

Musica e tecnologia: un rapporto virtuoso. Music and technology: a virtuous relationship

Original

Musica e tecnologia: un rapporto virtuoso. Music and technology: a virtuous relationship / Masoero, M., Rottondi, C., Servetti, A., Shtrepi, L.. - In: ATTI E RASSEGNA TECNICA. - ISSN 0004-7287. - 153:74(2020), pp. 65-77.

Availability:

This version is available at: 11583/2853412 since: 2020-11-20T10:28:12Z

Publisher:

Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

Musica e tecnologia: un rapporto virtuoso

Music and technology: a virtuous relationship

**MARCO MASOERO, CRISTINA ROTTONDI, ANTONIO SERVETTI,
LOUENA SHTREPI**

Abstract

La storia della musica è stata sempre intrecciata con la storia della scienza e della tecnologia, da Pitagora a Stockhausen e oltre. La nascita della musica elettroacustica nel primo Novecento e dell'informatica musicale nel secondo dopoguerra hanno determinato una grande accelerazione del rapporto fra musica e tecnologia e hanno favorito lo sviluppo dell'interazione audio-video in tempo reale. Molte università tecniche svolgono ricerca e offrono percorsi didattici che intrecciano discipline ingegneristiche e artistico-musicali; sempre più spesso i Conservatori affiancano, agli ambiti tradizionali della musica, percorsi per la formazione di esecutori e compositori di musica elettronica e di computer music, e di figure professionali quali il tecnico del suono, il *tonmeister* e il *sound designer*. L'articolo intende discutere le opportunità offerte alla cultura politecnica da questa virtuosa interazione attraverso la presentazione di una serie di esperienze (scientifiche, didattiche, performative) sviluppate al Politecnico di Torino, e anche in altre realtà accademiche nazionali e internazionali.

The history of music has always been interweaved with the history of science and technology, since Pythagoras to Stockhausen and beyond. The birth of electroacoustic music in the early 1900s and of computer music after WWII have determined a strong acceleration of the relationship between music and technology and have promoted, in particular, the development of the real-time audio-video interaction, which is the basis of many of the most interesting today's artistic expressions. Many technical universities, do research and offer teaching programs that interweave engineering and artistic/musical disciplines. More and more often Conservatories add to their traditional realm of music instruction, teaching paths aimed at the training of composers/performers of electronic and computer music, and of professional figures such as the sound engineer, the tonmeister and the sound designer. The article discusses the opportunities offered to the Polytechnic Culture by this virtuous interaction through the presentation of a series of experiences (scientific, didactic, and performative) carried out at Politecnico di Torino, as well as in other national and international academic institutions.

Introduzione

Il rapporto fra musica e tecnologia è antico quanto la specie umana. L'espressione musicale si manifesta infatti, insieme all'espressione grafica, fin dagli albori della civiltà. I primi esempi di strumenti musicali ritrovati dagli archeologi, ad esempio flauti ricavati da ossi cavi di animali, richiedevano per la loro costruzione una tecnologia raffinata, considerando la natura degli utensili disponibili. L'evoluzione degli strumenti musicali nella storia è un mirabile

Marco Masoero, professore ordinario di Fisica tecnica industriale, Politecnico di Torino, DENERG.

marco.masoero@polito.it

Cristina Rottondi, ricercatore in Telecomunicazioni, Politecnico di Torino, DET.

cristina.rottondi@polito.it

Antonio Servetti, ricercatore in Sistemi di elaborazione delle informazioni, Politecnico di Torino, DAUIN.

antonio.servetti@polito.it

Louena Shtrepi, ricercatore in Fisica tecnica ambientale, Politecnico di Torino, DENERG.

louena.shtrepi@polito.it

esempio di ricerca di materiali, soluzioni costruttive e tecniche di realizzazione che hanno condotto a risultati straordinari e non sempre totalmente spiegabili con i soli strumenti dell'indagine scientifica. Un esempio paradigmatico è quello degli strumenti ad arco: tuttora, gli esemplari più pregiati e ricercati di violini sono opera dei maestri liutai, soprattutto italiani, che operarono nel XVIII e XIX secolo, i cui segreti restano avvolti in un alone di mistero. Altrettanto interessante è l'evoluzione degli strumenti a tastiera che, partendo dai tipi a corda pizzicata – ad esempio clavicembalo, virginale, spinetta ecc. – ha condotto, a partire dal XIX secolo, fino al pianoforte gran coda dei giorni nostri, grazie alla costante ricerca di soluzioni costruttive sempre più sofisticate.

Ma è con lo sviluppo dell'elettroacustica, a cavallo fra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, che la tecnologia è divenuta vero fattore abilitante di nuove forme di espressione musicale. Fra i primi *elettrofoni*, come sono indicati nella classificazione organologica corrente gli strumenti in cui il suono è generato da circuiti o dispositivi elettromagnetici o elettronici¹, ricordiamo il *Theharmonium* (1897), il *Theremin* (1919), che prende il nome dal suo inventore, il fisico e musicista russo Lev Sergeevič Termen, e lo strumento *Ondes Martenot* (1928), che associa il principio di funzionamento del *Theremin* (due antenne che generano segnali modulabili in volume e frequenza con il movimento delle mani dell'esecutore) con la tastiera dell'organo. Negli anni successivi alla Seconda guerra mondiale, con la nascita dei primi sintetizzatori, la musica elettronica inizia ad avere una presenza significativa nella prassi musicale, inizialmente nella cerchia della musica colta d'avanguardia, soprattutto in Francia, Germania (Scuola di Darmstadt) e Italia, e successivamente nella *popular music*: a questo riguardo, si pensi a quanto il sintetizzatore ha caratterizzato il *sound* di gruppi come *Pink Floyd*, *Emerson Lake & Palmer* e *Genesis*, tanto per citarne tre fra i più conosciuti. L'altro grande filone evolutivo è stata la *computer music* (o *musica informatica*). L'idea di comporre ed eseguire musica con l'ausilio di un elaboratore elettronico risale agli anni '50 del secolo scorso e le prime esperienze sono realizzate nei due decenni successivi soprattutto negli USA, utilizzando i più potenti *mainframe* disponibili². A pochi decenni di distanza da quelle pionieristiche esperienze, chiunque disponga di un laptop di fascia medio-alta, equipaggiato di una scheda grafica e di una scheda audio di qualità, con l'ausilio dei numerosi software di elaborazione del suono e dell'immagine può cimentarsi nella produzione di musica o di performance audio-video di grande complessità.

Altrettanto antico e affascinante è il rapporto fra musica, matematica e fisica. Storicamente, il primo tentativo di investigare con approccio scientifico, quindi con osservazioni e misure, la vibrazione di oggetti in grado di produrre suoni musicali, risale a Pitagora di Samo (VI secolo A.C.). Pitagora osservò che, variando per rapporti fra numeri interi la lunghezza libera di una corda vibrante, si ottenevano coppie di

suoni fra loro consonanti, quindi “gradevoli” all'orecchio: 1:2 per l'intervallo di ottava, 2:3 per l'intervallo di quinta e 3:4 per l'intervallo di quarta³. Nei secoli successivi, innumerevoli sono stati i grandi fisici e matematici che si sono cimentati nello studio dell'acustica musicale. Limitandoci al periodo del grande sviluppo della scienza moderna, fra il XVII e il XIX secolo, possiamo citare, fra i più importanti: Galileo, Mersenne, Saveur, i Bernoulli, D'Alembert, Lagrange, Fourier, Helmholtz e Rayleigh⁴.

Da questa breve e inevitabilmente incompleta rassegna, che ha comunque evidenziato l'inestricabile e profondo legame fra musica, scienza e tecnologia, sorge spontanea la domanda: cosa può fare per la musica una grande università politecnica? E, di converso, cosa può fare la musica per un ateneo a vocazione tecnico-scientifica? Per provare a rispondere a queste domande, racconteremo le principali esperienze che il Politecnico di Torino ha sviluppato negli ultimi anni in ambito musicale.

