

LA MUFFA SUONA. SUONO, NATURA E TECNOLOGIA

Cristiano Sciarretta

 ORCID: 0009-0005-0435-648X

Università degli Studi di Milano (00wjc7c48)

Contacts: crist.sciarretta@gmail.com

ABSTRACT

Questo articolo indaga il ruolo del suono come strumento per ripensare i rapporti tra natura, cultura e tecnologia, mettendo in discussione la tradizionale dicotomia moderna che li separa. Partendo dalle riflessioni di R. Murray Schafer sul paesaggio sonoro e dall'approccio acustemologico di Steven Feld, il suono viene considerato una forma di conoscenza ecologica e multispecie, capace di costruire relazioni tra esseri umani e non umani. In questa cornice teorica si inseriscono le pratiche artistiche di sonificazione, che rendono udibili fenomeni biologici altrimenti invisibili, trasformando dati e segnali vitali in esperienza estetica e conoscitiva. Il caso studio dell'artista e ricercatore Eduardo Reck Miranda, che sperimenta con la muffa *Physarum polycephalum* e con sistemi di intelligenza artificiale, mostra come organismi viventi possano diventare agenti compositivi all'interno di un dialogo sonoro con l'umano. Attraverso i biomemristori e il dispositivo Phy-Box, la muffa diventa parte di un sistema musicale ibrido, aprendo a una riflessione più ampia sulla possibilità di una musica post-antropocentrica. Ne emerge un'ecologia dell'ascolto che vede il suono come pratica epistemica, relazionale e intermediale, capace di rafforzare la nostra coabitazione con il mondo naturale.

Keywords: Sonificazione; Ecologia dell'ascolto; *Physarum polycephalum*; Intelligenza artificiale.

MOULD PLAYS MUSIC. SOUND, NATURE AND TECHNOLOGY

This article investigates the role of sound as a tool to rethink the relationship between nature, culture, and technology, questioning the modern dichotomy that separates them. Building on R. Murray Schafer's reflections on soundscape and Steven Feld's acoustemological approach, sound is understood as an ecological and multispecies form of knowledge, capable of establishing connections between human and non-human agents. Within this framework, artistic practices of sonification are examined as ways of making otherwise invisible biological phenomena audible, transforming data and vital signals into both aesthetic and epistemic experiences. The case study of artist and researcher Eduardo Reck Miranda, who experiments with the slime mold *Physarum polycephalum* in dialogue with artificial intelligence systems, demonstrates how living organisms can become compositional agents within a sonic interaction with humans. Through biomemristors and the Phy-Box device, the slime mold becomes part of a



hybrid musical system, opening a broader reflection on the possibility of post-anthropocentric music. What emerges is an ecology of listening, where sound functions as an epistemic, relational, and intermedial practice, enhancing our coexistence with the natural world.

Keywords: Sonification; Ecology of Listening; *Physarum polycephalum*; Artificial Intelligence.

INTRODUZIONE

Nel pensiero occidentale moderno, natura e cultura sono state spesso trattate come due ordini separati: da una parte il dominio del vivente e del biologico, dall'altra l'umano, il simbolico, il linguaggio. Questa separazione ha influenzato anche il modo in cui percepiamo e organizziamo il suono: dalla centralità della musica occidentale colta alla marginalizzazione dei suoni ambientali e non umani.

A partire dalla seconda metà del Novecento, studiosi e artisti hanno messo in discussione questa dicotomia, proponendo di intendere il suono come pratica ecologica, relazionale e multispecie. Le teorie di R. Murray Schafer sul paesaggio sonoro e l'approccio acustemologico di Steven Feld dimostrano come l'ascolto possa costituire una forma di conoscenza incarnata, in grado di connettere soggetti umani e non umani attraverso ambienti condivisi.

Questo articolo ripercorre tali prospettive, per poi approfondire alcune pratiche artistiche contemporanee basate sulla sonificazione di dati biologici. In particolare, si analizza il lavoro di Eduardo Reck Miranda, che tramite l'aiuto della IA è riuscito a fare un duetto con la muffa *Physarum polycephalum*. Attraverso questa lente, si propone una riflessione più ampia su una possibile biomusicologia critica: un campo in cui natura, tecnologia e intelligenze non umane possano dialogare attraverso il suono. Il mondo è pieno di voci che non sappiamo di ascoltare. Dai suoni della foresta pluviale alle risposte elettroacustiche di una muffa, la natura parla — e la tecnologia può aiutarci a sentire.

1. DALLA SCHIZOFONIA ALLA COABITAZIONE: RIFLESSIONI ACUSTICHE PER UN MONDO CONDIVISO

Le riflessioni di R. Murray Schafer sull'ambiente acustico costituiscono una chiave d'accesso privilegiata per comprendere le relazioni tra esseri umani, territorio e paesaggio sonoro. Con il concetto di *soundscape*, Schafer non solo identifica un insieme di suoni percepiti in un determinato luogo, ma propone di considerarli come riflesso delle dinamiche socioculturali che li generano e li trasformano nel tempo¹. Il paesaggio sonoro diventa così una lente attraverso cui interrogare la relazione tra arte, ambiente e società, superando la rigida dicotomia tra Natura e Cultura.

Nel suo lavoro pionieristico, Schafer classifica i suoni ambientali in tre categorie: toniche, segnali e impronte sonore. Le toniche sono suoni di fondo costanti, come lo scroscio di un fiume o il rumore del vento; i segnali sono suoni ben distinguibili che emergono dal contesto acustico, come una campana o un allarme; le impronte sonore sono invece quei suoni unici e riconoscibili che caratterizzano un luogo specifico, contribuendo alla sua identità uditiva².

¹ Schafer R. Murray, *Il paesaggio sonoro. Il nostro ambiente acustico e l'accordatura del mondo*. A cura di Giovanni Cestino; Milano: Ricordi -Le sfere LIM, 2016, pp. 65-149

² Ibidem.

Questa tassonomia permette di pensare l'ambiente acustico come una realtà stratificata e dinamica, in cui ogni trasformazione materiale o culturale lascia una traccia sonora. La modernità, secondo Schafer, ha prodotto una transizione da ambienti Hi-Fi — dove i suoni sono nitidi e distinti — ad ambienti Lo-Fi, saturi di rumori indistinti, tipici delle metropoli industrializzate. Tale trasformazione ha contribuito alla progressiva perdita di consapevolezza sonora, aggravata dall'avvento della *schizofonia*, ossia la separazione tra suono e fonte dovuta alla rivoluzione elettrica e l'avanzamento di tecnologie di riproduzione.³

In dialogo con le teorie di Schafer, l'etnomusicologo Steven Feld ha proposto il concetto di *acustemologia*, un neologismo che fonde “acustica” ed “epistemologia”, suggerendo come la conoscenza del mondo sia intrinsecamente legata all'esperienza sonora. Il suo studio pubblicato in *Suono e Sentimento* (2009) sulla tribù Kaluli della Papua Nuova Guinea è emblematico. I Kaluli interpretano il mondo attraverso i suoni della foresta pluviale, in particolare i canti degli uccelli e il fluire dei fiumi, che non sono solo elementi di contorno, ma attori attivi nella loro cosmologia e nelle loro pratiche rituali, come il *gisalo*⁴.

