove vi è una bassa frequenza di aggiornamento delle preferenze.

Il filtraggio basato sul contenuto è un approccio che analizza le caratteristiche intrinseche dei brani musicali per fare raccomandazioni. Piuttosto che basarsi sui gusti di altri utenti, questo metodo si concentra sulle proprietà dei brani e sulle preferenze espresse dall'utente stesso. Ogni brano è descritto attraverso un insieme di attributi come il genere, il ritmo, la tonalità e la strumentazione. Se un utente ha espresso preferenza per determinati attributi il sistema cercherà brani con caratteristiche simili da proporre.

Il concetto di filtraggio basato sul contesto si riferisce alla capacità di un sistema di raccomandazione di adattare le sue proposte non solo in base ai gusti musicali dell'utente ma anche in funzione del contesto in cui l'ascolto avviene. Questo contesto può includere una varietà di fattori come l'ora del giorno, la posizione geografica, il dispositivo utilizzato, l'attività che l'utente sta svolgendo e perfino il meteo.

Ad esempio, un utente potrebbe preferire ascoltare musica rilassante durante le prime ore del mattino, mentre potrebbe optare per brani più energici durante un allenamento in palestra. Un sistema di raccomandazione basato sul contesto potrebbe rilevare l'ora e suggerire automaticamente playlist di musica soft al mattino e brani motivazionali durante l'allenamento.

Per migliorare ulteriormente l'efficacia delle raccomandazioni, molti sistemi moderni adottano approcci ibridi, che combinano i punti di forza del filtraggio collaborativo e di quello basato sul contenuto. Gli approcci ibridi permettono di

creare raccomandazioni più accurate ed efficaci, integrando più fonti di dati e tecniche di raccomandazione. Ad esempio, un sistema ibrido può iniziare utilizzando il filtraggio collaborativo per trovare utenti con gusti simili e, una volta identificati, applicare il filtraggio basato sul contenuto per generare raccomandazioni più specifiche.

Inoltre, le tecniche di machine learning stanno rivoluzionando i sistemi di raccomandazione, portando allo sviluppo di modelli basati su deep learning, che utilizzano reti neurali profonde per analizzare i dati in modo più complesso e catturare pattern nascosti nelle preferenze degli utenti. Le reti neurali convoluzionali (CNN) sono utilizzate per l'analisi di dati strutturati, come la rappresentazione visiva di uno spettrogramma musicale, mentre le reti neurali ricorrenti (RNN) vengono utilizzate per analizzare dati sequenziali, come la cronologia di ascolto di un utente. Questi modelli sono in grado di apprendere automaticamente dalle interazioni degli utenti con la piattaforma, migliorando continuamente la qualità delle raccomandazioni.

L'implementazione pratica dei sistemi di raccomandazione musicale è una sfida complessa che richiede una combinazione di competenze tecnologiche avanzate, risorse computazionali significative e una gestione accurata dei dati. Questo processo non si limita allo sviluppo di algoritmi efficienti, ma include anche la costruzione di un'infrastruttura robusta in grado di supportare l'elaborazione in tempo reale, la scalabilità e la protezione dei dati.

Uno degli aspetti più critici nell'implementazione di sistemi di raccomandazione musicale è la progettazione di un'infrastruttura adeguata che sia in grado di gestire il carico computazionale necessario per analizzare enormi quantità di dati in tempo reale. Le piattaforme di streaming musicale, come Spotify o Apple Music, elaborano quotidianamente miliardi di interazioni da parte degli utenti, il che richiede un'infrastruttura tecnologica potente e scalabile.

Questa infrastruttura deve essere in grado di supportare l'elaborazione distribuita su centinaia o migliaia di server. L'uso di cluster di calcolo e tecnologie come

Hadoop e Spark è comune per gestire il *processing* di grandi volumi di dati, permettendo di eseguire calcoli complessi su larga scala in modo efficiente.

Inoltre, l'infrastruttura deve essere progettata per garantire l'alta disponibilità e la ridondanza, minimizzando i tempi di inattività e assicurando che il servizio sia sempre accessibile agli utenti.

La gestione dei dati rappresenta un'altra sfida cruciale. I sistemi di raccomandazione si basano su enormi quantità di dati che includono non solo le preferenze di ascolto degli utenti, ma anche metadati sui brani, informazioni sociali e dati contestuali. Per sfruttare al massimo questi dati, è essenziale disporre di una strategia efficace di data governance, che includa la raccolta, l'archiviazione, la pulizia e l'elaborazione dei dati. I dati devono essere accurati, aggiornati e ben strutturati per alimentare correttamente gli algoritmi di raccomandazione.

L'elaborazione in tempo reale richiede l'integrazione di streaming analytics, che permette di analizzare e reagire ai dati man mano che vengono generati. Tecnologie come Apache Kafka e Apache Flink sono spesso utilizzate per gestire flussi di dati in tempo reale, consentendo ai sistemi di raccomandazione di aggiornare continuamente i modelli e di fornire raccomandazioni quasi istantanee. (Apache, 2024)

4. BENEFICI E OPPORTUNITÀ NELL'INDUSTRIA MUSICALE IA

- Democratizzazione processo creativo
- Generazione rapida di idee, efficienza creativa
- Interfaccia utente migliorata
- Creazione strumenti virtuali
- Mix e Mastering assistiti
- Separazione stems da tracce originali
- Creazione tracce audio e vocali
- Efficienza e accuratezza (allineamento tracce audio)
- Servizi online per creazione di musica royalty free
- Trascrizione musicale e creazione MIDI
- Esibizioni dal vivo migliorate
- Design del suono migliorato

Democratizzazione processo creativo

L'intelligenza artificiale sta rivoluzionando la produzione musicale, democratizzando il processo creativo e rendendo accessibile la composizione anche a coloro che non hanno formazione musicale tradizionale o risorse economiche per strumenti costosi. Gli strumenti AI permettono agli utenti di creare tracce musicali sfruttando la potenza dei modelli di apprendimento automatico per generare melodie, armonie e ritmi nuovi.

La produzione musicale tradizionale richiede anni di studio e pratica, nonché un accesso diretto a strumenti musicali o attrezzature di registrazione che spesso hanno costi elevati. L'IA sta smantellando queste barriere utilizzando algoritmi che possono analizzare enormi dataset di musica esistente per identificare pattern e stili e poi applicare queste conoscenze per generare o modificare nuova musica. Questi algoritmi possono imparare da vari generi e stili, creando composizioni che

possono variare dal classico al pop, dall'elettronica al jazz, senza che l'utente debba possedere competenze specifiche in questi campi.

Con l'AI che si occupa dell'assemblaggio e della strutturazione della musica, i produttori possono concentrarsi sulla selezione e la raffinazione della musica generata, aggiungendo elementi unici o finalizzando il mixaggio. L'AI consente di risparmiare tempo nel processo di produzione, automatizzando parti del lavoro che prima richiedevano intervento manuale, come la regolazione dei livelli audio o l'equalizzazione.

Sempre più software basati sul IA ed algoritmi forniscono funzioni automatizzate nella produzione musicale, analizzando altre tracce audio per trovare il risultato ideale. Questo non solo riduce il carico di lavoro, ma può anche agire come strumento educativo per coloro che sono nuovi alla produzione musicale, mostrando in tempo reale come possono essere apportate migliorie a una traccia.

Interfaccia utente migliorata

Le interfacce utente potenziate dall'intelligenza artificiale stanno rivoluzionando il modo in cui interagiamo con le Digital Audio Workstations (DAW) e i plugins. Questi avanzamenti tecnologici non solo migliorano l'efficienza e l'accessibilità delle piattaforme di produzione musicale, ma arricchiscono anche l'esperienza creativa degli utenti, permettendo loro di concentrarsi maggiormente su determinati aspetti piuttosto che sui dettagli tecnici.

Con l'IA integrata nelle DAW, gli utenti possono beneficiare di diverse funzionalità automatizzate che ottimizzano il processo di produzione. Questo non solo velocizza il *workflow* ma garantisce anche una coerenza e una qualità del suono che potrebbero richiedere ore di lavoro manuale.

I plug-in basati su IA migliorano enormemente l'esperienza per il produttore, offrendo strumenti che possono apprendere dalle modifiche passate e suggerire impostazioni o modifiche future. Questo tipo di apprendimento adattivo non è solo un risparmio di tempo, ma può anche esporre i produttori a tecniche e stili che potrebbero non aver considerato.

Un altro aspetto rilevante delle interfacce utente potenziate da IA nelle DAW è la loro capacità di rendere il processo di composizione musicale ancora più intuitivo. Le interfacce possono prevedere il tipo di strumento o suono che un utente potrebbe cercare in base al contesto della traccia e offrire opzioni filtrate o suggerimenti, riducendo il tempo trascorso nella navigazione attraverso infiniti suoni e permettendo agli artisti di realizzare le loro idee musicali in modo più fluido e naturale.

Creazione strumenti virtuali

La creazione di strumenti virtuali tramite l'intelligenza artificiale ha apportato notevoli benefici al mondo della musica e della produzione musicale. Grazie ai progressi nel campo dell'IA è possibile emulare con estrema precisione la sonorità di strumenti tradizionali e persino le voci umane, ampliando enormemente le possibilità creative per musicisti e produttori.

Gli strumenti virtuali basati sull'IA, come i software di strumenti campionati, utilizzano algoritmi per analizzare le registrazioni degli strumenti acustici e riprodurre il suono in forma digitale. Questo permette di accedere a una vasta gamma di suoni espressivi senza la necessità di possedere gli strumenti fisici, abbattendo così le barriere economiche e logistiche precedentemente necessarie per produrre musica di alta qualità.

I sintetizzatori vocali basati sull'IA, per esempio, possono generare voci cantate a partire da modelli vocali umani reali. Queste tecnologie analizzano le registrazioni delle voci umane e creano un database di componenti fonetici che permette di produrre voci cantate realistiche in diverse lingue e stili.

Gli strumenti di composizione *AI-powered* possono suggerire variazioni e alternative che un compositore potrebbe non considerare. Questo può essere particolarmente utile per gli artisti indipendenti e gli hobbisti, che possono non avere la rete di supporto di una grande etichetta discografica o studio di registrazione.

È importante sottolineare che l'IA, pur offrendo avanzamenti significativi nella riproduzione di strumenti e voci, non sostituisce le qualità uniche, le emozioni e le sfumature che provengono dalle esibizioni di musicisti abili.

Generazione rapida di idee, efficienza creativa

L'impiego dell'intelligenza artificiale nella generazione rapida di idee musicali è un ulteriore vantaggio nel campo della produzione musicale, andando ad aumentare significativamente l'efficienza creativa. Gli algoritmi di IA sono capaci di fornire infinita ispirazione per nuove creazioni o come punto di partenza per ulteriori sviluppi creativi. Questo processo permette ai musicisti e ai produttori di sperimentare con una varietà di stili e forme musicali in tempi molto più rapidi rispetto ai metodi tradizionali.

L'IA applicata alla musica facilita la sperimentazione grazie alla sua capacità di produrre diversi arrangiamenti, melodie o ritmiche in pochi secondi. Questo permette ai compositori di valutare diverse opzioni e scegliere quelle più in linea con la visione artistica del pezzo in lavorazione.

