

UNA TASSONOMIA MULTIDIMENSIONALE DELLE APPLICAZIONI PER L'EDUCAZIONE MUSICALE

Marcella Mandanici

Conservatorio "L. Marenzio", Brescia
marcella.mandanici@consbs.it

Simone Spagnol

Università Iuav di Venezia
sspagnol@iuav.it

Federico Avanzini, Adriano Baratè, Luca Andrea Ludovico

Università degli Studi di Milano
federico.avanzini@di.unimi.it

ABSTRACT

Negli ultimi settant'anni molti sono stati i cambiamenti che si sono susseguiti nella pratica dell'educazione musicale, coinvolgendo vari aspetti quali i curricula educativi, le tecnologie disponibili e le strategie di insegnamento. Al fine di delineare un quadro completo di tale evoluzione, questo articolo presenta un database di pubblicazioni scientifiche nel campo dell'educazione musicale che utilizzino uno o più strumenti tecnologici. Basandosi su strumenti per l'analisi e l'organizzazione dei vari contributi, si propone una tassonomia multidimensionale quale strumento utile per la ricerca e la valutazione di applicazioni relative all'educazione musicale. Inoltre, viene presentata una piattaforma web per la consultazione del database e l'analisi delle dimensioni della tassonomia, accessibile all'URL <http://techmusicedu.lim.di.unimi.it>.

1. INTRODUZIONE

Gli ultimi settant'anni hanno visto importanti cambiamenti tecnologici nella fruizione e nella creazione della musica. La disponibilità di editor musicali e di workstation audio digitali (DAW) dove visualizzare dati audio e MIDI ha offerto la possibilità di produrre musica a categorie di utenti prima completamente escluse da tali attività. Fra questi i bambini e gli studenti delle scuole primarie e secondarie hanno potuto finalmente avvicinarsi alla musica rompendo le barriere legate alla conoscenza della notazione musicale. Inoltre, la diffusione del World Wide Web e delle reti cellulari hanno reso possibile l'ascolto della musica e lo svolgimento di pratiche musicali in qualsiasi momento e luogo, favorendo la condivisione e le pratiche collaborative.

Questi due soli esempi danno un'idea dell'impatto che la tecnologia digitale ha avuto, oltre che sull'industria e sulla cultura musicale, anche sull'educazione musicale. Anche se è probabilmente presto per valutare l'impatto della recente crisi sanitaria conseguente all'epidemia di Covid-19 sulle tecnologie per l'educazione in generale e sull'educazione musicale in particolare, le tecnologie musicali

hanno senza ombra di dubbio ottenuto durante gli ultimi due anni un'attenzione particolare da parte di insegnanti, studenti e operatori educativi grazie anche alle possibilità offerte dalla didattica a distanza. Tuttavia, anche se la ricerca sui materiali digitali è andata velocemente evolvendo, essa si è sviluppata in maniera asimmetrica rispetto alle pratiche educative che, per varie ragioni, ancora stentano ad inserire le tecnologie informatiche nei curricula.

Partendo da queste premesse, il presente articolo si propone di presentare una tassonomia delle applicazioni e dei materiali digitali legati all'educazione musicale. Lo scopo è non solo ottenerne una panoramica aggiornata, ma anche valutare l'oggetto della nostra analisi rispetto a specifici obiettivi formativi (teorie dell'apprendimento), alle tecnologie impiegate e al tipo di attività.

Nella Sezione 2 l'articolo presenta i principi impiegati per la creazione del database di applicazioni per l'educazione musicale che ha portato alla definizione della tassonomia. I domini di cui tale tassonomia si compone vengono analizzati nella Sezione 3 insieme con i relativi esempi applicativi. Infine, la Sezione 4 presenta un'interfaccia web per esplorare il database e visualizzare grafici comparativi sfruttando le dimensioni e i nodi della tassonomia.

2. IL DATABASE

Per la creazione del database è stata condotta una vasta ricerca di pubblicazioni scientifiche riguardanti le tecnologie e i materiali digitali per l'educazione musicale. La scelta di concentrare l'attenzione esclusivamente sulle pubblicazioni scientifiche (articoli su rivista, atti di conferenze, libri, capitoli di libro e, in via eccezionale, tesi di laurea e di dottorato) è stata dettata dalla necessità di ottenere informazioni affidabili sui materiali digitali utilizzati, l'uso che se ne propone e le esperienze educative connesse.

La costruzione del database di pubblicazioni scientifiche è avvenuta seguendo diverse fasi. La prima fase ha previsto la ricerca di articoli utilizzando parole chiave generiche quali "music learning applications", "music education technology", "computer aided music education" attraverso i più popolari motori di ricerca e database di letteratura scientifica, tra cui Google Scholar, CiteseerX, ACM Digital Library, IEEE Xplore Digital Library, JSTOR e Scopus. Una volta raccolta la prima tranches di articoli, è stata effettuata una seconda ricerca basata sulla bibliografia. A

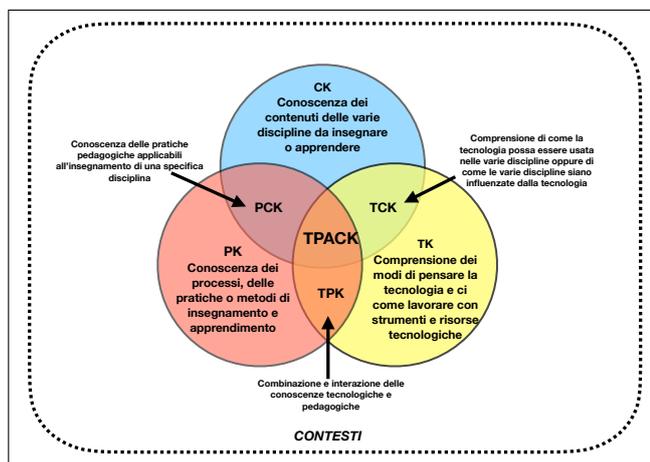


Figura 1. Schematizzazione del paradigma TPACK - Technological Pedagogical and Content Knowledge (figura adattata da <http://www.tpack.org>).

