



---

**Università degli Studi di Camerino**

Scuola di Scienze e Tecnologie

Corso di Laurea in Informatica (Classe L-31)

**Sviluppo di una soluzione Audio Networking  
basata su protocollo Dante per aule universitarie**

Laureando  
**Federico Vecchi**

**Matricola 093686**

Relatore  
**Dott. Fausto Marcantoni**

---

A.A. 2019/2020



# Indice

<b>Introduzione</b> .....	9
Motivazione.....	11
Obiettivi.....	12
Struttura della Tesi .....	14
<b>1. Protocollo Dante</b> .....	16
1.1 Latenza .....	18
1.1.1 Gestione della latenza in Dante .....	19
1.1.2 Uso degli switch in Dante.....	19
1.1.3 Quality of Service.....	21
1.2 Clock.....	23
1.2.1 Clock in Dante .....	24
1.3 Flussi unicast e multicast.....	26
1.3.1 IGMP Snooping.....	26
1.4 Ridondanza.....	28
1.4.1 Ridondanza in Dante .....	28
<b>2. Soluzione Audio Networking per aule universitarie</b> .....	31
2.1 Implementazione del progetto .....	33
2.1.1 Cablaggio.....	33
2.1.2 Routing .....	35
2.1.3 Programmazione .....	36
2.1.4 Gestione dei preset tramite calendario .....	39

2.2 Latenza del sistema implementato .....	41
2.3 Clock del sistema implementato .....	43
2.4 Configurazione Audio-Video del sistema implementato.....	45
2.4.1 Registrazione audio-video tramite Logic Pro X e Skype .....	45
<b>3. Creazione di un'interfaccia per la gestione dei preset .....</b>	<b>49</b>
3.1 Preset "Aula Università" .....	50
3.2 Preset "Concerto" .....	51
<b>4. Conclusioni e Sviluppi Futuri.....</b>	<b>54</b>
Sitografia .....	57



# Indice delle figure

Figura 1.1: Latenza in un sistema audio digitale .....	18
Figura 1.2: Topologia a stella di una rete audio .....	20
Figura 1.3: Buona gestione della latenza.....	21
Figura 1.4: Pessima gestione della latenza .....	21
Figura 1.5: Clock di un sistema CobraNet .....	25
Figura 1.6: Clock di un sistema Dante .....	25
Figura 1.7: L'IGMP Snooping invia i flussi di segnale solo ai richiedenti .....	27
Figura 1.8: Ridondanza in un sistema Dante .....	29
Figura 2.1: Cablaggio di audio networking per un'aula universitaria .....	34
Figura 2.2: Assegnazione degli indirizzi IP ai dispositivi del sistema .....	35
Figura 2.3: Rinomina dei dispositivi del sistema .....	36
Figura 2.4: Programmazione del sistema audio digitale in Composer 8.0 .....	38
Figura 2.5: Flussi unicast del sistema audio implementato.....	39
Figura 2.6: Calendario programmabile con i preset di routing.....	40
Figura 2.7: Latenze dei dispositivi nel sistema implementato .....	41
Figura 2.8: Latenza totale del sistema implementato .....	42
Figura 2.9: Elezione del DSP Prism 4x4 come "Primary Leader Clock" .....	44
Figura 2.10: Riconoscimento dei microfoni da conferenza su Skype .....	46
Figura 2.11: Registrazione audio dei microfoni tramite Logic Pro X.....	47

Figura 3.1: Controller per la gestione del preset "Aula Università" .....	50
Figura 3.2: Controller per la gestione del preset "Concerto" .....	52
Figura 3.3: Modulo di autenticazione per accedere al controller.....	52



# Introduzione

Il settore audio negli ultimi anni si è reso protagonista di un grande cambiamento. Grazie all'innovazione tecnologica riguardante le reti ethernet, i cablaggi analogici stanno cedendo il passo a quelli digitali. I collegamenti utilizzati negli odierni sistemi informatici, difatti, sono in grado di trasportare uno o più Gigabit di informazioni in un unico cavo di fibra, riuscendo a coprire distanze di svariati chilometri in un tempo notevolmente ridotto. L'audio networking (detto anche Audio Over Ip o AoIP) fa uso di queste recenti tecnologie per trasmettere audio digitale senza compressione, multicanale e a bassa latenza su una rete ethernet standard. Le reti audio sono le medesime reti di cui facciamo uso ogni giorno per inviare e-mail, trasferire file e molto altro. Per tale motivo, integrare dei computer in questi sistemi risulta essere un processo naturale. Le applicazioni software sostituiscono in questo modo le interfacce hardware e attraverso strumenti audio comuni come *DAW* (Digital Audio Workstation) e lettori multimediali è possibile acquisire, elaborare, registrare e riprodurre audio. I nuovi sistemi di audio networking trovano applicazione in molti ambiti, comprese le attività di registrazione, le trasmissioni televisive, i concerti e le produzioni in studio.

Il rinnovamento più significativo risiede nel fatto che l'infrastruttura fisica non determina più il funzionamento di un sistema, ma è il software in esecuzione su un PC a controllare tutti i percorsi dei segnali. Interi sistemi possono essere riconfigurati senza dover spostare un singolo cavo o ripristinati richiamando un preset. I collegamenti funzionali possono essere progettati in modo da risultare del tutto separati dai collegamenti fisici. Questa modularità apre nuove possibilità per l'industria audio, in quanto è possibile collegare in qualsiasi punto della rete innumerevoli interfacce I/O senza bisogno di cavi ingombranti e gestendo tutto da pc, tablet o perfino smartphone, con un software di facile utilizzo.

La larghezza della banda è oramai sufficiente a veicolare centinaia di canali audio di alta qualità, destinati a sostituire l'enorme mole di cavi presenti nei normali impianti analogici in cui la distribuzione e il routing sono certamente un

approccio ormai collaudato da tempo, ma che soffre di limitazioni che possono diventare più evidenti man mano che i sistemi vengono incrementati. Tali limitazioni includono il degrado del segnale durante la trasmissione (caratterizzato in special modo da perdita di alte frequenze, rumore/ronzio e calo improvviso di volume), un raggio d'azione circoscritto e la necessità di avere un cavo dedicato per ciascun canale. Con una rete audio digitale tutte queste problematiche non sussistono in quanto la degradazione del segnale viene meno, il raggio d'azione è potenzialmente molto più esteso ed è inoltre possibile controllare e gestire molti più canali con un numero di cavi notevolmente ridotto.

Nonostante questa maturità delle reti di dati e la loro capacità di trasportare un'ampia varietà di *media*, l'instradamento audio professionale si rivela spesso piuttosto impegnativo. Ciò è dovuto a diverse caratteristiche correlate tra loro: la necessità di una bassa latenza, di una perfetta sincronizzazione e di un'alta fedeltà del suono. Partendo dalla prima, si deve considerare il fatto che ogni apparato aggiunto alla rete è fonte di ritardo. In una catena tipica, potrebbe essere necessario trasportare l'audio da un dispositivo sorgente a un'unità di elaborazione, quindi ad un mixer e da lì ad un amplificatore. La latenza è aumentata dal numero di tali segmenti che i dati devono attraversare. La sincronizzazione dei device deve essere perfetta ai fini di assicurare un ottimo timing per la trasmissione dei dati. La qualità del suono deve essere la più elevata possibile evitando riduzioni della frequenza di campionamento.

Ai fini di sopperire nel modo più efficiente possibile a queste problematiche, nel corso degli anni sono stati sviluppati diversi protocolli di instradamento del segnale audio, tra i quali AVB ("Audio Video Bridging", [11]), CobraNet ("CobraNet, the Standard in Networked Digital Audio", [6]), EtherSound ("EtherSound", [12]), Madi ("MADI the Primary Alternative Multi Channel Digital Audio Protocol", [10]), Ravenna ("The Open Standard For Real-Time Media Over Ip", [9]) e Dante ("Meet Dante", [1]).

Nel Capitolo 1 si analizzerà più nel dettaglio quest'ultimo protocollo, cercando di capire nello specifico come gestisca i tre principali aspetti cardine dell'audio networking: latenza, clock e ridondanza.

Nel Capitolo 2 si farà uso degli approfondimenti studiati in precedenza per realizzare il progetto con tecnologia Dante.

## **Motivazione**

Fin da bambino ho avuto la fortuna di ritrovarmi a stretto contatto con il mondo della musica. Nel corso degli anni ho maturato diverse esperienze, tra cui quelle riguardanti gli spettacoli dal vivo sia come musicista che come tecnico audio, e ho potuto conoscere la realtà degli studi di registrazione. Ho sempre cercato qualcosa che potesse in qualche modo coniugare la mia passione per la musica con quella per l'informatica. Con l'introduzione delle nuove reti e di protocolli sviluppati ad hoc, è ora possibile portare ad un livello successivo la qualità del suono che siamo abituati ad ascoltare.

Nell'ultimo periodo sono entrato in contatto con ingegneri del suono ed aziende leader nel settore audio che si sono messe a disposizione e mi hanno esposto le varie problematiche relative a queste nuove tecnologie. Se da un lato appaiono rivoluzionarie, dall'altro c'è molta confusione riguardo la differenza tra i vari protocolli, quale sia il più adatto per una specifica applicazione, ma soprattutto alla base risulta esserci una carenza di conoscenze di Information Technology da parte di tecnici audio non abituati a confrontarsi con questo campo. Una grande preparazione nel settore audio deve in questo caso affiancarsi ad una conoscenza almeno basilare delle tecnologie di rete.

L'audio networking è un'innovazione che sta ricoprendo un ruolo sempre più centrale nel settore audio ed ho ritenuto opportuno analizzare le caratteristiche principali e i vari aspetti da prendere in considerazione per chi volesse approcciarsi a questo mondo, chiarendo alcuni aspetti che risultano ad ora confusionari data anche la carenza di informazioni reperibili a riguardo.

Attraverso la realizzazione del progetto di cui si parlerà nel Capitolo 2, verranno esaminate tutte le problematiche che si possono riscontrare quando ci si pone l'obiettivo di implementare un sistema di audio digitale tramite LAN e verranno

approfondite tutte le possibilità che questa tecnologia offre, dal controllo del flusso di segnale mediante dispositivi mobili, alla creazione di preset per richiamare delle scene salvate anche tramite un calendario programmabile dall'utente, alla gestione di linee di ritardo e di effetti assegnabili a ciascun dispositivo presente nella rete.

## Obiettivi

Con questa tesi mi sono posto l'obiettivo di fornire un approfondimento sulle opportunità concrete che si possono avere sostituendo il classico cablaggio analogico con quello digitale tramite protocolli di instradamento del segnale audio. Cercherò di capire i motivi per cui Dante è considerato il più efficiente tra questi, studiando la latenza, il clock, la frequenza di campionamento (*sampling rate*) e la profondità di bit (*bit depth*). Analizzerò come tale protocollo riesca a gestire e ad ottimizzare le problematiche che emergono in strutture di audio networking.

Una volta fatto questo, svilupperò un sistema attuabile in aule universitarie, sale conferenze e auditorium, sfruttando le tecnologie ad oggi utilizzate prevalentemente in applicazioni live per grandi eventi come concerti e festival. In particolare, verranno esaminati i ritardi che intercorrono tra i vari dispositivi della struttura e quanto l'inserimento di un nuovo device riesca ad influenzare il tempo di trasmissione dei dati. Si parlerà poi di amministrazione del segnale di clock e quali caratteristiche dovrebbe avere un dispositivo per risultare adatto a ricoprire il ruolo di *Master Clock*, ovvero lo strumento che consente di sincronizzare il *bitrate* (trasferimento dei singoli bit) di diverse macchine collegate all'interno della stessa rete. Un altro aspetto di fondamentale importanza è la considerazione di un meccanismo di ridondanza che possa entrare in funzione nel caso in cui avvenga la rottura di un cavo, dato che i molteplici collegamenti che mettevano in comunicazione i vari dispositivi, sono ora sostituiti da un unico cavo di rete Cat5e o Cat6. Per questo è necessario prevedere un'alternativa parallela al cablaggio principale, specialmente nei sistemi più grandi.