Può ridurre il tempo trascorso nel tentativo di trovare manualmente la combinazione perfetta di note e accordi.

Anche la fase di brainstorming diventa più fluida. I compositori possono utilizzare software per generare rapidamente una serie di idee create su pochi input iniziali. Questi strumenti sono anche capaci di analizzare le tendenze musicali attuali e di proporre idee che siano non solo creative ma anche commercialmente valide.

La capacità dell'IA di lavorare con una vasta gamma di parametri e di apprendere dalle preferenze individuali degli utenti permette di personalizzare il processo creativo in modo più accurato rispetto al passato. Questo non solo apre la porta a nuove possibilità creative, ma garantisce anche che la musica prodotta sia rilevante e interessante per un pubblico più ampio.

Efficienza e accuratezza

L'efficienza e l'accuratezza aumentata sono ulteriori aspetti fondamentali nella produzione musicale moderna nei quali l'intelligenza artificiale ha portato notevoli miglioramenti. Attraverso l'uso di sofisticati algoritmi, i produttori possono ora allineare con precisione tracce audio in modo molto più rapido ed efficiente rispetto ai metodi tradizionali. Questo non solo accelera il processo di produzione, ma migliora anche la qualità del prodotto finale.

Gli algoritmi di allineamento audio basati sull'IA sono in grado di rilevare e correggere automaticamente discrepanze temporali e allineamenti errati tra diverse tracce. Questo è particolarmente utile in scenari complessi come la registrazione di orchestre o band dove multipli microfoni catturano diversi strumenti simultaneamente. L'IA analizza le onde sonore per identificare e sincronizzare i punti corrispondenti, assicurando che i suoni registrati separatamente si fondano armoniosamente senza sfasamenti o echi indesiderati.

Tradizionalmente, l'allineamento delle tracce audio può richiedere ore di lavoro manuale dettagliato. Ora, con l'IA, questi compiti possono essere completati in una frazione del tempo, permettendo ai tecnici del suono di concentrarsi su altri aspetti creativi e tecnici della produzione. Questo aumento di efficienza si traduce in una riduzione dei costi e dei tempi di produzione, rendendo il processo più agile e meno oneroso.

La precisione migliorata nell'allineamento delle tracce audio grazie all'IA riduce anche la necessità di riprese multiple, poiché gli errori possono essere corretti al volo durante il processo di mixaggio. Ciò migliora notevolmente la coerenza del suono nei progetti musicali, garantendo che ogni dettaglio sia riprodotto fedelmente secondo le intenzioni dell'artista e del produttore.

Separazione stems da tracce originali

L'intelligenza artificiale sta trasformando anche il modo in cui gestiamo la separazione degli stems dalle tracce originali, offrendo strumenti avanzati per il riconoscimento e la separazione degli elementi individuali in una registrazione musicale. Questa capacità è particolarmente preziosa in contesti di mixaggio e

mastering, dove la chiarezza e l'indipendenza dei singoli strumenti o voci possono fare la differenza nella qualità del suono finale.

Gli algoritmi di IA per la separazione degli stems lavorano analizzando le tracce audio complesse per identificare e isolare vari componenti, come la voce, il basso, la batteria e gli strumenti melodici. Questo processo, noto come "source separation", utilizza tecniche avanzate di apprendimento automatico per distinguere e dividere i diversi suoni che si sovrappongono in una singola traccia. Prima dell'avvento dell'IA, questa separazione era spesso laboriosa e imprecisa, richiedendo ore di lavoro manuale da parte di tecnici del suono esperti.

L'efficacia dell'IA nella separazione degli stems si manifesta nella sua capacità di apprendere dai dati di esempio e migliorare continuamente la sua precisione attraverso l'analisi di vasti set di dati. Questo non solo accelera il processo di separazione ma fornisce anche risultati più puliti e precisi, minimizzando gli artefatti audio e le sovrapposizioni indesiderate. Inoltre, la capacità dell'IA di separare gli stems con precisione permette ai tecnici del suono di avere un controllo più granulare sull'editing e il mixaggio, potendo intervenire specificamente su singoli elementi di una traccia senza influenzare gli altri.

Un altro vantaggio significativo degli strumenti AI per la separazione degli stems è la loro applicabilità nel restauro audio e nella rimasterizzazione di registrazioni storiche. Con l'IA, è possibile isolare e migliorare elementi audio di vecchie tracce che potrebbero essere state registrate con tecnologie inferiori o danneggiate nel tempo. Questo apre la possibilità di dare nuova vita a registrazioni che altrimenti sarebbero rimaste inaccessibili o di scarsa qualità.

Questa separazione degli stems tramite IA sta anche influenzando il modo in cui la musica viene fruita dal pubblico. Ad esempio, la tecnologia permette la creazione di versioni multitraccia di canzoni che gli utenti possono personalizzare a loro piacimento, magari regolando il volume degli strumenti o cambiando l'enfasi da una parte della canzone all'altra. Questa flessibilità arricchisce l'esperienza di ascolto e rende la musica un medium ancora più interattivo e personalizzabile.

Mix e Mastering assistiti

Per quanto riguarda il mixaggio e mastering l'intelligenza artificiale sta rivoluzionando l'industria, rendendo questi processi cruciali non solo più efficienti ma anche accessibili a un pubblico più ampio. Tradizionalmente, il mixaggio e il mastering richiedevano l'intervento di ingegneri del suono esperti e attrezzature piuttosto costose, limitando queste pratiche ai professionisti o a studi ben finanziati. Con l'avvento dell'IA questi servizi di alta qualità sono diventati sempre più disponibili per musicisti indipendenti, piccoli studi e hobbisti.

Gli strumenti di IA per il mixaggio e il mastering automatizzano molte delle procedure tecniche coinvolte, analizzando la musica e applicando le modifiche necessarie per ottimizzare la qualità del suono. Questi algoritmi possono bilanciare i livelli delle tracce, regolare l'equalizzazione per massimizzare la chiarezza e applicare compressione dinamica per controllare la gamma dei volumi. Inoltre, possono migliorare la spazializzazione del suono, garantendo che la musica suoni bene su una varietà di dispositivi di riproduzione, dai sistemi audio high-end agli auricolari.

Un altro aspetto fondamentale degli strumenti AI nel mastering è la loro capacità di adattarsi a diversi generi musicali e stili di produzione. Utilizzando database estesi di canzoni masterizzate professionalmente come riferimento, l'IA può analizzare una traccia e determinare le migliori pratiche di mastering specifiche per quel genere. Ciò assicura che il prodotto finito sia non solo tecnicamente solido ma anche esteticamente coerente con le aspettative del genere.

L'accessibilità di questi strumenti è particolarmente vantaggiosa per gli artisti emergenti che potrebbero non avere il budget per assumere ingegneri del suono professionali. Con l'IA, possono ottenere risultati di qualità comparabile a una frazione del costo, permettendo loro di competere su piattaforme di streaming e altri mercati musicali senza compromettere la qualità del suono. Questo livellamento del campo di gioco è essenziale in un'industria sempre più guidata dall'autoproduzione e dalla distribuzione digitale.

Servizi online per creazione di musica royalty free

Ulteriore rivoluzione portata dall'intelligenza artificiale si è vista nel campo dei servizi online per la creazione di musica royalty free, facilitando notevolmente la produzione di contenuti musicali per creatori di ogni tipo, dai producers ai marketer, agli youtuber. Grazie all'IA, è ora possibile generare musica senza dover pagare diritti d'autore, riducendo i costi di produzione e semplificando il processo di licenza musicale.

I servizi basati sull'IA per la creazione di musica royalty free utilizzano algoritmi per comporre tracce musicali che possono essere personalizzate secondo le specifiche esigenze degli utenti. Questi servizi offrono una vasta gamma di generi e stili, permettendo agli utenti di selezionare la musica più adatta per accompagnare i loro progetti. Il processo è spesso semplice e intuitivo, con piattaforme che permettono agli utenti di inserire parametri come il mood, il tempo e la durata desiderata e l'IA fa il resto, generando musica originale che può essere utilizzata senza preoccupazioni legali legate ai diritti d'autore.

Questa tecnologia non solo democratizza l'accesso alla musica di qualità per i creatori di contenuti che non dispongono di grandi budget, ma offre anche una soluzione pratica per evitare le complesse negoziazioni e le spese legali spesso associate all'acquisizione di licenze musicali. Elimina il rischio di violazione del copyright, un problema sempre più rilevante nell'era digitale, dove l'uso improprio di contenuti protetti può portare a sanzioni significative.

La personalizzazione offerta dai servizi di musica generata dall'IA è un altro vantaggio significativo. Gli utenti possono richiedere modifiche e adattamenti fino a quando non ottengono esattamente il pezzo che desiderano, il che è particolarmente utile per i professionisti della pubblicità e del marketing che devono spesso allineare strettamente l'audio con il messaggio visivo e narrativo dei loro contenuti.

La velocità con la quale l'IA può produrre musica è spaventosa. La generazione di tracce avviene in pochi minuti, permettendo una rapida iterazione e continua sperimentazione.

Esibizioni dal vivo migliorate

L'intelligenza artificiale sta trasformando anche il mondo delle esibizioni dal vivo, migliorando significativamente la qualità e l'interattività degli spettacoli. Grazie all'IA, gli artisti possono offrire esperienze dal vivo potenziate che erano inimmaginabili solo pochi anni fa. Questa tecnologia non solo migliora l'aspetto tecnico delle performance, ma arricchisce anche l'esperienza complessiva per il pubblico.

Una delle applicazioni più evidenti dell'IA nelle esibizioni dal vivo è l'automazione del suono e dell'illuminazione. Sistemi intelligenti possono ora controllare luci e effetti speciali in modo sincronizzato con la musica che viene suonata, creando un ambiente immersivo che reagisce in tempo reale alla performance. Questo non solo alleggerisce il carico di lavoro degli operatori tecnici, ma consente anche di realizzare scenografie complesse che possono adattarsi dinamicamente al flusso del concerto.

Inoltre, l'IA è utilizzata per migliorare la qualità del suono nelle esibizioni dal vivo. Algoritmi avanzati possono analizzare e ottimizzare l'acustica di un ambiente in tempo reale, adattando il suono per compensare le variazioni di rumore, eco e altre distorsioni acustiche che possono verificarsi in uno spazio non ideale. Questo assicura che il pubblico possa godere della migliore esperienza sonora possibile, indipendentemente dalla posizione all'interno della venue.

L'IA contribuisce anche a personalizzare le esibizioni dal vivo. Attraverso l'analisi dei dati raccolti dai social media e altre piattaforme, i sistemi di IA possono aiutare gli artisti a comprendere meglio i gusti e le preferenze del loro pubblico, permettendo loro di adattare la scaletta o lo stile della performance in base alle aspettative dei fan presenti. Questo livello di personalizzazione non solo aumenta la soddisfazione del pubblico, ma rafforza anche il legame tra artisti e fan, creando un'esperienza più coinvolgente e memorabile.