Gisalo è il termine per «canzone» o «melodia», e sa-gisalo significa «testo». La melodia è collegata al richiamo simbolo dell'uccello muni. Il «dentro» (sa), o testo, di gisalo usa come artificio fondamentale le parole del bambino nel mito dopo che si è trasformato in un uccello (...). Quindi la canzone o melodia del gisalo, nel senso di suono, viene concettualizzata come una forma melodica derivata dagli uccelli, mentre sa-gisalo è il testo, concettualizzata come forma testuale presa in prestito dagli uccelli. (...) Il suono è «naturale», dato dalle melodie dei richiami degli uccelli; il testo è «culturale», implicito nel suono, suggerito da esso o concepito per il richiamo in relazione ad esso⁵.

La loro capacità di “diventare uccelli” attraverso l'imitazione dei canti è un esempio lampante di come il suono possa fungere da veicolo per una profonda identificazione con l'ambiente naturale, superando i confini della specie. L'approccio di Feld si connette a una più ampia riflessione filosofica sull'ecologia e sulla coabitazione tra specie sostenuta da filosofi come Donna Haraway (2003; 2008) e Eduardo Mendieta (2012). La riflessione su una socialità multispecie si configura come il tentativo di una politica di coabitazione sul “divenire-con-i-compagni” (Haraway 2008). Come sostiene Mendieta, la costruzione condivisa del mondo richiede l'abbandono di una visione centrata esclusivamente sull'essere umano — quella del cosmopolitismo solipstistico, erede del pensiero cartesiano, leibniziano e kantiano — per aprirsi invece a una prospettiva interspecifica.⁶ Questa nozione riconosce che la comunicazione e l'interazione non sono prerogative esclusive dell'essere umano, né si limitano a una mera “influenza” reciproca. Piuttosto, la natura è un'entità intrinsecamente “eloquente”, un intrico di relazioni in cui specie diverse e persino entità non viventi comunicano attraverso una miriade di segnali, inclusi quelli sonori, vibratorio e chimici. L'ascolto attento, in questo contesto, diventa un atto di riconoscimento della capacità di agire e di comunicare di “altri” non umani, sfidando una visione antropocentrica e invitando a una maggiore sensibilità verso le “conversazioni” che si svolgono costantemente nel mondo naturale, al di là della nostra percezione immediata. Si tratta di riconoscere forme di intelligenza e di linguaggio che trascendono la comprensione verbale umana, e che si manifestano in una sinfonia di interazioni ecologiche.

³ Schafer R. Murray, *Il paesaggio sonoro. Il nostro ambiente acustico e l'accordatura del mondo*. A cura di Giovanni Cestino; Milano: Ricordi -Le sfere LIM, 2016, pp. 151-197

⁴ Feld S., *Suono e Sentimento. Uccelli, lamento, poetica e canzone nell'espressione kaluli*. Edizione italiana a cura di Carlo Serra; Milano: Il saggiatore, 2009, pp. 179-219

⁵ Ibidem. p. 181

⁶ Mendieta e., *Interspecies cosmopolitanism*, in Routledge Handbook of Cosmopolitanism Studies edited by Gerard Delanty, 2012, p. 277

2. RICONOSCERSI NELL'ALTRO

La risonanza di queste pratiche di identificazione e di comunicazione multispecie si può rintracciare anche in contesti culturali apparentemente distanti. Analogamente, in altre parti del mondo come l'Australia, gli aborigeni si identificano profondamente con la fauna locale, come i canguri o i dingo, attraverso pratiche di totemismo e di narrazione mitica che spesso prevedono l'imitazione sonora e rituale delle creature⁷. Queste “metamorfosi” non sono intese come mere rappresentazioni, ma come vere e proprie incorporazioni dell'essenza dell'animale, una fusione spirituale e identitaria che si manifesta anche attraverso l'assimilazione delle sue vocalizzazioni e dei suoi comportamenti.

Non solo in contesti animisti o indigeni, ma anche nella cultura occidentale, seppur con modalità diverse, esistono rituali che si fondano su una metamorfosi sonora tra umano e non umano. Le campane e i campanacci, usati nel contesto agricolo e pastorale, non sono solo strumenti funzionali al controllo degli animali, ma producono paesaggi sonori complessi che coinvolgono l'intera comunità. Durante feste popolari come *la Scampanada de San Florià* a Jesi o le celebrazioni di San Mauro Forte, gli esseri umani si travestono da animali, suonano campanacci e attraversano lo spazio urbano generando un forte impatto acustico. In queste cerimonie, l'uomo si fonde con il branco, diventa figura collettiva e arcaica, rivendicando la propria appartenenza al mondo animale e naturalizzando l'identità umana attraverso il suono⁸.

Come ha osservato Nicola Scaldaferri, il suono diventa così un mezzo per attuare una metamorfosi temporanea: l'essere umano si trasforma in soggetto sonoro, ridefinendo i confini della propria soggettività e riconnettendosi simbolicamente al mondo non umano (Marano et al. 2005). In queste forme rituali e simboliche, il paesaggio sonoro si rivela quindi non solo come ambiente da ascoltare, ma come territorio di trasformazione e di relazione multispecie.

3. LA SONIFICAZIONE ARTISTICA

Questa riscoperta delle interazioni sonore tra specie diverse, sia in contesti tradizionali che moderni, sottolinea l'importanza di un'apertura sensoriale che vada oltre i confini della nostra percezione abituale. È in questo solco che si inseriscono le pratiche contemporanee, come la sonificazione, che mirano ad amplificare e rivelare dimensioni acustiche altrimenti inaccessibili, fornendo nuove chiavi di lettura per la “conversazione” continua tra natura e cultura.

La sonificazione consiste nella trasformazione di dati non acustici in suoni. L'idea alla base è che il suono, con le sue proprietà di altezza, timbro, ritmo e spazialità, possa rivelare pattern, relazioni e tendenze all'interno di set di dati complessi in modi che la rappresentazione visiva non permette. L'orecchio umano è uno strumento estremamente sensibile a piccole variazioni e cambiamenti temporali, rendendolo particolarmente adatto per l'analisi di dati dinamici. La sonificazione non è una semplice traduzione, ma un processo interpretativo che mira a facilitare la comprensione e l'esplorazione, trasformando le informazioni in un'esperienza uditiva significativa. Questa pratica, pur avendo applicazioni in ambito scientifico per l'analisi dei dati, assume una valenza particolarmente ricca nel contesto artistico, dove la

⁷ Canetti E. *Massa e potere*. Milano: Gli Adelphi, 2015 pp129-134

⁸ Ferrarini, L. & Scaldaferri N. *Sonic ethnography: identity, heritage and creative research practice in Basilicata, Southern Italy* / Lorenzo Ferrarini, Nicola Scaldaferri. Manchester University Press, 2020, pp.53-65

sonorizzazione può generare nuove esperienze estetiche e sensoriali, stimolando la riflessione sulla natura dei dati e sulla nostra relazione con essi.