questo punto, è emersa una lista delle principali riviste dedicate ai materiali digitali per l’educazione musicale. Sono stati passati in rassegna gli archivi di tali riviste, tra cui British Journal of Educational Technology, British Journal of Music Education, Computers & Education, International Journal of Educational Research, Journal of Music, Technology and Education e Music Education Research. Inoltre, una volta definiti i nodi della tassonomia (vedi Sezione 3), è stata condotta un’ulteriore ricerca basata sulle parole chiave associate.

Infine, sono stati esclusi tutti i contributi non dedicati esplicitamente all’educazione e gli articoli scritti prima dell’anno 2000, in quest’ultimo caso per evitare di includere applicazioni o sistemi obsoleti. La raccolta, tuttora in fase di sviluppo, ammonta attualmente a un totale di 136 articoli.

3. LA TASSONOMIA MULTIDIMENSIONALE

Secondo Bauer [1], ai primordi dell’introduzione della tecnologia nelle scuole si pensava che gli insegnanti fossero in grado di trovare autonomamente il modo di integrare le potenzialità dei nuovi strumenti nei loro curricula. Molto presto, però, questo pensiero si rivelò sbagliato. L’utilizzo della tecnologia in un contesto educativo richiede, infatti, non solo la comprensione del suo funzionamento, ma anche l’abilità del docente di ricercare e interpretare le relazioni dinamiche tra tecnologia, contenuti e conoscenza pedagogica. Tali relazioni vengono visualizzate in Figura 1, che si riferisce in particolare al paradigma TPACK (*Technological Pedagogical and Content Knowledge*). Questo fu proposto da Mishra e Koehler [2] nel 2006, partendo dal precedente lavoro di Shulman [3]. Shulman rigetta l’idea che la competenza dell’insegnante debba essere costituita da due aree mutuamente esclusive, quella pedagogica e quella propria della materia insegnata (contenuto), introducendo la nozione di conoscenza pedagogica del contenuto (*Pedagogical Content Knowledge*, PCK). Mishra e Koehler aggiungono una dimensione tecnologica al paradigma di Shulman, in modo che i contenuti delle tre forme pri-

LIVELLO 1 DOMINI	LIVELLO 2 Dimensioni	LIVELLO 3 Nodi
METADATI	Materiale	Nome
	Contributo	Valutazione Presentazione Caso di studio Rassegna Pratiche
	Data	20xx
TECNOLOGICO	Applicazione	Desktop VR, AR Informatica tangibile Informatica mobile Ambienti intelligenti
	Tecnologie abilitanti (input)	Mouse e tastiera MIDI Dispositivi mobili Tangibili e indossabili Videocamera Microfono Strumenti elettrici
	Risposta del sistema	Audio Grafica Video Aptica Dati grezzi
MUSICALE	Attività	Creare Eseguire Rispondere
PEDAGOGICO	Teoria dell’apprendimento	Comportamentismo Cognitivismo Costruttivismo
	Utenti	Scuola d’infanzia, primaria Scuola secondaria Conservatorio, università Adulti, musicisti e non Non definiti
	Luogo	Classe Laboratorio Ovunque Web

Tabella 1. I tre livelli della tassonomia con i relativi domini, dimensioni e nodi.

marie di conoscenza (tecnologica – TK, pedagogica – PK, contenuto – CK) formino tre forme secondarie (PCK, TCK e TPK), nonché una conoscenza data dalla loro completa integrazione, denominata appunto TPACK.

Bauer [1] propone inoltre una tassonomia delle attività musicali, basata sui tre processi artistici denominati *creare*, *eseguire* e *rispondere*. Nonostante ogni attività musicale preveda l’inestricabile compresenza di questi tre processi, tale tassonomia prevede la categorizzazione di tutte le tipologie di attività musicali, inclusi gli aspetti tecnologici e la fruizione di materiali digitali [4]. Esplicitando un punto di vista dettagliato e completo delle tipologie di attività che compongono un curriculum musicale, tale tassonomia può rappresentare il punto di partenza per classificare le attività musicali abilitate dalla tecnologia.

D’altro canto, come evidenziato dal paradigma TPACK, le attività musicali da sole non sono sufficienti per classificare le applicazioni e i materiali digitali. Si propone, quindi, una tassonomia composta da un certo numero di dimensioni appartenenti a diversi domini [5] e organizzata in tre livelli. Il primo livello include i tre domini corrispondenti alle forme primarie di conoscenza del paradigma TPACK (TECNOLOGICO, MUSICALE, PEDAGOGICO) oltre a un dominio METADATI. Il secondo livello comprende dieci dimensioni, mentre il terzo individua tutti i nodi derivanti dall’analisi della letteratura scientifica delineata in Sezione 2. La tassonomia, schematizzata in Tabella 1, è analizzata in dettaglio nelle sezioni 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4.