5. SVANTAGGI E RISCHI NELL'INDUSTRIA MUSICALE IA

- Autenticità e profondità emotiva
- Preoccupazioni relative alla qualità
- Rischio di omogeneizzazione
- Rischio di bias
- Problemi legali e di copyright
- Problemi etici
- Sicurezza lavorativa per musicisti
- Svalutazione dell'arte

Autenticità e profondità emotiva

Uno degli svantaggi più significativi dell'utilizzo dell'intelligenza artificiale nella produzione musicale riguarda la questione dell'autenticità e della profondità emotiva. Mentre l'IA può imparare a riprodurre stili musicali e generare composizioni tecnicamente impeccabili, persiste un dibattito sulla sua capacità di catturare le sfumature emotive che un esecutore umano può trasmettere attraverso la sua musica. Critici e musicisti sostengono spesso che la musica generata da IA possa mancare di quella "anima" e profondità emotiva intrinseca nella musica creata dall'uomo, elementi fondamentali per la narrazione e l'espressione artistica. La musica è un'espressione profondamente umana che comunica emozioni e storie, spesso scaturite da esperienze personali e sensazioni profonde che solo gli esseri umani possono vivere e trasmettere. L'intimità, la passione e il pathos che emergono nelle esibizioni dal vivo o nelle registrazioni di artisti capaci di "sentire" la loro musica sono difficili da replicare con gli algoritmi IA. Questi strumenti tendono a lavorare con parametri e dati e nonostante la loro capacità di analizzare e riprodurre schemi musicali, possono non riuscire a emulare l'imprevedibilità e la varietà emotiva che un musicista infonde nelle sue esecuzioni. (Rohrmeier, 2022)

Inoltre, la generazione di musica attraverso l'IA può a volte risultare in pezzi che, sebbene tecnicamente corretti, sono percepiti come sterili o privi di quella scintilla creativa che solitamente arricchisce le opere umane. La musica che tocca veramente il cuore degli ascoltatori richiede una connessione emotiva che solo gli esseri umani sono finora riusciti a instaurare efficacemente.

L'incapacità dell'IA di comprendere e interpretare il contesto emotivo e culturale dietro le note musicali è un'altra limitazione. La musica è spesso un riflesso delle condizioni culturali, storiche e personali e queste sfumature possono essere difficili da codificare in algoritmi che non hanno la capacità di percepire il mondo come gli esseri umani.

Questi aspetti sollevano questioni significative riguardo al ruolo dell'IA nella musica, specialmente in generi che sono fortemente dipendenti dall'espressione emotiva e dalla connessione personale, come il blues, il jazz, o la musica classica. Mentre l'IA può offrire nuove possibilità e strumenti utili, è essenziale riconoscere i suoi limiti in termini di autenticità emotiva e profondità, qualità che rimangono fondamentali per la vera essenza della musica.

Preoccupazioni relative alla qualità

Nonostante i progressi significativi nel campo dell'intelligenza artificiale, esistono infatti preoccupazioni legate alla qualità della musica prodotta dalle tecnologie AI, soprattutto considerando che queste sono ancora piuttosto nuove nel panorama musicale. Mentre può offrire velocità e efficienza inaudite nella composizione musicale, la qualità delle composizioni può variare notevolmente e non sempre raggiunge gli standard elevati che ci aspettiamo dalla musica creata dagli esseri umani.

Uno degli aspetti critici è che l'IA, basandosi su algoritmi e dati di apprendimento, potrebbe produrre musica che suona ripetitiva o generica. Questo è dovuto al fatto che gli algoritmi tendono a ottimizzare pattern che hanno avuto successo in passato, il che può portare a una certa omogeneità nelle tracce generate. Inoltre, mentre un compositore umano può introdurre intenzionalmente variazioni sottili e

complessità che arricchiscono una composizione, l'IA potrebbe non essere in grado di catturare questa finezza senza una guida esplicita.

Lo sviluppo delle tecnologie AI nella produzione musicale solleva inoltre questioni riguardanti standardizzazione e qualità nei processi di verifica e validazione. Senza parametri chiari e accettati a livello industriale per valutare la musica creata da AI, può essere difficile stabilire e mantenere livelli di qualità consistenti. Ciò potrebbe portare a una saturazione del mercato con musiche di bassa qualità, danneggiando l'ecosistema musicale globale.

Rischio di omogeneizzazione

Il rischio di omogeneizzazione è appunto un altro tra i principali svantaggi legati all'uso dell'intelligenza artificiale nella produzione musicale. Questa preoccupazione nasce dalla tendenza dell'IA a generare contenuti basandosi su modelli e dati preesistenti, il che può portare alla creazione di suoni generici e a una mancanza di diversità musicale. Se l'IA si affida eccessivamente a schemi riconosciuti e a successi passati per guidare il processo di creazione, il risultato potrebbe essere un output che manca di originalità e freschezza.

L'omogeneizzazione può essere problematica per il panorama musicale, in quanto limita la varietà e la ricchezza di espressioni musicali disponibili per gli ascoltatori. La musica, in tutte le sue forme, è storicamente stata un mezzo attraverso il quale culture, emozioni e idee diverse trovano espressione. Se la musica prodotta dall'IA tende a seguire troppo rigidamente gli stessi pattern, si corre il rischio di perdere quella vitalità e quel senso di scoperta che spesso accompagnano la scoperta di nuove opere musicali.

La riduzione della diversità in musica non solo appiattisce il paesaggio culturale, ma può anche impedire lo sviluppo di nuovi talenti che operano al di fuori dei canoni convenzionali. Potrebbe anche influenzare negativamente l'innovazione nella musica. Artisti e produttori potrebbero sentirsi meno incentivati a sperimentare o a esplorare nuove direzioni artistiche, optando invece per adattarsi alle tendenze predominanti generate dalle IA per assicurarsi il successo

commerciale. Questo approccio conservatore potrebbe rallentare l'evoluzione della musica e la sua capacità di rispondere e riflettere i cambiamenti sociali e culturali.

Rischio di bias

Altro rischio significativo associato all'uso dell'intelligenza artificiale nella produzione musicale è il rischio potenziale per i bias. Se gli algoritmi di IA sono addestrati su dataset che presentano bias, esiste il pericolo di rinforzare gli stereotipi esistenti e le pratiche discriminatorie nella musica. Questo svantaggio solleva preoccupazioni significative riguardo all'equità e all'inclusività nell'industria musicale.

Gli algoritmi di IA apprendono e prendono decisioni basate sui dati che ricevono durante il loro addestramento. Se questi dati sono distorti per via di preferenze culturali, generazionali o di genere preesistenti, l'IA potrebbe involontariamente perpetuare questi pregiudizi. Ad esempio, se un algoritmo viene addestrato prevalentemente su musica di un certo genere o stile, potrebbe non riconoscere o valorizzare adeguatamente stili musicali meno rappresentati o emergenti.

Un altro aspetto preoccupante del potenziale per bias è la riproduzione di stereotipi culturali o sociali. La musica è un potente veicolo di espressione culturale e identitaria; se l'IA propaga involontariamente stereotipi attraverso le sue selezioni o creazioni musicali, ciò potrebbe avere ripercussioni negative sulla percezione e sul rispetto delle diverse culture e comunità.

Per mitigare questi rischi, è essenziale che gli sviluppatori di tecnologie musicali basate su IA adottino misure per garantire che i loro dataset siano il più variegati, corretti e rappresentativi possibile. Questo include l'analisi critica dei dati usati per l'addestramento degli algoritmi e l'implementazione di sistemi per identificare e correggere i pregiudizi. È anche importante una continua revisione e aggiornamento dei dataset per includere una gamma più ampia di influenze musicali e culturali.

Problemi legali e di copyright

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale nella generazione di musica solleva numerose questioni complesse e delicate riguardo alle leggi sul diritto d'autore e ai diritti di proprietà. Con la musica generata dall'IA, emergono ambiguità significative su chi detiene realmente i diritti di autorità su tali opere, includendo interrogativi sulla legittimità del processo creativo e sui diritti dei compositori originali.

Una delle principali preoccupazioni è stabilire se le creazioni di un algoritmo possano essere considerate opere originali protette dal diritto d'autore. La legge tradizionale sul diritto d'autore richiede un "atto creativo" da parte di un autore umano, il che pone una sfida diretta nel contesto della musica AI, dove il "compositore" è un software. Ciò solleva la questione: la musica prodotta da AI può essere protetta da copyright se non esiste un contributo umano diretto nel processo creativo?

Ulteriore questione, quando l'IA utilizza frammenti o stili di composizioni esistenti per creare nuova musica, si pone il problema della violazione dei diritti d'autore delle opere originarie. L'IA, analizzando e 'apprendendo' da una vasta quantità di musica esistente, può produrre lavori che sono simili a composizioni protette da copyright, potenzialmente senza riconoscere o compensare i creatori originali. Questo può portare a controversie legali complesse riguardanti l'uso non autorizzato di materiali protetti.

La questione dei diritti di proprietà è altrettanto problematica. Se un pezzo di musica è creato da un algoritmo di proprietà di una compagnia, chi possiede la musica risultante? La risposta a questa domanda può variare a seconda della legislazione del paese e degli accordi contrattuali specifici che definiscono la proprietà intellettuale generata dall'IA. Questa area grigia crea un terreno fertile per dispute legali tra sviluppatori di software, artisti e case discografiche.

Un altro aspetto riguarda la trasparenza e l'attribuzione. È essenziale che le opere create da IA siano correttamente attribuite per garantire che il pubblico sia consapevole della natura della creazione. La mancanza di trasparenza potrebbe non solo ingannare il pubblico ma anche svalutare il lavoro degli artisti umani.

Il diritto d'autore e i diritti di proprietà nell'era dell'IA richiedono un'attenzione e una regolamentazione attente per garantire che i diritti dei creatori umani siano protetti e che le nuove opere siano generate in modo giusto e legale. Queste questioni richiedono un dialogo continuo tra legislatori, artisti, industria musicale e comunità tecnologica per sviluppare un quadro legale che rispetti sia l'innovazione sia i diritti degli artisti.

Problemi etici

Anche le considerazioni etiche relative alla musica generata dall'intelligenza artificiale sollevano questioni significative riguardanti l'originalità e i diritti d'autore, soprattutto per quanto riguarda la proprietà delle opere create dall'IA e le implicazioni legate all'utilizzo della musica o della voce di qualcuno senza consenso. Queste questioni etiche rappresentano aree legali ancora non completamente definite e suscitano un dibattito ampio e complesso.

Determinare chi sia il vero proprietario di una composizione musicale creata da IA è una sfida che va oltre la semplice applicazione delle leggi attuali sul diritto d'autore.

Oltre a ciò, l'uso di IA che emula la voce o le espressioni di individui reali senza il loro esplicito consenso solleva ulteriori preoccupazioni etiche e legali. Questo uso può confondere il pubblico riguardo all'identità del vero artista dietro una performance e può infrangere i diritti personali di chiunque la cui immagine o voce sia stata replicata. Ciò può comportare violazioni del diritto alla privacy e della protezione dell'immagine personale, soprattutto se l'IA viene utilizzata per creare contenuti che l'originale titolare dei diritti non avrebbe approvato o che potrebbero danneggiare la sua reputazione.