Il campo della sonificazione artistica è vasto e in continua espansione. Numerosi progetti hanno trasformato dati scientifici (come quelli astronomici, geologici o biologici) in composizioni musicali, permettendo al pubblico di “ascoltare” fenomeni che altrimenti rimarrebbero nell’ambito dell’astrazione scientifica. Questi esempi spaziano da opere che utilizzano algoritmi complessi per generare musica da set di dati ambientali, a installazioni interattive che consentono agli utenti di esplorare dati attraverso l’interazione sonora⁹. L’obiettivo comune di queste opere è quello di trascendere i limiti della percezione visiva, offrendo una prospettiva uditiva sui fenomeni naturali e culturali, e promuovendo una comprensione più profonda e multisensoriale del mondo

4. PLANTORUMORI

Un’applicazione particolarmente suggestiva della sonificazione è la trasformazione dei segnali bioelettrici delle piante in suoni si tratta dell’installazione *Plantorumori* fatta in portogallo tra il 2019 e il 2022¹⁰. Nonostante la loro apparente immobilità e silenziosità, le piante sono organismi estremamente attivi, che generano segnali elettrici, vibrazioni e suoni a bassa frequenza in risposta a stimoli ambientali (luce, acqua, stress), durante la crescita o in processi di comunicazione inter-vegetale o con altri organismi. Attraverso l’uso di sensori ad alta sensibilità e algoritmi di mappatura sonora, questi segnali possono essere amplificati e tradotti in un range udibile, rivelando un’attività vitale sorprendentemente ricca e complessa (Lopes F., Rodrigues P. 2020).

Ascoltare la “voce” delle piante può generare una maggiore consapevolezza della loro sensibilità e della loro capacità di interazione, promuovendo un senso di profonda connessione e rispetto verso il regno vegetale. Questa pratica sfida la nostra percezione antropocentrica della vita, suggerendo che anche ciò che appare statico e inerte è in realtà intriso di dinamismo, comunicazione e processi interni. La sonificazione delle piante diventa così un potente mezzo per riavvicinarci alla natura, rendendola intelligibile, accessibile e persino “musicale” in modi del tutto inaspettati, invitandoci a un ascolto più profondo e a una riconsiderazione del nostro posto all’interno di un ecosistema interconnesso.

La sonificazione artistica rappresenta una via promettente per superare la disconnessione tra uomo e natura, un problema amplificato dalla modernità. Non si tratta semplicemente di una traduzione tecnologica, ma di un atto di mediazione che permette di cogliere l’eloquenza intrinseca del mondo naturale. Rendendo udibili i suoni “inudibili” e dando voce a organismi come le piante, la sonificazione ci invita a una nuova “ecologia dell’ascolto”. Questo approccio multisensoriale e tecnologicamente mediato può non solo arricchire la nostra comprensione scientifica, ma anche rafforzare il nostro legame empatico ed estetico con l’ambiente, promuovendo una convivenza più armoniosa e consapevole con tutte le forme di vita. In un’epoca di crisi ecologica, la capacità di “ascoltare” la natura, in tutti i suoi registri, diventa non solo un’opportunità artistica, ma una necessità per la nostra sopravvivenza e il nostro benessere.

⁹ Esempi significativi includono: *Music for Solo Performer* (1965) di Alvin Lucier, basata su segnali cerebrali; *Rainforest* (1968–1973) di David Tudor, in cui oggetti diventano altoparlanti risonanti; *Child of Tree* (1975) di John Cage, con materiali vegetali come strumenti; *Maritime Rites* (1991) di Alvin Curran, costruita su suoni ambientali marini; *City Links* (1967–1988) di Maryanne Amacher, che collega acusticamente luoghi remoti; e *PROTO* (2019) di Holly Herndon, che integra intelligenza artificiale e voce umana nella composizione.

¹⁰ <https://filipelopes.net/plantorumori/> . Ultimo accesso 25 Maggio 2025

5. *PHYSARUM POLYCEPHALUM*, LA MUFFA CHE SUONA.

La muffa *Physarum polycephalum* è un organismo unicellulare capace di elaborare informazioni e rispondere a stimoli ambientali in modo sorprendentemente intelligente. Queste proprietà l'hanno resa un soggetto di grande interesse per gli studi sulla sonificazione biologica.

È il caso di Eduardo Reck Miranda: accademico e pioniere nel campo della musica computazionale e dell'intelligenza artificiale applicata alla musica; egli ha esplorato le possibilità di interazione musicale tra organismi viventi e sistemi informatici. Oltre a essere un ricercatore, è anche musicista e professore di *Computer Music* presso la *University of Plymouth*, dove dirige l'ICCMR (*Interdisciplinary Centre for Computer Music Research*)¹¹

Nel 2011, Miranda et al. hanno pubblicato uno studio preliminare sull'uso di *P. polycephalum* nella computer music. Come riportato da Braund (2017), il team ha sviluppato un framework di sintesi audio basato sulle registrazioni della membrana extracellulare di *P. polycephalum*, trasformandola in un vero e proprio strumento bionico. Con il progredire della ricerca, è emerso che questa muffa possiede caratteristiche utili per sviluppare sistemi di audio e musica generativa. Un aspetto chiave del lavoro di Miranda è il concetto di biomemristore, un elemento fondamentale che permette a *P. polycephalum* di memorizzare e processare informazioni in modo simile a un circuito elettronico, aprendo così nuove possibilità per la creazione musicale basata su sistemi biologici. Il memristore è una componente elettrica che deriva dalla parola “Memoria” e “Resistore”. Questo componente elettronico passivo a due terminali che mette in relazione la carica elettrica e il flusso magnetico, viene considerato il quarto elemento fondamentale dei circuiti elettrici. La sua particolarità sta nella sua capacità di “ricordare” la quantità di carica che lo ha attraversato, anche quando non è alimentato. Dall'intervista che mi ha concesso Miranda a maggio del 2024:

Immagina di avere un tubo per l'irrigazione nel tuo giardino: quando l'acqua scorre al suo interno e lo premi in un punto, la pressione aumenta dall'altro lato. Questo è un modo semplice per capire come funziona un memristore. In termini elettrici, il memristore risponde a corrente e tensione, ma la sua particolarità è che “ricorda” gli stimoli precedenti. Se si applica una certa pressione al tubo, questa modifica persiste nel tempo. Se poi si varia la pressione, il sistema si adatta gradualmente, memorizzando i cambiamenti. Questo comportamento consente al memristore di funzionare come una sorta di memoria adattiva: non reagisce solo al segnale attuale, ma conserva una traccia degli input passati e può persino anticipare quelli futuri.

Ciò che rende interessante questa muffa è appunto questa sua capacità adattiva di ricordare.

Puoi spiegare questo semplicemente dicendo che è possibile costruire una catena di Markov. Ma invece di memorizzare le probabilità nelle celle della catena, memorizzi le reazioni dell'organismo a quelle sequenze. Questo è una vera e propria interazione. Ecco. Quindi se voglio ricomporre la musica, vado alla catena e ottengo quella reazione dell'organismo. Poi quello che faccio, stimolo l'organismo con quel numero, quel valore. E quindi l'organismo mi restituirà qualcosa, dicendo: ok, questa è la prossima nota. Questa è la prossima nota, e così via.

Per trasformare i biomemristori di *Physarum polycephalum* in componenti elettronici stabili, il professor Miranda e il suo gruppo di ricerca hanno sviluppato un sistema che ne facilita l'integrazione nei circuiti. A tal fine, hanno standardizzato le condizioni di crescita, definito precise traiettorie di propagazione del-

¹¹ questa ricerca nasce infatti dalla tesi di laurea magistrale in “Musica, culture, media, performance” che ho realizzato quest'anno a partire dal mio interesse per il lavoro di E. R. Miranda. Mi hanno seguito nel lavoro Alice Barale, Carlo Lanfossi e Maurizio Corbella, che ringrazio per i consigli e per il dialogo.

la muffa e incapsulato l'organismo in un microambiente stabile, ottimizzandone le proprietà elettriche (Miranda et al. 2017).

