

Esame di Didattica dell'Informatica, A.A. 2024/2025

Dal suono ai numeri un viaggio unplugged nel digitale

Fabio Viggiano - 0001195183

Inquadramento del lavoro

Livello di scuola, classe/i, indirizzo

L'unità didattica è rivolta a studenti e studentesse di età compresa tra gli 11 e i 13/14 anni (scuola secondaria di I grado).

L'informatica, disciplina prevalente dell'unità, si integra in modo interdisciplinare con la tecnologia (i processi di trasformazione), la matematica (in particolare grafici cartesiani e approssimazione), le scienze (attraverso lo studio delle onde sonore) e la musica (considerando la natura del suono).

In estrema sintesi, l'obiettivo è far apprendere agli studenti il concetto di suono digitale, insieme ai processi di campionamento e quantizzazione che ne permettono la rappresentazione e l'elaborazione mediante strumenti informatici. Questo verrà illustrato facendo disegnare loro un'onda sonora su carta millimetrata. Prima di entrare nei dettagli della lezione, vediamo come questa unità didattica può essere adattata a studenti di età inferiore e superiore:

Scuola Primaria (classi 4-5): Semplificando la terminologia, usando griglie più grandi come il classico foglio del quaderno a quadretti e meno livelli di quantizzazione, l'uso di matite colorate, concentrandosi sull'idea di "fare foto" (campionare) e "arrotondare" (quantizzare) un disegno.

Obiettivo: introdurre il concetto di "trasformare suoni in numeri" in modo intuitivo.

Adattamento:

- Utilizzo di una linea del tempo con disegni al posto del grafico, ad esempio disegnando l'intensità del suono con l'altezza di barrette colorate.
- Introduzione del concetto di "fotografare" il suono in momenti precisi (campionamento) con esempi come scattare tante foto in sequenza.

Scuola Secondaria di II grado (primo biennio): Introducendo concetti più formali come frequenza di campionamento (Hz), bit depth, teorema di Nyquist (in modo intuitivo), e discutendo maggiormente il compromesso tra la qualità e la dimensione file.

Obiettivo: collegare l'attività a concetti più formali di informatica, matematica e fisica.

Adattamento:

- Aggiunta di una seconda parte in cui si mostra come il segnale può essere rappresentato come array numerici (es. su fogli di calcolo).
- Introduzione dei concetti di frequenza di campionamento, bit depth, aliasing.
- Se disponibile, utilizzo di strumenti digitali per confrontare grafici manuali con versioni digitali.

Motivazione e finalità

La presente attività si inserisce all'interno del percorso di educazione scientifica e tecnologica della scuola secondaria di I grado, con l'obiettivo di introdurre concetti fondamentali dell'informatica in modo intuitivo e concreto. In particolare, si affronta il tema della digitalizzazione del suono, un argomento di grande attualità e rilevanza, spesso trascurato nei programmi scolastici.

L'idea nasce da due grandi passioni, ossia la tecnologia e la musica; questi due percorsi si sono spesso intrecciati nel mio percorso e, nell'ipotizzare un argomento di lezione, ho pensato alle basi del suono digitale, uno dei primi passi di qualsiasi musicista o fruitore dell'ascolto della musica in digitale quando la curiosità lo porta d'interrogarsi su cosa si cela dietro il tasto Play di un riproduttore di suoni.

L'attività è progettata per essere unplugged, ovvero priva di strumenti tecnologici complessi, al fine di stimolare la comprensione profonda dei concetti attraverso la manipolazione diretta e la simulazione analogica dei processi di campionamento e quantizzazione.

Nelle prime battute l'idea era a un bivio tra un approccio ancora più interattivo attraverso l'uso di campionamenti e quantizzazioni differenti da provare in aula ed un approccio attraverso lo sviluppo di codice; in entrambi i casi si sono però intraviste criticità, in primis sull'andare contro i principi dell'attività unplugged. Tali sviluppi sono dunque da rimandare verso un percorso più ampio e più specifico negli studi musicali.