Questi problemi si intensificano con la crescente capacità delle tecnologie IA di produrre lavori che sono quasi indistinguibili da quelli umani. La sfida etica diventa quindi non solo determinare la legittimità dell'uso dell'IA nella creazione artistica, ma anche gestire le conseguenze di tali creazioni quando esse entrano in conflitto con i diritti umani esistenti. (Azoulay, 2019)

Sicurezza lavorativa per musicisti

Ulteriori preoccupazioni riguardo la sicurezza lavorativa dei musicisti e dei cantanti. La capacità di replicare vocalizzi e composizioni a livello quasi professionale solleva la possibilità di una riduzione della domanda per esecutori umani, il che potrebbe trasformare drasticamente il mercato del lavoro nel settore musicale.

Mentre l'IA offre strumenti che possono migliorare la produzione musicale e abbattere alcune barriere all'ingresso, esiste il rischio che le macchine sostituiscano gli esseri umani in ruoli tradizionalmente basati sull'espressione creativa e personale. Per i musicisti e i cantanti, questo sviluppo potrebbe portare a una concorrenza senza precedenti, non solo da parte di altri artisti ma anche da software in grado di generare musica continua e personalizzata a costi significativamente inferiori.

Questa situazione potrebbe complicare le sfide esistenti nel mantenimento della stabilità lavorativa nel settore musicale, un campo già noto per la sua incertezza economica e la difficile gestione della carriera. I musicisti potrebbero trovarsi a dover competere con algoritmi che non necessitano di riposo, che non richiedono compensi regolari e che possono essere programmati per adattarsi istantaneamente alle tendenze musicali correnti.

Inoltre, se l'IA diventa capace di produrre non solo brani musicali ma anche esibizioni dal vivo con voce e strumentazione virtuali, i musicisti dal vivo potrebbero vedere diminuire le opportunità di lavoro.

Svalutazione dell'arte

Un altro aspetto preoccupante è il possibile effetto di devalutazione delle competenze musicali umane. Se il mercato inizia a percepire la musica generata da IA come una soluzione sufficientemente valida o addirittura superiore, il valore attribuito all'istruzione musicale tradizionale e all'esperienza umana potrebbe

diminuire, portando a una sottovalutazione delle competenze artistiche e tecniche che i musicisti passano anni a sviluppare.

È fondamentale considerare le implicazioni di lungo termine di questa tendenza sull'evoluzione culturale della musica. Se l'IA dovesse predominare, la diversità delle espressioni musicali potrebbe ridursi, con standardizzazione delle produzioni e potenziale perdita di quelle "imperfezioni" umane che spesso rendono la musica profondamente toccante e relazionabile.

Inoltre la capacità dell'IA di generare opere musicali potrebbe spingere il mercato a enfatizzare la quantità piuttosto che la qualità, con una crescente pressione sui musicisti per produrre contenuti a ritmi sempre più veloci, possibilmente a scapito dell'arte e dell'originalità. Questo scenario non solo devaluta la professione musicale ma può appunto portare a una saturazione del mercato con produzioni di qualità inferiore, rendendo più difficile per i musicisti emergenti farsi notare per il loro unico contributo artistico.

6. IMPATTO DELLE TECNOLOGIE IA SULL'INDUSTRIA MUSICALE

6.1 Impatto sul mercato

L'integrazione dell'intelligenza artificiale nel mercato musicale ha innescato una profonda rivoluzione, influenzando in modo significativo non solo le strategie di promozione e distribuzione, ma anche i processi di produzione e fruizione della musica.

Nel 2023, il valore del mercato musicale globale ha raggiunto i 26,2 miliardi di dollari e si prevede che l'IA giocherà un ruolo sempre più importante, spingendo questa crescita in nuove direzioni. Si stima che l'adozione di tecnologie IA nel settore musicale aumenterà del 30,4% entro il 2030, grazie alla crescente domanda di contenuti personalizzati e alla continua evoluzione delle capacità di automazione. (Whiting, 2024)

Un aspetto chiave è l'espansione del mercato della musica generativa. Si prevede che questo mercato, del valore di 440 milioni di dollari nel 2023, crescerà a un tasso del 30,4% entro il 2030. Questo tipo di AI non solo consente di creare musica di qualità in tempi rapidi ma amplia anche le opportunità per creatori indipendenti, produttori e aziende che utilizzano queste tecnologie per abbassare i costi di produzione e ampliare la portata delle loro campagne di marketing. (Grand View Research, 2024)

L'IA ha anche trasformato il marketing musicale, introducendo un livello di personalizzazione senza precedenti. Piattaforme come Spotify e Apple Music, così come le grandi case discografiche, utilizzano algoritmi per analizzare le preferenze degli utenti, tracciando gli ascolti precedenti, l'ora del giorno e persino l'attività svolta, per generare raccomandazioni musicali personalizzate.

La capacità di gestire enormi quantità di dati è diventata cruciale per le campagne di marketing. Gli strumenti IA analizzano continuamente i comportamenti degli ascoltatori e permettono agli artisti, ai manager e alle etichette discografiche di adattare le loro strategie in tempo reale. Questa capacità di raccogliere feedback immediato e adattare le campagne rende le strategie di marketing sempre più

dinamiche, migliorando l'efficacia e l'efficienza delle promozioni, con un impatto significativo sul ritorno sugli investimenti. Le piattaforme come Sodatone permettono alle etichette di identificare talenti promettenti e di prevedere quali brani potrebbero avere successo in base ai dati di streaming e interazioni sociali. (Sodatone, 2024)

Un altro elemento centrale dell'impatto dell'IA sul mercato musicale è la capacità di prevedere le tendenze. Gli algoritmi di IA analizzano i dati delle piattaforme di streaming e dei social media per rilevare quali generi e artisti stanno guadagnando popolarità, permettendo alle etichette di allocare le risorse in modo più efficiente. Questo riduce i rischi finanziari e ottimizza l'efficacia delle campagne promozionali, migliorando la redditività per le etichette e gli artisti. Inoltre, l'IA consente di automatizzare la gestione delle campagne pubblicitarie multicanale, ottimizzando la tempistica e il posizionamento degli annunci su diverse piattaforme, assicurando che il pubblico più ricettivo venga raggiunto al momento giusto.

Un'ulteriore innovazione riguarda la gestione delle campagne pubblicitarie multicanale. Questi permettono di automatizzare il posizionamento e la tempistica degli annunci su diverse piattaforme, assicurando che il messaggio promozionale raggiunga il pubblico più ricettivo nel momento ideale. Questo ottimizza i budget pubblicitari e aumenta il ritorno sugli investimenti, una componente cruciale in un mercato musicale sempre più competitivo. (Borg, 2023)

Tuttavia l'IA presenta rischi significativi. L'enorme volume di contenuti generati dagli algoritmi rischia di saturare il mercato musicale, rendendo difficile per artisti emergenti e indipendenti farsi notare. La tendenza a personalizzare in modo eccessivo potrebbe limitare l'esposizione degli ascoltatori a nuove esperienze musicali, promuovendo solo brani "prevedibili" che si allineano ai gusti già consolidati degli utenti, piuttosto che contenuti innovativi o dirompenti.

L'intelligenza artificiale sta contribuendo a una trasformazione del modello di business tradizionale nell'industria musicale, spostando il focus dall'arte pura della creazione musicale verso una strategia orientata ai dati.

Questo cambiamento ha portato a un mercato più efficiente ma ha anche sollevato preoccupazioni su come l'arte venga percepita in un contesto sempre più automatizzato. Gli artisti devono ora affrontare una sfida cruciale: come mantenere l'autenticità creativa in un settore dove le preferenze del pubblico e le scelte artistiche sono guidate sempre di più dai dati.

6.2 Impatto sulla creatività e originalità

L'avvento dell'intelligenza artificiale nel campo della produzione musicale sta ridefinendo i confini dell'arte e originalità nella musica, sollevando domande cruciali su cosa significhi davvero essere creativi in un contesto sempre più dominato dalla tecnologia. Le tecnologie IA, in particolare i modelli generativi, hanno il potenziale di produrre opere artistiche in pochi istanti, offrendo agli artisti nuovi strumenti per espandere le loro possibilità creative. Tuttavia, mentre queste tecnologie possono amplificare il processo creativo, emergono diverse preoccupazioni sul rischio di una perdita di autenticità e di originalità. (Cetinic, 2021)

Da una prospettiva positiva l'IA può fungere da alleato per i creativi, permettendo di esplorare combinazioni inedite e accelerando i tempi di produzione. Strumenti come AIVA e Jukedeck consentono appunto ai musicisti di generare brani originali in base a parametri specifici come il genere o il mood e questo offre un accesso sempre più democratico alla creazione musicale anche a chi non possiede competenze tecniche avanzate. Questo fenomeno è particolarmente rilevante in un'epoca in cui l'accesso alla tecnologia può facilitare il superamento del "blocco creativo" e consentire a musicisti e artisti visivi di sperimentare con forme artistiche che non avrebbero potuto esplorare autonomamente.

Nonostante queste opportunità, l'uso dell'IA solleva parecchie questioni etiche e artistiche.

Un tema centrale è quello dell'originalità: le creazioni generate dall'IA sono davvero innovative o si tratta di rielaborazioni di modelli esistenti? Spesso l'IA lavora elaborando vasti database di opere preesistenti, combinandole e

rielaborandole in nuove configurazioni. Questo processo, per quanto affascinante, potrebbe essere considerato più un atto di imitazione che di innovazione autentica. Le opere create attraverso l'IA mancano di quell'elemento umano, delle esperienze vissute e delle emozioni personali che tradizionalmente conferiscono valore e significato profondo a un'opera d'arte.

Parallelamente, emergono anche questioni legate alla proprietà intellettuale. Chi possiede i diritti su un'opera creata dall'IA? Il creatore dell'algoritmo, l'utente che ha generato l'opera, o l'IA stessa? Questi interrogativi stanno spingendo a una necessaria revisione delle normative sulla proprietà intellettuale, poiché le leggi attuali non sono preparate a gestire le complesse dinamiche introdotte dalle creazioni algoritmiche. L'esempio di Grimes, che ha permesso ad altri artisti di utilizzare la sua voce sintetizzata tramite IA, rappresenta solo uno dei molti casi in cui il concetto di autorialità viene messo in discussione. (Pequeño, 2023)

L'IA sta quindi rivoluzionando anche il mercato dell'arte, rendendo accessibile la produzione artistica a una più ampia fascia di popolazione. Grazie a queste tecnologie individui senza formazione formale possono creare opere d'arte, musica e contenuti multimediali di alta qualità, favorendo una democratizzazione della creatività.

Tuttavia questo fenomeno porta di nuovo con sé il rischio di saturazione del mercato: se il volume di contenuti generati da IA cresce esponenzialmente, il valore percepito dell'arte umana potrebbe ridursi, soprattutto in un contesto in cui diventa sempre più difficile distinguere tra creazioni umane e algoritmiche.