Per comprendere al meglio le potenzialità di questo nuovo modo di concepire un ecosistema audio in maniera modulare, verrà creata un'interfaccia grafica attraverso la quale sarà possibile controllare qualsiasi elemento collegato alla rete, addirittura modificandone i parametri di funzionamento in base alle esigenze del momento in maniera veloce ed intuitiva.

Tutti questi dati verranno poi raccolti e confrontati con quelli offerti da un sistema analogico corrispondente per evidenziarne le differenze e trarne delle conclusioni. Il focus sarà quello di trovare mediante questo progetto un insieme di vantaggi che dimostreranno quanto l'audio analogico sia ormai diventato obsoleto a favore del digitale.

# Struttura della Tesi

Il documento è suddiviso in quattro Capitoli sviluppati in Sezioni e Sottosezioni:

- Nel primo capitolo verrà approfondito lo studio del Protocollo Dante, analizzando in dettaglio tutte le sue caratteristiche e studiando come riesca a gestire nel modo più efficiente possibile l'insieme delle problematiche legate all'audio networking come latenza, clock e flussi di trasmissione.
- Nel secondo capitolo si parlerà dell'implementazione di un sistema di audio digitale progettato appositamente per aule universitarie, sale conferenze e auditorium, sfruttando le conoscenze precedentemente acquisite tramite l'analisi dettagliata del protocollo Dante.
- Nel terzo capitolo l'attenzione verterà sulla creazione di un'interfaccia grafica che offrirà la possibilità di controllare l'intero sistema tramite dispositivi mobili connessi alla rete, come pc, tablet o smartphone. La principale funzionalità sarà quella di poter richiamare delle scene salvate mediante le quali si riuscirà a rimodulare del tutto l'instradamento del segnale all'interno della rete senza dover modificare il cablaggio.
- Nell quarto capitolo si trarranno le conclusioni del lavoro svolto, esaminandone i vantaggi rispetto ai classici sistemi analogici. Infine, si darà spazio a possibili sviluppi futuri.



# 1. Protocollo Dante

Dante (Digital Audio Network Through Ethernet) è un sistema di trasporto di audio digitale ad elevate prestazioni ideato dall'azienda australiana Audinate nel 2006. Esso è costituito da un insieme di hardware, software e protocolli di rete che lavorano a livello 3, a differenza di altre tecnologie come AVB, Madi e EtherSound che lavorano con protocolli a livello 2, i quali sfruttando unicamente i MAC address, non hanno bisogno di assegnare indirizzi IP ai dispositivi.

Tutti questi sistemi utilizzano protocolli e metodi di sincronizzazione tra loro differenti o proprietari, ma in comune hanno il fatto che per funzionare necessitano di una banda di trasmissione garantita e riservata, e possono solamente trasferire frame ethernet di dimensione fissa. Un'altra importante innovazione apportata da Audinate risiede nel fatto che il protocollo da essa ideato utilizza reti Gigabit a differenza di altri come CobraNet o EtherSound, in grado di trasportare informazioni alla velocità massima di 100Mbps. Questo è semplice da configurare e da gestire in quanto i dispositivi (con tecnologia Dante) collegati fra loro, sono in grado di riconoscersi a vicenda e possono condividere i dati (numero di canali in ingresso e in uscita, frequenza di campionamento, profondità di bit, clock, latenza). Inoltre, i device e i canali possono essere rinominati con maggiore chiarezza senza ricorrere all'uso di codici numerici difficili da memorizzare. Grazie a tale funzione l'audio viene instradato tramite un meccanismo che rileva automaticamente i nomi dei dispositivi e dei canali stessi.

Gli switch impiegati da questo protocollo sono anch'essi Gigabit Ethernet, per cui, i valori di ritardo sono molto più bassi rispetto a quelli propri delle reti a 100Mbps. Attraverso lo standard *Quality of Service (QoS)*, Dante si assicura che i segnali audio vengano elaborati dagli switch più velocemente rispetto ad altri tipi di dati. Utilizzando invece lo standard *Precision Time Protocol (PTP)*, garantisce una sincronizzazione precisa al microsecondo tra i dispositivi "slave" e il "master" per quanto concerne il clock, ossia il tempo di sincronizzazione delle varie macchine che si trovano in rete.

Dante ha la capacità di veicolare fino a 1024 canali (512 in ingresso e 512 in uscita), una latenza ottimale inferiore ad 1 millisecondo, un *sampling rate* massimo di 384kHz e risoluzione fino a 32 bit.

Oltre a queste caratteristiche tecniche, fornisce un controller che permette l'instradamento dei canali a livello grafico mediante un'interfaccia utente. È perfino possibile utilizzare un qualsiasi computer come interfaccia I/O, capace di gestire fino a 64 canali da e verso la rete tramite la porta ethernet.

Infine, i dispositivi Dante offrono porte primarie e secondarie in modo da fornire ridondanza in maniera molto semplice e garantire un'ottima messa in sicurezza del sistema implementato.

In questo capitolo si cercherà di chiarire e di approfondire in dettaglio tutte le caratteristiche principali del protocollo Dante focalizzandosi su come questo riesca a gestire nel modo più efficiente possibile l'insieme delle problematiche legate all'audio networking come latenza, clock, flussi di trasmissione e ridondanza.

## 1.1 Latenza

Uno dei principali fattori da tenere in considerazione quando si parla di reti audio è sicuramente la latenza. Essa rappresenta il tempo che un segnale impiega per viaggiare da un ingresso ad un'uscita di un sistema (Figura 1.1). Tutti i segnali digitali posseggono questa caratteristica dovuta principalmente alle conversioni *A-D* (da segnale Analogico a segnale Digitale) e *D-A* (da segnale Digitale a segnale Analogico). Nelle applicazioni di touring o in eventi particolarmente grandi, è di fondamentale importanza prendere in considerazione la latenza totale del sistema implementato, poiché essa costituisce un problema nel caso in cui si ascoltino contemporaneamente segnale ritardato e non. Avere una latenza superiore ai 10 millisecondi è inconcepibile nel settore audio. Un ruolo cruciale è ricoperto dagli switch, i quali hanno il compito di ricevere pacchetti, controllare le informazioni e inviarle al cavo più adatto al fine di raggiungere la destinazione.

Nella Sottosezione 1.1.2 verrà trattato come queste macchine influenzano il ritardo complessivo della trasmissione audio nei moderni sistemi di audio networking.

Per concludere, prima di passare a come Dante riesca a controllare ed ottimizzare i ritardi, è necessario dire che i protocolli di rete più avanzati hanno ottime prestazioni di latenza, la quale si attesta sul millisecondo.



Figura 1.1: Latenza in un sistema audio digitale

### **1.1.1 Gestione della latenza in Dante**

La latenza in Dante è deterministica, ovvero sempre ben definita e consistente all'interno del sistema per tutto il tempo di esecuzione. Ogni ricevitore introduce una specifica latenza, modificabile poi dall'utente attraverso il *Dante Controller*, un'applicazione che permette di gestire l'instradamento del segnale e controllarne i parametri. Ciò garantisce che tutti i dispositivi lavorino in perfetta sincronia. Grazie al supporto delle connessioni Gigabit, con Dante si possono raggiungere dei valori molto bassi di latenza in modo da permettere maggiori libertà nel progettare una rete ad alte prestazioni. Questo protocollo consente di configurare connessioni a bassa latenza per percorsi critici, ma allo stesso tempo di utilizzare connessioni ad alta latenza per applicazioni differenti come registrazioni o broadcasting. Aggiungere dispositivi in rete non influisce sulla latenza delle macchine già connesse alla stessa infrastruttura.

In Dante, dunque, il ritardo di un apparato non dipende dal numero di canali in uso e quindi l'aggiunta di ulteriori segnali non modifica la latenza dell'audio che viaggia sulla rete. Nel caso in cui un trasmettitore e un ricevitore abbiano differenti tempi di latenza, verrà utilizzato il valore più alto. Ad esempio, se il trasmettitore ha latenza 0.25 millisecondi e il ricevitore ha latenza 0.50 millisecondi, il playout risultante sarà di 0.50 millisecondi.

### **1.1.2 Uso degli switch in Dante**

Uno switch ha il compito di analizzare, copiare e poi inoltrare i dati. Per questo motivo il segnale impiega più tempo ad attraversare uno switch piuttosto che un cavo. Ciò significa che maggiore è il numero di questi apparati presenti in un sistema di rete audio, maggiore sarà la latenza complessiva. In Dante, se presente un solo switch, la latenza può essere impostata a 0.15 millisecondi tramite il *Dante Controller*. Di seguito sono riportati alcuni esempi di ritardo in base al numero di questi elementi presenti in una rete audio:

- 1 Switch (reti molto piccole): 0.15ms
- 3 Switch (reti piccole): 0.25ms
- 5 Switch (reti medie): 0.50ms
- 10 Switch (reti grandi): 1.00ms
- +10 Switch (reti molto grandi): 5.00ms

Dante supporta qualsiasi tipologia di switch a differenza dei protocolli che lavorano a livello di collegamento, i quali necessitano di macchine dedicate. Per i piccoli sistemi o in soluzioni in cui sono previsti soltanto device “*Dante-enabled*” basterà dunque impiegare uno non gestito che assegnerà automaticamente gli indirizzi IP ai vari dispositivi, mentre per gli impianti più grandi in cui i segnali sono misti (sia audio che altri tipi di dati) è consigliato utilizzare switch gestiti che permettono di assegnare priorità di trasmissione e garantiscono maggiore affidabilità e controllo della rete, migliorandone le performance. Vi sono differenti modi di collegare gli switch in un ecosistema Dante. La configurazione a stella, che verrà poi utilizzata per lo sviluppo del progetto di cui si parlerà nel Capitolo 2, risulta essere la più efficiente in quanto tramite l’impiego di un numero ridotto di switch si riesce a limitare di molto la latenza totale del sistema.

La Figura 1.2 riportata di seguito illustra una tipica topologia di rete a stella.



Figura 1.2: Topologia a stella di una rete audio

Quando si aggiungono molti switch è importante monitorare le prestazioni della rete. All'interno del *Dante Controller*, nella sezione *Latency (Device View)* è possibile visualizzare la latenza attuale in modo da poter settare correttamente il ritardo in base al numero e alla tipologia di elementi presenti in rete, in quanto ognuno ha una propria latenza nativa e non è possibile impostare un ritardo che risulti essere troppo basso, il che potrebbe causare dei seri problemi, come la perdita di segnale.

Di seguito, nella Figura 1.3 viene rappresentata una buona gestione della latenza, mentre nella Figura 1.4 una pessima.

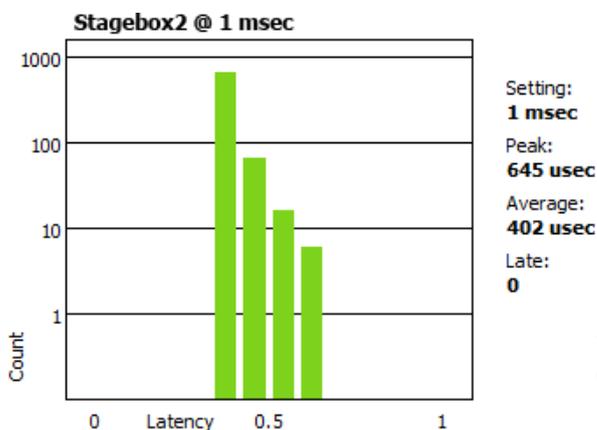


Figura 1.3: Buona gestione della latenza

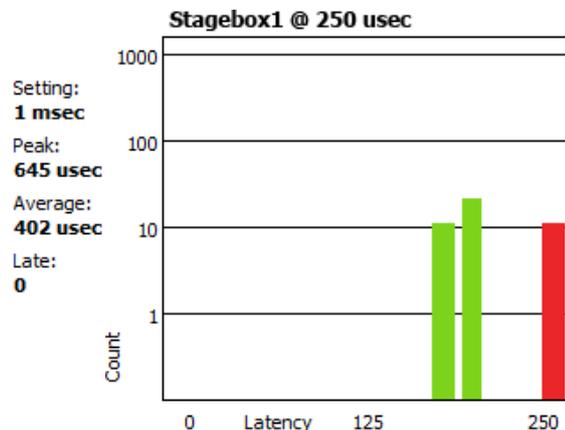


Figura 1.4: Pessima gestione della latenza

Alcune soluzioni per poter migliorare quanto descritto nella Figura 1.4 potrebbero essere aumentare la latenza, aumentare le performance della rete (attraverso *Quality of Service*, di cui si tratterà nella Sottosezione seguente) o disabilitare tutte le impostazioni di gestione switch non necessarie.