1. La stagione di concerti Polincontri Classica

Correva l'anno 1993 quando un allora studente di Ingegneria e grande appassionato di musica, Stefano Tonni, propose ad alcuni suoi docenti di organizzare un ciclo di conferenze a tema musicale: nasceva così, nell'A.A. 1992-93, la manifestazione Polincontri Classica⁵. A portare avanti l'iniziativa furono soprattutto un gruppo di docenti, studenti e personale tecnico-amministrativo dell'Ateneo, fra i quali una menzione particolare spetta a Guido Rizzi, che ha attraversato da protagonista i 27 anni di Polincontri Classica e ancora oggi fa parte del suo comitato organizzatore. Nelle stagioni successive alla prima, alle conferenze furono affiancate inizialmente alcune conferenze-concerto e successivamente dei veri e propri concerti. Un deciso impulso a Polincontri Classica si verificò alla fine degli anni '90, quando, dovendo procedere a urgenti lavori di ristrutturazione e adeguamento normativo dell'Aula Magna “Giovanni Agnelli”, l'Ateneo decise di farne una vera e propria sala da concerto, equipaggiata fra l'altro di uno splendido pianoforte Steinway gran coda. Il concerto inaugurale della nuova Aula Magna, affidato al Trio Debussy, avvenne il 13 marzo 2000 e viene recensito in termini entusiastici da Paolo Gallarati su «La Stampa»⁶. Da allora, l'Aula Magna del Politecnico è a tutti gli effetti inserita nel circuito delle sale da concerto della città: la sua acustica e la qualità del già citato pianoforte sono universalmente apprezzati dai numerosissimi concertisti che vi si sono esibiti.

La stagione di quest'anno⁷, XXVIII della serie, ha avuto un grande avvio, ma si è purtroppo dovuta interrompere a fine febbraio per le ben note vicende COVID-19. In analogia alle precedenti, la stagione prevedeva un nucleo portante di sedici concerti con musicisti professionisti, a cui si sarebbero affiancate due conferenze-concerto, il ciclo di quattro conferenze “Scienza e Creatività”, che combinano temi scientifici e musica, cinque concerti eseguiti dagli studenti musicisti



Figura 1. Alcuni concerti della XXVII stagione di Polincontri Classica (2019-2020). Dall'alto in verso orario: Trio Smetana, Ensemble vocale Wolf-Ferrari, Elisa Tomellini, Duo Ranfaldi-Bacchetti (foto Beatrice Motetti).

dell'ateneo (due maratone musicali in Aula Magna e tre concerti in luoghi di aggregazione e di contrasto al disagio sociale), nonché alcuni eventi ospiti che esplorano altre forme di espressione artistica quali la danza, la musica elettronica e le performance audio-video. La stagione è iniziata ad ottobre con l'anno accademico, come da tradizione, ed è proseguita regolarmente fino a febbraio, quando le prime serie avvisaglie di pandemia hanno imposto la sospensione delle attività in presenza. Per attenuare il vuoto dell'interruzione, Polincontri Classica ha proposto, fra inizio maggio e metà giugno, un ciclo di sei conversazioni musicali online denominato *Policlick*, che hanno esplorato svariati argomenti di carattere storico, musicologico, compositivo ed esecutivo, con la partecipazione di musicisti e musicologi assai noti: Antonio Valentino, Maurizio Redegoso Kharitian Francesco Antonioni, Roberto Prosseda, Carlo Guaitoli (insieme a Enrico Pieranunzi e Carlo Boccadoro) e Attilio Piovano⁸ (Figura 1).

2. Il Coro PoliEtnico

PoliEtnico, il coro del Politecnico di Torino, è nato nel 2013 dall'iniziativa di un piccolo gruppo di studenti e docenti e dai due direttori Giorgio Guiot e Dario Ribechi. Da iniziativa spontanea e occasionale di un gruppo di persone si è

in breve trasformato in proposta per tutto l'Ateneo e, grazie al sostegno del Rettorato che riconosce il coro come Team Studentesco, ha raggiunto la sua configurazione attuale con più di cento coristi provenienti da circa venti paesi⁹. Il nome PoliEtnico esprime quindi una vocazione multietnica, data dalla internazionalità dei partecipanti ma anche dalla precisa scelta di privilegiare canti di ogni provenienza e in più lingue, con una ricerca di repertorio che spesso parte dalle proposte musicali dei coristi e che prevede incursioni nel canto tradizionale, nel repertorio musicale classico e nella relazione con il jazz e altri generi musicali. PoliEtnico articola le sue attività nel grande coro riunito, che presenta anche brani a voci pari – per voci solo femminili o maschili – e nel Sedicetto, formazione da camera che esplora repertori tecnicamente più impegnativi.

Accanto alle attività istituzionali promosse dal Politecnico e che prevedono concerti, cerimonie, partecipazione a Convegni ed eventi, PoliEtnico ha tenuto concerti in numerosissime città italiane, recandosi recentemente in Olanda per uno scambio musicale a Eindhoven ed esibendosi presso il Parlamento Europeo di Strasburgo. Nel progetto del Team Studentesco PoliEtnico sono previste collaborazioni con i Dipartimenti dell'Ateneo. Negli anni sono stati sviluppati progetti originali collegati all'architettura, all'informatica,

all'acustica, alla matematica. La ricerca dei collegamenti tra musica e matematica ci ha portati a proporre concerti, seminari e laboratori a Torino, a Padova e alla Sissa di Trieste. Nel corso del 2020 l'attività del coro è proseguita regolarmente grazie alla messa a punto di un programma telematico che ha consentito di realizzare collegamenti a distanza superando le difficoltà del delay del suono. Pur condizionato dall'emergenza sanitaria COVID, il coro ha proseguito il suo programma di apprendimento delle parti musicali e dell'esecuzione vocale a più voci. Tra le tante iniziative programmate nel prossimo futuro, la realizzazione di un contest nazionale in collaborazione con la RUS Rete delle Università Sostenibile, e la promozione di eventi musicali online (Figura 2).

3. Il corso di studi in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione

Attorno alla fine degli anni '90 le amministrazioni locali del nostro territorio decisero di rilanciare l'industria del cinema, che vanta a Torino un'antica e nobile tradizione, risalente, come noto, agli anni del Muto. Le conseguenze di questa azione, che vide uno sforzo congiunto di vari soggetti

pubblici e privati (Comune di Torino, Regione Piemonte, Banche, Fondazioni ecc.), furono molteplici. Le più note e "visibili" sono probabilmente il nuovo Museo del Cinema¹⁰, inaugurato nel luglio 2000, e la Film Commission Torino Piemonte, operativa da settembre 2000¹¹. Nacque in quegli stessi anni anche il Virtual Reality and Multimedia Park (VRMMP), situato negli stabilimenti della storica casa di produzioni cinematografiche FERT di corso Lombardia, recuperati a tale scopo¹².

A questo fervore di iniziative non fu estraneo il Politecnico. All'interno dell'allora esistente Facoltà di Ingegneria dell'Informazione, grazie soprattutto all'iniziativa di Carlo Naldi, preside della facoltà, e di Marco Mezzalama, al tempo prorettore, nacque l'idea di proporre un nuovo corso di studi che colmasse il divario di competenze esistente fra l'ingegnere informatico – che conosce gli strumenti ma non i linguaggi della comunicazione a cui tali strumenti si applicano – e il laureato in Scienze della Comunicazione che, al contrario, conosce bene i linguaggi, ma manca spesso delle competenze tecniche per applicarle nel mondo digitale. Del nuovo corso di studi – denominato *Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione*, per sottolineare l'appartenenza



Figura 2. In alto: due concerti del Coro PoliEtnico nell'Aula Magna del Politecnico di Torino: Stagione Polincontri Classica 2019-2020 e Festival della Tecnologia (novembre 2019); in basso: il coro in tournée al Parlamento Europeo di Strasburgo e il logo ufficiale di PoliEtnico (foto Archivio del Coro PoliEtnico).

al movimento di rilancio del cinema a Torino – venne disegnato un percorso didattico, articolato nell'allora nuovo schema del "3+2", che riduceva al "minimo sindacale" le discipline di base per lasciar spazio a un adeguato numero di crediti formativi su temi di taglio non tecnico: linguaggi, sociologia e psicologia della comunicazione, diritto ed economia dei media ecc.¹³ Per attuare questo nuovo percorso venne chiamato dal Politecnico a ricoprire una cattedra di I fascia Mario Ricciardi, già presidente del corso di laurea in Scienze della Comunicazione dell'Università di Torino, nonché primo presidente-direttore del nuovo Museo del Cinema. Il corso di studi, avviato nell'A.A. 2003-2004, ha avuto un buon successo. Nell'arco della sua esistenza ha laureato alcune centinaia di "Ingegneri del Cinema", molti dei quali hanno percorso brillanti carriere nel settore.