3.1 Il dominio dei metadati

Il dominio dei metadati nella tassonomia proposta include le seguenti tre dimensioni:

- *Materiale* – Specifica il nome dell'applicazione, se indicato esplicitamente nella pubblicazione; in caso diverso, si assegna per convenzione un nome autoesplicativo seguito dall'etichetta "(attr.)".
- *Contributo* – Indica la tipologia di pubblicazione scientifica. I relativi nodi sono: Valutazione (descrizione dell'applicazione più risultati di test), Presentazione (solo descrizione), Caso di studio (descrizione dell'uso dell'applicazione in un determinato contesto), Rassegna (l'applicazione è descritta insieme ad altre simili), Pratiche (esperienze o metodi di insegnamento);
- *Data* – Indica l'anno di pubblicazione. Il database include solo pubblicazioni edite dall'anno 2000 in poi.

3.2 Il dominio tecnologico

Dal punto di vista dell'utente, l'aspetto tecnologico più rilevante riguarda l'interazione con il sistema alla base del funzionamento dell'applicazione; per questo motivo le dimensioni del dominio tecnologico si focalizzano su aspetti di interazione uomo-macchina (HCI). Nella loro tassonomia dei gesti nella HCI, Karam & Schraefel propongono una classificazione in quattro livelli: domini applicativi, tecnologie abilitanti, risposta del sistema e stili gestuali [6]. Tale struttura permette una definizione chiara del tipo di applicazione e delle tecnologie impiegate per veicolare i dati in ingresso e in uscita. Quindi la tassonomia di Karam & Schraefel è stata rivita sulla base delle caratteristiche specifiche delle applicazioni per l'educazione musicale, preservando in particolare i primi tre livelli. Il dominio tecnologico include, pertanto, le seguenti tre dimensioni:

- *Applicazione* – Si riferisce alla tipologia di artefatto digitale impiegato durante l'apprendimento, ovvero l'oggetto dell'azione da parte dell'utente. I nodi di questa dimensione sono:
 - Desktop – Include i software eseguibili su un personal computer, tra cui ad esempio sequenziatori, DAW ed editor audio (ad es. *Audacity*), sistemi di tutoraggio [7], giochi [8], ambienti di programmazione (ad es. *Max*);
 - Realtà virtuale (VR), Realtà aumentata (AR) – Applicazioni che mettono a disposizione un ambiente di realtà virtuale o aumentata. Esempi tipici di AR per l'educazione musicale sono quei sistemi per l'apprendimento di uno strumento musicale che sfruttano la proiezione di informazioni sullo strumento stesso [9, 10];
 - Informatica tangibile – Include i sistemi capaci di ricevere ed elaborare informazioni date dalla manipolazione di oggetti fisici o da sensori tattili o indossabili. Esempi notevoli sono *Reactable* [11] e, più recentemente, *Kibo* [12];

- Informatica mobile – Copre le applicazioni per tablet e smartphone, le quali, rispetto alle tradizionali lezioni scolastiche, permettono un apprendimento svincolato da requisiti di spazio e tempo. Tra gli esempi citiamo *JamMo*, un software per la creazione di musica pensato per i bambini [13] e le molteplici app musicali per iPad [14];
- Ambienti intelligenti – Si tratta di ambienti interattivi di larga scala in grado di rispondere a movimenti e/o gesti dell'utente, nei quali quindi l'interazione si basa sul movimento corporeo, la propriocezione e la cinestesia [15]. *Sound Maker* [16] per la creazione di musica e *Harmonic Walk* [17] per l'armonizzazione delle melodie rappresentano due esempi significativi.
- *Tecnologie abilitanti (input)* – Raggruppa le tecnologie utilizzate per immettere dati nel sistema, ad esempio audio o movimenti dell'esecutore. I nodi di questa dimensione sono:
 - Mouse e tastiera – I tradizionali dispositivi di interazione con il computer vengono utilizzati anche nel campo musicale, ad esempio per la manipolazione di elementi grafici nelle DAW e nei sequenziatori, oppure per il controllo di note e durate negli editor di partiture [18];
 - MIDI – Acronimo di Musical Instrument Digital Interface, è il protocollo standard per l'interazione tra e con gli strumenti musicali elettronici. In un contesto educativo, i dati prodotti dai dispositivi MIDI possono essere usati come input per i software di notazione musicale [19], i sequenziatori [20] e i sistemi di tutoraggio per le performance assistite [21];
 - Dispositivi mobili – Tablet e smartphone possono essere usati come elementi di controllo distribuiti di eventi audio, come nel progetto *Soundcool* [22]; come superfici per performance percussive (ad es. l'applicazione *Rhythm Workers* [23]); o come videocamera e/o sensori inerziali per fornire input a varie applicazioni [24];
 - Tangibili e indossabili – L'interazione musicale con oggetti fisici sensorizzati può avvenire attraverso la loro manipolazione creativa [25]. I dispositivi indossabili fungono invece da rilevatori di movimento, come in *MusicJacket* [26], o da marker per un sistema di visione computerizzata [27];
 - Videocamera – L'utilizzo più comune di una videocamera è nell'insegnamento a distanza di tecniche strumentali [28]. Inoltre, registrazioni di performance musicali possono essere utilizzate per insegnare ad esempio le arcate nelle esecuzioni violinistiche [29] o la diteggiatura [30];
 - Microfono – La facoltà di immettere segnali audio digitali in un computer è fondamentale,

non solo per l'utilizzo di DAW e sequenzia-
tori, ma anche ad esempio per giochi e coach
vocali [31, 32];

- Strumenti elettrici – Questi strumenti possono fornire direttamente segnali audio a un computer, ad esempio per applicazioni per la valutazione automatica dell'espressione in un'esecuzione musicale [33].
- *Risposta del sistema* – La terza dimensione si riferisce alla tipologia di dati prodotti dall'applicazione musicale. I nodi di questa dimensione sono:
 - Audio – Ovvero il risultato di una registrazione, di una combinazione di dati MIDI ed elaborazione digitale, o di un programma (scritto ad esempio in *Csound* o *Max*) [34];
 - Grafica – Il feedback visivo è molto comune nei sistemi di tutoraggio per l'apprendimento di uno strumento (ad esempio, il pianoforte [35]), per l'allenamento della voce [36] o dell'orecchio (ad es. *IMUTUS* [7]);
 - Video – Analogamente, un feedback video in tempo reale può essere usato per la valutazione di una performance vocale o strumentale [37];
 - Aptica – Output tattile fornito da specifici attuatori: ad esempio, in *PianoTouch* [38] viene utilizzato un guanto aptico per guidare il movimento delle dita sulla tastiera di un pianoforte;
 - Dati grezzi – Ovvero dati che, prevedendo un'ulteriore elaborazione da parte del computer, non vengono comunicati all'utente.