### 1.1.3 Quality of Service

In applicazioni critiche dove la stabilità della rete è essenziale, possono essere configurati switch compatibili con *DiffServ Quality of Service (QoS)* per

supportare le priorità *QoS* presenti in tutti i pacchetti Dante. *QoS* permette la sincronizzazione del sistema di clocking (di cui si tratterà nella Sezione 1.2) e consente al traffico audio di avere la priorità su qualsiasi altro tipo di dato condiviso sulla rete. Questo permette ad una classica rete LAN utilizzata per e-mail, internet e trasferimento file, di essere impiegata come una rete audio Dante.

Le nuove funzioni *EEE* (*Energy Efficient Ethernet*) meritano una particolare attenzione dal momento che possono interferire con il traffico audio a bassa latenza in real-time. Per cui è raccomandato testare in modo approfondito per un'operatività corretta gli switch *EEE-capable* utilizzati con Dante o gli switch dove *EEE* può essere disabilitato.

## 1.2 Clock

Il clock è un segnale che permette la sincronizzazione del *bitrate* (ovvero il trasferimento dei singoli bit) tra diversi dispositivi. Esso non trasporta informazioni relative alla linea temporale (ore, minuti, secondi) ma fornisce impulsi che verranno utilizzati per dare il ritmo. Ad esempio, due interfacce audio che lavorano in parallelo dovranno campionare negli stessi istanti di tempo per fare in modo che i campioni rispettivi ai singoli canali siano sempre sincronizzati, oltre che campionare ovviamente alla stessa frequenza di campionamento e bit di quantizzazione.

Tutti i device hanno bisogno di informazioni identiche sul timing per impacchettare l'audio ed avere una sincronizzazione perfetta. Tale sincronizzazione è critica per il successo di qualsiasi rete audio.

Per assicurare un'elevata qualità nella riproduzione sonora è necessario che il clock sia stabile, ovvero che l'intervallo di tempo tra un impulso e l'altro sia il più possibile costante. Questo punto viene raggiunto grazie alla presenza di un singolo *Master Clock* che fornisce le informazioni sulla sincronizzazione tra tutti i dispositivi. Di seguito sono elencati i sistemi più utilizzati per i segnali di sincronizzazione dell'audio networking:

- *AES/EBU: Audio Engineering Society/European Broadcasting Union* (protocollo che consente di inviare due canali audio digitali che trasportano al loro interno anche l'informazione relativa al clock);
- *S/PDIF: Sony/Philips Digital Interface* (protocollo che, come il precedente, permette di inviare due canali audio digitali che trasportano al loro interno anche l'informazione relativa al clock);
- *WordClock*: rispetto ai due precedenti è un vero e proprio segnale di sincronizzazione. Viene utilizzato per allineare le diverse macchine digitali presenti in uno studio. Esso può essere generato da un'interfaccia audio (in generale di fascia alta) oppure da uno strumento dedicato e

viene trasmesso utilizzando cavi coassiali che montano connettori di tipo *BNC (Bayonet Neill Concelman)*.

Nella Sottosezione 1.2.1 si vedrà come il protocollo Dante, a differenza delle tradizionali trasmissioni audio digitali, non farà uso del *TDM (Time-Division Multiplexing)*.

### **1.2.1 Clock in Dante**

I classici formati standard per l'audio digitale come CobraNet, AES/EBU, Madi o EtherSound fanno uso del *TDM Clock* in quanto sono sistemi con capacità fissa. Qui il tempo di utilizzo del canale di comunicazione è organizzato in frame della stessa durata. In Dante, invece, il segnale di clock viene inviato all'interno di un pacchetto diviso tra intestazione (*header*) e dati (*payload*). Per la sincronizzazione di questi pacchetti viene utilizzato il *PTP (Precision Time Protocol)*, che garantisce un'accuratezza al di sotto del microsecondo. La differenza tra questi due modi di gestire il clock è visibile nelle Figure 1.5 e 1.6.

Dante è inoltre basato su un'architettura *Master-Slave*, con la quale si elegge un unico master che può essere scelto automaticamente secondo le specifiche *IEEE 1588*, o manualmente con la funzione "*Preferred Master*" del *Dante Controller*. È altresì possibile scegliere un clock esterno alla rete attraverso "*Enable Sync to External*", anche se sconsigliato in piccole configurazioni. Se si imposta un clock esterno è buona norma controllare periodicamente il suo stato tramite il "*Clock Status Monitor*" che registra i dati nel tempo e permette di individuare eventuali instabilità. Una volta scelto il dispositivo master, questo inizierà a trasmettere in multicast un segnale di sync a tutti gli slave. Ogni slave calcolerà il proprio *offset* temporale causato dai ritardi della rete e invierà una "*Delay Request*" al proprio master, il quale risponderà con una "*Delay Response*". Lo slave potrà così sincronizzarsi perfettamente con il master. Il sync verrà controllato varie volte ogni secondo. Una problematica significativa che potrebbe insorgere è l'eventualità che il master perda la connessione. In tal caso, tutti gli slave continueranno a lavorare con il proprio clock in attesa che un nuovo master

venga eletto velocemente ed in maniera automatica attraverso *BMCA* (*Best Master Clock Algorithm*). In questo modo tutto sarà nuovamente sincronizzato senza interruzioni né glitch.

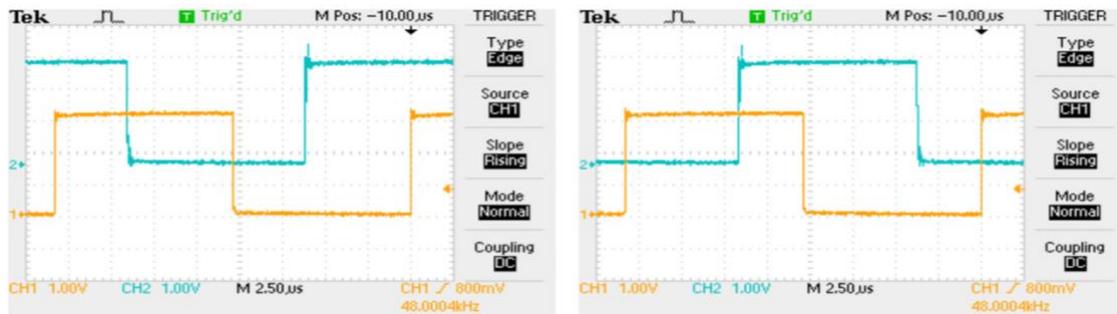


Figura 1.5: Clock di un sistema CobraNet

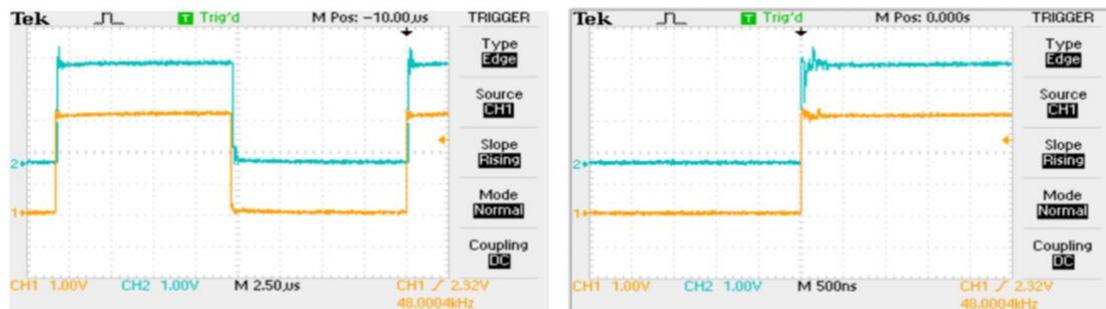


Figura 1.6: Clock di un sistema Dante

## 1.3 Flussi unicast e multicast

Per migliorare la sua efficienza, Dante organizza i canali audio in gruppi chiamati “flussi”, quando è possibile. In ogni flusso possono essere raggruppati fino a quattro canali, se trasmessi o ricevuti dallo stesso dispositivo. Ciò significa che vengono condivisi gli stessi pacchetti di dati ethernet, il che assicura una maggiore efficienza per la larghezza di banda. Con una scheda *Brooklyn II* (la più comune interfaccia Dante, oramai inserita da molti produttori di dispositivi audio all'interno delle proprie macchine) si riescono, ad esempio, a gestire 32 flussi, con i quali sarà possibile trasmettere fino a 4 canali a 32 dispositivi, fino a 8 canali a 16 dispositivi e così via.

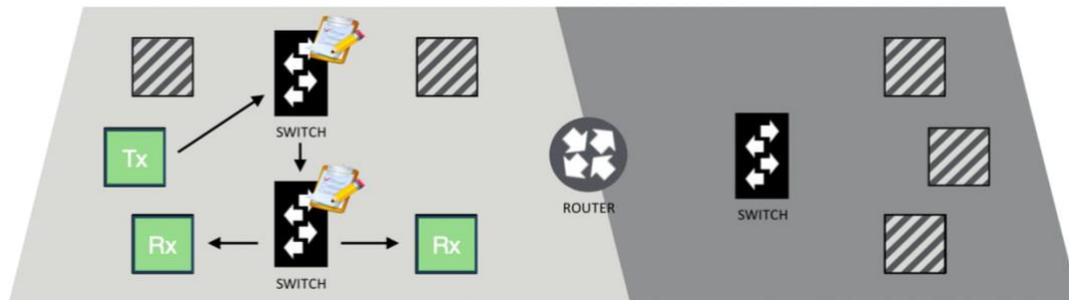
Se si pensa alle applicazioni di touring, una semplice scheda come quella menzionata sopra può diventare uno *splitter digitale* per quattro console. Ma Dante non necessita neanche di uno split a più device perché è possibile utilizzare il *multicast*, anche se di default tutti i flussi sono *unicast* in modo da preservare la larghezza di banda degli switch nella rete.

Il multicast risulta essere utile quando si vogliono trasmettere più canali a molti dispositivi. In questo modo si ha meno carico di lavoro per il dispositivo trasmittente poiché vengono inviate diverse copie degli stessi dati, ma più lavoro per gli switch. Dante è un protocollo molto intelligente perché è in grado di avvertire, tramite Dante Controller, se in un sistema audio sia necessario utilizzare il multicast.

### 1.3.1 IGMP Snooping

Dante fa uso dell'*IGMP Snooping* (*Internet Group Membership Protocol*) per la gestione dei dati multicast. L'IGMP Snooping ricopre un ruolo cruciale poiché riesce a ridurre la propagazione del traffico multicast nella rete. Tutto funziona tramite l'assegnazione di indirizzi IP ad ogni flusso, ogni switch tiene traccia degli IP e se un dispositivo deve ricevere i dati multicast chiede allo switch di inviarglieli. Lo switch invierà i dati solo ai device che li richiedono (Figura 1.7).

