audioplay

14-15

Cavi, Connessioni e Protocolli

Il collegamento di apparecchiature digitali o analogiche è un'operazione solo apparentemente semplice che richiede una adeguata conoscenza degli standard adottata e della teoria che ne sta alla base. Purtroppo si trovano in giro molte informazioni errate, spesso per ignoranza ma talvolta anche per sicura malafede, il business dei cavi è infatti molto fiorente e talvolta cavi senza valore ma ben confezionati vengono spacciati a caro prezzo come la soluzione di tutti i mali audiofili. Come vedremo in questa lezione le problematiche relative al collegamento possono spesso essere risolte o attenuate con soluzioni particolare o raffinate, ma alla base di queste ci sta un attento studio basato sui principi dell'elettronica e non vi è quasi mai la necessità di materiali particolarmente costosi. C'e da notare inoltre che la estrema complicazione dei modelli matematici sottostanti fa si che sia enormemente difficile prevedere gli effetti sul suono per cui se è certamente vero che due cavi possono suonare "diversi" è praticamente impossibile usare a tavolino questa diversità per "equalizzare" l'impianto.

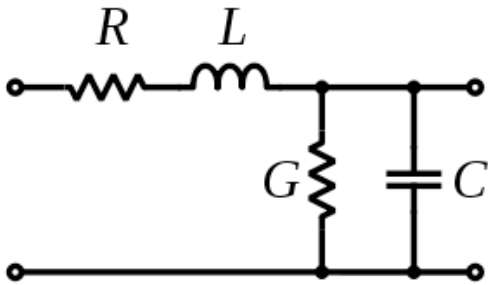
I principi fondamentali di un buon cablaggio possono essere riassunti nei seguenti punti:

- fare sempre connessioni più corte possibile, allungare i cavi non serve mai se non per …
- ... evitare lunghi tratti paralleli di cavi che possono interferire tra loro;
- usare quando possibile cavi schermati;
- usare sempre connettori di buona qualità;
- *L'uso acritico di cavi esotici ad alto costo non ha altri effetti se non quello di tranquillizzare il sistema nervoso del proprietario, almeno finche la consorte non ne scopre il prezzo pagato*.

Linee di trasmissione

La teoria delle **linee di trasmissione** discende direttamente dalle equazioni di Maxwell che sono il fondamento della elettrodinamica. Venne studiata da Maxwell, Lord Kelvin e da Heaviside e fu applicata al comportamento del cavo telegrafico transatlantico sottomarino già nel 1858.

Nello studio dei circuiti elettronici comunemente tutti i punti di un conduttore sono considerati allo stesso potenziale. Quando però il conduttore è percorso da corrente alternata e la sua lunghezza non è trascurabile rispetto alla lunghezza d'onda del segnale, questa ipotesi non è più valida e il conduttore deve essere considerato come una sequenza infinita di circuiti elementari del tipo



dove R è la resistenza, L l'induttanza, C la capacità e G l'inverso della resistenza del dielettrico. Comunemente R, C, L e G sono misurate per unità di lunghezza. Allora tensione e corrente soddisfano alle equazioni differenziali

$$\frac{\partial}{\partial x}V(x,t) = -L\frac{\partial}{\partial t}I(x,t) - RI(x,t)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}I(x,t) = -C\frac{\partial}{\partial t}V(x,t) - GV(x,t)$$

Nel caso (di solito preso in considerazione) in cui R e G siano piccoli, le equazioni si semplificano e, supponendo che la linea sia percorsa da un segnale sinusoidale di lunghezza d'onda λ, portano ai seguenti risultati.

- La **velocità di propagazione** dell'onda è

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \approx \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

  dove c è la velocità della luce e ε_r è la costante dielettrica relativa del dielettrico (1 nel caso del vuoto). Ecco alcuni valori di ε_r per vari materiali

  - aria circa 1
  - polietilene solido circa 0.66
  - foam di polietilene tra 0.79 e 0.88
  - politetrafluoroetilene solido circa 0.70
  - foam di politetrafluoroetilene circa 0.84

- L'**impedenza** della linea è indipendente dalla lunghezza e vale $Z = \sqrt{L/C}$

- Se la lunghezza della linea è pari a $n\ \lambda/2$, l'impedenza di ingresso è pari alla impedenza della linea e non si verificano riflessioni e distorsioni significative. NB questo risultato vale anche nel caso $n=0$ ovvero se la lunghezza della linea è trascurabile rispetto a λ (in pratica minore di $\lambda/10$).