A questo punto è necessario individuare un metodo chiaro e diretto per codificare le informazioni musicali in input nel biomemristore e tradurre il suo output in una risposta musicale significativa. Il team di Miranda adotta un approccio di trascrizione diretta, selezionando un parametro di input e uno di output: l'altezza delle note è codificata utilizzando tensioni discrete, mentre la risposta del sistema è generata trascrivendo le letture di corrente in note musicali. Per implementare questa metodologia, hanno sviluppato un software IA (Phy-Box) di traduzione tra la musica in ingresso e il biomemristore basato su *P. polycephalum*. Dall'intervista di maggio:

Phy-box ha quattro organismi al suo interno, e ognuno di loro costruisce una tabella di Markov per altezza, durata, volume, e il tempo di attacco è quando la nota si avvia, e la durata è quanto dura la nota. Quindi hai il tempo di attacco, hai la durata, ne hai un altro per l'altezza della nota, e un altro per quanto è forte. Quindi elaborando questi quattro parametri, posso generare nuove note, nuove sequenze di note.

Il software richiede all'utente di definire un vocabolario di altezze che il sistema deve utilizzare. L'utente può scegliere tra due opzioni: inserire una sorta di vocabolario personalizzato di note o permettere al software di generare risposte utilizzando esclusivamente le note presenti nell'input. Una volta stabilito il vocabolario, il sistema assegna un valore di tensione univoco a ciascuna nota nell'intervallo 0-1 V, riservando 0 V e 1 V per la calibrazione dei componenti (Miranda et al., 2017). Il sistema accetta input in formato MIDI, sia in tempo reale (strumenti MIDI live) sia come file MIDI a traccia singola. Mentre la musica viene riprodotta, l'IA converte ogni nota nel corrispondente valore di tensione. Le tensioni vengono poi organizzate in blocchi di 15 note (o intervalli di 10 secondi), che vengono raggruppati per formare una forma d'onda discretizzata con un timestep statico di 2 secondi. Inoltre, si sono ispirati al modello di comunicazione tra due neuroni: il neurone trasmittente rappresenta l'input del sistema, il neurone ricevente l'output e il biomemristore di *P. polycephalum* funge da sinapsi tra i due. Da qui, nasce un sistema musicale in cui l'output del biomemristore può innescare risposte musicali, modulando la transizione tra stati di resistenza in base agli impulsi elettrici ricevuti, i quali rappresentano eventi musicali (Miranda et al., 2017). In questo modello, l'impulso elettrico inviato dal primo neurone corrisponde a un evento musicale codificato, dove la sua ampiezza riflette la frequenza con cui quell'evento appare nell'input. La sinapsi del neurone ricevente, ovvero il biomemristore, valuta l'importanza dell'impulso rispetto alla sua memoria e adatta il proprio stato in base alla ricorrenza dell'evento musicale. Una volta decodificato, l'output del biomemristore contribuisce alla generazione della risposta musicale del sistema.

Da questa ricerca e dalle idee del Professor Miranda nasce il documentario performativo *Music Bio-Computing*¹². Questo video pubblicato nel 2017 mostra come la muffa riesca a suonare in un duetto con Miranda. Il performer è al pianoforte, il quale è collegato tramite dei sensori elettromagnetici alle sue corde. Questi sensori sono collegati al computer. L'IA decodifica i segnali elettromagnetici in entrata e li rimanda alla muffa. La muffa decodifica ancora una volta questi segnali e ne restituisce un output che ritorna al computer che a sua volta li decodifica e li rimanda al pianoforte. I sensori vibrano e per simpatia fanno vibrare le sue corde.

¹² Miranda E., *Music Biocomputing*, Vimeo, <https://vimeo.com/channels/miranda/163427284?login=true> . Ultimo accesso 27 maggio 2025

In questo modo la muffa suona. Ma ciò che sembra ancor più interessante è il biomemristore di questa muffa che ricorda le note in input e restituisce un output non identico, ma nella stessa tonalità dell'input ricevuto. Quindi, se il performer suona una serie di note nella tonalità di Do Maggiore, ad esempio Do-Re-Mi-Fa, la muffa potrebbe rispondere con Re-Fa-Do-Mi. Ancora dall'intervista:

Sì, c'è una connessione lì. Non è casuale, è generato dall'organismo, perché l'organismo, quando è in ascolto, il sistema sta creando quelle probabilità in base ai valori attuali dell'organismo, e quando chiedo al sistema di produrre materiali, allora passerà attraverso questa memoria e riprodurrà la cosa. Quindi nella composizione ci sono momenti chiari in cui si svolge la sessione di ascolto, e poi un momento in cui l'organismo sta producendo cose. Quindi fa parte della composizione. Quindi dico, ora per i prossimi 15 secondi ascolti, ora chiudi le orecchie, e ora suona.

L'esperimento che Eduardo Miranda fa con la muffa *Physarum polycephalum* porta a considerare come la musica possa interagire con organismi viventi, influenzandone il comportamento e suggerendo una interconnessione profonda tra suono, natura e cultura.

In passato, la musica ispirata alla natura si limitava a raccogliere idee, motivi o strutture da essa; oggi, invece, possiamo stimolare direttamente i sistemi biologici e ottenere risposte sonore in tempo reale. L'utilizzo di *Physarum polycephalum*, non si limita a interpretare la natura, ma la coinvolge attivamente nella creazione sonora, instaurando un rapporto reciproco tra entità biologiche e sistemi artificiali. La musica rientra in una prospettiva ecosistemica dinamica, in cui l'essere umano non è più l'unico agente creativo. Al contrario, il musicista diventa un facilitatore, un intermediario tra tecnologia e fenomeni naturali, lasciando spazio a processi emergenti che sfidano il concetto tradizionale di composizione. Miranda non impone una forma musicale prestabilita, ma interagisce con l'ambiente, permettendo alla muffa di "evolversi" in base alle condizioni del sistema. Nel frattempo, *Phy-Box* funge da ponte tra natura e suono, rendendo possibile questa interazione. L'idea di "comporre con la natura" piuttosto che semplicemente "essere ispirati dalla natura" segna un cambio di paradigma nella musica contemporanea. Come dimostra Miranda, la tecnologia moderna ci permette non solo di ascoltare la natura, ma di dialogare con essa, di instaurare una comunicazione sonora in tempo reale con organismi viventi. Questo apre scenari affascinanti in cui la musica non è il prodotto esclusivo dell'intelligenza umana, ma il frutto di un'interazione tra intelligenze biologiche, artificiali e umane.

6. OLTRE IL SILICIO: VERSO UNA INTELLIGENZA ARTIFICIALE IBRIDA

Alla domanda a come immaginasse il futuro, Miranda rispondeva:

Penso che ci sia molto potenziale per la biocomputazione, con la computazione del DNA, questo tipo di cose. (...) il mio interesse è su diversi tipi di calcoli, biocomputazione, calcolo quantistico, sono molto interessato e cerco nuovi modi per usare queste macchine per sviluppare nuovi tipi di intelligenza artificiale. Perché se ci pensi, l'IA funziona su un tipo molto tradizionale di computer. Il computer digitale è stato inventato negli anni '40. Niente è cambiato. (...) Quindi quello che voglio vedere è se ci sono nuove possibilità per l'IA con diversi tipi di hardware. (...) con il computer quantistico, di nuovo, è oltre il digitale, puoi avere questi stati quantici che sono zero e uno, non contemporaneamente, ma sono più probabilistici, più probabili di essere uno, più probabili di essere zero, questo tipo di cosa.