L'IGMP Snooping è vitale quando si utilizza il multicast Dante su reti a 100Mbit, quando si aggiungono dispositivi di controllo critici nella stessa rete del traffico multicast e quando si utilizza il Wi-Fi nella stessa rete del Dante.



*Figura 1.7: L'IGMP Snooping invia i flussi di segnale solo ai richiedenti*

## 1.4 Ridondanza

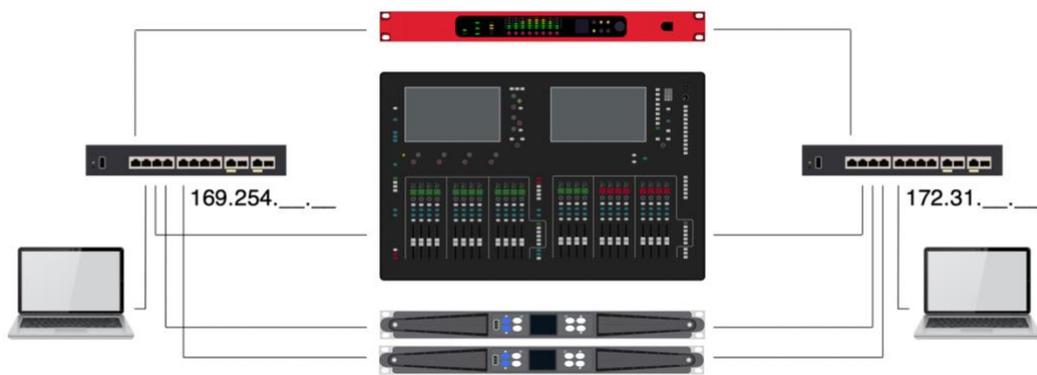
A differenza dei sistemi analogici in cui i cavi possono essere facilmente sostituiti, la rottura di un cavo di rete può apportare seri problemi in un sistema di audio digitale. Per questo motivo è necessario progettare gli impianti di audio networking con meccanismi di ridondanza. Molti dispositivi Dante presentano porte primarie e secondarie per creare due reti fisicamente indipendenti. I flussi audio viaggiano contemporaneamente su entrambi i collegamenti, aumentando la stabilità del sistema. Nella Sottosezione 1.4.1 si vedrà come impostare la ridondanza in Dante.

### 1.4.1 Ridondanza in Dante

Come accennato sopra, molti dispositivi Dante sono provvisti di porte ridondanti. Il primo passo da compiere per settare correttamente la ridondanza in un sistema di audio digitale basato su Dante, è impostare inizialmente la rete primaria fornendo una subnet e assegnando indirizzi IP a tutte le interfacce presenti. Una volta eseguito questo, sarà possibile configurare una nuova rete connessa alla porta secondaria di ogni device che utilizzerà cavi e switch separati. La rete ridondante funzionerà *full-time* e, nel caso in cui si verifichi una rottura o una mancanza di segnale nella rete primaria, entrerà in gioco senza causare alcuna perdita. È fondamentale che rete primaria e rete secondaria siano impostate su differenti subnet e diversi domini di broadcast.

All'interno dei sistemi ridondanti che fanno uso di tecnologia Dante è possibile inserire anche dispositivi che non supportano ridondanza, in quel caso saranno lasciati fuori dalla rete secondaria.

Nella Figura 1.8 è rappresentato un sistema che prevede due flussi di segnale contemporanei in un ecosistema Dante.



*Figura 1.8: Ridondanza in un sistema Dante*



## 2. Soluzione Audio Networking per aule universitarie

Se prima della pandemia le lezioni online si stavano ritagliando uno spazio sempre più importante nel settore dell'istruzione, ora devono essere considerate cruciali. Con un numero considerevole di studenti che sono costretti a rimanere a casa, l'esigenza di creare un ambiente sicuro ed efficace è diventata una priorità. La scarsa qualità audio nel mondo delle conferenze è sempre stata parte centrale di un'ampia discussione. I sistemi analogici uniti allo streaming video, in questo campo incorrono molto spesso in problemi di trasmissione, riverberi, latenze che non permettono una perfetta intellegibilità per chi si trova dall'altra parte ad ascoltare. Inoltre, nel periodo in cui ci siamo ritrovati, bisogna far fronte anche al distanziamento sociale, e le vecchie soluzioni audio compatte impiegate nel settore dell'istruzione e delle conferenze (soundbar, altoparlanti USB, piccoli monitor audio) non sono più così efficienti per il fatto che, avendo una potenza in watt limitata, non riescono a raggiungere tutti gli interlocutori. Una soluzione migliore dovrebbe coprire lo spazio in maniera più efficace.

In questo contesto l'audio networking gioca un ruolo molto interessante grazie alla sua modularità e alla possibilità di aggiungere più *endpoint* in base alle esigenze senza porre limiti alla sua espandibilità. Una regola fondamentale è che i microfoni si trovino il più possibile vicino agli interlocutori. Per un'applicazione universitaria che si adatti alle distanze sociali, la soluzione potrebbe essere data o da diversi microfoni posti sul tavolo, o ancora meglio, da microfoni a soffitto avanzati in grado di catturare il segnale in un ampio raggio e filtrare eventuali rumori. Questi potrebbero poi essere gestiti tramite un *DSP (Digital Signal Processor)* multicanale per migliorare in modo conveniente la qualità del suono nelle applicazioni sopra descritte e gestire più aule con tanti endpoint, permettendo addirittura l'interazione tra professori situati in zone distinte dell'università.

Nel presente capitolo verranno messi in pratica tutti gli aspetti inerenti al protocollo Dante da me approfonditi nel Capitolo 1 di questa tesi, sviluppando

una soluzione audio networking per aule universitarie, applicabile poi anche a sale conferenze ed auditorium.

L'obiettivo principale è quello di progettare un sistema che sia versatile, funzionale e di semplice utilizzo in modo da non richiedere personale audio specializzato per la sua gestione. Si partirà con la scelta dei vari dispositivi e successivamente con il loro routing. Si analizzeranno tutte le caratteristiche principali, tra cui latenza, clock e qualità del suono. Una volta cablate e indirizzate, queste macchine dovranno essere programmate in base alle esigenze a cui bisognerà far fronte per un'applicazione universitaria. Verranno dunque creati dei preset che permetteranno, ai docenti o a chi di competenza, di poter controllare e gestire l'intero sistema attraverso un'interfaccia grafica (di cui si parlerà nel Capitolo 3).

## 2.1 Implementazione del progetto

Per questo progetto ho preso in considerazione una grande aula universitaria utilizzata sia per lezioni a distanza che in presenza, per cui si dovrà tenere conto dell'audio in sala, ma allo stesso tempo anche di quello trasmesso in streaming insieme al video. Tale aula, oltre che per le lezioni, verrà utilizzata anche per eventi, in modo da evidenziare la versatilità di questo sistema che potrà essere gestito tramite un'interfaccia grafica con la possibilità di memorizzare e richiamare dei preset.

Il primo passo da compiere è individuare tutti i dispositivi da inserire nel sistema, in modo che questo sia ottimizzato per le applicazioni descritte sopra. Nello specifico, sarà necessario considerare un DSP, che ricoprirà un ruolo principale all'interno della rete. Esso è il processore che avrà il compito di elaborare tutti i segnali digitali. Oltre a questo, occorreranno un microfono da conferenza (principale fonte del parlato che verrà trasmesso sia in aula che in streaming), un microfono a soffitto (fonte secondaria), dei diffusori con tecnologia Dante da distribuire in punti strategici dell'aula e uno switch che metterà in comunicazione tutte le macchine del sistema. Di seguito l'elenco del materiale utilizzato per questo progetto:

- DSP Symetrix Prism 4x4;
- Base per microfono da conferenza Audio-Technica ATND8677a;
- Microfono Audio-Technica PRO49Q;
- Microfono a soffitto Audix M3;
- 4x Diffusori attivi Aimline ALX 8.0;
- Switch Cisco Catalyst 2960-L;
- Huawei Matebook 13" (Composer 8.0);
- MacBook Pro 13" M1 (Logic Pro X).

### 2.1.1 Cablaggio

In un sistema di questo tipo il primo elemento da posizionare è lo switch. Il suo collocamento in un punto strategico dell'aula è molto importante poiché da lì partiranno i cavi Cat6 per raggiungere i vari dispositivi che possono trovarsi

anche in altre stanze. Esso mette in comunicazione tutti gli elementi della rete, tra cui il DSP, ovvero il *core* della struttura. In questo caso specifico, il microfono da conferenza Audio-Techinca ATND8677a e quello a soffitto Audix M3, inviano un segnale che verrà indirizzato dallo switch verso il DSP, il quale lo elaborerà inserendo i parametri passati attraverso il software di programmazione *Composer 8.0* (di cui si tratterà nella Sottosezione 2.1.3). Una volta manipolato il segnale, questo sarà inviato ai diffusori sempre tramite switch. Sono stati collegati alla stessa rete anche un notebook Huawei Matebook 13” per la programmazione del processore e un MacBook Pro 13” per la registrazione audio. Date le modeste dimensioni del progetto, il sistema in questo caso non è stato provvisto di ridondanza.

Nella Figura 2.1 è possibile vedere il modo in cui è stato organizzato il cablaggio.

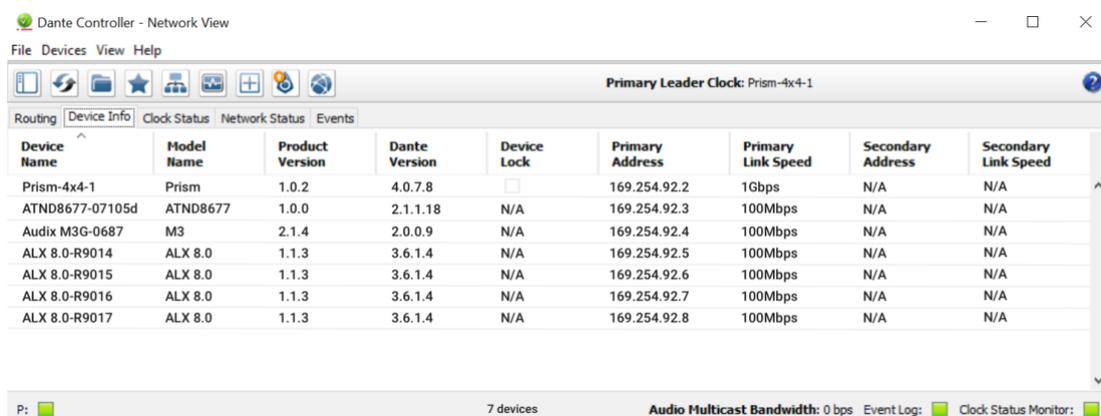


Figura 2.1: Cablaggio di audio networking per un'aula universitaria

## 2.1.2 Routing

Il sistema implementato fa uso del protocollo Dante, che lavorando a livello 3, permette di assegnare a ciascun dispositivo della rete un indirizzo IP, tramite il quale riesce a comunicare. Questa assegnazione può avvenire o automaticamente tramite *DHCP* o manualmente. Gli indirizzi IP in questo progetto sono stati attribuiti dall'utente per mezzo del Dante Controller (Figura 2.2). Pertanto, è possibile tenere traccia di ogni macchina connessa in maniera più efficiente, potendola anche rinominare all'interno del programma (Figura 2.3).

Considerando l'esiguo numero di dispositivi in rete e l'applicazione in un contesto universitario, non trattandosi di un evento particolarmente grande in cui i canali audio possono superare le centinaia di unità, sarebbe stata sufficiente l'assegnazione IP dinamica già prevista dal protocollo Dante, che assicura una configurazione *plug and play* degli strumenti abilitati.