A uno degli autori di questo articolo, Marco Masoero, al tempo titolare dell'insegnamento di Acustica Applicata e Illuminotecnica, venne chiesto di contribuire all'offerta formativa della laurea magistrale in ambito audio. Venne così proposto un innovativo insegnamento, unico in Italia, denominato *Ingegneria del Suono* e articolato in tre parti: una parte introduttiva sui fondamenti di acustica fisica e psicoacustica, una parte sulle apparecchiature elettroacustiche (microfoni, altoparlanti, amplificatori ecc.) e una parte sull'acustica degli spazi destinati all'ascolto della parola e della musica. Il corso, attivo dall'A.A. 2006-2007, prevede, oltre alle lezioni teoriche e alle esercitazioni numeriche e sperimentali, numerosi contributi di approfondimento, tenuti perlopiù da professionisti del settore, su temi quali le tecniche di ripresa microfonica stereo, il progetto degli studi di registrazione, il progetto di teatri e sale da concerto, e gli impianti di diffusione audio. Per completare la preparazione base degli Ingegneri del Cinema nel settore del suono, all'insegnamento di *Ingegneria del Suono* (da 6 CFU) si affianca quello di *Elaborazione dell'Audio Digitale* (da 8 CFU), tenuto da docenti del dipartimento di Automatica e Informatica. Uno studente che voglia strutturare un percorso di laurea magistrale focalizzato sulle tematiche audio, ha quindi la possibilità di ottenere 14 CFU di insegnamenti obbligatori, più 30 CFU fra tirocinio e tesi su temi collegati, più 12 CFU di corsi a scelta (che come vedremo possono essere seguiti anche fuori Politecnico), per un totale di 56 CFU sul totale di 120 CFU previsti per la laurea magistrale¹⁴.

L'interesse a costruire relazioni tra il Corso di Laurea in *Ingegneria del Cinema* e dei Mezzi di Comunicazione e le eccellenze locali operanti nell'ambito della formazione acustica e musicale si è concretizzato, dapprima informalmente, anche con la collaborazione con la Scuola di Alto Perfezionamento Musicale (Scuola APM) nata nel 1986 come progetto pilota dell'Unione Europea con l'obiettivo di realizzare un'offerta formativa strumentale di alto livello e di accompagnare nel mondo del lavoro le professioni artistico-musicali e divenuta poi Fondazione ed ente strumentale

del Comune di Saluzzo (CN) nel 2008 sotto la direzione di Gianfranco Mattalia. Qui, accanto ai corsi di perfezionamento strumentale di area classica, è attivo dal 1988 un dipartimento dedicato alle nuove tecnologie per la formazione di professioni tecniche al servizio della produzione musicale coordinato dai proff. Marco Canavese e Mauro Loggia. Dall'A.A. 2017-2018 il prof. Marco Canavese è docente, insieme al prof. Antonio Servetti, del corso di *Elaborazione dell'Audio Digitale*, mentre la Scuola ospita gli studenti del corso per una giornata di formazione pratica sulle tecnologie audio digitali per la produzione artistica a compendio degli aspetti teorici affrontati nelle lezioni in aula presso il Politecnico.

Nel 2019 la collaborazione fra Politecnico e Fondazione Scuola APM è stata formalizzata con un accordo quadro per stimolare ancor più la collaborazione non solo in ambito didattico, ma anche nelle attività di ricerca sulle nuove tecnologie multimediali e del 2020 è la prima tesi congiunta tra i due enti.

4. Il rapporto con il Conservatorio di Torino e con il DAMS di UNITO

L'insegnamento della musica elettronica al Conservatorio "Giuseppe Verdi" di Torino vanta una lunga e blasonata tradizione, che ebbe origine grazie al lavoro del compositore Enore Zaffiri (Torino, 1928)¹⁵. Diplomato a Torino nel 1953, Zaffiri divenne presto docente di Cultura Musicale Generale nel medesimo conservatorio. Dopo l'inaugurazione dello Studio di Fonologia Musicale di Milano (da parte di Berio e Maderna), Zaffiri iniziò a interessarsi di musica elettronica. Nel 1964 fondò lo Studio di Musica Elettronica di Torino (SMET), che nel 1968 divenne parte del Conservatorio di Torino, nel quale Zaffiri continuò a operare fino alla metà degli anni '90.

La sigla SMET è tuttora utilizzata per indicare proprio la Scuola di Musica Elettronica di Torino, diretta, da dieci anni a questa parte, da Stefano Bassanese, compositore veneziano, già allievo di Luigi Nono. Trasferitosi a Torino nel 2010 dal Conservatorio di Cuneo, dove aveva insegnato nel precedente decennio, Bassanese decise di impegnarsi a rilanciare la SMET che, negli anni successivi al pensionamento di Zaffiri, aveva conosciuto un grave declino. Il primo contatto fra Stefano Bassanese e Marco Masoero avvenne grazie alla comune conoscenza di Andrea Valle, semiologo e informatico musicale, nonché docente nel corso di laurea in DAMS (Discipline artistiche, musicali e dello spettacolo) dell'Università di Torino: da questo iniziale contatto è nata una proficua collaborazione fra le tre istituzioni, che è andata via via consolidandosi negli anni.

Nel 2016 la collaborazione fra Politecnico e Conservatorio "Giuseppe Verdi" è stata formalizzata con un accordo quadro di ampia portata. Studenti del Conservatorio seguono da diversi anni parti dell'insegnamento di *Ingegneria del Suono* tenuto da Marco Masoero. Gli studenti di *Ingegneria*