- Se nessuna di queste due condizioni si verifica, per evitare distorsioni e riflessioni è necessario accordare la linea ovvero terminarla su un carico pari a Z.

Tipologie di cavo

Conduttori sciolti

I singolo cavi sciolti possono essere usati laddove non vi è rischio di interferenze o nel caso la possibilità di interferenze venga trascurata. Esempi sono i cavi di rete nelle canaline all'interno dei muri o i cavi di alimentazione in continua all'interno dei computer. In figura vediamo un cavo di alimentazione SATA.

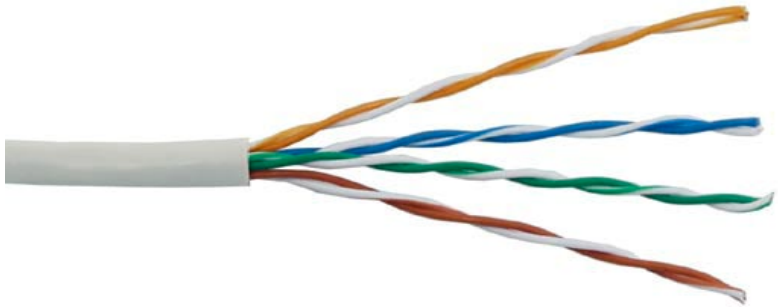
Piattina

La piattina consiste in due fili che camminano affiancati. Essendo la distanza predeterminata è possibile tenere sotto controllo l'impedenza; è questo il caso della piattina da 300 Ohm usata come linea di trasmissione per i segnali radio a modulazione di frequenza (e in passato anche per collegare l'antenna ai televisori). Più spesso la piattina è solo un modo per far viaggiare comodamente insieme due conduttori, come nel caso del *famigerato* cavo rosso e nero.

NB. La piattina non essendo a doppio isolamento non può (non deve) essere usata per portare a giro le alimentazioni a 220 V.

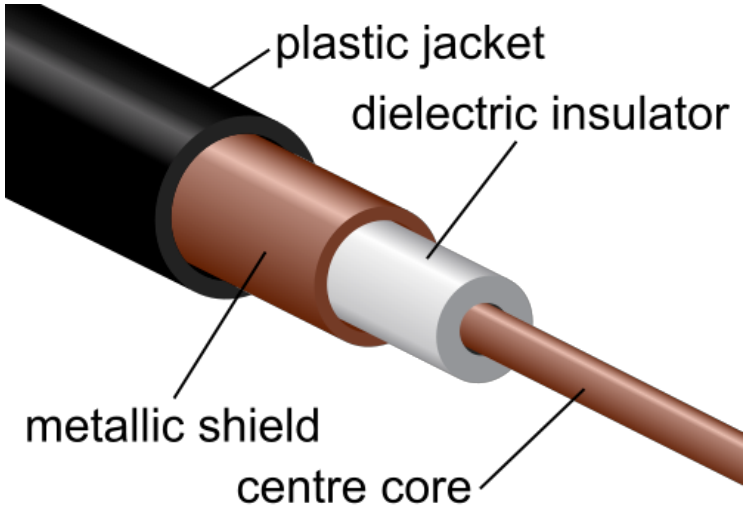
Coppie intrecciate

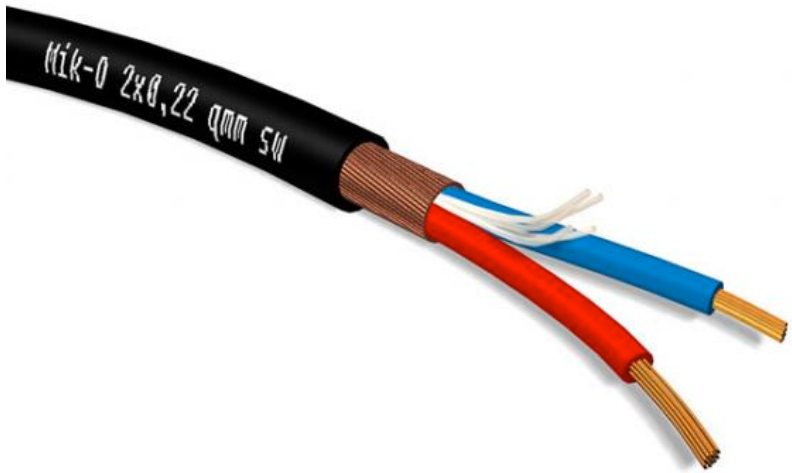
Intrecciare una coppia di fili ne diminuisce lievemente l'induttanza a scapito di una maggiore lunghezza (e quindi una maggiore resistenza). È una soluzione, più economica della schermatura, che viene usata nei cavi di trasmissione di segnali digitali (come in figura) e per portare le alimentazioni in alternata ai filamenti delle valvole.