Innovatività

Sebbene le attività unplugged per l'informatica siano diffuse, questa proposta si focalizza specificamente sulla visualizzazione manuale e combinata del campionamento e della quantizzazione su carta millimetrata come processo sequenziale applicato a un segnale disegnato dagli studenti stessi. L'approccio manuale rende più chiari i passaggi e l'approssimazione necessaria, cosa che le simulazioni software fanno meno.

Esistono risorse online e attività unplugged generiche sulla rappresentazione binaria. CS Unplugged sulla rappresentazione delle immagini, ma meno focalizzate sul processo A/D audio in questo modo specifico. Questa unità:

- Mantiene: l'approccio unplugged e l'uso di metafore concrete.
- Differenzia/Migliora: Integra campionamento e quantizzazione in un unico flusso di lavoro manuale, partendo da un "segnale" creato dallo studente, rendendo il processo più personale e tangibile. Enfatizza la visualizzazione della perdita di informazione confrontando il disegno originale con quello "digitalizzato".

L'innovatività della lezione in questione è quindi presente come lo studente creatore del segnale, quindi protagonista del processo. La digitalizzazione avviene fisicamente, passo-passo, su carta, rendendo visibile e modificabile ogni singolo passo della conversione A/D; a ciò si aggiunge la riproduzione del suono rendendo la lezione, se possibile, anche interattiva.

Prerequisiti

Comprensione di base di un grafico cartesiano (asse x = tempo, asse y = ampiezza/valore).

Capacità di leggere valori su un asse graduato.

Concetto intuitivo di "segnale che cambia nel tempo" (es. volume della musica, altezza di una collina).

Concetto di approssimazione (arrotondamento a un valore vicino).

Percorso

Questa attività può essere considerata autoconsistente per introdurre i concetti base, può però far parte di un percorso più ampio sull'introduzione al suono come onda sonora (Scienze/Musica).

Questa unità didattica può definirsi come: "Campionamento e quantizzazione unplugged". Ad essa, si possono collegare in incontri successivi dei passaggi come:

- Introduzione alla rappresentazione binaria dei numeri (collegare i livelli di quantizzazione ai bit).
- Utilizzo di software semplice di editing audio (es. Audacity) per visualizzare forme d'onda reali e gli effetti di cambi di frequenza di campionamento/bit depth (collegamento al concreto).
- Discussione sulla compressione audio come passo successivo.

Contestualizzazione storica

L'attività didattica si inserisce nell'ambito dell'educazione al pensiero computazionale e alla comprensione dei fondamenti del digitale, in particolare del processo di digitalizzazione del suono. Questo processo è governato da due principi fondamentali: il campionamento e la quantizzazione. Il teorema di Nyquist-Shannon stabilisce che per rappresentare fedelmente un segnale analogico, è necessario campionarlo ad una frequenza almeno doppia rispetto alla massima frequenza presente nel segnale. Se questa condizione non è rispettata, si verifica il fenomeno dell'aliasing, ovvero la comparsa di distorsioni nel segnale digitale.

La quantizzazione, invece, consiste nell'approssimare ogni campione a un valore discreto all'interno di un numero finito di livelli, determinati dalla profondità in bit. Questo introduce un errore chiamato rumore di quantizzazione, che può ridurre la qualità del segnale audio risultante. In termini didattici, questi concetti rappresentano un'occasione per esplorare in modo interdisciplinare nozioni di matematica (discretizzazione, numeri binari) e di fisica (onde sonore), rendendoli tangibili attraverso attività concrete e visive.