In questo scenario molti artisti stanno cercando di trovare un equilibrio tra l'uso delle tecnologie e la preservazione dell'autenticità artistica. La sinergia tra uomo e macchina potrebbe rappresentare il futuro della creatività, con l'IA che agisce come un potenziatore delle capacità umane, piuttosto che come un sostituto. In molti, pur riconoscendo le potenzialità creative dell'IA, hanno sottolineato l'importanza di non utilizzarla per imitare o sostituire completamente il lavoro umano. Al contrario vedono l'IA come uno strumento di supporto che può

espandere le possibilità creative, mantenendo comunque centrale l'esperienza e l'intenzione umana.

Sebbene la tecnologia abbia potenzialità creative, l'attribuzione di queste opere è tutt'altro che semplice e richiede una revisione delle normative che regolano la paternità artistica.

6.3 Impatto sui lavoratori e professionisti

L'adozione dell'intelligenza artificiale nel settore musicale sta influenzando profondamente le dinamiche lavorative, offrendo nuove possibilità ma anche creando incertezze per i professionisti della musica e gli addetti ai lavori all'interno dell'industria.

Da una parte sta facilitando molti aspetti della produzione musicale, della gestione e del marketing ma dall'altra sta riducendo la domanda di alcune competenze tradizionali, portando a una ristrutturazione del lavoro.

Uno dei cambiamenti più evidenti è l'automazione di processi tecnici come il mixing, il mastering e la creazione di brani musicali. Strumenti basati su algoritmi di apprendimento automatico, stanno sostituendo il lavoro che un tempo era riservato a tecnici del suono altamente qualificati. Questi consentono agli artisti di produrre tracce di qualità professionale senza la necessità di passare per uno studio di registrazione tradizionale.

Sebbene questo renda la produzione musicale più accessibile, riduce la domanda di tecnici del suono, montatori e ingegneri audio, creando preoccupazioni su come queste figure professionali possano adattarsi.

Parallelamente, l'IA sta trasformando anche il modo in cui manager e agenti scoprono e gestiscono nuove tendenze e talenti. Algoritmi sofisticati sono in grado di analizzare grandi volumi di dati provenienti dalle piattaforme di streaming e dai social media, identificando trend emergenti e prevedendo quali artisti hanno maggiori probabilità di successo commerciale. Questa nuova modalità di scoperta del talento può ridurre il margine di errore negli investimenti; allo stesso tempo

diminuisce il ruolo dell'intuizione umana, spostando il processo decisionale verso una gestione più tecnica e *data-driven*.

Si sta assistendo inoltre a un'ottimizzazione delle risorse umane, con la riduzione della necessità di grandi team di marketing, poiché gran parte del lavoro viene automatizzato. Gli specialisti di marketing devono quindi acquisire nuove competenze nell'analisi dei dati e nell'uso delle tecnologie basate sull'IA per rimanere competitivi.

Tuttavia, nonostante la riduzione della domanda di alcune figure professionali, molti lavoratori segnalano che l'adozione dell'IA ha anche portato a miglioramenti significativi in termini di produttività e soddisfazione. Grazie all'automazione delle attività ripetitive, i professionisti del settore musicale possono concentrarsi maggiormente su compiti creativi e strategici, migliorando l'equilibrio tra vita lavorativa e privata. In particolare, i lavoratori che utilizzano strumenti di automazione tendono a riferire una maggiore soddisfazione professionale e un migliore raggiungimento degli obiettivi aziendali, con una correlazione positiva tra l'uso della tecnologia e il successo lavorativo. (Gentle, 2024)

Rimane la preoccupazione su come l'IA influenzerà le opportunità di lavoro a lungo termine. Anche se molti professionisti la vedono come un'opportunità per migliorare le loro competenze, esiste il timore che l'automazione possa ridurre le possibilità di impiego per coloro che non riescono a riqualificarsi. Le competenze tecniche e creative che un tempo erano fondamentali stanno lasciando spazio a nuove esigenze professionali, come la gestione dei dati e la comprensione dei sistemi di IA. Questo cambiamento richiede un'evoluzione costante delle competenze per rimanere rilevanti nel mercato.

6.4 Impatto sulla privacy e consumo musicale

Le nuove tecnologie basate sull'intelligenza artificiale stanno cambiando radicalmente anche il modo in cui gli utenti fruiscono della musica e il modo in cui i loro dati vengono raccolti e utilizzati dalle piattaforme, portando a sfide significative per la privacy. Le piattaforme di streaming utilizzano algoritmi IA

per analizzare enormi quantità di dati relativi alle abitudini di ascolto degli utenti. Questi algoritmi tracciano informazioni come i gusti musicali, le preferenze di ascolto basate sull'ora del giorno o la posizione e persino lo stato emotivo implicito nelle scelte musicali. Questo processo consente un livello di personalizzazione mai visto prima, offrendo agli utenti playlist su misura e raccomandazioni musicali altamente specifiche, migliorando così l'esperienza di ascolto. (David Hesmondhalgh, 2023)

Questa personalizzazione comporta però una raccolta massiccia di dati personali, sollevando preoccupazioni sulla privacy. I dati raccolti dai servizi di streaming non solo vengono utilizzati per migliorare l'esperienza utente ma possono anche essere sfruttati per fini commerciali e pubblicitari. Questo tipo di utilizzo dei dati può creare un ambiente di sorveglianza digitale dove i gusti musicali vengono costantemente monitorati e analizzati per scopi di marketing mirato. Il problema si aggrava se si considera che la protezione di questi dati non è sempre garantita e le normative sulla privacy possono variare da paese a paese, lasciando gli utenti vulnerabili a violazioni o utilizzi impropri dei loro dati.

Le implicazioni legali legate all'uso dei dati da parte dell'IA stanno spingendo verso nuove normative sulla protezione della privacy. In diverse regioni, come l'Unione Europea con il suo *AI Act*, si stanno sviluppando leggi specifiche per regolamentare l'uso dei dati da parte dei sistemi di intelligenza artificiale cercando di bilanciare l'innovazione tecnologica con la protezione dei diritti individuali. Queste normative cercano di garantire che i dati degli utenti siano utilizzati in modo trasparente e che vengano rispettati gli standard di sicurezza e privacy.

Inoltre l'IA non si limita a migliorare l'esperienza di ascolto ma sta trasformando anche il modello di consumo musicale. Grazie alla sua capacità di analizzare enormi volumi di dati in tempo reale, può prevedere quali brani avranno successo e adattare le campagne di marketing in modo dinamico. Tuttavia, questa capacità di prevedere e influenzare i comportamenti di consumo solleva ulteriori domande su quanto sia effettivamente libera la scelta dell'utente, poiché le raccomandazioni

personalizzate potrebbero limitare l'esplorazione di nuovi generi o artisti, portando quindi a un'esperienza musicale più confinata e predefinita.

6.5 Impatto sul copyright e proprietà intellettuale

Con l'avvento dell'intelligenza artificiale nell'industria musicale sono emersi nuovi dilemmi in tema di copyright e proprietà intellettuale, richiedendo un adattamento delle normative per tutelare gli interessi di creatori e innovatori. Le tecnologie di IA hanno modificato profondamente il processo creativo, sollevando domande fondamentali sulla proprietà delle opere generate da macchine e sul ruolo degli artisti umani.

Uno dei problemi principali riguarda la proprietà del copyright per le opere create interamente o parzialmente dall'IA. Attualmente, molte leggi sul copyright, come quelle degli Stati Uniti, proteggono solo le opere frutto di creatività umana. Le opere create esclusivamente da algoritmi IA non possono essere protette dalle normative esistenti, poiché mancano del "tocco umano" necessario per ottenere la protezione del copyright. Questo vuoto normativo sta diventando sempre più rilevante, poiché le opere musicali generate dall'IA continuano ad aumentare.

La situazione si complica ulteriormente quando l'IA diventa uno strumento creativo utilizzato dagli artisti. In questi casi, è difficile definire i confini tra l'apporto dell'artista e quello della macchina. Per esempio, se un artista utilizza un software di IA per generare parti di una composizione, il contributo umano è sufficiente a giustificare la protezione del copyright?

Inoltre, emerge il problema del riutilizzo non autorizzato di materiale già protetto, come spesso avviene nell'addestramento dei modelli di IA. Molti sistemi di IA, infatti, sono addestrati su dataset che includono opere protette da copyright, creando ulteriori incertezze legali su chi debba detenere i diritti su tali creazioni e su come dovrebbero essere remunerati i creatori dei dati di addestramento.

Uno dei dibattiti più accesi riguarda proprio il riutilizzo delle opere preesistenti come dati di addestramento. Molti modelli generativi sono addestrati su enormi quantità di dati, compresi materiali protetti da copyright. Questo solleva serie

preoccupazioni legali in merito al diritto degli autori originali di controllare come le loro opere vengono utilizzate e se dovrebbero essere compensati per il loro utilizzo. In alcuni Paesi, come il Regno Unito, è consentito l'uso di dati protetti per scopi di ricerca non commerciale, ma l'uso commerciale richiede spesso licenze, rendendo la situazione molto complessa.

Inoltre, il rischio del plagio involontario è diventato un tema di crescente interesse. Recenti casi legali hanno evidenziato come brani generati dall'IA abbiano imitato, senza autorizzazione, voci e stili di artisti famosi, come Drake e The Weeknd, sollevando questioni legate alla riproduzione non autorizzata di elementi distintivi, come la voce o lo stile artistico. Questo fenomeno mette in evidenza il potenziale rischio che l'IA venga utilizzata per replicare il lavoro degli artisti senza il loro consenso, minacciando così i loro diritti di proprietà intellettuale. (Reed, 2023)

Per affrontare queste problematiche, diversi esperti e professionisti del settore stanno cercando di sviluppare nuovi modelli di licenza per le opere create con l'ausilio dell'IA. Alcune proposte suggeriscono l'introduzione di nuove categorie di protezione del copyright che riconoscano sia il contributo umano sia il ruolo delle macchine, permettendo così una protezione più equa e appropriata. Un'altra proposta innovativa consiste nella creazione di fondi di compensazione collettiva, che distribuiscano parte dei proventi generati dalle IA alle comunità di artisti le cui opere hanno contribuito a formare i dataset di addestramento.

Alcune piattaforme come YouTube stanno già implementando misure per consentire agli artisti di richiedere la rimozione di contenuti IA che imitano o violano i loro diritti d'autore, dimostrando l'importanza di una regolamentazione proattiva. (O'Connor, 2023)

L'IA rappresenta un cambiamento radicale nella gestione del copyright e della proprietà intellettuale, ma l'industria musicale e i legislatori devono ancora trovare un equilibrio efficace. La sfida sarà quella di aggiornare le normative per garantire la protezione della creatività umana, senza soffocare l'innovazione tecnologica. È fondamentale che l'IA non diventi una forza di sostituzione, ma un mezzo per

potenziare le capacità creative degli artisti, mantenendo al contempo i diritti degli autori e la loro capacità di controllare e monetizzare il proprio lavoro.