Cavo coassiale

Il **cavo coassiale** rappresenta in ogni caso la soluzione migliore per il trasporto di segnali ad corrente alternata. Consiste in uno o più conduttori circondati da uno schermo conduttore.





I principali vantaggi del cavo coassiale sono

- Lo schermo oltre a ridurre le interferenze riduce anche la dipendenza dei parametri dalla collocazione. Un cavo non schermato che passa vicino ad un tubo dell'acqua ha parametri elettrici diversi da un cavo in aria libera.
- Si può tenere sotto controllo l'impedenza della linea.
- I cavi schermati a due conduttori percorsi da segnali in controfase (collegamenti bilanciati) hanno un'ottima reiezione dei disturbi di modo comune.

Le impedenze tipiche dei cavi coassiali sono 50 Ohm (usata per esempio dai radioamatori) e 75 Ohm usata per le discese di antenna televisive, per i collegamenti all'antenna satellitare, per collegamenti video e per i collegamenti digitali non bilanciati. Le scelte di questi valori dipendono da storici esperimenti effettuati negli anni trenta presso i Bell Laboratories che determinarono in 30, 60 e 77 Ohm i valori migliori di impedenza per, rispettivamente, alte potenze, alte tensioni e basso rumore.

NB. Per poter parlare di impedenza di un cavo coassiale questo deve essere di lunghezza significativa rispetto alla lunghezza d'onda del segnale che lo percorre, altrimenti si ricade in un circuito a costanti concentrate e tutti i problemi di adattamento sono automaticamente risolti. In altre parole CORTO È MEGLIO!

I connettori

La funzione dei connettori è di terminare i cavi permettendo di collegare e scollegare gli stessi senza saldatori e cacciaviti. Talvolta sono progettati in modo da rendere impossibili collegamenti errati.

Pin RCA

Sono connettori per uso consumer, adatti al collegamento di cavi coassiali sbilanciati. Sono usati per segnali audio analogici e digitali e per segnali video. Sono pensati per collegamenti permanenti e semi permanenti, meno adatti per inserzioni e disinserzioni continue.

BNC

Sono i connettori professionali per cavi coassiali sbilanciati, usati da sempre per collegare apparecchiature elettroniche. In campo audio sono usati per trasmettere il word clock e al posto dei pin RCA in alcuni collegamenti digitali.

Jack

Sono connettori pensati per frequenti inserzioni e disinserzioni, per questo sono lo standard per le cuffie e per molti collegamenti professionali. La versione classica di questo connettore risale al 1878 ed era usata nelle centraline telegrafiche, poi fu usata per anni nelle centrali telefoniche a collegamento manuale. Ne esistono di diverse dimensioni, e con un diverso numero di collegamenti.

- **Jack da 1/4" (6.35 mm) stereo**, detto anche **TRS** (**tip, ring, sleeve**) a tre contatti. Usato per le cuffie di qualità, e anche per i collegamenti mono bilanciati. Una caratteristica interessante di questo ultimo collegamento è che se si inserisce un Jack mono in una presa

TRS bilanciata si può fare un collegamento sbilanciato senza ulteriori accorgimenti (tipicamente, perdendo 6 dB di rapporto segnale rumore).

- **Jack da 1/4" (6.35 mm) mono**, detto anche **TS** (**tip, sleeve**) a due contatti.
- **Jack da 3.5 mm stereo**, a tre contatti usato per le cuffie portatili e in molti collegamenti stereo di piccoli apparecchi.