Questi principi, benché astratti, possono essere veicolati efficacemente anche a studenti della scuola secondaria di primo grado tramite attività unplugged, come la rappresentazione su carta millimetrata, e con esempi uditivi selezionati. Tuttavia, come evidenziato nella riflessione critica, è essenziale che la progettazione didattica tenga conto delle limitazioni percettive e cognitive degli studenti, affinché la traduzione pratica dei concetti teorici risulti significativa e accessibile.

Obiettivo generale

Accompagnare gli studenti della scuola secondaria di primo grado alla scoperta del mondo digitale attraverso attività unplugged legate al suono, favorendo la comprensione dei concetti di campionamento, quantizzazione, e rappresentazione numerica del suono.

Introduzione agli obiettivi specifici

Area: Tecnologia / Informatica

- Utilizzo di una linea del tempo con disegni al posto del grafico, ad esempio disegnando l'intensità del suono con l'altezza di barrette colorate.
- Introduzione del concetto di "fotografare" il suono in momenti precisi (campionamento) con esempi come scattare tante foto in sequenza.
- Comprendere che i dispositivi digitali rappresentano i suoni attraverso numeri.
- Intuire i concetti base di analogico vs digitale.

- Conoscere il processo di campionamento (trasformazione di un segnale continuo in una sequenza discreta).
- Conoscere il processo di quantizzazione (approssimazione del valore di ciascun campione a un insieme finito di valori).
- Rappresentare graficamente un suono semplificato su carta millimetrata e convertirlo in valori numerici.
- Riflettere sui limiti e le approssimazioni della digitalizzazione del suono.

Area: Matematica

- Usare il piano cartesiano per rappresentare graficamente funzioni semplici.
- Saper leggere e scrivere coordinate (tempo, ampiezza).
- Comprendere il significato di "intervallo", "scala", "valore medio", "errore di approssimazione".
- Applicare semplici trasformazioni numeriche (arrotondamenti, troncamenti).

Area: Educazione Civica / Competenze digitali

- Comprendere che il digitale è costruito su astrazioni e scelte progettuali.
- Sviluppare il pensiero computazionale attraverso la rappresentazione di dati.
- Acquisire consapevolezza del ruolo della digitalizzazione nella vita quotidiana.

Competenze trasversali

- Collaborazione: lavorare in gruppo per analizzare e trasformare il suono.
- Problem solving: risolvere situazioni didattiche attraverso modelli.
- Pensiero critico: riflettere sulle differenze tra mondo analogico e digitale.
- Comunicazione: raccontare in modo efficace ciò che si è fatto.

Contenuti (spiegati a un informatico)

Conversione Analogico-Digitale (ADC)

Campionamento: Discretizzazione dell'asse temporale. Acquisizione del valore del segnale a intervalli regolari T (periodo di campionamento). Frequenza di campionamento $f_s = 1/T$. (Si introduce solo l'idea intuitiva che campionare più spesso cattura meglio le variazioni rapide).

Quantizzazione: Discretizzazione dell'asse delle ampiezze. Approssimazione del valore campionato al livello più vicino tra un insieme finito di livelli discreti (Quantizzazione scalare uniforme). Il numero di livelli è legato alla risoluzione (bit depth). (Si introduce solo l'idea di "arrotondare" a valori predefiniti).

Errore di quantizzazione: Differenza tra l'ampiezza esatta del campione e il valore digitale assegnato dalla quantizzazione. È l'inevitabile scarto dovuto all'approssimazione a livelli finiti.

Rappresentazione digitale come sequenza di numeri: Il segnale audio, dopo campionamento e quantizzazione, diventa una successione di valori numerici. Ogni numero codifica l'ampiezza di un campione in un preciso istante.

Grandi idee

Rappresentazione dei Dati: Come l'informazione continua del mondo reale (suono) viene rappresentata in forma discreta (numeri) comprensibile a un computer.

Astrazione: Il processo di campionamento e quantizzazione è un'astrazione che semplifica la complessità del segnale reale, perdendo dettagli ma rendendolo manipolabile.