Miranda apre una riflessione profonda sul futuro dell'intelligenza artificiale e sul ruolo che nuove forme di computazione, come la biocomputazione e il calcolo quantistico, potrebbero giocare nello sviluppo di sistemi intelligenti diversi da quelli attuali. La dipendenza delle attuali IA da una architettura convenzionale

è rimasta invariata dagli Anni 40; di base il funzionamento algoritmico, seppur migliorato in alcune sue parti, rimane quello binario. La computazione biologica sfrutta la capacità intrinseca della materia biologica di immagazzinare, elaborare e adattarsi alle informazioni. Un sistema di IA basato su questa computazione porterebbe a basare il funzionamento dell'intelligenza artificiale su principi completamente diversi da quelli digitali, integrando plasticità, adattabilità e mutazione, caratteristiche tipiche dei sistemi viventi, e potrebbe offrire capacità emergenti che oggi l'IA tradizionale fatica a raggiungere.

E ci sarà un tempo in cui il microprocessore sarà pezzi di silicio, pezzi di bio, pezzi quantici. Quindi ho un computer che è un ibrido di processori in base a ciò che possono fare meglio. Quindi per certi algoritmi, il quantico sarà migliore del digitale, ma per altri, il digitale è migliore del quantico. E per la biologia, se vuoi aggiungere questo tipo di vivacità, imprevedibilità, creatività al processo, allora puoi provare con il bio. Quindi penso che il futuro sia un ibrido di architetture, simulazioni, processori molto veloci, processori che stanno effettivamente sfruttando la biologia, la cosa reale e non i modelli. Così la vedo io.¹³

Una musica che, più che mai, diventa parte di un flusso ecologico e interconnesso. L'idea di superare il computer digitale tradizionale per sviluppare nuove forme di IA è una delle direzioni più ambiziose nella ricerca tecnologica e artistica. Miranda si muove in questa direzione con un approccio che integra scienza, musica e tecnologia, cercando modalità di calcolo alternative per generare nuovi modi di interagire con l'intelligenza artificiale. Se l'IA di oggi è ancora vincolata dalla rigidità dell'informatica classica, il futuro potrebbe portare sistemi intelligenti che funzionano come reti biologiche o che sfruttano la fisica quantistica per espandere le capacità di apprendimento e creatività. Alla domanda “(...) la musica e l'IA, si concentrerà di più sullo sviluppo della composizione assistita, dell'analisi musicale, della produzione musicale automatizzata o dell'interazione musicale come hai fatto Lei?” Miranda risponde:

Sì, penso che la composizione assistita diventerà molto popolare per aiutare i compositori a comporre musica più rapidamente, a creare idee e così via. L'interazione è interessante, ma non penso che molti musicisti la useranno. Penso che, sì, dipende. Ma vedo la composizione assistita come il campo che si svilupperà più prominentemente.

A riprova di ciò, nel 2021, Miranda sviluppa un sintetizzatore vocale basato su un computer quantistico: un sintetizzatore vocale interattivo i cui parametri sono determinati da un iper-dado quantistico (*quantum hyper-die*). L'utente registra una melodia tramite un microfono e il sistema contabilizza il numero di note che riesce a identificare nel segnale. Di conseguenza, genera lo stesso numero di suoni in base alla quantità di note rilevate nella melodia registrata. I suoni vocali generati elettronicamente non hanno lo scopo di riprodurre la melodia udita. Piuttosto, si tratta di risposte “quantistiche”, la cui struttura è determinata dall'iper-dado quantistico (Miranda, 2021)

Il sistema ideato da Miranda è concettualmente distante dai sintetizzatori tradizionali che operano su principi deterministici. Il *Quantum Vocal Synthesizer* è basato su una logica probabilistica, influenzata dalla natura incerta dei qubit. Il sistema non cerca di ricostruire fedelmente il canto ascoltato, ma piuttosto cerca di rispondere a esso con una propria struttura sonora emergente.

Entrambe le direzioni perseguite da Miranda, quella biologica e quella quantistica, mirano a superare i limiti del calcolo digitale tradizionale, introducendo nuove modalità di interazione tra umani, macchine e intelligenze artificiali non convenzionali. Con *P. Polycephalum*, Miranda esplora la possibilità di utilizzare

¹³ Appendice: Intervista Miranda maggio 2024

organismi viventi come sistemi computazionali, con *Quantum Vocal Synthesizer* il calcolo quantistico apre la strada a forme di IA assistita che operano su principi fisici diversi, sfruttando intelligenze intrecciate da un lato e la probabilità dall'altro. In entrambi i casi, il suono generato non è più di una scelta algoritmica predeterminata, ma emerge da una dinamica complessa, fluida e non completamente prevedibile. La muffa *Physarum polycephalum* dimostra che l'intelligenza (e la musica) non è esclusiva dei sistemi nervosi complessi: il suo comportamento emergente e ottimizzante suggerisce una forma di problem-solving distribuito. L'IA, invece di essere un'entità autonoma e separata, agisce come un ponte computazionale che decodifica i segnali biologici e li trasforma in musica, creando un sistema ibrido di apprendimento e adattamento. Il sistema quantistico e la sua natura probabilistica, si inserisce in questa logica, introducendo un ulteriore livello di incertezza e variabilità, allontanandosi dal determinismo tipico dei computer digitali formati dai modelli e, ipoteticamente, avvicinare ancor di più la sfera umana a quella della natura attraverso la musica.

CONCLUSIONI

Attraverso il dialogo tra le teorie di Schafer e Feld, le pratiche artistiche di sonificazione e l'esplorazione delle intelligenze non umane — come nel caso del *Physarum polycephalum* — questo articolo ha cercato di mostrare come il suono possa essere una via privilegiata per ripensare i rapporti tra natura, cultura e tecnologia.

In primo luogo, il paesaggio sonoro emerge come uno specchio sensibile delle trasformazioni socio-culturali, sfidando la visione moderna che oppone l'umano al non umano. In secondo luogo, l'ascolto si configura come pratica ecologica ed epistemica, capace di costruire relazioni e conoscenze condivise tra le specie. Infine, la sonificazione artistica e le ricerche "bio-musicali" aprono nuove possibilità per una musica post-antropocentrica, dove la creatività si fa spazio relazionale, multispecie e intermediale.

APPENDICE: INTERVISTA MIRANDA MAGGIO 2024

CRISTIANO: *Ho letto e visto il video su Vimeo riguardo questo muffa, questa muffa melmosa, quindi iniziamo. Direi che connettere componenti biologici ai computer è diventato più facile e comune che mai. Tuttavia, c'è un immenso territorio da esplorare sia dal punto di vista artistico che scientifico e tecnologico. Esplorare l'idea che l'arte, in particolare la musica, possa avere radici biologiche legate al bisogno di comunicare e di essere in sintonia con gli altri potrebbe essere interessante da approfondire. Potrebbe anche essere affascinante nella concezione futura che abbiamo del ruolo dell'arte. Attualmente, non è troppo difficile pensare all'arte come principalmente umana, e continuare sul percorso dell'interazione ci permette ipoteticamente di comprendere la natura intorno a noi e trasformarci in armonia con essa. Pensando alla musica in relazione all'ambiente, mi sono chiesto, esiste una musica primordiale in armonia con la natura, e lo sviluppo della tecnologia ci ha forse allontanato da essa?*

MIRANDA: Sì, è una domanda difficile. Per iniziare, penso che la musica sia qualcosa di significativo per gli esseri umani. Altri animali fanno suoni, comunicano con i suoni, e così via, ma penso che per altri animali, suoni che noi potremmo considerare musicali, come gli uccelli, vengano usati per comunicare. Quindi noi come esseri umani troviamo questi suoni belli e assegniamo piacere estetico nell'ascoltarli, e così via. Quindi penso che, come punto di partenza, la musica sia un fenomeno umano. E ovviamente, possiamo trovare bellezza nei suoni della natura, dal punto di vista estetico, ma penso che se c'è musica lì, è perché noi pensiamo che ci sia musica lì.