7. CASO STUDIO: ALGORITMI E MACHINE LEARNING IN SPOTIFY

Introduzione e Background

Lanciata nel 2006, Spotify è una delle piattaforme di streaming musicale più popolari e innovative al mondo, rivoluzionando il modo in cui le persone scoprono e ascoltano la musica. Fondata da Daniel Ek e Martin Lorentzon in Svezia, l'azienda ha trasformato l'industria musicale tradizionale, offrendo un vasto catalogo di brani accessibili in qualsiasi momento e luogo, grazie alla sua interfaccia intuitiva e all'accesso immediato a milioni di canzoni.

Il successo della piattaforma può essere attribuito a diversi fattori chiave, tra cui la facilità d'uso, l'ampia libreria musicale e la capacità di fornire raccomandazioni musicali personalizzate agli utenti. Questo livello di personalizzazione è reso possibile grazie all'uso intensivo di tecnologie avanzate di intelligenza artificiale e machine learning, che permettono di analizzare i comportamenti di ascolto degli utenti e di suggerire brani che si allineano ai loro gusti musicali.

L'algoritmo di raccomandazione di Spotify è stato sviluppato attraverso anni di ricerca e sviluppo, con un forte investimento in AI e ML. Queste tecnologie consentono di elaborare grandi quantità di dati, identificare pattern complessi e tendenze musicali e fornire suggerimenti precisi e pertinenti. Questo approccio ha reso la piattaforma una delle più innovative e apprezzate nel panorama dello streaming musicale, migliorando continuamente l'esperienza utente. (Stal, 2021)

L'utilizzo di queste tecnologie non si limita solo alle raccomandazioni musicali. Esse sono integrate in vari aspetti del servizio, migliorando la qualità complessiva in modo olistico. Ad esempio, vengono utilizzate per la gestione dei diritti d'autore, l'analisi delle preferenze di ascolto a livello globale e la creazione di playlist automatiche come "Discover Weekly" e "Release Radar". Queste playlist personalizzate sono diventate una parte fondamentale dell'esperienza utente, contribuendo significativamente alla scoperta di nuovi artisti e brani. (Kaput, 2024)

Una delle innovazioni più impressionanti è la capacità di adattarsi in tempo reale ai cambiamenti nelle preferenze degli utenti. Utilizzando tecniche di machine learning, l'algoritmo di raccomandazione può evolversi e migliorare costantemente, apprendendo dalle interazioni quotidiane degli utenti con la piattaforma. Questo dinamismo è cruciale in un mondo in cui i gusti musicali possono cambiare rapidamente e le nuove tendenze emergono costantemente.

Tuttavia, l'implementazione di tecnologie avanzate non è priva di sfide. La gestione di enormi volumi di dati richiede infrastrutture tecnologiche robuste e avanzate. Inoltre, la tutela della privacy degli utenti è una priorità, con l'azienda che deve garantire che i dati vengano gestiti in modo sicuro e conforme alle normative vigenti. Queste sfide, sebbene complesse, sono superate attraverso un continuo investimento in sicurezza dei dati e miglioramento delle infrastrutture tecnologiche.

Le opportunità offerte sono immense. Oltre a migliorare le raccomandazioni musicali, queste tecnologie possono influenzare positivamente diversi aspetti dell'industria musicale, come la promozione di nuovi artisti, la creazione di esperienze di ascolto più immersive e personalizzate e l'ottimizzazione delle strategie di marketing. L'uso di tecnologie AI può anche aiutare a comprendere meglio i gusti musicali globali, facilitando la creazione di contenuti che risuonano con diverse audience culturali. (Spotify R&D, 2024)

La piattaforma non le utilizza solamente per migliorare l'esperienza utente, ma ha anche sviluppato strumenti che permettono agli artisti di comprendere meglio la loro audience. Attraverso Spotify for Artists, i musicisti possono accedere a dati dettagliati sulle loro tracce, scoprendo quali brani sono più popolari, in quali regioni geografiche e in che modo gli utenti interagiscono con la loro musica. Questo livello di trasparenza e informazione è reso possibile dalle avanzate capacità analitiche AI e offre agli artisti nuove opportunità per ottimizzare la loro strategia di distribuzione e promozione.

Inoltre, la piattaforma sta esplorando nuove modalità di interazione utente, come l'utilizzo di AI per creare playlist che si adattano non solo ai gusti musicali, ma

anche ai contesti di ascolto. Ad esempio, playlist che cambiano dinamicamente in base all'ora del giorno, all'attività dell'utente o al suo stato d'animo. Queste innovazioni puntano a creare un'esperienza di ascolto sempre più integrata nella vita quotidiana degli utenti, rendendo il servizio non solo una piattaforma di streaming musicale, ma un vero e proprio compagno musicale personale.

Guardando al futuro, l'azienda continua a esplorare nuove frontiere tecnologiche per arricchire ulteriormente la sua offerta e soddisfare le crescenti aspettative degli utenti. Innovazioni come l'integrazione di tecniche di deep learning e l'uso di modelli generativi promettono di rendere l'esperienza di ascolto ancora più personalizzata e coinvolgente. Con il suo impegno costante nell'innovazione, la piattaforma è ben posizionata per rimanere all'avanguardia nel settore dello streaming musicale, offrendo un servizio che continua a ridefinire gli standard dell'industria musicale globale.

Metodologia

La metodologia utilizzata per l'analisi di Spotify si basa su un approccio qualitativo e documentale, mirato a esaminare l'implementazione e l'impatto delle tecnologie AI e machine learning sulla piattaforma. La raccolta dei dati è stata effettuata attraverso una revisione della letteratura esistente, incluse fonti accademiche, rapporti di settore e comunicati stampa ufficiali. Sono stati utilizzati database come Google Scholar per accedere a ricerche rilevanti e affidabili.

Le informazioni sono state raccolte da fonti primarie, come interviste con esperti del settore e rappresentanti di Spotify, e da fonti secondarie, come analisi di mercato e studi di casi precedenti. Sono stati analizzati materiali pubblicati da Spotify per ottenere una comprensione delle strategie e delle tecnologie impiegate. La selezione delle fonti ha seguito criteri di rilevanza e affidabilità, con un'attenzione particolare all'accuratezza delle informazioni e alla triangolazione delle fonti per garantire la coerenza dei dati.

L'analisi qualitativa dei dati raccolti ha permesso di identificare temi e pattern rilevanti, come l'utilizzo di AI per la personalizzazione delle raccomandazioni, la gestione dei diritti d'autore e l'ottimizzazione delle playlist automatiche.

I risultati dell'analisi sono stati presentati in modo chiaro e strutturato, enfatizzando l'innovazione tecnologica di Spotify e il suo impatto sull'industria musicale. Questa metodologia ha garantito un'analisi rigorosa e sistematica del caso di studio, offrendo una comprensione dettagliata dell'uso avanzato di AI e ML sulla piattaforma e il loro effetto sull'esperienza utente e la gestione dei contenuti musicali.

Risultati

Raccolta e analisi dei dati utente: Spotify raccoglie una vasta gamma di dati comportamentali, inclusi ascolti, salvataggi, playlist e attività di navigazione. Questa raccolta dettagliata consente di costruire profili utente completi, comprendendo le preferenze musicali individuali. L'analisi di questi dati è fondamentale per personalizzare le raccomandazioni e migliorare l'esperienza complessiva sulla piattaforma, rendendo la scoperta musicale più mirata ed efficace.

Collaborative filtering: Spotify utilizza il *collaborative filtering* per fornire raccomandazioni personalizzate basate sulle preferenze collettive degli utenti. Questo metodo confronta le abitudini di ascolto degli utenti e identifica pattern comuni. Ad esempio, se due utenti hanno ascoltato brani simili, l'algoritmo suggerisce nuovi brani che uno dei due utenti non ha ancora scoperto ma che sono popolari tra utenti con gusti affini. Questo approccio sfrutta una vasta matrice di interazioni utente-brano, arricchita da playlist generate dagli utenti, viste ormai come una risorsa preziosa per comprendere meglio le affinità musicali.

Content-based filtering: il *content-based filtering* si concentra sulle caratteristiche intrinseche dei brani, come ritmo, tonalità e testi. Spotify utilizza tecniche di elaborazione del linguaggio naturale (NLP) per analizzare i testi delle canzoni e altri contenuti testuali, come articoli di blog e metadati online, per

comprendere il contesto culturale e sociale dei brani. Questo consente all' algoritmo di classificare i brani non solo per le loro caratteristiche sonore, ma anche per come sono percepiti dal pubblico. La combinazione di analisi audio e NLP permette di creare profili dettagliati dei brani, migliorando la capacità del sistema di raccomandazione di suggerire musica simile a quella che l'utente già apprezza.

Approcci ibridi: Spotify utilizza un modello ibrido che combina il *collaborative filtering* con il *content-based filtering*. Questo approccio permette di superare le limitazioni di ciascun metodo individuale, migliorando la precisione delle raccomandazioni e affrontando efficacemente il problema del "cold start", che si verifica quando ci sono pochi dati storici su nuovi utenti o brani. Il modello BaRT (Bandits for Recommendations as Treatments) è un esempio di questa strategia, in grado di alternare tra modalità di esplorazione e sfruttamento. In modalità di sfruttamento, l'algoritmo sfrutta i dati esistenti per suggerire brani già apprezzati, mentre in modalità di esplorazione introduce nuovi contenuti, ampliando le possibilità di scoperta musicale per l'utente.

Integrazione di nuove tecnologie: Spotify continua a innovare attraverso l'integrazione di nuove tecnologie come il *reinforcement learning*, che migliora le raccomandazioni nel lungo periodo e l'uso di modelli generativi per esplorare nuove modalità di creazione musicale/audio. Queste tecnologie non solo migliorano l'esperienza dell'utente ma offrono anche nuovi strumenti agli artisti per comprendere e raggiungere il loro pubblico.

Impatto sulla scoperta musicale e sull'industria: l'uso di AI e ML da parte di Spotify ha notevolmente migliorato la scoperta musicale, facilitando l'emergere di nuovi artisti e ampliando la diversità dei contenuti accessibili agli utenti. Le raccomandazioni personalizzate aiutano non solo a migliorare l'esperienza degli ascoltatori, ma anche a promuovere una vasta gamma di artisti e generi musicali, contribuendo a un panorama musicale più inclusivo e variegato. Questo approccio ha consolidato la posizione di Spotify come leader nel mercato dello streaming musicale, offrendo un servizio che continua a evolversi e a innovare.

Daylists e playlist dinamiche: le "Daylists" di Spotify sono playlist dinamiche generate algorithmicamente, che si aggiornano più volte al giorno per adattarsi ai cambiamenti nelle preferenze di ascolto e nei momenti della giornata. Ogni Daylist ha un titolo unico e creativo, creato dall'AI, che riflette l'umore o il tema delle canzoni incluse. Questa funzione mira a offrire un'esperienza musicale che si adatta in tempo reale agli stati d'animo e alle attività degli utenti, rendendo l'ascolto quotidiano più vario e interessante

Basic Pitch, Audio-to-MIDI conversion: Spotify ha sviluppato "Basic Pitch," un'applicazione *open-source* che utilizza il machine learning per convertire registrazioni audio in file MIDI. Questo strumento è particolarmente utile per i musicisti, permettendo di trascrivere musica da qualsiasi strumento e di catturare espressioni sottili come il *bending* delle note. È ottimizzato per riconoscere note polifoniche, rendendo possibile la trascrizione di accordi complessi.