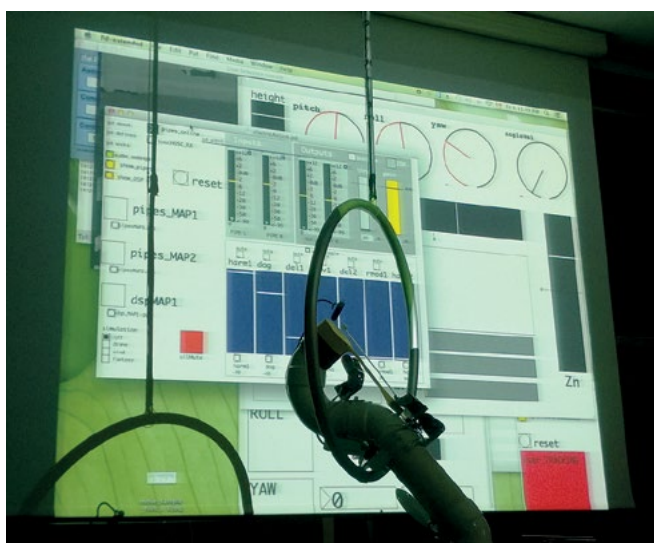
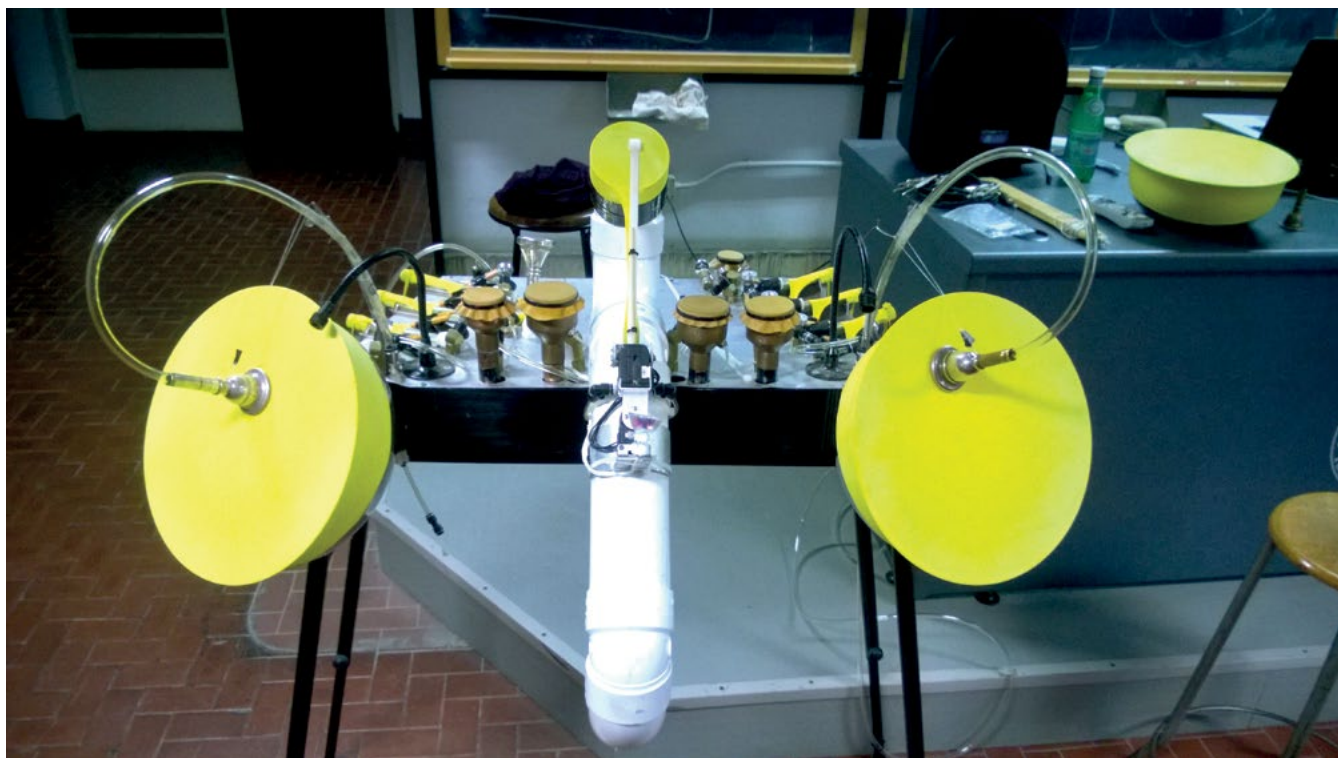


Figura 3. Gli strumenti ideati e costruiti da Jean-François Laporte, ripresi e analizzati al Politecnico di Torino durante il workshop didattico del giugno 2015 (foto Louena Shtrepi).

del Cinema e di Ingegneria Informatica possono inserire nel carico didattico, quali crediti liberi, insegnamenti offerti dalla SMET (docenti Stefano Bassanese, Andrea Agostini, Domenico Sciajno e Renato Campajola), che toccano argomenti quali la Storia ed estetica della musica elettroacustica, la Teoria e tecnica del segnale audio digitale, i Processi musicali automatici e interattivi, il *Sound and sonic interaction design*, le Tecniche di registrazione e postproduzione audio. Analogamente, può essere seguito dagli studenti del Politecnico presso UNITO il corso in Semiotica dei media, tenuto da Andrea Valle. Numerosi sono stati inoltre, negli ultimi anni, i progetti di tesi seguiti congiuntamente da docenti delle tre istituzioni¹⁶.

Un'iniziativa didattica congiunta di particolare interesse è stato il workshop del giugno 2015, rivolto agli studenti di Ingegneria del Cinema e della SMET, che è stato condotto al Politecnico dal compositore, inventore e artista visuale canadese Jean-François Laporte (Montreal, 1968). Laporte ha sviluppato un'esperienza personale e artistica che è un ottimo esempio di interazione "virtuosa" fra tecnologia e arte. Cresciuto in una famiglia di costruttori edili, il giovane Jean-François fu attratto dai suoni prodotti dal vento che interagisce con le strutture permeabili dell'involucro edilizio. Di qui l'idea di costruire un'articolata serie di strumenti elettroacustici, in cui il suono è generato da oggetti fisici (tubi, membrane sottili tese ecc.), messi in vibrazione da flussi di aria compressa controllati dall'esecutore, e successivamente rilevati e manipolati elettronicamente. I dispositivi sonori realizzati da Laporte sono affascinanti macchine musicali, in cui l'aspetto visivo conta tanto quanto quello acustico. Nel workshop del 2015, Laporte ha illustrato agli studenti l'estetica e la tecnica del suo approccio alla composizione e all'esecuzione, la notazione utilizzata per le partiture, gli aspetti costruttivi e di controllo delle apparecchiature utilizzate. Durante il workshop gli studenti hanno registrato e analizzato, con strumentazione scientifica, i suoni prodotti, evidenziandone le caratteristiche nel dominio del tempo e della

frequenza (Figura 3). Al termine del workshop, Laporte si è esibito, insieme agli studenti della SMET, in un evento pubblico organizzato nell'ambito di INTETAIN 2015, *7th International Conference on Intelligent Technologies for Interactive Entertainment*.

Il Politecnico ha ospitato numerosi eventi (concerti e conferenze) con il coinvolgimento di docenti e studenti della SMET, nell'ambito sia di Polincontri Classica, sia di altre manifestazioni, fra cui il Festival della Tecnologia di novembre 2019, oltre al già citato congresso INTETAIN 2015. Questi i principali (Figura 4):

- Conferenza concerto del 16 maggio 2016. Musica (e)lettronica: Apollo e Marsia. Sfide sonore tra storia, tecnica e immaginazione, con Stefano Bassanese, Marco Masoero e Andrea Valle; interventi musicali di studenti della SMET;
- Concerto del 30 gennaio 2017. Rainforest IV (1973). Installazione concertante di D. Tudor. Stefano Bassanese (supervisione musicale) e studenti della SMET;
- Concerto del 16 maggio 2017. Electro Waves. Capturing Brain Sounds. Composizioni di A. Lucier e D. Sciajno eseguite da Domenico Sciajno;
- Concerto del 21 maggio 2018. Acustica (1972). Composizione di M. Kagel per generatori sonori sperimentali e altoparlanti. Stefano Bassanese (regia del suono) e studenti della SMET, con la partecipazione di Stefano Cicerone (trombone);
- Concerto dell'8 novembre 2019. Gentle Fire (1971) e The Queen of the South (1972). Composizioni audio-visive di A. Lucier. Stefano Bassanese (supervisione musicale) e studenti della SMET.

Fra le iniziative che hanno visto lavorare insieme le due istituzioni, riveste particolare interesse l'installazione multimediale Web Wall Whispers, sviluppata nel periodo 2016-2018 presso il Primo Liceo Artistico Statale di Torino nell'ambito del progetto Segni per la Speranza, promosso e sostenuto dalla Fondazione Spinola Banna per l'Arte¹⁷. Segni per



Figura 4. Le locandine di alcuni concerti di Polincontri Classica con la partecipazione della SMET.

la Speranza è un'opera multimodale che declina differenti forme d'arte (visiva, sonora e web); l'opera è inserita in un programma rivolto alla riqualificazione delle periferie urbane, promosso dalla Direzione Generale Arte e Architettura contemporanea Periferie urbane del MIBACT. Oggetto dell'intervento è la palestra del Primo Liceo Artistico, un tradizionale capannone industriale realizzato con strutture prefabbricate in calcestruzzo. L'opera è un imponente murale, che occupa l'intera facciata della palestra, concepito dall'artista Giuseppe Caccavale (Afragola, 1960) e dal compositore Stefano Gervasoni (Bergamo, 1962). Il murale è stato realizzato con l'intervento di Thimotée Chalatzonitis e Clément Vallette, collaboratori di Caccavale, e di 50 studenti del Primo Liceo Artistico di Torino nella cornice del programma Alternanza Scuola Lavoro.