C: *Qui, nel suo lavoro, stiamo parlando di un ulteriore passo, fare musica con altri esseri viventi. È forse questa una nuova frontiera dell'arte?*

M: Sì, penso di sì, perché parlerò più di musica che di arte, perché è il mio campo. È molto comune che in passato i compositori facessero musica ispirata dalla natura. Abbiamo questa idea di Beethoven che va nella foresta, ascolta gli uccelli, si ispira agli uccelli e compone una sinfonia. Ci sono innumerevoli storie di compositori ispirati dalla natura, che creano arte ispirata dalla natura, usando dati dalla natura, o facendo modelli al computer della natura per creare suoni. Quindi, quello che sto cercando di fare, o quello che ho iniziato a fare, è andare oltre l'essere ispirati. Si tratta effettivamente di interagire con la natura, con questo fenomeno di fare musica. Quindi, invece di limitarsi a raccogliere idee, dati o altro dalla natura, voglio interagire con la natura. E la tecnologia oggi ti permette di fare questo. Possiamo mettere sensori nelle piante, possiamo mettere sensori nella muffa melmosa, possiamo fare tutte queste cose che possono stimolare questi organismi e ottenere risposte indietro.

C: *Questo è ciò che penso sia interessante in questi nuovi modi di fare musica con la natura, perché non siamo ispirati dalla natura, stiamo facendo musica con la natura.*

M: Sì, capisco. Penso che questa sia una differenza importante.

C: *Quindi, non so se ha letto degli esperimenti Plantorumori in Portogallo.*

M: No!

C: Dove cercano di far suonare la musica dalle piante.

M: Ho visto alcune cose, ma non questa in particolare. Ma ho visto un esperimento, era divertente, non ricordo ora chi e dove, ma questa persona era seduta in una specie di cupola con le piante, con onde cerebrali, interagendo con le onde cerebrali delle piante. Ci sono molte iniziative come questa, che sono molto interessanti. Ci sono alcune nuove idee.

C: Può essere definita come una sorta di nuova creatività, una nuova arte?

M: Sì, lascia che ti dica qualcosa che forse troverai diverso. In realtà, con questo progetto della muffa melmosa, sono andato, ho fatto un passo ancora più avanti. Perché non solo ho interagito con l'organismo, ma ho effettivamente usato l'organismo per funzionare come un piccolo computer. Quindi ho creato una macchina, ho in qualche modo riproposto l'organismo per agire come un processore di informazioni. Sì. Questo è un po' diverso dallo stimolare una pianta o un insetto e ottenere il suono in risposta. Perché quello che stavo cercando di fare era usare in modo metaforico l'intelligenza dell'organismo per interagire con me. Non che questo organismo sia intelligente o altro, ma è la natura biologica di questo organismo. Ovviamente, se è vivo, significa che interagisce con l'ambiente. Ha una sorta di intelligenza primitiva. È un'intelligenza reattiva, ma ha comunque una sorta di intelligenza. Quindi stavo cercando di stabilire una sorta di comunicazione, una comunicazione semplice, dove poi potevo programmare la macchina, l'organismo come una macchina per comporre musica con me. Quindi questa era l'intenzione. Così ho iniziato.

C: Quindi l'intelligenza artificiale, le tecnologie, possono mai essere considerate parte della natura o sono qualcosa che stanno nel mezzo?

M: Sì, beh, l'intelligenza artificiale è artificiale, quindi per me non è natura. Ma cosa succede se questa intelligenza con cui sto interagendo non è artificiale, ma è un'intelligenza artificiale naturale, se ci pensi. Quindi è un modo per vedere se potevo programmare un'intelligenza naturale per fare cose per me, giusto? Cosa che possiamo fare. Ora lo stiamo facendo tra di noi. Stiamo facendo domande e interagendo con una sorta di codice, che è l'inglese.

C: Sì.

M: Per scambiare idee. Quindi stavo interagendo con questa pianta, con segnali elettrici, e la pianta mi restituiva, sai, la pianta o il fungo, come lo chiami tu, perché potresti anche non sapere cos'è. E mi stava restituendo una corrente, sai, che era una sorta di scambio di segnali.

C: Sì, sì. Sì, è davvero, è un campo, molto complesso. È complesso ed è nuovo e, sai, è anche difficile concettualizzare cosa sta accadendo.

M: Ma, sai, la mia intenzione era, perché nell'intelligenza artificiale, quello che fanno le persone è modellare, creare modelli digitali di intelligenza. E, ovviamente, questi modelli sono ispirati dalla biologia, per lo

più neuroni e tutte queste cose. Ma cosa succede se, invece di essere ispirati, puoi effettivamente usare la cosa da cui sei ispirato? Questa è l'idea. Quindi volevo, sai, prima di iniziare con questo, ho lavorato con alcuni biologi che stavano effettivamente estraendo i neuroni dall'embrione di pollo all'interno dell'uovo. Quindi dopo 14 giorni di incubazione, c'è già un piccolo pulcino all'interno dell'uovo. A volte quando rompi l'uovo, c'è un po' di sangue, giusto? Quello è il feto in fase di sviluppo. Un piccolo feto. Quindi gli scienziati hanno estratto le cellule neuronali di questo feto e le hanno messe in una micropiastre di Petri. E quindi l'idea era di mettere elettricità lì e vedere cosa succede. Quindi hanno concluso che stimolando questi neuroni, iniziano a fare sinapsi, iniziano a creare connessioni sul chip.

C: *Davvero interessante.*

M: Quindi volevo... ok, quindi queste sono reti neurali reali, non sono reti neurali artificiali.

C: *Quindi è possibile programmarle per apprendere?*

M: Quella era la grande domanda che era molto difficile da rispondere perché gli scienziati non sono riusciti a mantenere queste cose in vita per molto tempo. Era impossibile codificare e decodificare i segnali al tempo perché, sai, ci voleva molto tempo per fare un piccolo esperimento. Quindi è per questo che ho cambiato rotta. Sono passato a un altro organismo vivente con cui potevo facilmente fare questi esperimenti, come mettere elettricità e vedere cosa ne esce, e codificare, decodificare le informazioni in questi segnali.

C: *Quindi quali erano le aspettative riguardo a Physarum Polycephalum? È secondo, direi, c'erano questioni etiche o morali, come la considerazione sull'uso e la manipolazione degli organismi viventi?*

M: Sì, penso che per questo specifico progetto Physarum non ci siano considerazioni etiche perché non è un animale senziente. Non è nemmeno un insetto. Non è niente. È completamente inutile. Quindi da questo punto di vista non credo ci siano questioni morali o etiche. Ma naturalmente, se questo tipo di esperimenti portasse a tecnologie più potenti di quelle che abbiamo oggi, allora ci sarebbero delle questioni etiche da considerare.