Voice translation per podcast: altra innovazione significativa è la funzione di *voice translation*, che utilizza l'intelligenza artificiale per tradurre podcast in diverse lingue mantenendo la voce originale del conduttore. Questa tecnologia, che sfrutta modelli generativi, consente una traduzione più autentica e coinvolgente, mantenendo l'espressività e il tono originale della voce. Attualmente è in fase di sperimentazione e utilizzato solamente da alcuni dei podcaster più popolari.

Discussione

L'implementazione di tecnologie di intelligenza artificiale e machine learning su Spotify ha rivoluzionato l'esperienza di ascolto musicale, rendendo la piattaforma un leader nel settore dello streaming. Queste tecnologie avanzate hanno permesso a Spotify di personalizzare profondamente le raccomandazioni musicali, migliorare la scoperta di nuovi contenuti e arricchire l'interazione con gli utenti. Tuttavia, l'adozione di AI e ML solleva anche questioni complesse che richiedono una discussione approfondita, specialmente riguardo alla diversità musicale, alla gestione dei dati e alle implicazioni culturali.

Uno degli aspetti centrali dell'uso di AI su Spotify è la capacità di fornire raccomandazioni musicali altamente personalizzate. Attraverso tecniche come il *collaborative filtering* e il *content-based filtering*, Spotify analizza le abitudini di ascolto degli utenti e le caratteristiche intrinseche dei brani per suggerire nuove canzoni che rispecchiano i gusti individuali. Questo livello di personalizzazione ha portato a una maggiore soddisfazione degli utenti, che possono scoprire musica su misura per i loro interessi specifici. Tuttavia, questa forte personalizzazione solleva il problema della "bolla di filtro," dove gli utenti potrebbero essere limitati a un ristretto gruppo di generi o artisti, riducendo così l'opportunità di esplorare nuovi orizzonti musicali. (Pastukhov, 2022)

Le funzionalità di playlist automatizzate, come "Discover Weekly" e "Daily Mix," insieme all'innovazione del "DJ AI," rappresentano ulteriori esempi di come l'AI possa arricchire l'esperienza utente. Queste funzionalità non solo offrono una selezione musicale personalizzata, ma incorporano anche elementi interattivi e narrativi, rendendo l'ascolto più coinvolgente. L'AI DJ, per esempio, utilizza una combinazione di sintesi vocale e musicale per creare transizioni fluide e fornire un contesto narrativo ai brani selezionati. Questo approccio aumenta l'engagement, ma introduce anche nuove sfide etiche, come la potenziale alienazione dell'elemento umano nella curatela musicale. (Spotify R&D, s.d.)

La gestione dei dati è un altro aspetto cruciale. L'uso intensivo di AI e ML richiede l'elaborazione di enormi quantità di dati utente, sollevando preoccupazioni riguardo alla privacy e alla gestione etica delle informazioni. Spotify deve garantire che i dati siano trattati in conformità con le normative sulla privacy, mantenendo la trasparenza nelle pratiche di raccolta e utilizzo dei dati. La fiducia degli utenti è fondamentale per il successo continuo della piattaforma, e qualsiasi percezione di abuso o negligenza nella gestione dei dati potrebbe avere ripercussioni negative.

L'innovazione tecnologica su Spotify non si limita alla personalizzazione delle raccomandazioni. Funzionalità come "Basic Pitch" per la conversione audio-MIDI e la traduzione vocale per i podcast dimostrano l'impegno della piattaforma nel

migliorare l'accessibilità e l'inclusività. Queste tecnologie offrono nuovi strumenti per i musicisti e i creatori di contenuti, permettendo loro di raggiungere un pubblico più ampio e diversificato. È però essenziale considerare come l'uso di AI nella produzione musicale possa impattare l'autenticità culturale. La crescente automazione nella creazione di contenuti solleva interrogativi su come mantenere l'integrità delle espressioni artistiche e culturali, specialmente in un'industria che ha storicamente marginalizzato determinate comunità. (Sandzer-Bell, 2024)

Esistono tuttavia ancora sfide significative. La scalabilità del sistema è cruciale per gestire l'enorme quantità di dati generati da milioni di utenti in tutto il mondo. Man mano che il numero di utenti cresce, aumenta anche la necessità di elaborare e analizzare dati in modo efficiente. Inoltre, la gestione della diversità musicale nelle raccomandazioni è essenziale per evitare che gli utenti si annoino ascoltando sempre lo stesso tipo di musica. Mantenere un equilibrio tra brani familiari e nuove scoperte è fondamentale per mantenere l'interesse degli utenti.

Un altro aspetto importante è la trasparenza e l'etica nell'uso degli algoritmi di raccomandazione. Spotify deve garantire che i dati degli utenti siano utilizzati in modo responsabile, rispettando la privacy e le normative vigenti. Inoltre, c'è una crescente necessità di affrontare il problema del "bias algoritmico", che può influenzare la visibilità di alcuni artisti rispetto ad altri. Gli algoritmi devono essere progettati per promuovere equità e inclusione, evitando di favorire sistematicamente determinati generi o artisti.

L'importanza dell'interfaccia utente e del design nel migliorare l'esperienza di raccomandazione non può essere sottovalutata. Un'interfaccia ben progettata facilita l'interazione degli utenti con le raccomandazioni, rendendo più facile scoprire nuova musica. Spotify ha investito significativamente nel design di interfacce intuitive e coinvolgenti, come evidenziato dalle funzionalità "Discover Weekly" e "Release Radar", che sono diventate elementi distintivi della piattaforma. (Varshneya, 2024)

Conclusion

L'integrazione algoritmi di intelligenza artificiale e machine learning ha trasformato Spotify in una piattaforma leader nel settore dello streaming musicale, grazie alla sua capacità di offrire esperienze di ascolto altamente personalizzate. Queste tecnologie hanno potenziato le funzionalità di raccomandazione e la scoperta di nuovi contenuti, contribuendo a un'esperienza utente più coinvolgente e su misura. Tuttavia, porta con sé sfide significative, tra cui la gestione della privacy dei dati, la prevenzione del bias algoritmico e l'equilibrio tra personalizzazione e diversità musicale.

L'impegno di Spotify nel migliorare la scoperta musicale e personalizzare le playlist ha reso la piattaforma un punto di riferimento per milioni di utenti. Tuttavia, è cruciale che l'azienda mantenga una vigilanza costante sulle implicazioni etiche e culturali dell'uso di queste tecnologie, per evitare la creazione di "bolle di filtro" che limitino l'esposizione a nuovi artisti e generi. La trasparenza nella gestione dei dati e il rispetto delle normative sulla privacy sono aspetti fondamentali per mantenere la fiducia degli utenti e garantire un ambiente sicuro e inclusivo.

Guardando al futuro, Spotify deve continuare a esplorare nuovi orizzonti tecnologici, sfruttando le potenzialità dell'AI non solo per migliorare le raccomandazioni musicali, ma anche per promuovere un ecosistema musicale più equo e diversificato. L'azienda ha l'opportunità di essere un pioniere nell'integrazione di nuove tecnologie come il deep learning e i modelli generativi, che possono offrire nuove modalità di interazione con la musica e arricchire ulteriormente l'esperienza utente.

8. CONCLUSIONI

In questa tesi abbiamo analizzato l'impatto rivoluzionario dell'intelligenza artificiale nell'industria musicale. Tecnologie come il machine learning e i modelli generativi stanno cambiando profondamente il modo in cui la musica viene creata, distribuita e consumata. Strumenti automatizzati e piattaforme di streaming personalizzate dimostrano come l'IA stia permeando ogni aspetto del settore, migliorando l'accesso alla musica e ottimizzando i processi di produzione e distribuzione. Tuttavia, questo progresso ha sollevato questioni importanti sull'originalità, sulla creatività umana e sui diritti di proprietà intellettuale.

Il dibattito su come l'IA influenzi il concetto di creatività è ancora aperto e ci spinge a riflettere su cosa significhi essere creatori d'arte in un'epoca sempre più automatizzata. Nonostante le sfide, è fondamentale vedere l'intelligenza artificiale come un'opportunità di crescita piuttosto che come una minaccia. Non dobbiamo competere con essa ma integrarla per potenziare le nostre capacità. L'IA può aiutarci a comprendere meglio i gusti del pubblico, ottimizzare le strategie di distribuzione e rendere i processi più efficienti.

Un punto cruciale è valorizzare la nostra originalità: la creatività e l'intuizione umana restano insostituibili. L'IA può generare musica, ma è l'imprevedibilità e la complessità delle esperienze umane a dare valore autentico all'arte. Anche se l'IA gestisce grandi quantità di dati e prevede tendenze, non può replicare le emozioni che un artista trasmette nel proprio lavoro. Per questo motivo, il ruolo umano nell'industria musicale rimarrà essenziale. Dovremo trovare modi per utilizzare queste tecnologie in modo creativo, trasformando le sfide in opportunità di innovazione.

È inevitabile provare un leggero senso di perdita nel vedere che l'idea di musica non è più esclusivamente umana, ma questa sensazione di perdita può essere superata abbracciando il cambiamento come parte dell'evoluzione naturale del settore. Come abbiamo visto nel corso della storia della musica, ogni innovazione tecnologica ha portato nuove opportunità: dall'introduzione dell'elettronica alla

digitalizzazione dei formati musicali, fino alla nascita delle piattaforme di streaming. L'IA non è altro che il prossimo passo in questa evoluzione e il modo in cui sapremo sfruttare queste nuove tecnologie determinerà il futuro dell'intera industria musicale.

L'industria musicale, dalla produzione alla distribuzione fino al consumo, cambierà radicalmente nei prossimi anni grazie all'intelligenza artificiale. Tuttavia questo cambiamento non ritengo ridurrà il ruolo dell'uomo, ma lo ridefinirà in modi nuovi e stimolanti. La creazione musicale rimarrà un viaggio personale di scoperta e queste tecnologie ci permetteranno di esplorare nuove possibilità artistiche e commerciali.

Guardiamo al futuro con ottimismo, consapevoli che l'arte continuerà a trasformarsi, arricchita dalle infinite opportunità che nascono dall'incontro tra la creatività umana e la tecnologia.

BIBLIOGRAFIA

Afchar, D., 2021. *Explainability in music recommender systems*, Parigi: AI Magazine.

Aiva, 2024. *Aiva*. [Online]
Available at: <https://www.aiva.ai>
[Consultato il giorno 17 2024].

Azoulay, A., 2019. *Towards an Ethics of Artificial Intelligence*. [Online]
Available at: <https://www.un.org/en/chronicle/article/towards-ethics-artificial-intelligence>
[Consultato il giorno 47 2024].

Blau, M., 2015. *4 Ways Steve Jobs and Apple Changed the Music Industry*. [Online]
Available at: <https://mashable.com/archive/apple-changed-music>
[Consultato il giorno 26 2024].

BNova, s.d. <https://www.bnova.it/intelligenza-artificiale/algoritmi-machine-learning/>, s.l.: s.n.