Algoritmi: La sequenza di passi (disegna - misura a intervalli - arrotonda ai livelli) è un algoritmo per la conversione A/D.

Traguardi e obiettivi

Traguardi/obiettivi generali dai documenti ministeriali/proposte

L'attività didattica proposta si inserisce nel quadro dei traguardi di sviluppo delle competenze e degli obiettivi di apprendimento delineati dalle Indicazioni Nazionali per il curriculum della scuola secondaria di primo grado. In particolare, essa concorre a:

- **Sviluppare il pensiero computazionale:** Inteso come capacità di analizzare e risolvere problemi, scomponendoli in passaggi elementari (algoritmi), e di rappresentare dati e informazioni in forma strutturata, anche senza l'uso diretto di strumenti informatici (approccio unplugged).
- **Promuovere la competenza digitale:** Andando oltre il semplice uso di dispositivi, per comprendere i principi fondamentali che ne regolano il funzionamento, specificamente nel contesto della trasformazione di segnali analogici (come il suono) in formato digitale.
- **Potenziare le competenze in matematica e scienze:** Attraverso l'uso di rappresentazioni grafiche (piano cartesiano), la comprensione del concetto di approssimazione e la riflessione sulla natura fisica del suono come onda.
- **Educare alla cittadinanza digitale consapevole:** Stimolando la riflessione critica sui processi di digitalizzazione, sulla fedeltà della rappresentazione e sulle implicazioni della perdita di informazione, favorendo una comprensione più profonda del mondo digitale che ci circonda.
- **Incoraggiare l'osservazione, la descrizione e l'interpretazione di fenomeni:** Applicando un approccio metodologico che parte dall'esperienza concreta (disegnare un'onda) per arrivare a concetti più astratti (campionamento, quantizzazione).

Traguardi/obiettivi generali (Sintesi dell'unità)

Comprendere il concetto di campionamento di un segnale audio. Intuire il significato di quantizzazione e di perdita di informazione. Collegare il mondo fisico (suono) con la sua rappresentazione digitale. Favorire il pensiero computazionale attraverso la rappresentazione di dati continui in forma discreta. Stimolare l'osservazione critica e il ragionamento scientifico.

Obiettivi specifici in forma operativa

Lo studente/la studentessa è in grado di:

- **(Ricordare)** Elencare i due passaggi principali della digitalizzazione audio (campionamento, quantizzazione).
- **(Comprendere)** Spiegare a parole proprie la differenza tra un'onda disegnata liscia (analogica) e una a gradini (digitale).
- **(Comprendere)** Spiegare perché il campionamento consiste nel misurare il segnale a intervalli regolari.

- **(Comprendere)** Spiegare perché la quantizzazione consiste nell'arrotondare il valore misurato a livelli predefiniti.
- **(Applicare)** Disegnare una semplice curva continua su carta millimetrata per rappresentare un segnale analogico.
- **(Applicare)** Identificare e segnare i punti di campionamento su una curva data, secondo un intervallo specificato.
- **(Applicare)** Approssimare il valore di ciascun campione al livello di quantizzazione più vicino su un grafico.
- **(Applicare)** Ricostruire graficamente (a gradini) il segnale digitale partendo dai punti quantizzati.
- **(Analizzare)** Confrontare il segnale originale e quello digitale ricostruito, identificando le differenze.
- **(Valutare)** Prevedere intuitivamente l'effetto sulla fedeltà del segnale digitale cambiando la frequenza di campionamento (intervallo tra i punti).
- **(Valutare)** Prevedere intuitivamente l'effetto sulla fedeltà del segnale digitale cambiando il numero di livelli di quantizzazione.