La fruizione dell'opera è accompagnata dall'installazione sonora Web Wall Whispers (WWW). WWW è un'installazione sonora, accessibile via internet, che genera una composizione sonora interattiva unica a ogni accesso. L'installazione è stata progettata da Stefano Gervasoni e da Marco Liuni, ricercatore dell'IRCAM (Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique) di Parigi. Al progetto hanno contribuito, per la realizzazione di informatica musicale, il Conservatorio di Torino (Andrea Agostini, Luca Morino e Federico Primavera, rispettivamente docente, il primo, e studenti della SMET gli altri due) e, per la realizzazione web, il Politecnico di Torino (Antonio Servetti, docente di Elaborazione dell'Audio Digitale, e Francesco Cretti, laureato magistrale

in Ingegneria del Cinema). La Figura 5 riporta alcune immagini del progetto.

Forse l'esperienza più pregnante di collaborazione è stato il progetto che ha condotto alla realizzazione della Control Room del Conservatorio di Torino (Figura 6a), una regia di livello professionale, utilizzata sia per scopi didattici, sia per la registrazione e postproduzione di eventi musicali tenuti presso la sala da concerti del Conservatorio, unanimemente considerata una delle migliori della città.

Cogliendo l'occasione dei lavori di rimodernamento e adeguamento normativo-funzionali degli spazi didattici del Conservatorio, si è deciso di destinare uno spazio inutilizzato, sito al piano interrato, per situarvi la regia stereo multicanale 5+2, con annesso locale tecnico che ospita le apparecchiature ausiliarie a servizio della regia. Il progetto, la cui supervisione è stata curata da Stefano Bassanese e Marco Masoero con il supporto di Carlo Barbagallo (musicista e tecnico del suono, ex allievo SMET), ha coinvolto i seguenti professionisti: Consuelo Orza (Sintecna Srl) e Alessia Griginis (Onleco Srl), rispettivamente per gli aspetti architettonico-strutturali e acustici, hanno seguito l'integrazione e l'esecuzione dell'intervento della Control Room nel contesto dei lavori complessivi di ristrutturazione dello stabile; Marco Fringuellino ha curato la progettazione e D.L. del trattamento acustico del locale; Renato Campajola ha fornito consulenza per la scelta delle dotazioni elettroacustiche di studio (mixer, outboard, cablaggi, protocolli di trasmissione dati ecc.). La Control Room è operativa dall'inizio del 2019, con risultati pienamente allineati alle attese. Citiamo

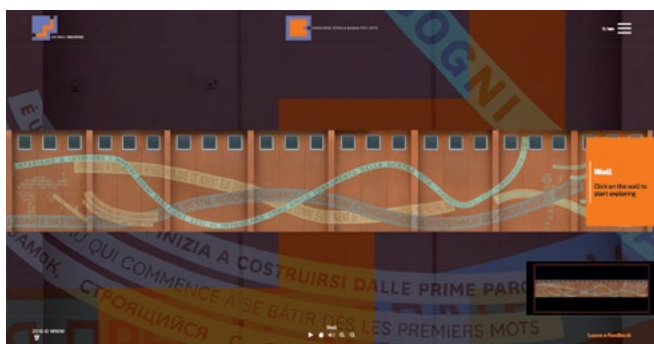


Figura 5. Alcune immagini del progetto Segni per la Speranza. In alto, la palestra del Primo Liceo Artistico di Torino prima e dopo l'intervento; in basso, due videate dell'applicazione sonora interattiva WWW (foto Francesco Cretti e sito del progetto).



Figura 6a (a sinistra). La Control Room del Conservatorio: in primo piano la console Solid State Logic AWS948; sullo sfondo, tre delle casse amplificate Genelec parte del sistema di diffusione audio 5+2 (foto Conservatorio Giuseppe Verdi di Torino).

Fig. 6b (a destra). 11 dicembre 2018: messa a punto e taratura dell'impianto. Da sinistra, Jarno Masko, Marco Fringuellino, Marco Masoero, Renato Campajola e Carlo Barbagallo; in primo piano, alla console, Thomas Lund (foto Conservatorio Giuseppe Verdi di Torino).

un episodio che evidenzia la rilevanza di questo progetto. Terminati i lavori, nell'autunno 2018 venne chiesta alla Genelec, l'azienda che ha fornito gli apparati di diffusione acustica della Control Room, assistenza nella messa a punto e taratura dell'impianto: in risposta alla richiesta, Genelec fece venire a Torino, rispettivamente dalla Danimarca e dalla Finlandia, due fra i loro più noti ed esperti tecnici, Thomas Lund e Jarno Masko (Figura 6b).

5. Alcune attività di ricerca del DENERG

Presso il Dipartimento Energia (DENERG) del Politecnico di Torino è attivo da molti anni il gruppo di ricerca in Acustica Applicata, inserito in un più ampio insieme di docenti e ricercatori noto come Gruppo Tebe¹⁸. Nel gruppo di Acustica Applicata sono confluite esperienze sviluppate in precedenza in svariati ambiti tipici dell'ingegneria e dell'architettura, principalmente gli studi di impatto ambientale di grandi infrastrutture di trasporto e impianti energetici, oltre che la ricerca e consulenza sull'acustica edilizia e

architettonica. Il gruppo conta attualmente tre docenti strutturati (in ordine di anzianità, Marco Masoero, Arianna Astolfi e Louena Shtrepi) e un numero variabile di assegnisti e Post-doc, dottorandi e borsisti. Le attività di ricerca del gruppo abbracciano temi molto differenziati, quali gli studi sulla voce e l'intelligibilità del parlato, l'acustica delle aule scolastiche e degli uffici open-space, i soundscape urbani, le proprietà acustiche dei materiali, la qualità audio degli apparecchi TV, l'acustica dei teatri antichi ecc. Il gruppo ha realizzato importanti attrezzature di laboratorio: la camera anecoica, la camera riverberante in scala 1:5 e l'Audio Space Lab, un'ambiente di ascolto audio 3-D con tecnica Ambisonics, attualmente in fase di completamento (Figura 7). Una recente foto di gruppo, scattata nella già citata camera anecoica è presentata in Figura 8.