Borg, J., 2023. *The Latest Music Marketing Trends And Strategies For 2024*. [Online]
Available at: <https://amplifyyou.amplify.link/2023/11/music-marketing-trends-2024/>
[Consultato il giorno 159 2024].

Carbone, M. R., 2022. *Algoritmo, cos'è, storia e come funziona*. [Online]
Available at: <https://www.ai4business.it/intelligenza-artificiale/algoritmo-cose-storia-e-come-funziona/>

Cetinic, E., 2021. *Understanding and creating art with AI: review and outlook*, Zagabria: s.n.

Chakraborty, U., 2023. *Rise of Generative AI and ChatGPT*. Londra: BPB Publications.

Cheng, J., 2009. *Virtual composer makes beautiful music—and stirs controversy*. [Online]

Available at: <https://arstechnica.com/science/2009/09/virtual-composer-makes-beautiful-musicand-stirs-controversy/>

[Consultato il giorno 1 7 2024].

Dadman, S., 2022. *Toward Interactive Music Generation: A Position Paper*, Norway: IEEE Access.

David Hesmondhalgh, R. C. V. D. B. V. K. Z. L., 2023. *The impact of algorithmically driven recommendation systems on music consumption and production - a literature review*. [Online]

Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/research-into-the-impact-of-streaming-services-algorithms-on-music-consumption/the-impact-of-algorithmically-driven-recommendation-systems-on-music-consumption-and-production-a-literature-review#technical-and-cri>

[Consultato il giorno 15 9 2024].

DreamTonics, 2024. *Synthesizer V*. [Online]

Available at: <https://dreamtonics.com/synthesizerv/>

[Consultato il giorno 1 7 2024].

Elliott, A., 2019. *The Culture of AI*. s.l.:Routledge.

Fadr, 2024. *AI Music Maker*. [Online]

Available at:

https://fadr.com/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwir2xBhC_ARIsAMTXk85KrlfwMliwGdxSTS61kPgdlJO6JxGlQ3ryQCBQeyh7_36KrHikIcUaArtzEALw_wcB

[Consultato il giorno 1 7 2024].

Fawaz, A., 2020. *Sony launches AI-based music production service, Flow Machines*. [Online]

Available at: <https://www.neowin.net/news/sony-launches-ai-based-music-production-service-flow-machines/>

[Consultato il giorno 7 14 2024].

Filimowicz, M., 2023. *AI and the Future of Creative Work*. s.l.:Routledge.

Florkin, J., 2024. *Algoritmi Di Intelligenza Artificiale E Machine Learning: 7 Aspetti Importanti*. [Online]
Available at: <https://julienflorkin.com/it/tecnologia/intelligenza-artificiale/algoritmi-di-intelligenza-artificiale-e-machine-learning/>
[Consultato il giorno 27 2024].

Gentle, S., 2024. *Workers express optimism for the impact of automation and AI*. [Online]
Available at: <https://www.onrec.com/news/news-archive/workers-express-optimism-for-the-impact-of-automation-and-ai>
[Consultato il giorno 15 9 2024].

Grand View Research, 2024. *Generative AI in Music Market Size, Share & Trends Analysis Report By Component (Software, Services), By Technology (Transformers, Diffusion Models), By Application, By End Use, By Region, And Segment Forecasts, 2024 - 2030*. [Online]
Available at: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/generative-ai-in-music-market-report>
[Consultato il giorno 15 9 2024].

Hernandez-Olivan, C., 2021. *Music Composition With Deep Learning: a Review*, s.l.: Department of Engineering and Communications, Calle María de Luna, Universidad de Zaragoza .

IBM, 2024. *IBM Developer*. [Online]
Available at: <https://developer.ibm.com/videostag/watson-beat/>
[Consultato il giorno 17 2024].

Institute, T. R., 2020. *Artificial Intelligence, A National Strategic Initiative*. s.l.:Palgrave Macmillan.

iZotope, 2024. *Neutron*. [Online]
Available at: <https://www.izotope.com/en/products/neutron/features/mix-assistant.html>
[Consultato il giorno 27 2024].

Jacob, B. L., 1996. *ALGORITHMIC COMPOSITION AS A MODEL OF CREATIVITY*. [Online]
Available at:

https://user.eng.umd.edu/~blj/algorithmic_composition/algorithmicmodel.html#:~:text=Algorithmic%20composition%20is%20a%20methodology,methodology%20and%20the%20implemented%20algorithm.

[Consultato il giorno 5 7 2024].

Jaques, N., 2017. *Generating Music by Fine-Tuning Recurrent Neural Networks with Reinforcement Learning*, s.l.: Massachusetts Institute of Technology.

Kaput, M., 2024. *How Spotify Uses AI*. [Online]

Available at: <https://www.marketingainstitute.com/blog/spotify-artificial-intelligence>

Liu, G., 2019. *Machine-Learning Algorithms*, s.l.: James Martin Center for Nonproliferation Studies (CNS).

Marmo, R., 2020. *Algoritmi per l'intelligenza artificiale*. s.l.:Hoepli.

Mbamba, U. O., 2024. *Impact of Selected Fourth Industrial Revolution Technologies on the Music Industry: An Exploration of the Pros and Cons*, Dar es Salaam: UMMA.

Montiel, M., 2018. *Mathematical Music Theory*. Singapore: World Scientific.

O'Connor, J. F., 2023. *Our approach to responsible AI innovation*. [Online]

Available at: <https://blog.youtube/inside-youtube/our-approach-to-responsible-ai-innovation/>

[Consultato il giorno 15 9 2024].

OrbPlugins, 2023. *Orb Producer Suite 3*. [Online]

Available at: <https://www.orbplugins.com/orb-producer-suite/>

[Consultato il giorno 1 7 2024].

Pastukhov, D., 2022. *Inside Spotify's Recommender System: A Complete Guide to Spotify Recommendation Algorithms*. [Online]

Available at: <https://www.music-tomorrow.com/blog/how-spotify-recommendation-system-works-a-complete-guide-2022>

Pequeño, A., 2023. *Grimes Helps Artists Distribute Songs Using Her AI Voice*.

[Online]

Available at:

<https://www.forbes.com/sites/antoniopequenoiv/2023/06/12/grimes-helps-artists-distribute-songs-using-her-ai-voice--if-they-pay-royalties-heres-how-it-works/>
[Consultato il giorno 15 9 2024].

Philip L. Frana, M. J. K. P. L. F. M. J. K., 2021. *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. s.l.:ABC-CLIO.

Ranwala, D., 2020. *The Evolution of Music and AI Technology*. [Online]
Available at: https://watt-ai.github.io/blog/music_ai_evolution

Reed, R., 2023. *AI created a song mimicking the work of Drake and The Weeknd. What does that mean for copyright law?*. [Online]
Available at: <https://hls.harvard.edu/today/ai-created-a-song-mimicking-the-work-of-drake-and-the-weeknd-what-does-that-mean-for-copyright-law/>
[Consultato il giorno 15 9 2024].

Rohrmeier, M., 2022. *On Creativity, Music's AI Completeness, and Four Challenges for Artificial Musical Creativity*, Losanna: Ubiquity press.
Sandzer-Bell, E., 2024. *Spotify AI Features in 2024: AI Playlist, Remix, Basic Pitch*. [Online]
Available at: <https://www.audiocipher.com/post/spotify-ai>

Sephiri, A. M., s.d. *Algorithmic Music Composition Using Markov Chain*, Johannesburg: School of Computer Science and Applied Mathematics.

SonicCharge, 2024. *Synplant*. [Online]
Available at: <https://soniccharge.com/synplant>
[Consultato il giorno 2 7 2024].

SOUNDRAW, 2018. *Ecret Music*. [Online]
Available at: <https://ecretmusic.com>
[Consultato il giorno 2 7 2024].

Spotify R&D, 2023. *Humans + Machines: A Look Behind the Playlists Powered by Spotify's Algorithmic Technology*. [Online]
Available at: <https://engineering.atspotify.com/2023/04/humans-machines-a-look-behind-spotifys-algorithmic-playlists/>
[Consultato il giorno 15 7 2024].

Spotify R&D, s.d. *Research Areas*. [Online]
Available at: <https://research.atspotify.com/research-areas/>

Spotify R&D, s.d. *Spotify R&D*. [Online]
Available at: <https://research.atspotify.com/machine-learning/>

Stal, O., 2021. *Spotify R&D Engineering*. [Online]
Available at: <https://engineering.atspotify.com/2021/12/how-spotify-uses-ml-to-create-the-future-of-personalization/>

Strauß, S., 2018. From Big Data to Deep Learning: A Leap Towards Strong AI or ‘Intelligentia Obscura’?. *Big Data and Cognitive Computing*, 17 7, pp. 2-16.

Team, S. P., 2022. *SOUNDCLOUD ACQUIRES CUTTING EDGE MUSIC AI COMPANY, MUSIIO*. [Online]
Available at: <https://press.soundcloud.com/213899-soundcloud-acquires-cutting-edge-music-ai-company-musiio>

Technologies, A., 2018. *How we used our Music Engine to create the first AI-generated album of Chinese Music*. [Online]
Available at: <https://medium.com/@aivatech/how-we-used-our-music-engine-to-create-the-first-ai-generated-album-of-chinese-music-9d6fa984b4e8>
[Consultato il giorno 12 7 2024].

TensorFlow, 2024. *Magenta*. [Online]
Available at: <https://magenta.tensorflow.org>
[Consultato il giorno 1 7 2024].

Varshneya, K., 2024. *TechAhead*. [Online]
Available at: <https://www.techaheadcorp.com/blog/spotify-recommendation-system/>

Verma, S., 2021. Artificial intelligence and music: History and the future perceptive.

Whiting, K., 2024. *This is how AI is impacting – and shaping – the creative industries, according to experts at Davos*. [Online]
Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2024/02/ai-creative-industries->

davos/

[Consultato il giorno 15 9 2024].

Zgm.org, 2023. *Harmonizing Cultures: Generative Algorithms and the Fusion of Global Music*. [Online]

Available at: <https://zgm.org/2023/08/22/music-generation/>

[Consultato il giorno 15 9 2024].

Zhao, Z., 2024. *A review of intelligent music generation systems*, s.l.: Springer.

ABSTRACT

La creatività umana sta vivendo una trasformazione radicale grazie all'intelligenza artificiale. Questa tesi indaga come algoritmi avanzati e tecniche di machine learning, come le reti neurali e i modelli generativi, stiano ampliando le possibilità creative nel mondo dell'industria musicale. Oggi l'intelligenza artificiale non è solo uno strumento tecnologico, ma un vero e proprio collaboratore capace di comporre, produrre e personalizzare tracce musicali con un livello di complessità sorprendente. L'obiettivo principale è quello di comprendere come queste tecnologie possano sia potenziare la creatività umana, offrendo nuove opportunità, sia sollevare questioni etiche e artistiche, mettendo in discussione il ruolo dell'artista e l'autenticità delle opere generate. Dall'analisi della creazione autonoma di musica ai sistemi di raccomandazione su piattaforme come Spotify, questa ricerca esplora un futuro in cui il confine tra la creatività umana e le capacità delle macchine si assottiglia sempre di più.