3.3 Il dominio musicale

Il dominio musicale contiene una sola dimensione:

- *Attività* – Ovvero i tre processi artistici definiti in [1]:
 - Creare – Raggruppa tutte le applicazioni che riguardano attività musicali che spaziano dalla composizione tradizionale [39] all'improvvisazione [40] e alla programmazione [41];
 - Eseguire – Ovvero le applicazioni per l'apprendimento di tecniche strumentali, vocali e di direzione [42] oltre che di aspetti teorici quali il ritmo [43], la melodia [44] e l'armonia [45];
 - Rispondere – All'interno di questo processo artistico, Bauer [1] elenca attività quali “*Ascoltare e descrivere*”, “*Analizzare*” e “*Valutare*”. Figurano quindi in questo nodo applicazioni per l'educazione dell'orecchio [46], la percezione della musica [27] o, più in generale, per l'educazione musicale [47].

3.4 Il dominio pedagogico

Il dominio pedagogico si riferisce agli aspetti di usabilità didattica che caratterizzano le applicazioni e include le seguenti tre dimensioni:

- *Teoria dell'apprendimento* – La prima dimensione classifica le applicazioni in base alle teorie dell'apprendimento che ne ha ispirato la progettazione. Le teorie dell'apprendimento sono:
 - Comportamentismo – Secondo questa teoria l'apprendimento è un processo di risposta a stimoli esterni. Questo nodo comprende quindi applicazioni in cui i contenuti sono organizzati in unità sequenziali che prevedono una risposta da parte dell'utente e una valutazione da parte del sistema (istruzione programmata [48]). Esempi di applicazioni sono quelle per lo sviluppo di abilità quali la lettura a prima vista [8] e l'educazione dell'orecchio [49];
 - Cognitivismo – Questa teoria considera i processi interni che consentono all'individuo di selezionare, acquisire, organizzare e richiamare alla memoria le informazioni. Alcuni di questi meccanismi sono l'apprendimento enattivo e l'apprendimento attraverso modelli o esempi elaborati [50]. Fanno quindi parte di questo nodo le applicazioni che impiegano rappresentazioni visive o multimediali e/o funzionalità di tutoraggio. Un esempio è *Music Paint Machine* [51], sistema che produce una rappresentazione visiva dei movimenti di un esecutore che viene impiegata per sviluppare meglio le abilità esecutive dei bambini;
 - Costruttivismo – Diversamente dalle precedenti teorie, il costruttivismo non considera l'apprendimento come l'acquisizione di un sapere definito a priori, ma bensì come qualcosa che il discente stesso deve costruire attraverso un suo personale sviluppo. Ambienti ispirati al costruttivismo devono offrire ricchi stimoli che consentano l'esplorazione e la manipolazione degli elementi alla ricerca di soluzioni originali. Un esempio è *Continuator* di Pachet [52] dove l'intelligenza artificiale è usata per rispondere ad una sequenza musicale eseguita su una tastiera MIDI. L'attivazione di meccanismi di risposta a ciò che il sistema è in grado di elaborare costituisce un ottimo esempio di come un agente intelligente possa stimolare la creatività degli utenti.
- *Utenti* – La seconda dimensione identifica quali sono gli utenti finali per cui l'applicazione è stata progettata. I suoi nodi sono:
 - Scuola d'infanzia, primaria – Applicazioni pensate per un uso semplice e intuitivo, che ben si adatti ad un approccio giocoso e accattivante. Ad esempio nell'ambiente *DrumStep* elementi grafici e animazioni permettono di superare la notazione musicale standard offrendo un approccio ludico allo studio del ritmo [53];

- Scuola secondaria – Applicazioni con un grado superiore di complessità, finalizzate soprattutto alla composizione musicale [54] o all’esecuzione strumentale [55];
 - Conservatorio, università – Applicazioni per la creazione e l’esecuzione musicale a livello superiore o professionale [56, 57];
 - Adulti, musicisti e non – Applicazioni testate da adulti, musicisti o non, o più genericamente intese per utenti adulti.
 - Non definiti – Nodo di default per applicazioni non dirette a un pubblico specifico.
- *Luogo* – L’ultima dimensione tiene conto dei possibili spazi in cui l’attività educativa può avere luogo. I suoi nodi sono:
 - Classe – Aula scolastica adattata alla specifica attività musicale, con l’utilizzo di tecnologie quali personal computer, strumenti musicali elettronici e/o cuffie, oltre che microfoni, altoparlanti, proiettori e servizi web;
 - Laboratorio – Tutte le applicazioni che utilizzano tecnologie meno popolari quali sensori, attuatori, oggetti fisici sensorizzati, sistemi per il tracciamento del movimento richiedono un ambiente più affine a un laboratorio;
 - Ovunque – Le applicazioni che necessitano solamente di un dispositivo mobile ricadono in questa categoria;
 - Web – Il web è un luogo virtuale per applicazioni distribuite e collaborative, principalmente per la creazione di musica, ma anche per la performance (ad es. *JamMo* [13]).