Metodologie didattiche

- **(Unplugged Activity):** Attività svolta senza l'uso di computer, utilizzando materiali concreti (carta, matita) per simulare processi computazionali. Permette di focalizzarsi sui concetti senza la barriera tecnologica.
- **(Apprendimento Attivo / Learning by Doing):** Gli studenti non sono recettori passivi, ma eseguono attivamente i passaggi di campionamento e quantizzazione.
- **(Visualizzazione):** L'uso della carta millimetrata e del disegno è centrale per rendere visibili concetti astratti.
- **(Lezione Dialogata):** L'insegnante guida l'attività, ma stimola la discussione, pone domande e incoraggia la riflessione collettiva.
- **(Opzionale - Cooperative learning):** L'attività può essere svolta a coppie per favorire il confronto e l'aiuto reciproco.

Tempi

Totale: Circa 2 ore (es. 2 moduli da 50-60 minuti).

Spazi

- Aula scolastica standard con banchi adatti per disegnare.
- Lavagna o LIM per le spiegazioni e dimostrazioni dell'insegnante.

Materiali e Strumenti

- Fogli di carta millimetrata (almeno 2-3 per studente/coppia).
- Matite con punta media (HB o simile).
- Gomme per cancellare.

- Matite colorate o pennarelli a punta fine (almeno 2 colori diversi per studente/coppia, es. nero e rosso).
- Righello (opzionale, può aiutare a tracciare i livelli di quantizzazione).
- Lavagna/LIM e pennarelli/pennino.

Sviluppo dei contenuti

Fase 1 - Introduzione e l'onda analogica (15-20 min)

Guida insegnante

Azione 1

Iniziare la lezione ponendo una domanda aperta agli studenti:

"Come pensate che la musica che ascoltate arrivi sui vostri smartphone o computer?"

Scopo: Raccogliere le loro idee iniziali, stimolare la discussione e creare un collegamento con la loro esperienza quotidiana. Lasciare che emergano diverse ipotesi per poi disegnare sulla lavagna un'onda sonora illustrando brevemente di cosa si tratta.

Azione 2

Chiedere agli studenti di disegnare la propria onda sonora personale, con una frase come:

"Ora disegnate con una matita la vostra onda sonora sulla carta millimetrata. Usate l'asse orizzontale per il tempo e quello verticale per il volume. Disegnate a vostra scelta: una sinusoide, un'onda quadra, una triangolare o a dente di sega."

Nel mentre della richiesta sarebbe bene disegnare gli esempi delle diverse onde sonore per agevolare chi ha più difficoltà nel disegno.

Fase 2 - Campionamento - Fare le "fotografie" (20-25 min)

Guida insegnante

Spiegare: "Il computer non può 'vedere' tutta la curva contemporaneamente. Deve guardarla un pezzetto alla volta, a intervalli regolari. È come fare delle foto (o misurare l'altezza) dell'onda ogni secondo, o ogni mezzo secondo. Questo si chiama campionamento."

Decidere insieme una "frequenza di campionamento" visiva. Suggerimento: "Proviamo a misurare la nostra onda ogni 3 quadretti sull'asse del tempo." (Scegliere un intervallo che generi un numero ragionevole di campioni, es. 8-15 punti).

Dimostrare alla lavagna/LIM: sull'onda disegnata, segnare un punto esattamente sulla curva in corrispondenza di $x=0$, $x=3$, $x=6$, $x=9$, ecc.

Guida studente

"Prendete la vostra matita (o un colore diverso). Partendo dall'inizio della vostra curva (tempo=0), fate un puntino sulla curva ogni 3 quadretti che avanzate sull'asse del tempo. Continuate finché non finite la parte disegnata della vostra onda."

Girare tra i banchi per verificare che i punti siano sulla curva e a intervalli regolari sull'asse X.

Discussione guidata: "Cosa rappresentano questi punti? (Sono le nostre 'misure' o 'foto' dell'onda in precisi istanti). Cosa succederebbe se facessimo le foto più spesso, ad esempio ogni quadretto? (Avremmo più punti, cattureremmo meglio le curve veloci). E se le facessimo più raramente, ogni 6 quadretti? (Avremmo meno punti, potremmo 'perderci' delle curve veloci tra una foto e l'altra)." Introdurre l'idea intuitiva che più campioni = più fedeltà nel tempo.