The screenshot shows the Dante Controller software interface. At the top, it says "Dante Controller - Network View". Below that is a menu bar with "File", "Devices", "View", and "Help". There are several icons in the toolbar. The main area is a table with the following columns: Device Name, Model Name, Product Version, Dante Version, Device Lock, Primary Address, Primary Link Speed, Secondary Address, and Secondary Link Speed. The table contains 7 rows of data. At the bottom, there is a status bar with "P: [green square]", "7 devices", "Audio Multicast Bandwidth: 0 bps", "Event Log: [green square]", and "Clock Status Monitor: [green square]".

Device Name	Model Name	Product Version	Dante Version	Device Lock	Primary Address	Primary Link Speed	Secondary Address	Secondary Link Speed
Prism-4x4-1	Prism	1.0.2	4.0.7.8	<input type="checkbox"/>	169.254.92.2	1Gbps	N/A	N/A
ATND8677-07105d	ATND8677	1.0.0	2.1.1.18	N/A	169.254.92.3	100Mbps	N/A	N/A
Audix M3G-0687	M3	2.1.4	2.0.0.9	N/A	169.254.92.4	100Mbps	N/A	N/A
ALX 8.0-R9014	ALX 8.0	1.1.3	3.6.1.4	N/A	169.254.92.5	100Mbps	N/A	N/A
ALX 8.0-R9015	ALX 8.0	1.1.3	3.6.1.4	N/A	169.254.92.6	100Mbps	N/A	N/A
ALX 8.0-R9016	ALX 8.0	1.1.3	3.6.1.4	N/A	169.254.92.7	100Mbps	N/A	N/A
ALX 8.0-R9017	ALX 8.0	1.1.3	3.6.1.4	N/A	169.254.92.8	100Mbps	N/A	N/A

Figura 2.2: Assegnazione degli indirizzi IP ai dispositivi del sistema

The screenshot shows the Dante Controller software interface. At the top, it says 'Dante Controller - Network View'. Below that is a menu bar with 'File', 'Devices', 'View', and 'Help'. There are several icons for navigation and settings. The main window title is 'Primary Leader Clock: Prism-4x4-1'. Below the title bar, there are tabs for 'Routing', 'Device Info', 'Clock Status', 'Network Status', and 'Events'. The 'Device Info' tab is active, displaying a table of devices. At the bottom of the window, there are status indicators: 'P: [green square]', '7 devices', 'Audio Multicast Bandwidth: 0 bps', 'Event Log: [green square]', and 'Clock Status Monitor: [green square]'.

Device Name	Model Name	Product Version	Dante Version	Device Lock	Primary Address	Primary Link Speed	Secondary Address	Secondary Link Speed
Prism 4x4	Prism	1.0.2	4.0.7.8	<input type="checkbox"/>	169.254.92.2	1Gbps	N/A	N/A
ATND8677a	ATND8677	1.0.0	2.1.1.18	N/A	169.254.92.3	100Mbps	N/A	N/A
Audix M3	M3	2.1.4	2.0.0.9	N/A	169.254.92.4	100Mbps	N/A	N/A
Aimline 1 Sx	ALX 8.0	1.1.3	3.6.1.4	N/A	169.254.92.5	100Mbps	N/A	N/A
Aimline 1 Dx	ALX 8.0	1.1.3	3.6.1.4	N/A	169.254.92.6	100Mbps	N/A	N/A
Aimline 2 Sx	ALX 8.0	1.1.3	3.6.1.4	N/A	169.254.92.7	100Mbps	N/A	N/A
Aimline 2 Dx	ALX 8.0	1.1.3	3.6.1.4	N/A	169.254.92.8	100Mbps	N/A	N/A

Figura 2.3: Rinomina dei dispositivi del sistema

Solitamente, quando si tratta di grandi impianti audio, la rinomina dei dispositivi avviene secondo un dato ordine a causa dell'enorme quantità di interfacce presenti sul palco. Sebbene questo progetto non preveda l'impiego di un vasto numero di macchine da collegare in rete, è sempre buona norma utilizzare tale funzione per poter poi richiamare facilmente quei dispositivi in futuri preset o per riuscire ad orientarsi meglio durante la programmazione stessa della rete. I diffusori, in particolar modo, sono stati rinominati in base alla loro posizione all'interno dell'aula. Questo aiuterà a distinguerli nel momento in cui, tramite il software Composer 8.0, si andranno a gestire tutti i ritardi e si dovranno aggiungere dei plugin specifici.

### 2.1.3 Programmazione

Una volta effettuato il cablaggio e dopo aver assegnato gli indirizzi IP a tutti i dispositivi presenti in rete, è necessario programmare come questi elementi dovranno poi comunicare tra loro, poiché nei sistemi di audio networking il cablaggio fisico e quello funzionale sono distinti. Per fare ciò, ho utilizzato il software Composer 8.0 messo a disposizione da Symetrix, il quale tramite una programmazione visuale consente di creare dei moduli di elaborazione audio per l'instradamento e la modellazione del segnale. I moduli utilizzati in questo

progetto soddisfano i requisiti richiesti per scopi speciali come aule e sale conferenze.

Come visibile nella Figura 2.4, è stato possibile accedere direttamente al DSP ed organizzare il sistema nella sua totalità. Inizialmente è stato assegnato un ruolo a ciascun dispositivo, poi sono stati aggiunti dei moduli audio pensati appositamente per la funzione che dovrà svolgere ogni macchina una volta che il sistema sarà online. Si andrà ora ad analizzare nello specifico tutta la struttura.

Inizialmente è stato inserito un modulo mixer con 32 canali in ingresso e un'unica uscita, questo perché il sistema è stato pensato con l'ottica di un possibile ampliamento senza la necessità di modificarne le caratteristiche strutturali. Ai primi quattro canali del mixer sono stati assegnati i quattro ingressi analogici del DSP per non escludere la possibilità di aggiungere dei dispositivi classici come microfoni con connettori XLR o jack. È stata prevista un'unica uscita mono poiché per l'applicazione in un'aula universitaria non è necessaria la stereofonia, che al contrario è sconsigliata perché ogni ascoltatore deve poter ricevere un suono che sia perfettamente intellegibile in qualsiasi zona della sala si trovi. Le uscite analogiche del DSP, così come gli ingressi, sono state collegate al mixer in previsione di un incremento del sistema. Una volta indirizzati i collegamenti analogici, l'attenzione si è spostata su quelli digitali con protocollo Dante. Il primo elemento inserito è stato il microfono a soffitto Audix M3, verso il quale è stata posta una particolare attenzione poiché, trovandosi distante dalla fonte del parlato e avendo un ampio raggio di ripresa, è stato necessario applicare delle modulazioni e dei filtri specifici per conferenze come l'*Echo Reducer* che limita il riverbero della sala rendendo più fluida la ripresa della voce. A questo sono stati aggiunti un equalizzatore grafico a 12 bande e un compressore. Il segnale processato entrerà poi nel mixer e verrà inviato ai diffusori. Oltre al ricevitore appena descritto, è stato connesso anche il microfono da tavolo Audio-Technica ATND8677a, a cui sono stati assegnati un equalizzatore grafico a otto bande, un compressore, un filtro *Feedback Fighter* per l'attenuazione dei rumori e un controllo *VCA* che consente al dispositivo di funzionare solo nel caso in cui il relatore preme il pulsante fisico posto sulla base del microfono per evitare che

rimanga accidentalmente aperto. Anche questo segnale processato verrà poi inviato al mixer.

La parte più interessante riguarda invece i quattro diffusori *Dante-enabled* Aimline ALX 8.0, i quali possono essere completamente programmati in base al loro posizionamento all'interno dell'aula. Questo consente di gestire alla perfezione i ritardi nel caso in cui la sala sia molto grande, ma anche l'ampiezza focale e la direzione del suono. In questo progetto ho considerato un'aula relativamente estesa per dimostrare le potenzialità di questi sistemi audio digitali. All'uscita del mixer sono stati quindi collegati tutti i diffusori e sono stati aggiunti i moduli *Speaker Manager* per la gestione dei ritardi e consentire di regolare il suono in modo da renderlo omogeneo nonostante le dimensioni della sala.

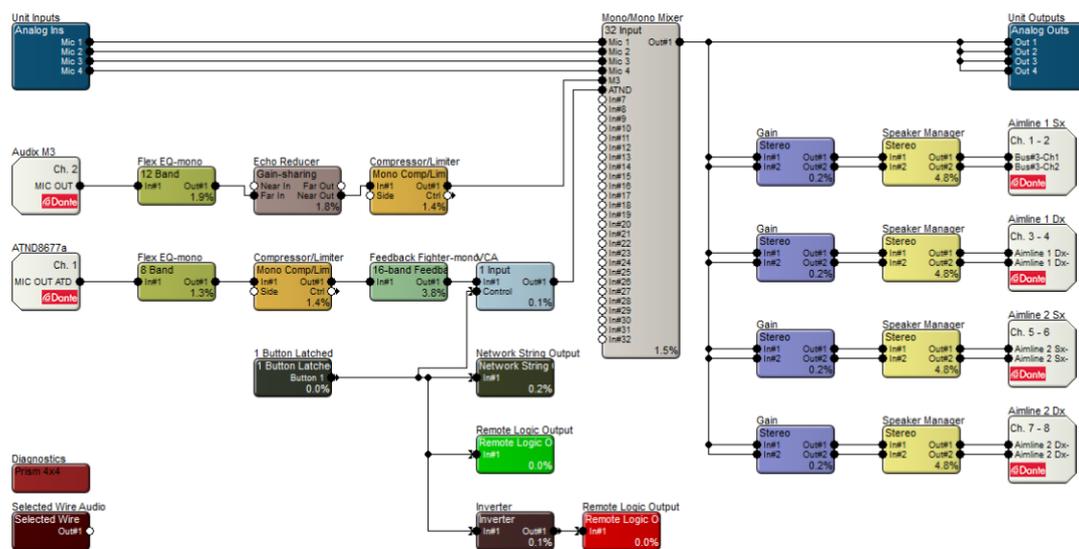


Figura 2.4: Programmazione del sistema audio digitale in Compressor 8.0

Come approfondito nella Sezione 1.3 del Capitolo 1, in Dante si possono programmare anche i flussi multicast per inviare il segnale da un'unica sorgente a più destinazioni. Qui, però, sono stati lasciati unicast (Figura 2.5) come di default dato il numero limitato di dispositivi presenti in rete.

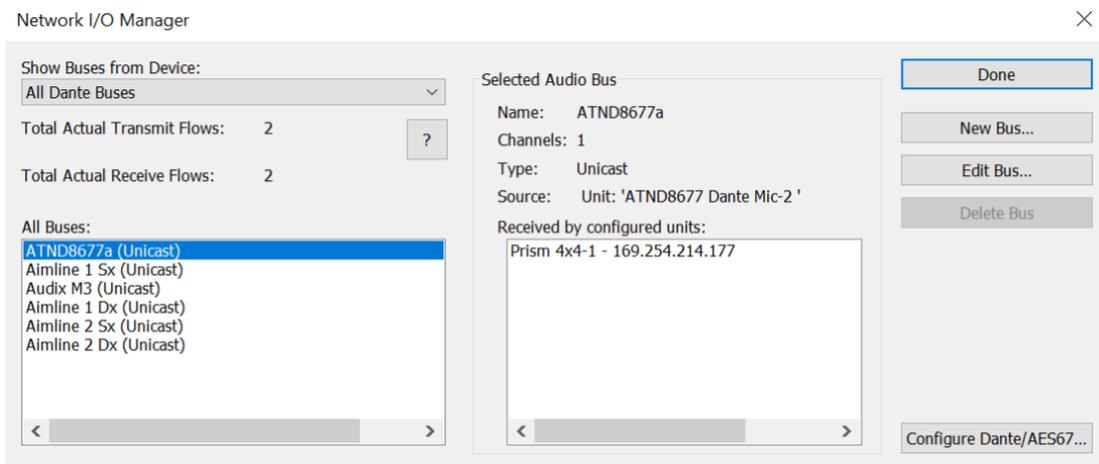


Figura 2.5: Flussi unicast del sistema audio implementato

## 2.1.4 Gestione dei preset tramite calendario

Una funzione interessante propria delle tecnologie di audio networking riguarda la possibilità di salvare delle scene per poi poterle automatizzare grazie al tool “Calendario” (Figura 2.6) disponibile in fase di programmazione nel software Composer 8.0 del DSP. Senza la necessità di dover modificare il cablaggio fisico, si hanno molte possibilità circa la creazione di preset richiamabili facilmente tramite un’interfaccia (di cui si andrà a parlare nel Capitolo 3 di questo lavoro) o mediante l’uso di un qualsiasi pc con installato Composer o Dante Controller. Questa funzione risulta essere molto utile per quei luoghi che hanno più di un utilizzo. Grazie al tocco di un semplice pulsante si è in grado di stravolgere completamente l’uso che si fa di un sistema audio digitale per poterlo modellare in base alle esigenze del momento. Il calendario permette di rendere automatico il cambiamento di questi preset in base ad un orario prestabilito.