4. UNA PIATTAFORMA WEB PER ESPLORE LA TASSONOMIA

Nelle intenzioni originarie, la tassonomia non dovrebbe solamente rappresentare uno strumento teorico per classificare materiali, ma soprattutto uno strumento pratico per aiutare gli educatori a identificare gli approcci più appropriati a seconda delle proprie necessità. A tal proposito, il database è stato pubblicato su Zotero,¹ dove continuerà a venire aggiornato. Tutte le pubblicazioni presenti nel database sono state etichettate seguendo la tassonomia proposta, associando dunque a ognuna di esse un sottoinsieme di nodi sia in maniera diretta (quando esplicitato nella pubblicazione stessa) sia per inferenza. Inoltre, è stata sviluppata e rilasciata pubblicamente un’interfaccia web per la consultazione interattiva del database.

L’interfaccia, liberamente accessibile all’URL <http://techmusicedu.lim.di.unimi.it>, supporta l’esplorazione gerarchica della tassonomia. La navigazione prende avvio dal livello del dominio, attraversa il livello della dimensione per arrivare a quello dei nodi, e infine visualizza le pubblicazioni etichettate come previsto del nodo selezionato. Inoltre, è stata implementata un’opzione di

ricerca grazie alla quale l’utente può: (i) selezionare singoli nodi (ad es., Cognitivismo); (ii) selezionare più nodi della stessa dimensione (ad es., Classe e Web); (iii) selezionare più nodi di dimensioni diverse (ad es., MIDI, Eseguire e Scuola d’infanzia, primaria). La ricerca restituisce gli articoli etichettati contemporaneamente secondo tutti i nodi selezionati.

Infine, l’interfaccia web mette a disposizione dell’utente strumenti di visualizzazione per analizzare quantitativamente il numero di pubblicazioni nel database a seconda delle etichette. Le tre visualizzazioni supportate sono:

- Grafico delle distribuzioni – Grafico a torta che riporta la distribuzione degli articoli in base al dominio e alla dimensione selezionati;
- Grafico comparativo per assi – I dati vengono visualizzati sotto forma di cerchi su una griglia bidimensionale, dove gli assi sono selezionabili tra i domini e le dimensioni disponibili. La dimensione di ogni cerchio è proporzionale al numero di articoli etichettati con i corrispondenti nodi di entrambi gli assi;
- Grafico comparativo per anno – Simile al precedente, ma l’asse x è riservato alla dimensione *Data* al fine di monitorare l’evoluzione temporale di una data dimensione.

4.1 Analisi delle dimensioni

A dimostrazione dell’efficacia della tassonomia e delle potenzialità dell’interfaccia web, si riportano a titolo di esempio alcuni approfondimenti. Per motivi di spazio non si mostrano i grafici corrispondenti alle ricerche, rimandando il lettore all’interfaccia web per la loro consultazione.

Focalizzandosi sul dominio *TECNOLOGICO* e in particolare sulla dimensione *Applicazione*, si nota che il nodo Desktop è il più rappresentato, con il 65% delle pubblicazioni aventi questa etichetta. Ciò non deve sorprendere, poiché si tratta del tipo di applicazione più tradizionale; è inoltre l’unico nodo rappresentato tra il 2001 e il 2005. A partire dal 2014, la rilevanza di questo nodo inizia percentualmente a decrescere, principalmente a favore di applicazioni AR/VR.

Per quanto riguarda il dominio *MUSICALE*, la dimensione *Attività* indica come la maggioranza delle applicazioni implementi attività appartenenti ai processi Creare o Eseguire in proporzioni simili, mentre il processo Rispondere è più raro, con solo il 14% delle pubblicazioni. Tuttavia, si può anche notare che prima del 2008 non è stata pubblicata alcuna applicazione relativa a tale processo, mentre gli anni seguenti mostrano un andamento positivo, e quindi una maggiore attenzione al processo Rispondere.

Per quanto riguarda invece il dominio *PEDAGOGICO*, nonostante la dimensione *Luogo* dimostri una chiara prevalenza di applicazioni pensate per la classe o il laboratorio, il nodo Ovunque inizia a presentare andamento positivo a partire dal 2010 circa, grazie alla crescente disponibilità di dispositivi portatili a basso costo. D’altro canto, si evidenzia un trend sorprendentemente negativo per il nodo Web a partire dagli stessi anni.

¹ <https://www.zotero.org/>

Informazioni utili possono anche essere derivate dalle relazioni tra dimensioni. A tale proposito, si evidenzia un interessante risultato dato dall'intersezione delle dimensioni *Attività e Teoria dell'apprendimento*. Le connessioni più frequenti sono tra i nodi Eseguire e Cognitivismo (35%) e tra i nodi Creare e Costruttivismo (45%). Non sorprende invece l'intersezione nulla tra i nodi Comportamentismo e Creare, data la difficoltà – se non l'impossibilità – di ricondurre un'attività creativa a una serie di domande chiuse.