C: *Come abbiamo ora con l'IA, giusto, tutte le questioni etiche legate all'uso dell'IA.*

M: Ma perché il livello con cui stavo lavorando è così semplice, non c'era nulla di cui preoccuparsi. Non sappiamo nemmeno se sia al di sotto di una pianta in termini di evoluzione. È solo una cellula. Sì, è una cellula che si comporta in modo strano. È più semplice di un'ameba. È veramente in basso nell'ordine. Ma sì, penso che per ricerche più avanzate in questo settore ci sarebbero delle implicazioni etiche. Ma per ora, non c'era niente.

C: *Ok, grazie. Un'altra domanda. Potrebbe spiegarmi cosa sono generalmente i biomemristori? Quali sono le loro funzioni in relazione alla musica? Capisco che i memristori sono una sorta di qualità di alcuni componenti elettrici, ma sono anche qualcosa di diverso.*

M: Immagina di avere un tubo per l'irrigazione nel tuo giardino: quando l'acqua scorre al suo interno e lo premi in un punto, la pressione aumenta dall'altro lato. Questo è un modo semplice per capire come funziona un memristore. In termini elettrici, il memristore risponde a corrente e tensione, ma la sua particolarità è che "ricorda" gli stimoli precedenti. Se si applica una certa pressione al tubo, questa modifica persiste nel tempo. Se poi si varia la pressione, il sistema si adatta gradualmente, memorizzando i cambiamenti. Questo comportamento consente al memristore di funzionare come una sorta di memoria adattiva: non reagisce solo al segnale attuale, ma conserva una traccia degli input passati e può persino anticipare quelli futuri. Questa proprietà è utile per applicazioni musicali. Ad esempio, possiamo associare una tensione elettrica a una nota musicale. Se ripetiamo una sequenza di note con una certa regolarità (Do-Mi, Do-Mi, Do-Mi), il sistema si abitua e prevede che la sequenza continui. Se all'improvviso inseriamo una nota inaspettata (Do-Mi, Do-Fa), il memristore registra la deviazione e reagisce. Questa reazione può essere trasformata in un modello statistico: invece di usare semplici probabilità come in una catena di Markov, il sistema sfrutta le risposte elettriche dell'organismo per determinare le probabilità di successione delle note. In pratica, il memristore impara le regole musicali in base agli stimoli ricevuti e può essere utilizzato per generare sequenze sonore che si evolvono nel tempo.

C: *Grazie. È brillante.*

M: Sì. Puoi spiegare questo semplicemente dicendo che è possibile costruire una catena di Markov. Ma invece di memorizzare le probabilità nelle celle della catena, memorizzi le reazioni dell'organismo a quelle sequenze. Questo è un vero e proprio interazione. Ecco. Quindi se voglio ricomporre la musica, vado alla catena e ottengo quella reazione dell'organismo. Poi quello che faccio, stimolo l'organismo con quel numero, quel valore. E quindi l'organismo mi restituirà qualcosa, dicendo: ok, questa è la prossima nota. Questa è la prossima nota, e così via.

C: *Per quanto riguarda la funzione della PhyBox?*

M: Sì, PHy-box ha quattro organismi al suo interno, e ognuno di loro costruisce una tabella di Markov per altezza, durata, volume, e il tempo di attacco è quando la nota si avvia, e la durata è quanto dura la nota. Quindi hai il tempo di attacco, hai la durata, hai un altro per l'altezza della nota, e un altro per quanto è forte. Quindi elaborando questi quattro parametri, posso generare nuove note, nuove sequenze di note, leggendo questi valori dal...

C: *Ho capito, più o meno. Mi chiedevo, la tecnologia o la biotecnologia nei suoi video non è semplicemente guidata dal pianista, ma c'è una vera e propria relazione, interazione con il suono.*

M: Sì, il pianista dà le note, ma ciò che ottieni indietro è probabilistico, ma l'organismo ha un'influenza su questo.

C: *L'output è creato dalla muffa?*

M: Sì, dall'organismo, esatto.

C: *Quindi la muffa ascolta e risponde.*

M: Sì.

C: *E si può vedere, si può sentire, il profondo collegamento tra...*

M: Sì, c'è una connessione lì. Non è casuale, è generato dall'organismo, perché l'organismo, quando è in ascolto, il sistema sta creando quelle probabilità in base ai valori attuali dell'organismo, e quando chiedo al sistema di produrre materiali, allora passerà attraverso questa memoria e riprodurrà la cosa. Quindi nella composizione ci sono momenti chiari in cui si svolge la sessione di ascolto, e poi un momento in cui l'organismo sta producendo cose. Quindi fa parte della composizione. Quindi dico, ora per i prossimi 15 secondi ascolti, ora chiudi le orecchie, e ora suona. Quindi questo è pre-programmato.

C: *Ok, inserisci l'input, metti l'input, e poi la muffa ascolta?*

M: Sì, esattamente. L'input sono i tempi. Quindi la composizione dura dieci minuti. Dai 30 secondi al minuto e 20 secondi, ascolti. Ora dopo 1 minuto e 20 secondi, emetti suoni. Poi dopo cinque minuti, ascolti di nuovo. Quindi c'è un sistema, un programma che controlla quando l'organismo ascolta e quando l'organismo suona.

C: *Sembra che produrrà sempre qualcosa di inaspettato.*

M: Molto probabilmente sì. È inaspettato, ma entro certi parametri. I parametri sono che l'organismo produrrà qualcosa di inaspettato, ma basato sul materiale che è stato riprodotto.

C: *Com'è il futuro, lo sviluppo tra l'interazione tra gli esseri umani, le nuove tecnologie e la musica?*

M: Come sarà il futuro? Penso ci saranno questo tipo di cose, ci saranno nuovi strumenti musicali, penso, che saranno sviluppati basandosi su questi tipi di sistemi. Strumenti musicali che suonano, e poi gli strumenti musicali reagiscono e suonano, improvvisano con te. Ma onestamente, è difficile predire come sarà il futuro. Quello che sarà un nuovo tipo di strumento o nuove modalità di interazione con i sistemi musicali che forse ci sarà un nuovo elemento sul palco, perché se consideriamo l'improvvisazione jazz, se consideriamo che ci sono persone che improvvisano, che si ascoltano a vicenda e improvvisano e così via, mi aspetto che presto, anche con il mio sistema già, potremo fare questo, è che abbiamo persone che improvvisano, il sistema ascolta e improvvisa insieme, e cose del genere. Davvero affascinante. Sì, penso che l'idea sia che ci sia una nuova forma di intelligenza sul palco che interagirà con le persone, ma è un tipo diverso. Non è umano, è diverso. Gli umani fanno le cose in certi modi, e questi tipi di macchine faranno le cose in altri modi, altri tipi di modi. Quindi non c'è sostituzione, non c'è rimpiazzo. È solo un'altra cosa che interagirà e così via.

C: *Perché leggendo alcune delle sue opere più recenti, ho notato che si è allontanato dall'idea della musica come interazione con altre forme di vita e si è avvicinato più verso la considerazione sull'uso di tecnologie sempre più complesse, come i computer quantistici e le onde cerebrali. Perché questo distacco? E poi, come saranno i computer*

del futuro? Ci saranno sempre più biocomputer assistiti dall'intelligenza artificiale?

M: Sì.

C: E quali sono le sue considerazioni?