L’aula in questione è stata pensata per un impiego prettamente didattico (dal lunedì al venerdì) ma anche come sala per piccoli concerti (sabato sera e domenica pomeriggio), quindi le equalizzazioni e i ritardi, così come il routing, verranno adeguati all’applicazione corrente. Grazie a questo, sarà inoltre possibile effettuare delle riprese audio automatiche tramite pc o registratore

multitraccia, da trasmettere in un eventuale streaming video. Si discuterà di questo argomento nella Sezione 2.4 della tesi.

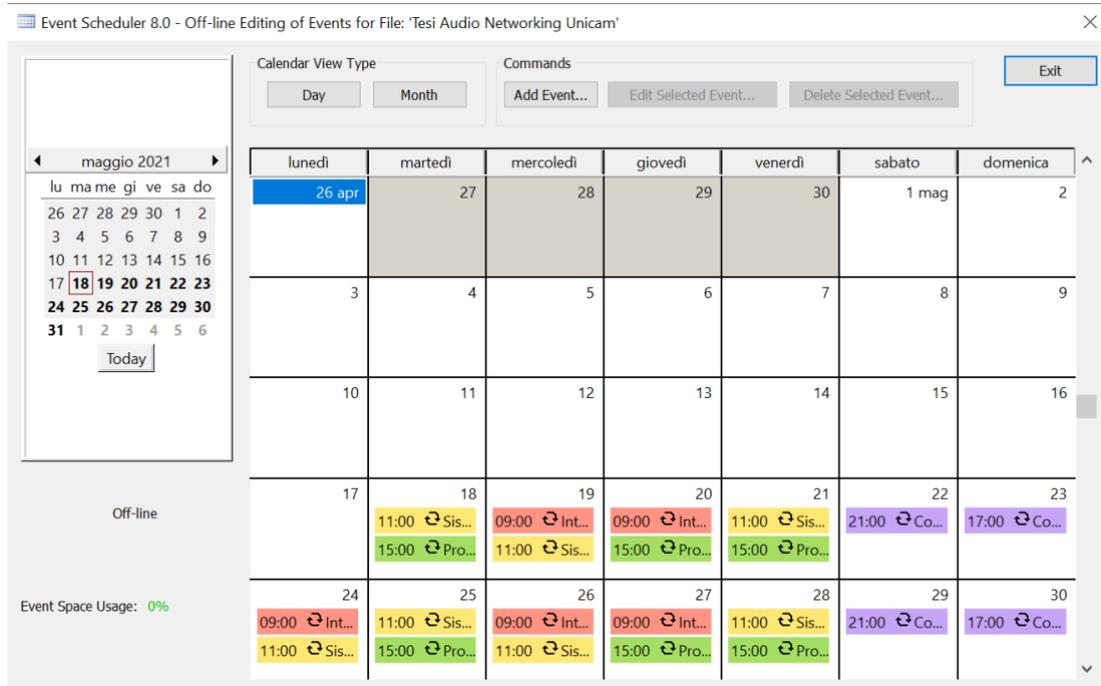
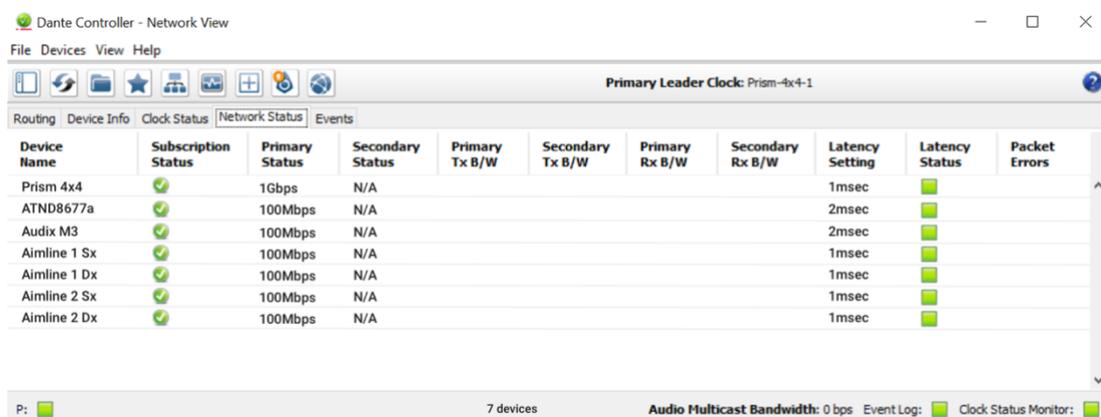


Figura 2.6: Calendario programmabile con i preset di routing

## 2.2 Latenza del sistema implementato

Per verificare che il sistema sia stato implementato correttamente, occorre controllare che la latenza si attesti al di sotto dei 5 millisecondi. Ogni ricevitore introduce uno specifico ritardo che rimane consistente per tutto il tempo di esecuzione, per cui, oltre ad eseguire una buona programmazione e gestione dei flussi, è molto importante scegliere un hardware particolarmente efficiente da questo punto di vista.

La Figura 2.7 fornisce tutte le informazioni sulla latenza dei dispositivi utilizzati per questo progetto.



The screenshot shows the Dante Controller interface with a table titled "Primary Leader Clock: Prism-4x4-1". The table lists the following data:

Device Name	Subscription Status	Primary Status	Secondary Status	Primary Tx B/W	Secondary Tx B/W	Primary Rx B/W	Secondary Rx B/W	Latency Setting	Latency Status	Packet Errors
Prism 4x4	✓	1Gbps	N/A					1msec	■	
ATND8677a	✓	100Mbps	N/A					2msec	■	
Audix M3	✓	100Mbps	N/A					2msec	■	
Aimline 1 Sx	✓	100Mbps	N/A					1msec	■	
Aimline 1 Dx	✓	100Mbps	N/A					1msec	■	
Aimline 2 Sx	✓	100Mbps	N/A					1msec	■	
Aimline 2 Dx	✓	100Mbps	N/A					1msec	■	

Figura 2.7: Latenze dei dispositivi nel sistema implementato

I microfoni Audix M3 e Audio-Technica ATND8677a sono gli elementi con una latenza più accentuata, questo conferirà dunque al sistema un ritardo teorico complessivo di 2 millisecondi in quanto si prenderà come riferimento il dispositivo con latenza maggiore, come già anticipato nella Sezione 1.1 del Capitolo 1. Per controllare che la latenza totale del progetto sia effettivamente di 2 millisecondi è necessario accedere nella sezione di diagnostica del Dante Controller.

Nella Figura 2.8 si può notare che la latenza risultante non raggiunge neanche il valore sopraindicato, con una media di 1.11 millisecondi e un picco di 0.83 millisecondi.

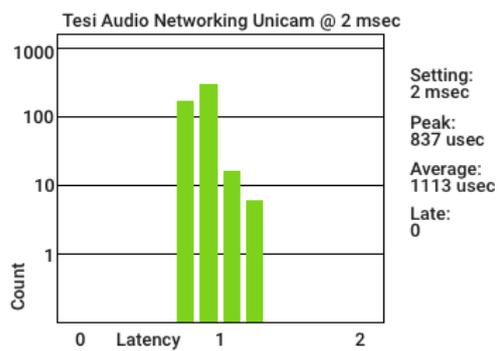


Figura 2.8: Latenza totale del sistema implementato

## 2.3 Clock del sistema implementato

La sincronizzazione del clock è un aspetto cruciale per tutte le reti di audio networking. I dispositivi dovranno campionare, oltre che alla stessa frequenza e bit di quantizzazione, anche negli stessi istanti di tempo per fare in modo che i campioni audio siano sempre sincronizzati. Dante fa uso del *PTP* per garantire una precisione al di sotto del microsecondo.

Come studiato nella Sezione 1.2 del Capitolo 1, l'architettura di questo protocollo è di tipo *Master-Slave*, per cui andrà designato un unico dispositivo come "*Preferred Master*" che avrà il compito di imporre il *bitrate* a tutte le macchine della rete. Il clock di riferimento in questo progetto è fornito dal DSP Symetrix Prism 4x4, in quanto il più efficiente tra tutti. Una volta deciso il master, questo trasmetterà un segnale multicast agli altri dispositivi che si setteranno come slave. Ogni slave calcolerà il proprio offset risultante dai ritardi della rete e invierà una "*Delay Request*" al Prism 4x4 che risponderà con una "*Delay Response*" per consentire loro di sincronizzare la propria oscillazione con l'onda quadra del *WordClock*, la quale ha frequenza pari a quella di campionamento.

Nella Figura 2.9 viene rimarcata l'elezione del DSP come "*Primary Leader Clock*" e di tutti gli altri dispositivi come "*Follower*". Il clock esterno non è stato assegnato in quanto, per le dimensioni del progetto, è stato ritenuto più che sufficiente quello del processore di segnale. Inoltre, nel caso in cui quest'ultimo dovesse disconnettersi dalla rete, l'algoritmo *BMCA* eleggerà un nuovo master scegliendolo tra i dispositivi disponibili. Nel frattempo, ognuno continuerà a lavorare sfruttando il proprio segnale di clock per poi riallinearlo nuovamente con quello del leader appena scelto, evitando in questo modo picchi di segnale improvvisi, rumori e glitch.

Dante Controller - Network View

File Devices View Help

Primary Leader Clock: Prism-4x4-1

Routing Device Info Clock Status Network Status Events

Device Name	Sync	Mute	Clock Source	Domain Status	Primary v1 Multicast	Primary v2 Multicast	Secondary v1 Multicast	Secondary v2 Multicast	Preferred Leader	Enable Sync To External
Prism 4x4	<input checked="" type="checkbox"/>		Dante	N/A	Leader	Leader	N/A	N/A	<input type="checkbox"/>	N/A
ATND8677a	<input checked="" type="checkbox"/>		Dante	N/A	Follower	N/A	N/A	N/A	<input type="checkbox"/>	N/A
Audix M3	<input checked="" type="checkbox"/>		Dante	N/A	Follower	N/A	N/A	N/A	<input type="checkbox"/>	N/A
Aimline 1 Sx	<input checked="" type="checkbox"/>		Dante	N/A	Follower	N/A	N/A	N/A	<input type="checkbox"/>	N/A
Aimline 1 Dx	<input checked="" type="checkbox"/>		Dante	N/A	Follower	N/A	N/A	N/A	<input type="checkbox"/>	N/A
Aimline 2 Sx	<input checked="" type="checkbox"/>		Dante	N/A	Follower	N/A	N/A	N/A	<input type="checkbox"/>	N/A
Aimline 2 Dx	<input checked="" type="checkbox"/>		Dante	N/A	Follower	N/A	N/A	N/A	<input type="checkbox"/>	N/A

P:  7 devices Audio Multicast Bandwidth: 0 bps Event Log:  Clock Status Monitor:

Figura 2.9: Elezione del DSP Prism 4x4 come "Primary Leader Clock"

## 2.4 Configurazione Audio-Video del sistema implementato

I sistemi di audio networking, in particolare Dante, consentono di inserire all'interno della rete anche dei dispositivi per la ripresa video, come telecamere IP. Generalmente per questo tipo di impiego viene creata una rete a parte, poiché spesso presenta una latenza molto superiore rispetto a quella dell'impianto audio. Dante, però, con l'introduzione della scheda *Dante AV*, offre la possibilità di installare tutto sulla stessa rete ad una latenza minima per evitare lo sfasamento audio e video. Questa funzione risulta essere molto interessante per progetti in cui si prevede uno streaming o una registrazione audio professionale della quale si vuole fare anche un video.