5. CONCLUSIONI

Questo articolo ha presentato un approccio originale all'interpretazione e alla valutazione di materiali digitali legati all'educazione musicale. Partendo dal paradigma TPACK come strumento per l'organizzazione della conoscenza, è stata sviluppata una tassonomia multidimensionale delle applicazioni tecnologiche per la didattica della musica. Uno dei vantaggi più importanti di questo tipo di rappresentazione sta nella possibilità di analizzare gli stessi dati da diverse angolazioni. Inoltre, si tratta di uno strumento flessibile che si presta facilmente a modifiche ed estensioni. Il processo di etichettatura del database di pubblicazioni attraverso i nodi della tassonomia ha rappresentato una validazione dal basso (*bottom-up*) dell'approccio teorico proposto; infatti, tale attività ha permesso di evidenziare limiti e difetti della tassonomia, e quindi di raffinare iterativamente il processo di progettazione della stessa che in futuro dovrà evolvere attraverso fasi di valutazione qualitativa e di usabilità da parte dei potenziali utenti.

Gli obiettivi del lavoro sono ambiziosi. In primo luogo, si vuole dare la possibilità agli insegnanti di orientarsi nel campo delle tecnologie per l'educazione musicale con uno strumento informativo di facile utilizzo basato su solide basi scientifiche. In secondo luogo, si punta a condividere con la comunità scientifica uno strumento utile per l'analisi dello stato dell'arte nel campo, contribuendo agli avanzamenti nei settori scientifici coinvolti grazie all'approccio multidisciplinare offerto dalla tassonomia. Infine, si vuole guidare le future azioni degli innovatori nel campo dell'educazione musicale, con la speranza che ambiscano alla sperimentazione di nuovi curricula rivolti alla piena integrazione tecnologica nei processi educativi.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] W. I. Bauer, *Music Learning Today: Digital Pedagogy for Creating, Performing, and Responding to Music*. New York, NY, USA: Oxford Univ. Press, 2014. doi: 10.1093/acprof:oso/9780199890590.001.0001.
- [2] M. Koehler and P. Mishra, "What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)?" *Contemp. Issues Technol. Teacher Educ.*, vol. 9, no. 1, pp. 60–70, 2009. doi: 10.1177/002205741319300303.
- [3] L. S. Shulman, "Those who understand: Knowledge growth in teaching," *Educ. Res.*, vol. 15, pp. 4–14, Feb. 1986. doi: 10.3102/0013189X015002004.
- [4] W. Bauer, J. Harris, and M. Hofer, "Music learning activity types." <http://activitytypes.wm.edu/MusicLearningATs-June2012.pdf>, Jun 2012. Accessed May 10, 2021.
- [5] K. S. Law, C.-S. Wong, and W. M. Mobley, "Toward a taxonomy of multidimensional constructs," *Acad. Manage. Rev.*, vol. 23, pp. 741–755, Oct. 1998. doi: 10.2307/259060.
- [6] M. Karam and M. C. Schraefel, "A taxonomy of gestures in human computer interactions," project report, University of Southampton, 2005.
- [7] S. Raptis, A. Chalamandaris, A. Baxevanis, A. Askenfelt, E. Schoonderwaldt, K. F. Hansen, D. Fober, S. Letz, and Y. Orlarey, "IMUTUS: An interactive system for learning to play a musical instrument," in *Proc. Int. Conf. Interactive Computer Aided Learning*, (Villach, Austria), Sept. 29–30 2004.
- [8] K. H. Smith, "The effect of computer-assisted instruction and field independence on the development of rhythm sight-reading skills of middle school instrumental students," *Int. J. Music Educ.*, vol. 27, pp. 59–68, Feb. 2009. doi: 10.1177/0255761408099064.
- [9] M. Löchtefeld, S. Gehring, R. Jung, and A. Krüger, "guitAR: Supporting guitar learning through mobile projection," in *CHI'11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, (Vancouver, Canada), pp. 1447–1452, May 7–12 2011.
- [10] K. Rogers, A. Röhlig, M. Weing, J. Gugenheimer, B. Könings, M. Klepsch, F. Schaub, E. Rukzio, T. Seufert, and M. Weber, "P.I.A.N.O.: Faster piano learning with interactive projection," in *Proc. 9th ACM Int. Conf. Interactive Tabletops and Surfaces*, (Dresden, Germany), pp. 149–158, Nov. 16–19 2014.
- [11] A. Xambó, E. Hornecker, P. Marshall, S. Jordà, C. Dobbyn, and R. Laney, "Let's jam the Reactable: Peer learning during musical improvisation with a tabletop tangible interface," *ACM Trans. Comput.-Human Interact.*, vol. 20, Dec. 2013. doi: 10.1145/2530541.
- [12] M. D. Amico and L. A. Ludovico, "Kibo: A MIDI controller with a tangible user interface for music education," in *Proc. 12th Int. Conf. Computer Supported Education*, (Setúbal, Portugal), pp. 613–619, May 2–4 2020. doi: 10.5220/0009805206130619.
- [13] P. Paananen and M. Myllykoski, "JamMo: Developmentally designed software for children's mobile music-making," in *Proc. 7th Triennial Conf. European Society for the Cognitive Sciences of Music*, (Jyväskylä, Finland), pp. 391–400, Aug. 12–16 2009.
- [14] H. Ruismäki, A. Juvonen, and K. Lehtonen, "The iPad and music in the new learning environment," *Eur. J. Soc. Behav. Sci.*, vol. 6, no. 3, pp. 1084–1096, 2013. doi: 10.15405/ejsbs.85.