Dal 2019 il gruppo di Acustica Applicata fornisce supporto scientifico per l'organizzazione del workshop Villa Pennisi in Musica¹⁹, nato dal 2012 sotto la guida del prof. Sergio Pone (Università Federico II) e di David Romano

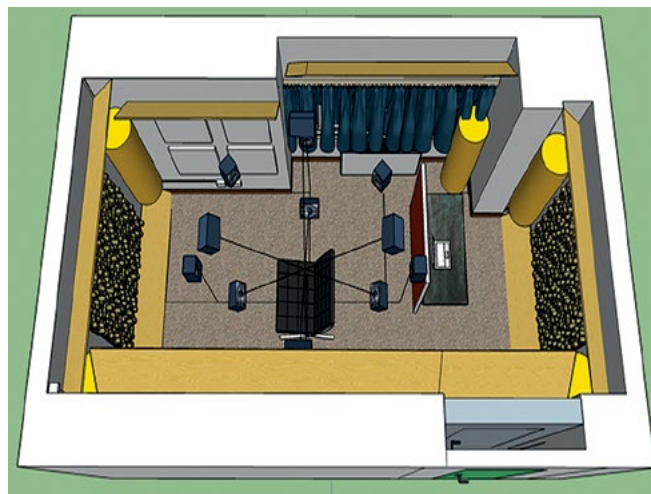
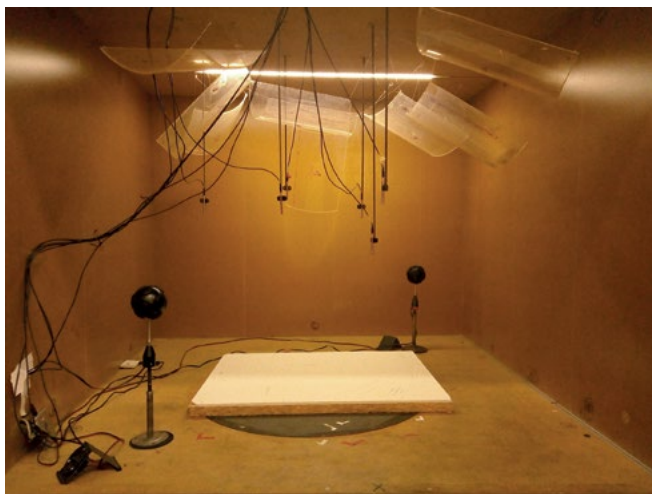


Figura 7. Camera riverberante a scala 1:5 (a sinistra, foto Louena Shtrepi) e render dell'Audio Space Lab.



Figura 8. Alcuni componenti del gruppo di Acustica Applicata ritratti nella camera anecoica del DENERG; da sinistra, Giulia Calosso, Federico Casassa, Antonella Castellana, Alessio Carullo, Rocco Costantino, Marco Masoero, Arianna Astolfi, Elena Bo, Giuseppina Puglisi e Louena Shtrepi (foto: Simona Rizzo).

(presidente di MAR-Musica, Arte, Ricerca). Il workshop si svolge ogni anno (indicativamente dall'1 al 14 agosto) in un ambiente multidisciplinare con focus diversi: architettura e acustica (Arch Lab), Musica (Music Lab) e Fotografia (Photo Lab).

Il workshop si articola in due fasi principali: nella prima, gli studenti sono chiamati a costruire una conchiglia acustica nel giardino di Villa Pennisi (Acireale, CT) volta a ospitare

spettacoli gratuiti di musica classica. Successivamente, sulla base di tali eventi e dell'interazione con i musicisti, gli studenti intraprendono delle azioni per migliorare la performance acustica della struttura.

L'ambiente dinamico e l'unione tra diverse competenze hanno fatto sì che il workshop accogliesse negli anni anche studenti del Politecnico di Torino specializzati in varie discipline, tra cui Architettura, Ingegneria Edile e Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione.

Negli ultimi due anni il gruppo di Acustica ha avviato inoltre alcune collaborazioni con artisti e performer. Fra questi, citiamo la collaborazione con il celebre artista Alfredo Pirri, in occasione della mostra personale *Motore* che si è svolta da ottobre 2019 a febbraio 2020 a Torre Pellice presso Tucci Russo Studio di Arte Contemporanea. La mostra prende il nome da una nuova versione dell'installazione *Passi*, già realizzata in passato da Pirri in spazi pubblici e museali e proposta, per la prima volta, in una galleria d'arte. *Passi* consiste nel ricoprire il pavimento di un ambiente con sottili lastre quadrate di vetro specchiante, appoggiate su uno strato di materiale elastico. Il visitatore, passeggiando nell'ambiente, frantuma le lastre, creando una mutevole percezione sia dell'immagine riflessa dagli specchi, sia del paesaggio sonoro generato dalla passeggiata.

D'accordo con l'artista, è stata eseguita una serie di misure di caratterizzazione della risposta acustica, sia della sala che ospita l'installazione, sia dei vasti ambienti della galleria

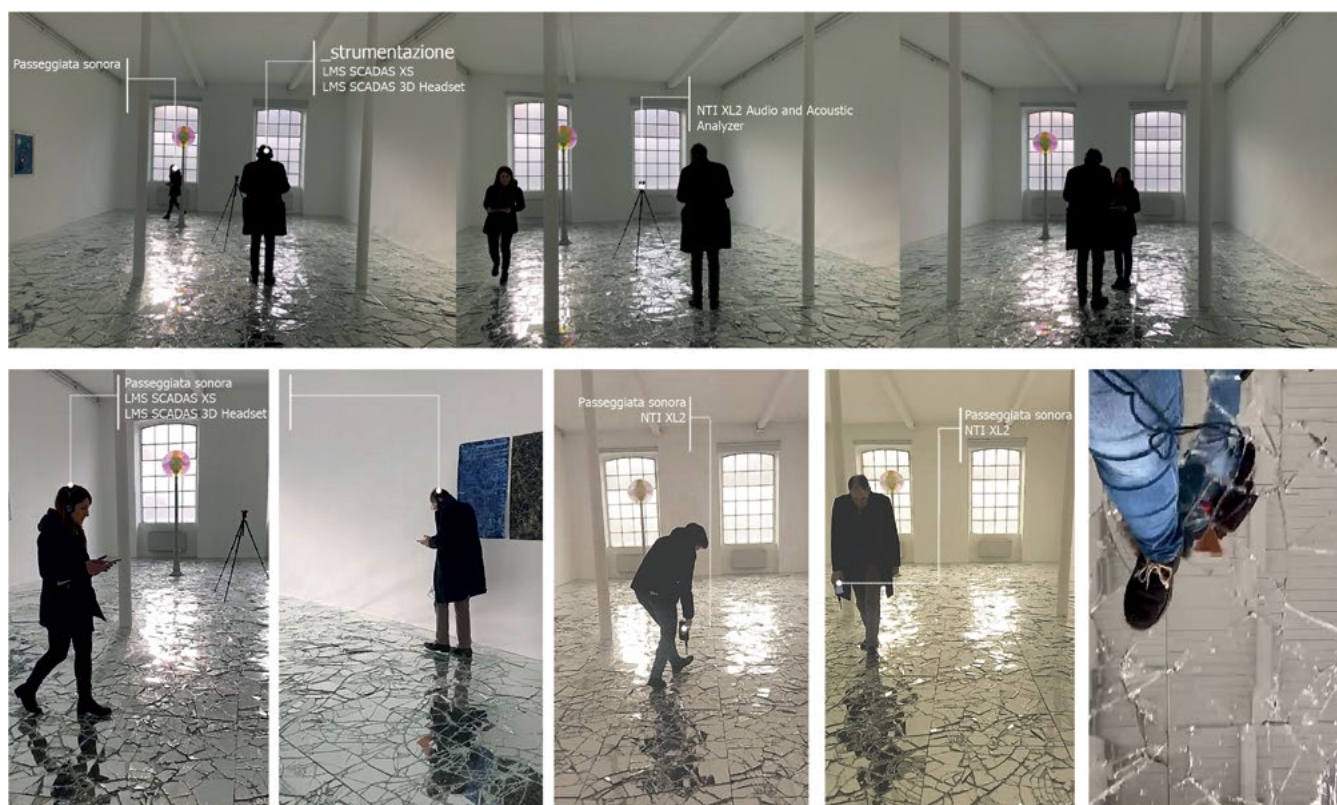


Figura 9. Registrazione binaurale delle passeggiate nell'installazione *Passi* di Alfredo Pirri. Immagini riprese a febbraio 2020 nella galleria Tucci Russo Studio di Arte Contemporanea, Torre Pellice (TO) (foto Louena Shtrepi e Giuseppina Puglisi).

d'arte, adiacenti all'installazione. Successivamente sono state eseguite registrazioni binaurali delle passeggiate, utilizzando un registratore digitale LMS SCADAS XS collegato a cuffie 3D dotate di microfoni esterni: la registrazione acquisita, quando riascoltata in cuffia, restituisce in modo estremamente fedele la percezione tridimensionale dei suoni prodotti dalla frantumazione delle lastre, filtrate dalla riverberazione dello spazio fisico (Figura 9).