Il problema insorge quando le frequenze di campionamento richieste sono differenti. La ripresa delle immagini generalmente si realizza ad una frequenza di 48kHz, mentre se si vuole produrre una registrazione audio professionale, si tende a non scendere al di sotto dei 192kHz. Questa differenza, oltre a poter provocare sfasamento, non è supportata da molti protocolli audio. Dante permette la coesistenza di differenti frequenze di campionamento gestite da un unico *Master Clock*, le quali, però, possono comunicare solo se è presente in rete una macchina con due porte Dante distinte in grado di eseguire la conversione.

### 2.4.1 Registrazione audio-video tramite Logic Pro X e Skype

In questo caso, non avendo a disposizione né la scheda Dante AV, né un convertitore di frequenza, è stato connesso alla rete un MacBook Pro con installato il programma *Dante Virtual Soundcard*, che permette al computer di essere riconosciuto come un dispositivo Dante. Questo godrà quindi di tutti i vantaggi propri delle macchine *Dante-enabled* esposti precedentemente. L'utilizzo di un computer, essendo il sistema pensato anche per lo streaming e per la registrazione delle lezioni online, si è rivelato un'ottima soluzione sia da un punto di vista produttivo che economico. I microfoni da conferenza Audix M3 e

Audio-Techinca ATND8677a sono stati subito riconosciuti da Skype (Figura 2.10) per poter essere utilizzati senza riscontrare alcun problema di sfasamento. In contemporanea, tramite la DAW Logic Pro X, è stato possibile registrare l'audio proveniente dai microfoni, alla latenza di sistema (Figura 2.11).

Per l'impiego della sala in ambito musicale, se si vorrà registrare oltre all'audio anche il video, sarà necessario avvalersi di interfacce fisiche in grado di convertire la frequenza di campionamento del segnale audio (generalmente più alta) nella frequenza di campionamento del segnale video (generalmente più bassa), per evitare una mancanza di sincronizzazione.

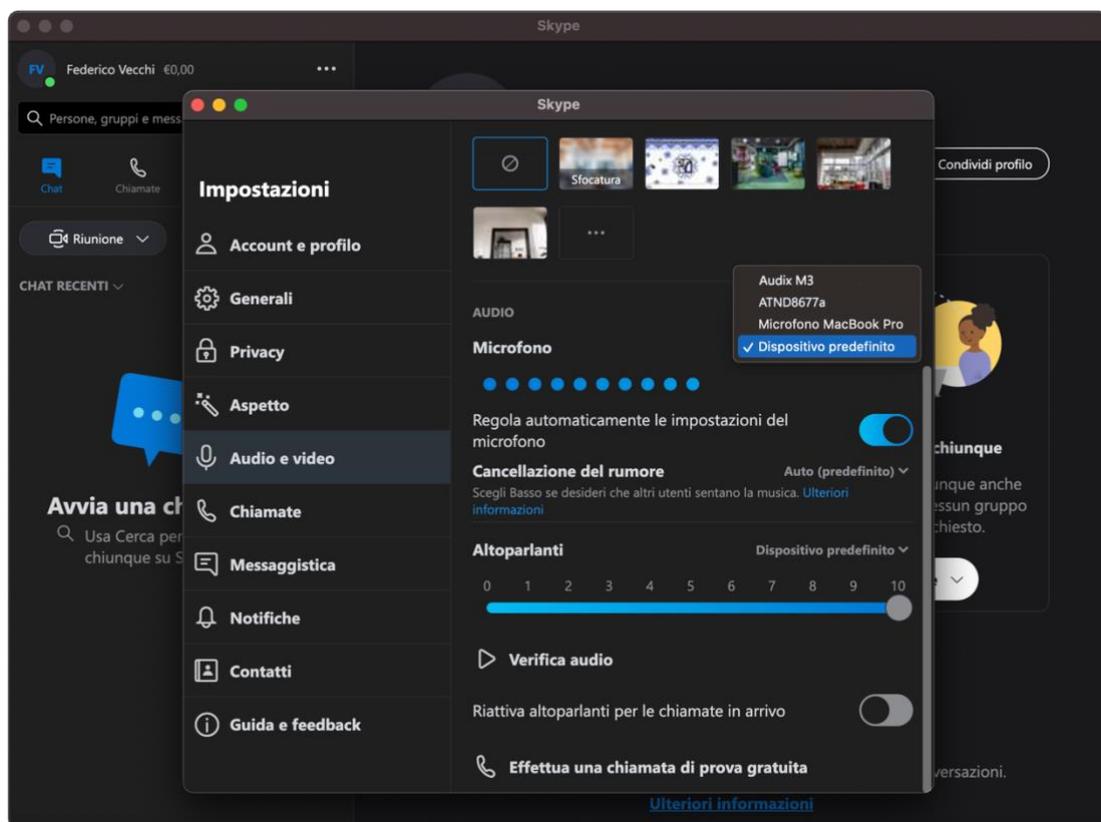


Figura 2.10: Riconoscimento dei microfoni da conferenza su Skype

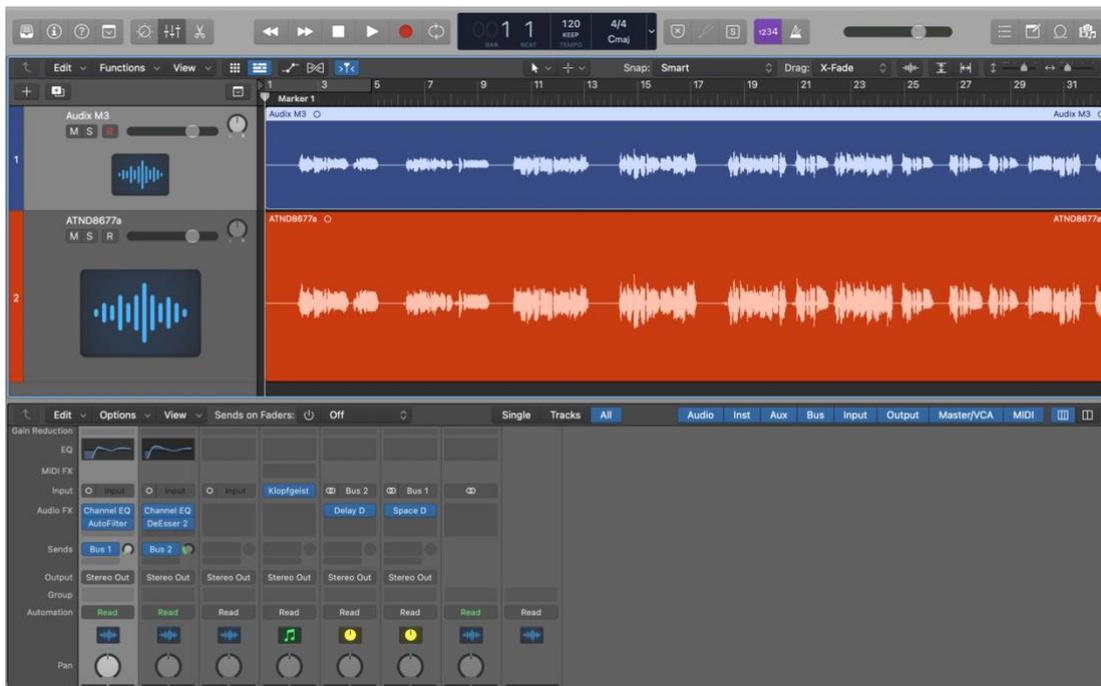


Figura 2.11: Registrazione audio dei microfoni tramite Logic Pro X



### **3. Creazione di un'interfaccia per la gestione dei preset**

Una sostanziale differenza tra i sistemi analogici e quelli digitali, è che i primi sono limitati dalle macchine fisiche che li compongono, mentre i secondi possono sfruttare ciò che l'informatica offre per poter creare, programmare e modulare delle strutture più complesse in grado di soddisfare qualsiasi bisogno.

I classici impianti analogici possono essere controllati soltanto tramite mixer o consolle, mentre per quelli digitali c'è l'opportunità di gestire qualsiasi funzione mediante pc, tablet o smartphone. Inizialmente, per poter cambiare il set in un palco occorre aggiungere, rimuovere o modificare la posizione delle interfacce, ora, mantenendo lo stesso cablaggio fisico e gli stessi dispositivi, basta soltanto richiamare un preset che vada a modificare i collegamenti funzionali. Per cui ad un'interfaccia che inizialmente aveva una determinata funzione, può esserne assegnata un'altra cambiando semplicemente scena da un dispositivo mobile collegato alla stessa rete dell'impianto. Questo è ciò che è stato fatto per il progetto in questione.

La possibilità di avere un'aula ambivalente sia per le lezioni universitarie che per i concerti, ha suscitato il bisogno di poter gestire questa modularità in maniera pratica e veloce. Per tale motivo è stata realizzata un'interfaccia grafica intuitiva che permetta di cambiare i preset precedentemente creati ad hoc in base all'utilizzo della sala, anche a chi non ha un'ampia conoscenza del settore audio.

Composer 8.0 mette a disposizione un tool specifico per la programmazione di un controller touch utilizzando i moduli di manipolazione del segnale inseriti in fase di progettazione funzionale del sistema. Anche per la realizzazione di questo controller è stata utilizzata la programmazione visuale basata sul linguaggio Lua.

L'interfaccia grafica consiste in una schermata in cui è possibile richiamare due preset distinti: uno per l'applicazione universitaria, l'altro per quella musicale.

## 3.1 Preset “Aula Università”

Per le lezioni universitarie in cui la priorità è l'intelligibilità del parlato, è stata creata un'interfaccia che permetta di aggiustare l'equalizzazione della voce su entrambi i microfoni in maniera intuitiva grazie ad un equalizzatore grafico. È poi possibile selezionare un filtro *Anti-Feedback* in grado di trovare ed eliminare una qualsiasi frequenza disturbante. Oltre a questo, è stato inserito un gain per il controllo del volume in ingresso ed un master per il controllo di quello in uscita. Infine, è possibile decidere se registrare l'audio premendo il tasto *R*.

Nella Figura 3.1 si può vedere com'è stata organizzata l'interfaccia di cui si è parlato sopra.