- [15] R. J. Jacob, A. Girouard, L. M. Hirshfield, M. S. Horn, O. Shaer, E. T. Solovey, and J. Zigelbaum, "Reality-based interaction: A framework for post-WIMP interfaces," in *Proc. SIGCHI Conf. Human Factors in Computing Systems*, (Florence, Italy), pp. 201–210, Apr. 6–9 2008.
- [16] A. N. Antle, M. Droumeva, and G. Corness, "Playing with the sound maker: Do embodied metaphors help children learn?," in *Proc. 7th Int. Conf. Interaction Design and Children*, (Chicago, IL, USA), pp. 178–185, June 10–13 2008. doi: 10.1145/1463689.1463754.
- [17] M. Mandanici, A. Rodà, and S. Canazza, "The harmonic walk: An interactive physical environment to learn tonal melody accompaniment," *Adv. Multim.*, vol. 2016, 2016. doi: 10.1155/2016/4027164.
- [18] M. Gall and N. Breeze, "Music and eJay: An opportunity for creative collaborations in the classroom," *International Journal of Educational Research*, vol. 47, no. 1, pp. 27–40, 2008.
- [19] S. T. Schroth, J. A. Helfer, and R. Dammers, "Using technology to assist gifted children's musical development," *Gifted Child Today*, vol. 32, pp. 54–61, Apr. 2009. doi: 10.4219/gct-2009-877.
- [20] J. McDowall, "Music technology: New literacies in the early years," in *Proc. IFIP Working Group 3.5 Conf.: Young children and learning technologies*, (Parramatta, Australia), pp. 83–88, July 2003.
- [21] I. Barakonyi and D. Schmalstieg, "Augmented reality agents in the development pipeline of computer entertainment," in *Proc. 4th Int. Conf. Entertainment Computing*, (Sanda, Japan), pp. 345–356, Sept. 19–21 2005. doi: 10.1007/11558651_34.
- [22] N. Berbel-Gómez, A. Murillo-Ribes, J. Sastre-Martínez, and M. E. Riaño Galán, "Sound creation and artistic language hybridization through the use of the collaborative creation system: Soundcool," *Turk. Online J. Educ. Technol.*, pp. 997–1009, Nov. 2017.
- [23] V. Bégel, A. Seilles, and S. Dalla Bella, "Rhythm Workers: A music-based serious game for training rhythm skills," *Music Sci.*, vol. 1, Oct. 2018. doi: 10.1177/2059204318794369.
- [24] M. Rusiñol, J. Chazalon, and K. Diaz-Chito, "Augmented songbook: An augmented reality educational application for raising music awareness," *Multim. Tools Appl.*, vol. 77, pp. 13773–13798, June 2018. doi: 10.1007/s11042-017-4991-4.
- [25] S. Bakker, E. Van Den Hoven, and A. N. Antle, "MoSo tangibles: Evaluating embodied learning," in *Proc. 5th Int. Conf. Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, (Funchal, Portugal), pp. 85–92, Jan. 23–26 2010. doi: 10.1145/1935701.1935720.
- [26] J. Van Der Linden, E. Schoonderwaldt, J. Bird, and R. Johnson, "MusicJacket — Combining motion capture and vibrotactile feedback to teach violin bowing," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 60, pp. 104–113, Jan. 2011. doi: 10.1109/TIM.2010.2065770.
- [27] V. Farinazzo Martins, L. Gomez, and A. G. Dionísio Corrêa, "Teaching children musical perception with MUSIC-AR," *EAI Endorsed Trans. e-Learn.*, vol. 2, Mar. 2015. doi: 10.4108/el.2.5.e3.
- [28] J. Palazón Herrera and A. Giráldez Hayes, "Vodcasting and instrumental practice in secondary school music classes," *J. Music Technol. Educ.*, vol. 7, pp. 163–180, Oct. 2014. doi: 10.1386/jmte.7.2.163_1.
- [29] J. Van Der Linden, E. Schoonderwaldt, and J. Bird, "Towards a real-time system for teaching novices correct violin bowing technique," in *2009 IEEE Int. Work. Haptic Audio Visual Environments and Games*, (Lecco, Italy), pp. 81–86, Nov. 7–8 2009. doi: 10.1109/HAVE.2009.5356123.
- [30] A. Goodwin and R. Green, "Key detection for a virtual piano teacher," in *Proc. 28th Int. Conf. Image and Vision Computing New Zealand*, (Wellington, New Zealand), pp. 282–287, Nov. 27–29 2013. doi: 10.1109/IVCNZ.2013.6727030.
- [31] P. Hämäläinen, T. Mäki-Patola, V. Pulkki, and M. Airas, "Musical computer games played by singing," in *Proc. 7th Int. Conf. Digital Audio Effects*, (Naples, Italy), pp. 367–371, Oct. 5–8 2004.
- [32] M. Pérez-Gil, J. Tejada, R. Morant, and A. Pérez-González De Martos, "Cantus: Construction and evaluation of a software solution for real-time vocal music training and musical intonation assessment," *J. Music Technol. Educ.*, vol. 9, pp. 125–144, July 2016. doi: 10.1386/jmte.9.2.125_1.
- [33] J. Karlsson, S. Liljeström, and P. N. Juslin, "Teaching musical expression: Effects of production and delivery of feedback by teacher vs. computer on rated feedback quality," *Music Educ. Res.*, vol. 11, pp. 175–191, May 2009. doi: 10.1080/14613800902924532.
- [34] V. J. Manzo, *Max/MSP/Jitter for Music: A Practical Guide to Developing Interactive Music Systems for Education and More*. New York, NY, USA: Oxford Univ. Press, 2011.
- [35] D. Hackl and C. Anthes, "HoloKeys - An augmented reality application for learning the piano," in *Proc. 10th Forum Media Technology and 3rd All Around Audio Symp.*, (St. Pölten, Austria), pp. 140–144, Nov. 29–30 2017.
- [36] G. F. Welch, E. Himonides, D. M. Howard, and J. Breton, "VOXed: Technology as a meaningful teaching aid in the singing studio," in *Proc. Conf. Interdisciplinary Musicology*, (Graz, Austria), Apr. 15–18 2004.