M: Beh, sì, questo distacco è principalmente finanziario. Il progetto che avevo terminato e il mio studente ha completato il dottorato e se ne è andato; quindi, è più una questione di limitazione finanziaria. E dietro le quinte, per così dire, non è ancora visibile, stiamo cercando di rivitalizzare queste idee con alcuni altri collaboratori. Ma è, in effetti, molto difficile continuare con questo progetto. Quindi abbiamo fatto il massimo che potevamo con quello che sappiamo e come lo sappiamo. Quindi l'unica cosa che si può fare ora è renderlo più perfetto, più robusto, o qualcosa del genere. Ma l'effettivo, quello che puoi fare con esso, abbiamo raggiunto più o meno il limite con questo particolare organismo. Ma penso che ci sia molto potenziale per la biocomputazione, con la computazione del DNA, questo tipo di cose. Ma perché sono in una scuola di musica, è molto difficile ottenere finanziamenti per fare questo tipo di cose. Era difficile comprare un microscopio. Nel dipartimento di musica, non è l'ambiente giusto. E il mio interesse è diversi tipi di calcoli, biocomputazione, calcolo quantistico, sono molto interessato e cerco nuovi modi per usare queste macchine per sviluppare nuovi tipi di intelligenza artificiale. Perché se ci pensi, l'IA funziona su un tipo molto tradizionale di computer. Il computer digitale è stato inventato negli anni '40. Niente è cambiato. Perché prima c'era la valvola, poi c'erano i relè, poi i transistor, ora ci sono i semiconduttori. Ma il principio è lo stesso. Zero, uno, zero, uno. Binario. Quindi quello che voglio vedere è se ci sono nuove possibilità per l'IA con diversi tipi di hardware. Questa è la mia domanda. Ecco perché ho iniziato a vedere se è possibile farlo con il biocomputer, che era possibile, perché invece di avere zeri e uno, avevo una sorta di segnali analogici che potevano essere utilizzati. E con il computer quantistico, di nuovo, è oltre il digitale, puoi avere questi stati quantici che sono zero e uno, non contemporaneamente, ma sono più probabilistici, più probabili di essere uno, più probabili di essere zero, questo tipo di cosa. Quindi è diverso, ma è la stessa domanda. E ci sarà un tempo in cui il microprocessore sarà pezzi di silicio, pezzi di bio, pezzi quantici. Quindi ho un computer che è un ibrido di processori in base a ciò che possono fare meglio. Quindi per certi algoritmi, il quantico sarà migliore del digitale, ma per altri, il digitale è migliore del quantico. E per la biologia, se vuoi aggiungere questo tipo di vivacità, imprevedibilità, creatività al processo, allora puoi entrare con il bio. Quindi penso che il futuro sia un ibrido di architetture, simulazioni, processori molto veloci, processori che stanno effettivamente sfruttando la biologia, la cosa reale e non i modelli. Così la vedo io.

C: Ok. Interessante. L'ibrido è la parte migliore del bio.

M: Esatto. Ottieni il meglio per il tuo scopo. Se non ti preoccupi della precisione, della velocità, ma ti preoccupi di più dell'imprevedibilità e di una certa creatività che non puoi controllare, allora il bio è l'ideale. Se vuoi che il sistema si adatti a certe situazioni più rapidamente rispetto al tuo computer digitale, allora i biosensori, la biocomputazione sono più adatti perché la biologia è stata evoluta per l'adattamento. E penso che queste siano le applicazioni di queste tecnologie. Sviluppi cose che funzioneranno meglio per situazioni specifiche. Sì, questo è decisamente possibile. Voglio dire, non è una questione di "se", ma di "quando". Ci sono molti campi che stanno convergendo. In passato ho lavorato molto in un campo chiamato vita artificiale, che consiste nel programmare computer con modelli della natura, come, ad esempio, anziché

programmare macchine per fare cose, si programma la macchina per imparare come fare cose. E questo è ispirato dalle api, formiche, insetti, sciami che collaborano per trovare soluzioni e così via. Questo è un aspetto. Poi la biologia sta arrivando dall'altro lato. Se poi combini, se puoi fare biocomputer che eseguono questa computazione evolutiva, allora hai qualcosa di molto potente. E se poi combini questo con un processamento a livello molto subatomico dei quanti, hai un altro livello. Quindi penso che stia convergendo. Mi piacerebbe avere il tempo per fare tutto questo, ma con la scienza è molto strano perché ci sono onde di cose. Adesso tutti parlano delle reti neurali profonde, giusto? In passato, tutti parlavano di elaborazione simbolica. In passato, tutti parlavano di computazione evolutiva. Ma queste cose possono essere combinate. Questa compartimentazione, trovo abbastanza strano che le persone dimentichino altre cose.

C: Sarebbe molto interessante se potesse spiegare come la tecnologia che ha utilizzato l'abbia aiutata o meno a portare avanti il suo progetto su Physarum. Come ha fatto?

M: Si fa crescere il Physarum su una piastra di Petri. E questa piastra di Petri può poi essere miniaturizzata, ovviamente. Ma si fa crescere il Physarum sulla piastra di Petri, e poi il Physarum crea queste specie di fili, giusto? Questi piccoli fili sono quelli che conducono l'elettricità. Quindi poi noi li accoppiamo, prendiamo il filo fuori, giusto? Ma in un'altra piastra di Petri, e l'altra piastra di Petri ha fili come connettori che consentono di inserire tensione e misurare la tensione dall'altro lato. L'intero processo serve a rendere questo sistema migliore.

C: Ho visto alcune immagini di questa piastra di Petri.

M: Esatto. Quindi nella piastra di Petri hai fili, che sono il mezzo che hai per inserire dati e ottenere dati di output. E poi la scatola, in sostanza, ne abbiamo fatto una miniatura. Invece di avere una grande piastra di Petri, ne avevamo una piccola. E invece di collegarla a un grande computer, avevamo una specie di macchina Raspberry Pi che abbiamo inserito tutto in una scatola. Quindi avevamo la scatola come proprio dispositivo senza avere molti connettori e cose del genere.

C: Ok, grazie. La mia domanda è: le esibizioni musicali realizzate da entità non incarnate saranno mai veramente apprezzate? Come, ad esempio, la musica? O ci muoveremo verso lo sviluppo di tecnologie con un corpo?

M: Sì, è interessante. Sì, quindi, penso entrambe. Entrambe. Ok. Ma mi piace l'idea dell'incarnazione. Mi piace quella. Sì. Perché il corpo significa che hai qualcosa che interagisce con l'ambiente. Sai, l'incorporazione di sensori e cose del genere. Ma sì, penso che entrambe siano valide. Ok. Entrambe sono valide.

C: Nel campo della musica e dell'IA, la musica e l'IA, si concentrerà di più sullo sviluppo della composizione assistita, dell'analisi musicale o della produzione musicale automatizzata o dell'interazione musicale come hai fatto tu?

M: Sì, penso che la composizione assistita diventerà molto popolare per aiutare i compositori a comporre musica più rapidamente, a creare idee e così via. L'interazione è interessante, ma non penso che molti musi-

cisti la useranno. Penso che, sì, dipende. Ma vedo la composizione assistita come il campo che si svilupperà più prominentemente.

C: Direi che questo è tutto.

M: Ok, perfetto. Se hai altre domande, dopo aver trascritto tutto, puoi mandarmi una e-mail.

C: Sì. Grazie mille per questa opportunità. Grazie mille per il tempo che mi ha dedicato.