Fase 3 - Quantizzazione - Arrotondare l'altezza (20-25 min)

Guida insegnante:

Spiegare: "Ora abbiamo le nostre 'foto' (i campioni). Ma guardate l'altezza (il valore Y) di questi punti: possono capitare ovunque! Il computer, però, preferisce usare solo un numero limitato di 'livelli' di altezza. Dobbiamo prendere l'altezza di ogni punto che abbiamo segnato e 'arrotondarla' al livello permesso più vicino. Questo si chiama Quantizzazione."

Decidere insieme i livelli di quantizzazione. Suggerimento: Sulla carta millimetrata, evidenziare (magari con un tratto leggero di un altro colore o ripassando la linea) le linee orizzontali corrispondenti a valori Y interi (... , -2, -1, 0, 1, 2, 3, ...). Oppure, se la curva è tutta positiva, solo 0, 1, 2, 3... Assegnare un numero (il valore Y) a ciascuna linea evidenziata. Questi sono i nostri "livelli consentiti".

Dimostrare alla lavagna/LIM: Prendere un punto di campionamento. Guardare la sua altezza Y. Trovare la linea orizzontale (livello consentito) più vicina a quel punto. Segnare un nuovo punto (es. una crocetta) che ha la stessa X del campione originale, ma la cui Y è esattamente sul livello consentito più vicino. Ripetere per alcuni campioni.

Guida studente:

"Ora, per ogni puntino di campionamento che avete fatto prima, guardate la sua altezza (il suo valore Y). Trovate qual è la linea orizzontale dei 'livelli consentiti' (quelle che abbiamo deciso/evidenziato) più vicina a quel punto. Fate una crocetta (o usate un altro colore) che stia sulla stessa linea verticale (stessa X) del puntino, ma esattamente sulla linea orizzontale consentita più vicina."

Girare tra i banchi aiutando a trovare il livello più vicino. Questo è il passaggio concettualmente più delicato.

Istruzione aggiuntiva: "Ora, per ogni crocetta che avete fatto, scrivete sotto (o a fianco) il numero del livello su cui si trova. Fatelo in ordine, da sinistra a destra. Questa sequenza di numeri è il nostro 'segnale digitale!'"

Discussione guidata: "L'altezza delle crocette è esattamente uguale a quella dei puntini originali? (No, è approssimata). Cosa succederebbe se avessimo meno livelli consentiti, ad esempio solo le linee 0, 2, 4...? (L'approssimazione sarebbe più 'grossolana', perderemmo più dettagli sull'altezza). E se avessimo più livelli, ad esempio anche le linee intermedie a metà quadretto? (L'approssimazione sarebbe più precisa)." Introdurre l'idea intuitiva che più livelli = più fedeltà nell'ampiezza.

Fase 4 - Ricostruzione e confronto (15-20 min)

Guida insegnante:

Spiegare: "Abbiamo la nostra sequenza di numeri, che rappresenta il suono digitalizzato. Come possiamo visualizzare questa versione digitale?"

Dimostrare alla lavagna/LIM: Collegare le crocette (i punti quantizzati) usando solo segmenti orizzontali e verticali. Da una crocetta, tracciare un segmento orizzontale fino alla X della crocetta successiva, poi un segmento verticale per raggiungerla. Si formerà un grafico "a gradini" (staircase).

Guida studente:

"Usando una matita colorata (diversa da quella dell'onda originale), collegate le crocette che avete segnato. Partite dalla prima crocetta a sinistra: disegnate una linea orizzontale fino a raggiungere la verticale della seconda crocetta, poi salite o scendete in verticale per collegarvi alla seconda crocetta.