6. Alcune attività di ricerca del DET

Le esperienze legate alla pandemia COVID19 e alle contromisure messe in atto per mitigarne la propagazione hanno evidenziato la necessità di supportare la didattica da remoto anche in ambito musicale. In questo contesto si innesta l'attività di ricerca focalizzata su Networked Music Performance (NMP), avente l'obiettivo di rivoluzionare il concetto tradizionale di interazione musicale consentendo a musicisti dislocati in diverse località geografiche di suonare insieme in tempo reale trasmettendo il segnale audio attraverso la rete Internet. Esso include un'ampia gamma di applicazioni quali tele-audizioni, lezioni e prove di musica a distanza, jam session distribuite e concerti.

Tuttavia, garantire condizioni confrontabili a quelle delle interazioni in presenza costituisce una sfida ingegneristica significativa a causa dei requisiti estremamente rigidi in termini di qualità audio e, soprattutto, di ritardo di rete. Quando un segnale audio viene trasmesso da una sorgente a una destinazione attraverso Internet, i dati audio vengono infatti suddivisi in pacchetti. La consegna dei pacchetti alla destinazione è soggetta a un inevitabile ritardo, dovuto alla trasmissione e alla propagazione su fibre ottiche, cavi o via radio. Tale ritardo è fortemente variabile a causa di molti fattori imprevedibili come il traffico e l'elaborazione sui nodi della rete. I ritardi indotti dalla rete si sommano al tempo di elaborazione richiesto ai terminali degli utenti, quando si acquisiscono o si riproducono dati audio. Inoltre, alcuni pacchetti potrebbero essere persi a causa della congestione in rete, con conseguente perdita di porzioni di dati audio alla destinazione.

Secondo diversi studi²⁰, ritardi e perdite possono avere un effetto dirompente per la qualità dell'audio percepito. La soglia

di tolleranza del ritardo è stimata attorno ai 20-30 ms, corrispondente al tempo necessario al segnale audio per propagarsi in spazio libero coprendo una distanza di 9-10 m, la quale è considerata la massima separazione fisica che garantisca il mantenimento di un tempo stabile da parte di tutti i membri di un ensemble musicale in assenza di un direttore d'orchestra. Pertanto, sia dal punto di vista dell'applicazione software per NMP che dal punto di vista della rete, devono essere soddisfatti requisiti molto stringenti per mantenere il ritardo percepito al di sotto di alcune decine di millisecondi.

Inoltre, sebbene siano già state messe a punto diverse tecniche di correzione per integrare i dati audio mancanti, i ritardi di elaborazione da esse introdotti, spesso non trascurabili, contrastano con i requisiti di basso ritardo tipici dell'NMP. Pertanto, Cristina Rottondi e alcuni ricercatori del Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni del Politecnico di Torino, in collaborazione con colleghi del Dipartimento di Elettronica, Telecomunicazioni e Bioingegneria del Politecnico di Milano (Augusto Sarti e Alessandro Ilic Mezza) e del Center for Computer Research in Music and Acoustics (CCRMA) dell'università di Stanford (Chris Chafé e Prateek Verma), stanno studiando tecniche di apprendimento automatico (machine learning) specificamente dedicate alle applicazioni NMP come misure compensative per le perdite di pacchetti. Gli algoritmi di previsione dell'apprendimento automatico sono ideali per questa applicazione perché possono generare segnali audio in tempo reale per recuperare pacchetti audio persi o ritardati, al fine di mantenere la coerenza musicale in termini di timbro, ritmo, melodia e contenuto armonico. Alcuni risultati preliminari ottenuti su delle tracce audio di un violoncello si sono rivelati molto promettenti nel ricostruire frammenti di segnale mancanti, utilizzando una rete neurale appositamente addestrata.

7. Alcune attività di ricerca del DAUIN

Presso il Dipartimento di Automatica ed Informatica è attivo il gruppo di ricerca Internet Media Group²¹, nato nel 2000 dall'idea dei proff. Angelo Raffaele Meo e Juan Carlos De Martin. Le attività di ricerca di interesse del gruppo



Figura 10. Il workshop di Arduino Disability Orchestra al Politecnico di Torino con Paolo Cavagnolo (a sinistra). Il B-Glove di Sebastiano Franchina (al centro). Riccardo Turino e uno dei componenti del gruppo musicale "Tra silenzio e baccano" (a destra) (foto dalla pagina Facebook del gruppo).

riguardano principalmente le tecnologie digitali per l'elaborazione e la trasmissione dei dati multimediali su reti di comunicazione. Collaborazioni con ST Microelectronics, Telecom Italia e Cedeo, azienda fondata da Leonardo Chiariglione, hanno riguardato tecniche adattative per il ripristino delle perdite di rete nelle comunicazioni audio digitali, miglioramento dell'efficienza di codifica per il codificatore audio MP3 e analisi delle prestazioni dei codec video MPEG.

Recentemente, in seguito all'introduzione del supporto per i codec multimediali nello standard HTML5, molte delle attività di ricerca del gruppo riguardano lo streaming multimediale in ambiente Web, dove i proff. Enrico Masala e Antonio Servetti seguono in modo particolare l'ambito della valutazione oggettiva della qualità video e dello streaming in tempo reale a bassissima latenza.

In ambito musicale, l'interesse a coniugare tecnologia e arte si è concretizzato, insieme agli studenti del Corso di Laurea in Ingegneria del Cinema, soprattutto nello studio di sistemi digitali embedded per la produzione sonora. Varie tesi hanno affrontato il tema dell'innovazione attraverso l'ideazione di nuovi strumenti musicali digitali²², ma è stato soprattutto il progetto studentesco "Arduino Disability Orchestra" (ADO), finanziato dal Politecnico di Torino nelle due edizioni del 2015 e del 2017, ad aver coinvolto numerosi studenti. Il progetto ha riguardato la realizzazione di strumenti elettronici digitali orientati all'utilizzo da parte di persone con disabilità, quindi dall'interazione semplificata e dall'ergonomia ripensata per adattarsi alle capacità motorie dei singoli soggetti²³. In questo contesto ha riscosso particolare interesse il lavoro di tesi di Sebastiano Franchina denominato *B-Glove: a wireless MIDI instrument for disability. Overcoming communicative barriers: an application of the Globality of languages* che è stato utilizzato dai ragazzi dell'orchestra "Tra silenzio e baccano: musica nella disabilità" di Chieri diretta da Riccardo Turino con la supervisione tecnica di Paolo Cavagnolo (Figura 10).

Note

¹ Non rientrano nella categoria degli elettrofoni gli strumenti acustici amplificati, in cui il suono è generato da una sorgente "fisica" come, ad esempio, la corda vibrante di una chitarra elettrica.

² Per una trattazione sintetica sull'evoluzione storica della musica elettroacustica e sulle tecniche di sintesi del suono si veda il manuale S. Cingolani, S. Spagnolo (a cura di), *Acustica musicale e architettonica*, Utet, Torino 2005, in particolare il Capitolo 12, *Musica Elettronica*, di M. Lupone e il Capitolo 10, *Modelli fisici e strumenti musicali*, di L. Seno.

³ La complessa e articolata storia dei vari metodi di temperamento delle scale musicali, da Pitagora fino al temperamento equabile normalmente utilizzato nella musica occidentale, è trattata in numerosi testi di ambito sia musicologico, sia tecnico-scientifico. Si veda ad esempio il Capitolo 2, *Consonanze, scale e temperamenti*, di P. Barbieri in S. Cingolani, S. Spagnolo (a cura di), *Acustica musicale e architettonica*, cit.

⁴ Per una lettura scorrevole, ancorché rigorosa, del rapporto fra matematica, fisica e musica consigliamo il testo di Ely

Maor, *Music by the Numbers – From Pythagoras to Schoenberg*, Princeton University Press, Princeton 2018. Il tema è trattato in S. Cingolani, S. Spagnolo (a cura di), *Acustica musicale e architettonica*, cit. al Capitolo 1, *Introduzione storica all'acustica musicale*, di S. Cingolani.