- [37] J. Yin, Y. Wang, and D. Hsu, "Digital violin tutor: An integrated system for beginning violin learners," in *Proc. 13th Annu. ACM Int. Conf. Multimedia*, (Hilton, Singapore), pp. 976–985, Nov. 6–11 2005. doi: 10.1145/1101149.1101353.
- [38] K. Huang, E. Y. Do, and T. Starner, "Pianotouch: A wearable haptic piano instruction system for passive learning of piano skills," in *2008 12th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, pp. 41–44, 2008.
- [39] J. Savage and M. Challis, "Dunwich Revisited: Collaborative composition and performance with new technologies," *Brit. J. Music Educ.*, vol. 18, pp. 139–149, July 2001. doi: 10.1017/S0265051701000237.
- [40] A. Brown and S. Dillon, "Networked improvisational musical environments: Learning through on-line collaborative music making," in *Music Education with Digital Technology* (J. Finney and P. Burnard, eds.), ch. 8, pp. 95–106, London, U.K.: A. & C. Black, 2007.
- [41] L. A. Ludovico, D. Malchiodi, and L. Zecca, "A multimodal LEGO®-based learning activity mixing musical notation and computer programming," in *Proc. 1st ACM SIGCHI Int. Work. Multimodal Interaction for Education*, (Glasgow, U.K.), pp. 44–48, Nov. 13 2017. doi: 10.1145/3139513.3139519.
- [42] D. Hollinger and J. Sullivan, "The effects of technology-based conducting practice on skill achievement in novice conductors," *Res. Issues Music Educ.*, vol. 5, pp. 1–6, Sept. 2007.
- [43] C.-H. Chou and Y.-L. Chu, "Interactive rhythm learning system by combining tablet computers and robots," *Appl. Sci.*, vol. 7, Mar. 2017. doi: 10.3390/app7030258.
- [44] C. Dittmar, E. Cano, J. Abeßer, and S. Grollmisch, "Music information retrieval meets music education," in *Multimodal Music Processing* (M. Müller, M. Goto, and M. Schedl, eds.), vol. 3, pp. 95–120, Dagstuhl, Germany: Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum für Informatik, 2012. doi: 10.4230/DFU.Vol3.11041.95.
- [45] M. Mandanici, A. Baratè, L. A. Ludovico, and F. Avanzini, "A computer-based approach to teach tonal harmony to young students," in *Proc. 11th Int. Conf. Computer Supported Education*, (Heraklion, Greece), pp. 271–279, May 2–4 2019. doi: 10.5220/0007700402710279.
- [46] A. Portowitz, K. A. Peppler, and M. Downton, "In Harmony: A technology-based music education model to enhance musical understanding and general learning skills," *Int. J. Music Educ.*, vol. 32, pp. 242–260, May 2014. doi: 10.1177/0255761413517056.
- [47] F. Frosini, N. Mitolo, P. Nesi, and M. Paolucci, "Collaborative solution for music education," in *2008 Int. Conf. Automated Solutions for Cross Media Content and Multi-Channel Distribution*, (Florence, Italy), pp. 71–78, Nov. 17–19 2008. doi: 10.1109/AXMEDIS.2008.22.
- [48] B. F. Skinner, "Teaching machines," *Science*, vol. 128, pp. 969–977, Oct. 1958. doi: 10.1126/science.128.3330.969.
- [49] C. S. Loh, "Mona Listen: A web-based ear training module for musical pitch discrimination of melodic intervals," in *Proc. E-Learn 2004*, (Washington, DC, USA), Nov. 1–5 2004.
- [50] S. Kalyuga, P. Chandler, and J. Sweller, "Incorporating learner experience into the design of multimedia instruction," *J. Educ. Psychol.*, vol. 92, pp. 126–136, Mar. 2000. doi: 10.1037/0022-0663.92.1.126.
- [51] L. Nijs, B. Moens, M. Lesaffre, and M. Leman, "The music paint machine: Stimulating self-monitoring through the generation of creative visual output using a technology-enhanced learning tool," *J. New Music Res.*, vol. 41, pp. 79–101, Apr. 2012. doi: 10.1080/09298215.2011.650180.
- [52] A. R. Addressi and F. Pachet, "Experiments with a musical machine: Musical style replication in 3 to 5 year old children," *Brit. J. Music Educ.*, vol. 22, pp. 21–46, Mar. 2005. doi: 10.1017/S0265051704005972.
- [53] C. McCarthy, J. Bligh, K. Jennings, and B. Tangney, "Virtual collaborative learning environments for music: Networked drumsteps," *Comput. Educ.*, vol. 44, pp. 173–195, Feb. 2005. doi: 10.1016/j.compedu.2004.08.004.
- [54] L. Mellor, "Creativity, originality, identity: Investigating computer-based composition in the secondary school," *Music Educ. Res.*, vol. 10, pp. 451–472, Dec. 2008. doi: 10.1080/14613800802547680.
- [55] M. T. Hopkins, "Pilot-testing of new software for measuring string players' instrument tuning skills," *J. Music Technol. Educ.*, vol. 7, pp. 5–21, May 2014. doi: 10.1386/jmte.7.1.5-1.
- [56] S. Airy and J. M. Parr, "MIDI, music and me: Students' perspectives on composing with MIDI," *Music Educ. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 41–49, 2001. doi: 10.1080/14613800020029941.
- [57] T. K.-L. Ho, H.-S. Lin, C.-K. Chen, and J.-L. Tsai, "Development of a computer-based visualised quantitative learning system for playing violin vibrato," *Brit. J. Educ. Technol.*, vol. 46, pp. 71–81, Jan. 2015. doi: 10.1111/bjet.12124.