Ripetete il processo per collegare tutte le crocette. Otterrete una forma a gradini."

Fase 5 - Variare i parametri e conclusioni (20-30 min)

Guida insegnante:

Introdurre l'idea del compromesso.

"Abbiamo visto che per avere un segnale digitale più fedele all'originale, potremmo campionare più spesso e usare più livelli di quantizzazione. Ma cosa comporterebbe questo?"

Attività di riflessione (anche solo discussa o con un secondo foglio se c'è tempo):

"Immaginate di rifare tutto campionando ogni quadretto invece che ogni 3. Avremmo più o meno punti? (Più punti). Scriveremmo più o meno numeri? (Più numeri). Il disegno a gradini sarebbe più o meno simile all'originale? (Più simile).": Alta frequenza di campionamento = Più dati, Maggiore fedeltà (nel tempo).

"Immaginate di rifare tutto usando il doppio dei livelli di quantizzazione (anche le linee a metà quadretto). L'approssimazione dell'altezza sarebbe migliore o peggiore? (Migliore). I numeri che scriviamo sarebbero più 'precisi', magari avremmo bisogno di più cifre o simboli per distinguerli tutti (collegamento intuitivo ai bit). Il disegno a gradini sarebbe più o meno simile all'originale? (Più simile).": Più livelli di quantizzazione = Più dati (per campione), Maggiore fedeltà (nell'ampiezza).

"E se campionassimo più raramente (es. ogni 6 quadretti) e usassimo pochissimi livelli (es. solo 3 livelli: 'basso', 'medio', 'alto')? (Avremmo pochi numeri, il segnale sarebbe molto diverso dall'originale, perderemmo molti dettagli).": Bassa qualità = Meno dati, Minore fedeltà. Collegamento al Reale: Spiegare che questo è quello che succede nella realtà:

CD Audio: Alta frequenza di campionamento (44100 volte al secondo!) e molti livelli (65536 livelli - 16 bit): Alta fedeltà, file grandi.

MP3/Streaming bassa qualità: Parametri ridotti (o tecniche più complesse di compressione): Fedeltà minore, file piccoli.

Telefonate: Qualità sufficiente per capire la voce, ma non ottimale per la musica.

Bibliografia

- Bell, T., Witten, I. H., & Fellows, M. (s.d.). *CS Unplugged*. Consultato il 21 maggio 2024, da <https://csunplugged.org/en/> (Materiale didattico per l'informatica unplugged).
- Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca. (2012). *Indicazioni nazionali per il curricolo della scuola dell'infanzia e del primo ciclo d'istruzione* (Documento Ufficiale). Roma, Italia: Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca.
- Pohlmann, K. C. (2010). *Principles of Digital Audio* (6th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Shannon, C. E. (1949). Communication in the presence of noise. *Proceedings of the IRE*, 37(1), 10–21.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35.

Licenza del documento

La presente relazione è rilasciata secondo licenza Creative Commons (CC), uno strumento legale che permette agli autori di opere creative di concedere alcuni diritti patrimoniali a terzi, mantenendo il controllo su altri aspetti dell'utilizzo dell'opera. Le CC offrono una varietà di licenze, permettendo agli autori di definire quali diritti riservare e quali concedere in uso. In sostanza, le licenze CC funzionano come un contratto che specifica come l'opera può essere utilizzata, modificata e distribuita. Ho scelto di distribuirla come CC BY-SA. Questa licenza consente ai riutilizzatori di distribuire, remixare, adattare e sviluppare il materiale in qualsiasi mezzo o formato, purché venga attribuita l'attribuzione al creatore. La licenza consente l'uso commerciale. Se si remixa, si adatta o si sviluppa il materiale, è necessario concedere in licenza il materiale modificato alle stesse condizioni. CC BY-SA include i seguenti elementi: BY: deve essere attribuito il merito all'autore. SA: gli adattamenti devono essere condivisi alle stesse condizioni.