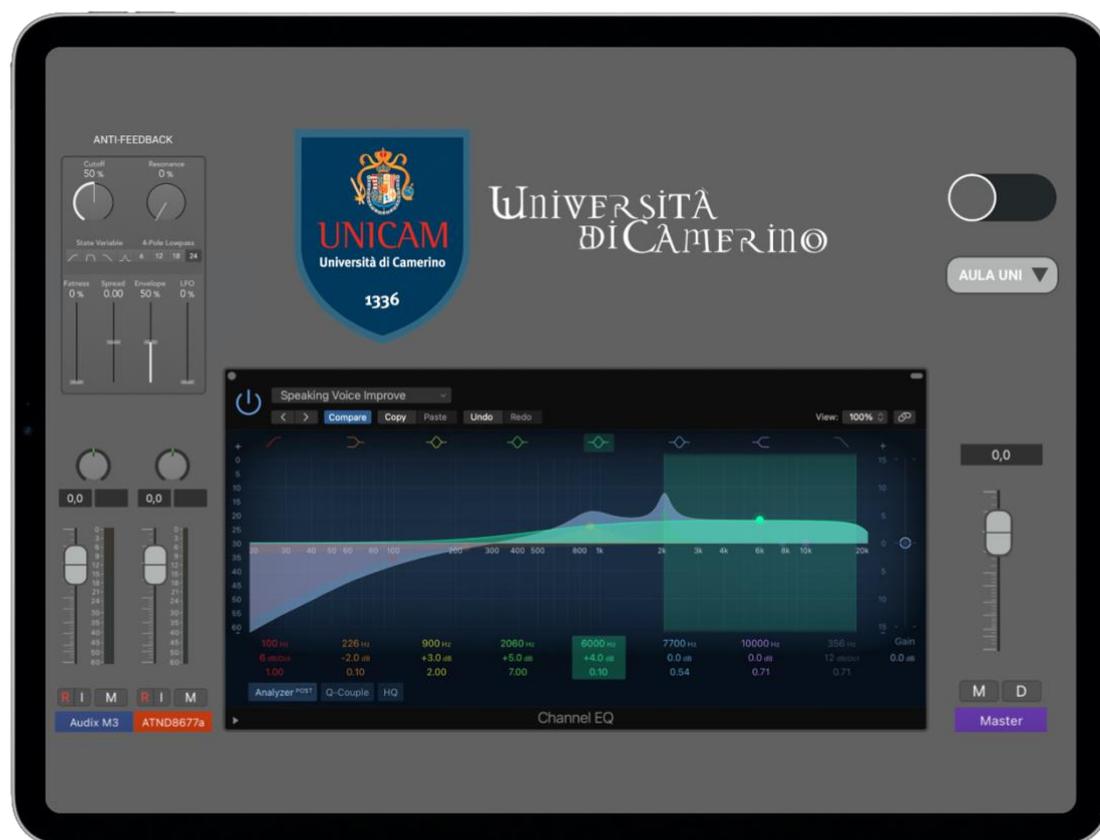


Figura 3.1: Controller per la gestione del preset "Aula Università"

## 3.2 Preset “Concerto”

Se per le lezioni universitarie la gestione dei microfoni da conferenza rappresenta la parte centrale dell'interfaccia, qui sono i diffusori ad assumere una grande rilevanza. Quando si parla di concerti, per la ripresa audio sono necessari dei microfoni di qualità in grado di riprodurre fedelmente il suono e spesso ogni musicista preferisce utilizzare il proprio. Per tale motivo il controllo di questi dispositivi non è stato incluso nel controller. In applicazioni del genere, però, la direzionalità dell'audio e la creazione di linee di ritardo in base alla posizione dei diffusori nella sala per ottimizzare l'ascolto, ricoprono un ruolo principale. L'acustica di un luogo può variare in base alle persone presenti, per cui è necessario poter aggiustare questi parametri al momento.

Nell' interfaccia è stato inserito un equalizzatore grafico per modellare il suono di output complessivo e un master per controllarne il volume. Altri *Cross-Fader* invece controllano i volumi dei singoli diffusori che possono essere direzionati orizzontalmente in un raggio di circa 180 gradi. La gestione delle singole latenze di ogni monitor audio avviene tramite il modulo *Delay Designer*, che permette di assegnare un tot di millisecondi di ritardo in modo da uniformare il suono in base alla posizione dei diffusori in sala evitando riverberi indesiderati.

La Figura 3.2 illustra quanto descritto.

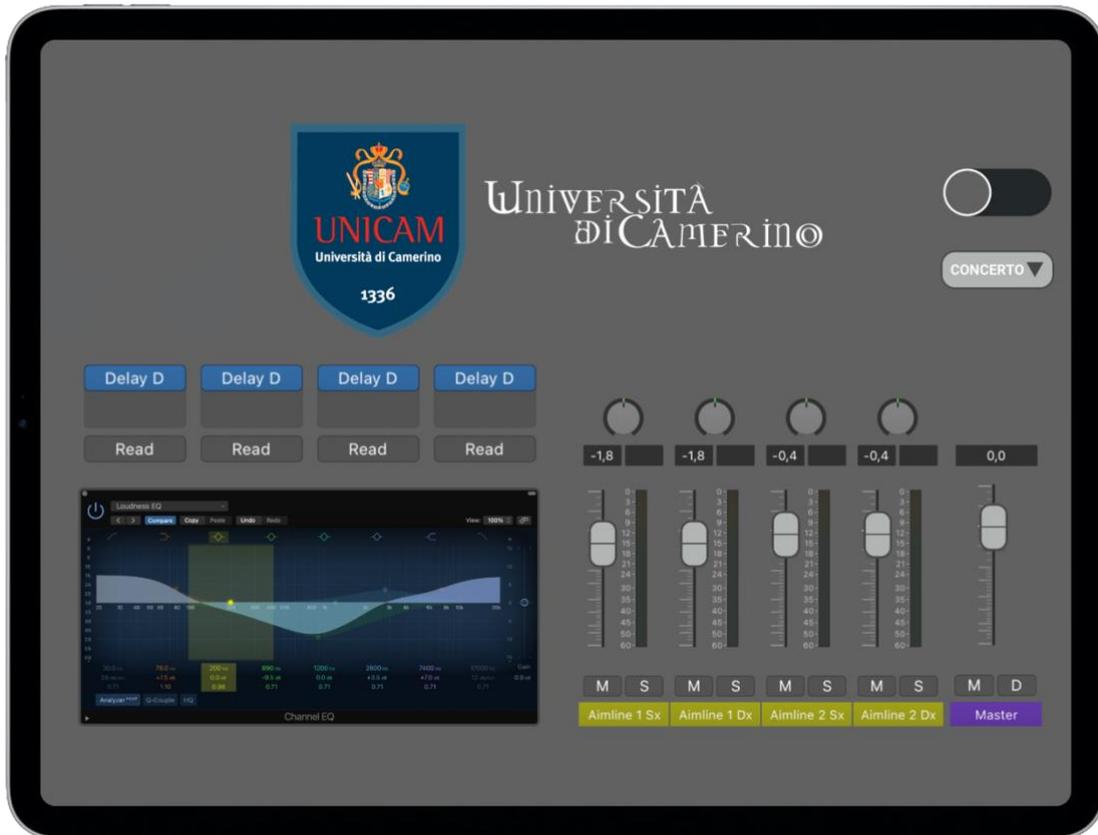


Figura 3.2: Controller per la gestione del preset "Concerto"

Per concludere, al fine di evitare che qualcuno possa accedere a questi controller tramite la rete, grazie ad una funzione di Composer 8.0, è stato creato un modulo per l'autenticazione con username e password (Figura 3.3).



Figura 3.3: Modulo di autenticazione per accedere al controller



## 4. Conclusioni e Sviluppi Futuri

Lo scopo di questo progetto è stato quello di dimostrare la versatilità dell'audio networking rispetto ai classici sistemi analogici che siamo abituati a conoscere. Le sue potenzialità sono pressoché illimitate, in quanto il suo sviluppo va di pari passo con quello delle infrastrutture di rete. Le moderne reti Gigabit hanno consentito di ottimizzare e velocizzare il trasferimento di informazioni. Questa tecnologia è stata sfruttata dal settore audio per diminuire drasticamente la latenza tra i vari dispositivi appartenenti allo stesso sistema, aumentandone anche le capacità di trasmissione.

Se finora abbiamo potuto ascoltare musica con una qualità fino ad un massimo di 192kHz registrati a 24bit, grazie all'audio digitale è possibile arrivare ad una frequenza di campionamento di 384kHz con risoluzione a 32bit. Questi sistemi non sono limitati da un hardware come nell'audio analogico, per cui saranno sempre in costante miglioramento.

Ma i vantaggi non si limitano a questo, la flessibilità è il loro vero punto di forza, si possono infatti instradare centinaia di canali audio su un singolo cavo e gli stessi sono a disposizione di ciascun nodo interno alla rete. L'indirizzamento di uno specifico canale da una sorgente ad una destinazione avviene tramite software, per cui non esiste più la necessità di dover spostare fisicamente il cablaggio.

Un ulteriore beneficio è la scalabilità di questi sistemi, per cui aggiungere elementi alla rete non costituisce più un problema.

Quelli elencati finora, insieme alla mancanza di interferenze elettromagnetiche, alla possibilità di controllare, gestire, modificare i dispositivi in rete da remoto, sono solo alcuni dei vantaggi apportati da questa nuova tecnologia.

I protocolli che si possono utilizzare per questi scopi sono molteplici, da quelli di livello 2 come AVB o CobraNet, a quelli di livello 3 come Dante o Ravenna. Ognuno di questi è più adatto ad un determinato scopo, per cui uno sviluppo interessante sarà quello di studiare come poter gestire l'interoperabilità per consentire di

sfruttare i vantaggi che ogni protocollo apporta, in un unico sistema. Nei prossimi anni queste tecnologie diventeranno più accessibili a tutti, i vantaggi aumenteranno esponenzialmente e l'audio digitale sostituirà del tutto quello analogico.

Con il costante abbandono dei supporti fisici (CD, DVD) in favore delle piattaforme streaming che assicurano una risoluzione audio ed una praticità migliori, stiamo già vivendo l'inizio di questo cambiamento.



# Sitografia

- [1] Audinate, 2021 “Meet Dante” ([audinate.com/meet-dante](https://audinate.com/meet-dante))
  
- [2] Audinate, 2021 “Dante Certification Program Level 1” ([audinate.com/certification-level-1](https://audinate.com/certification-level-1))
  
- [3] Audinate, 2021 “Dante Certification Program Level 2” ([audinate.com/certification-level-2](https://audinate.com/certification-level-2))
  
- [4] Audinate, 2021 “Dante Certification Program Level 3” ([audinate.com/certification-level-3](https://audinate.com/certification-level-3))
  
- [5] Bakker Ron, Cooper Andy, Kitagawa Atsushi, 2014 “Introduzione alle reti audio” ([YAMAHA System Solution White Paper](#))
  
- [6] CobraNet, 2021 “CobraNet, the Standard in Networked Digital Audio” ([cobranet.info](https://cobranet.info))
  
- [7] Gallagher Mitch, 2016 “Audio Networking Explained” ([sweetwater.com](https://sweetwater.com))
  
- [8] Price Brad, 2019 “What is Audio Networking?” ([systemsintegrationasia.com](https://systemsintegrationasia.com))
  
- [9] Ravenna, 2021 “The Open Standard For Real-Time Media Over Ip” ([ravenna-network.com](https://ravenna-network.com))
  
- [10] RME, 2021 “MADI the Primary Alternative Multi Channel Digital Audio Protocol” ([rme-audio.de/rme-madi-technology](https://rme-audio.de/rme-madi-technology))
  
- [11] Wikipedia, 2021 “Audio Video Bridging” ([wikipedia.org/wiki/Audio\\_Video\\_Bridging](https://wikipedia.org/wiki/Audio_Video_Bridging))
  
- [12] Wikipedia, 2021 “EtherSound” ([wikipedia.org/wiki/EtherSound](https://wikipedia.org/wiki/EtherSound))



# Ringraziamenti

In primo luogo, vorrei ringraziare il Prof. Fausto Marcantoni per aver messo a disposizione il proprio tempo e per avermi supportato nella fase finale di questo percorso di studi.

Ringrazio la Sisme s.p.a. nella figura dell'Ing. Simone Santarelli, per aver creduto in questo progetto di tesi e per avermi concesso il materiale necessario alla sua realizzazione.

Ringrazio il mio amico e tecnico del suono Andrea Lambertucci, per avermi trasmesso le proprie conoscenze relative al settore audio.

Infine, ringrazio la mia famiglia, che nonostante tutte le mie insicurezze, mi ha sempre spronato a continuare a perseguire i miei obiettivi e mi ha permesso di coltivare sia la passione per l'informatica che quella per la musica, senza dover rinunciare ad una delle due. Questa tesi è dedicata a loro.