⁵ Un resoconto dettagliato e completo dei primi vent'anni di Polincontri Classica è contenuto in Cynthia Burzi (a cura di), *Vent'anni di musica – concerti e conferenze musicali al Politecnico di Torino*, Edizioni Polincontri, Torino 2013.

⁶ L'episodio è citato da Guido Rizzi nell'articolo *Breve storia della nuova Aula Magna e di Polincontri Classica*, contenuto in Cynthia Burzi (a cura di), *Vent'anni di musica...* cit.

⁷ La programmazione della stagione di Polincontri Classica è curata dal comitato organizzatore, costituito attualmente da Emma Angelini, Luisella Caire, Jorge Cordovez, Laura Farinetti, Marco Masoero (direttore artistico) e Guido Rizzi.

⁸ Le conversazioni di Policlick sono disponibili online al link: <https://www.youtube.com/user/PolincontriClassica>.

⁹ Maggiori informazioni sull'attività del coro PoliEtnico sono reperibili al link: <https://areweb.polito.it/coro/>.

¹⁰ Un'accurata e appassionata disamina della concezione, progetto, realizzazione e gestione del nuovo museo è contenuta in Mario Ricciardi, *Il museo dei miracoli. Il museo come opera d'arte e invenzione tecnologica tra cultura e impresa, comunicazione e politica*, Apogeo, Milano 2008.

¹¹ «Film Commission Torino Piemonte (FCTP) è una Fondazione senza fini di lucro, voluta e sostenuta finanziariamente dalla Città di Torino e dalla Regione Piemonte, che ne sono i soci fondatori. Operativa da settembre 2000, ha come scopo la promozione della Regione Piemonte e del suo capoluogo Torino come location e luogo di lavoro d'eccellenza per la produzione cinematografica, televisiva e audiovisiva, attraverso l'attrazione sul territorio di produzioni italiane ed estere, e nello stesso tempo il sostegno all'industria locale, creando costantemente opportunità di lavoro per chi opera nel settore», in https://www.fctp.it/info_fctp.php.

¹² VRMMP nasce come centro di formazione a gestione pubblica e struttura di produzione audio-video, a gestione privata, dotata di impressionanti infrastrutture, fra cui una vasca per riprese subacquee fra le più grandi al mondo. Purtroppo VRMMP non è riuscito a sopravvivere: chiuse le attività di formazione, la società è stata messa in liquidazione e le infrastrutture cedute o messe a disposizione di altri soggetti (fra cui RAI).

¹³ «Il corso di laurea in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione, unico nel panorama italiano ed europeo, mette insieme le competenze tecnologico-applicative, tipiche dell'Ingegneria, con aspetti legati al mondo della comunicazione e delle industrie culturali. L'obiettivo è la formazione di un professionista che sappia operare nell'area dei media rispondendo alle sfide di innovazione che caratterizzano le imprese e i nuovi contesti di produzione digitale. La preparazione dei laureati è di tipo multidisciplinare: conoscenze derivate dal mondo delle scienze sociali, dei media, del cinema e del marketing trovano diretta applicazione e possibilità di sperimentazione grazie all'apprendimento degli strumenti tipici dell'ingegneria dell'informazione: linguaggi di programmazione, computer graphic, modellazione 3D, sound design. L'offerta didattica affronta il tema della comunicazione nei suoi diversi aspetti: dai linguaggi al contesto socio-economico, dalle problematiche d'impresa alle infrastrutture tecnologiche, ai format in campo mediale e cinematografico, alle tecniche di analisi degli utenti», in https://didattica.polito.it/laurea/ingegneria_cinema/it/presentazione.

¹⁴ Fra le più interessanti tesi di laurea magistrale in Ingegneria del Cinema riguardanti acustica e suono citiamo le seguenti: Irene Di Pietra, *Progettazione di una conchiglia acustica per il coro del Politecnico*, relatori Marco Masoero, Arianna Astolfi, Louena Shtrepi, Politecnico di Torino, a.a. 2018-2019; Francesca Latorella, *Validazione delle misure dell'assorbimento acustico in base alla ISO-354 in una camera riverberante in scala*, relatori Marco Masoero, Louena Shtrepi, Politecnico di Torino, a.a. 2018-2019; Maria Costanza Bellini, *Aspetti geometrici nella valutazione del coefficiente di scattering con simulazioni basate sul metodo BEM*, relatori: Arianna Astolfi, Marco Masoero, Louena Shtrepi, Politecnico di Torino, a.a. 2013-2014; Fiorella Santopietro, *Studio degli elementi fonodiffondenti nelle sale da spettacolo e indagine degli effetti della loro collocazione spaziale sul grado di diffusività del campo sonoro simulato*, relatori: Arianna Astolfi, Marco Masoero, Louena Shtrepi, Politecnico di Torino, a.a. 2012-2013.

¹⁵ Le brevi note che seguono sono tratte dalla biografia di Enore Zaffiri presente su Wikipedia https://it.wikipedia.org/wiki/Enore_Zaffiri.

¹⁶ Le principali tesi svolte in collaborazione con le varie istituzioni sono le seguenti: Mattia Schirosa, *Un modello per la generazione dinamica di paesaggi sonori*, relatori Marco Masoero e Andrea Valle, Politecnico di Torino, a.a. 2008-2009 (con caso studio applicativo il soundscape del Mercato di Porta Palazzo); Corrado Scanavino, *A perceptually grounded sound analysis. An application for Orchestra Meccanica Marinetti*, relatore: Marco Masoero, Politecnico di Torino, a.a. 2008-2009; Nicolò Zilocchi, *Singing Plants. Studio preliminare improntato alla realizzazione di una performance sonora immersiva che comprenda l'utilizzo di sintetizzatori basati*

sui bio-feedback di vegetali, relatori Marco Masoero e Domenico Sciajno, Politecnico di Torino, a.a. 2019-2020.

¹⁷ Maggiori informazioni sul progetto e sui soggetti coinvolti sono reperibili ai seguenti link: <https://www.fondazione-spinola-bannaperlarte.com/progetto/segni-per-la-speranza/>; <https://www.webwallwhispers.net/>; <https://www.ircam.fr/>.

¹⁸ <http://www.tebe.polito.it>.

¹⁹ <https://www.vpmsica.com/arch-lab>.

²⁰ Si vedano in particolare gli studi di A. Carôt, C. Werner, *Fundamentals and principles of musical telepresence*, in «Journal of Science and Technology of the Arts», vol. 1, no. 1, 2009, pp. 26-37, e di C. Rottondi, M. Buccoli, M. Zanoni, D. Garao, G. Verticale, A. Sarti, *Feature-based analysis of the effects of packet delay on networked musical interactions*, in «Journal of the Audio Engineering Society», vol. 63, no. 11, 2015, pp. 864-875.

²¹ <https://media.polito.it>.

²² Le principali tesi svolte nell'ambito degli strumenti musicali digitali sono state: Carlo Massarelli, *E-Zampogne. Analisi delle zampogne italiane e sviluppo di uno strumento musicale elettronico che ne recupera le caratteristiche*, relatori Juan Carlos De Martin, Antonio Servetti, Andrea Valle, Politecnico di Torino, a.a. 2009-2010; Sebastiano Franchina, *B-Glove: a wireless MIDI instrument for disability. Overcoming communicative barriers: an application of the Globality of languages*, relatore Antonio Servetti, Politecnico di Torino, a.a. 2017-2018, Francesco Fogliano, *NEMI: New Ergonomic Music Instrument. A bridge between the Human-Centred Design and Digital Music Instrument*, relatori Antonio Servetti, Tiago Tavares, Politecnico di Torino, a.a. 2019-2020.

²³ <https://ado-arduinodisabilityorchestra.github.io/ado-timeline>.