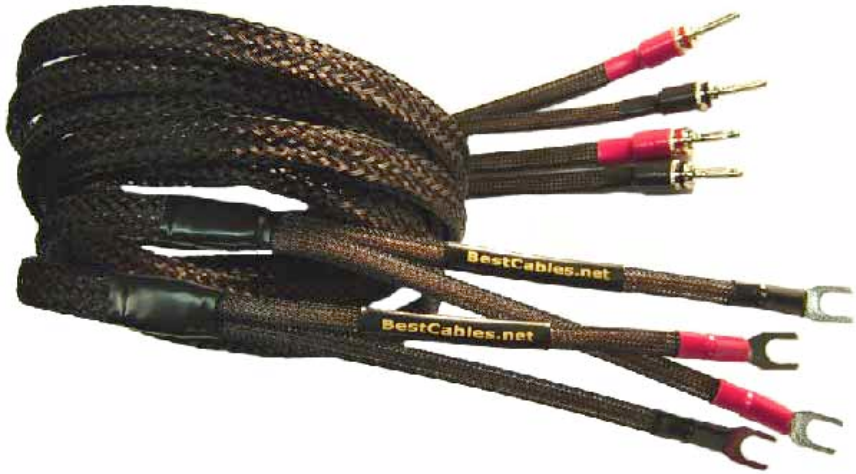
- **Jack da 3.5 mm mono.**
- **Jack da 3.5 mm a 4 contatti** (**TRRS**), usato per connessioni speciali (per esempio audio video)
- **Jack da 2.5 mm mono e stereo**, usato in apparecchi piccoli come i telefoni cellulari.

XLR

Sono i connettori professionali per cavi coassiali bilanciati, usati da sempre per collegare microfoni e apparecchiature a livello linea. Il loro uso è indispensabile nel caso di collegamenti lunghi (decine di metri) e nel caso che molti cavi debbano scorrere paralleli. Sono anche lo standard per collegamenti digitali bilanciati AES/EBU.

Banane e forcelle

Connettono cavi sciolti o accoppiati, sono di solito usati per le connessioni di potenza amplicasse.



Connettori digitali

I cavi che connettono computer e periferiche esistono in infinite variazioni, sono pensati per collegamento stabili nel tempo e solitamente permettono il serraggio a vite. Fanno eccezione i connettori per il collegamento delle periferiche "volanti" (USB, Firewire) di cui parleremo in seguito. In molti di questi collegamenti passano anche segnali audio.

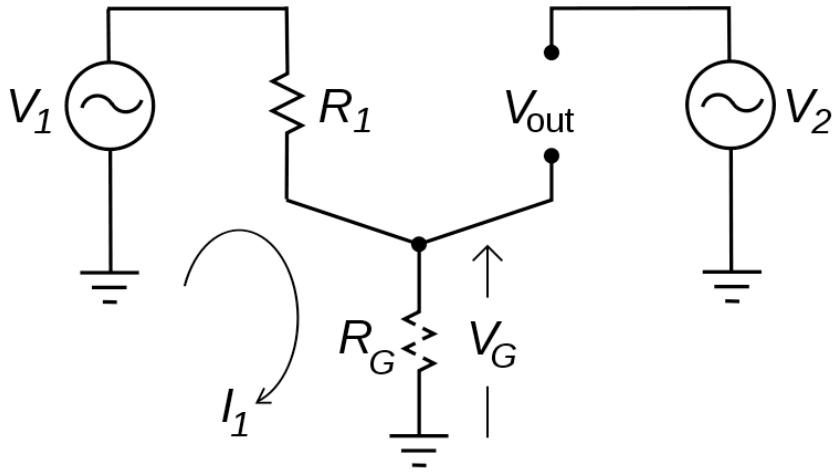
Connettori ottici

La fibra ottica è un supporto alternativo per la trasmissione di segnali digitali, il suoi principali vantaggi sono la larga banda e l'insensibilità ai disturbi elettromagnetici. La versione audio consumer (standard Toslink) ha dovuto sottostare a compromessi necessari per ridurne costi. I relativi connettori esistono in due tipologie, una delle quali (mini Jack) compatibile con i Jack da 3.5 mm, permette di condividere, in alternativa sullo stesso foro, una porta ottica e una porta elettrica coassiale.

Connessioni analogiche

I loop di massa e le interazioni deboli

Prima di parlare delle connessioni analogiche è bene introdurre il principale problema che le affligge: i **loop di massa**. Consideriamo il circuito in figura



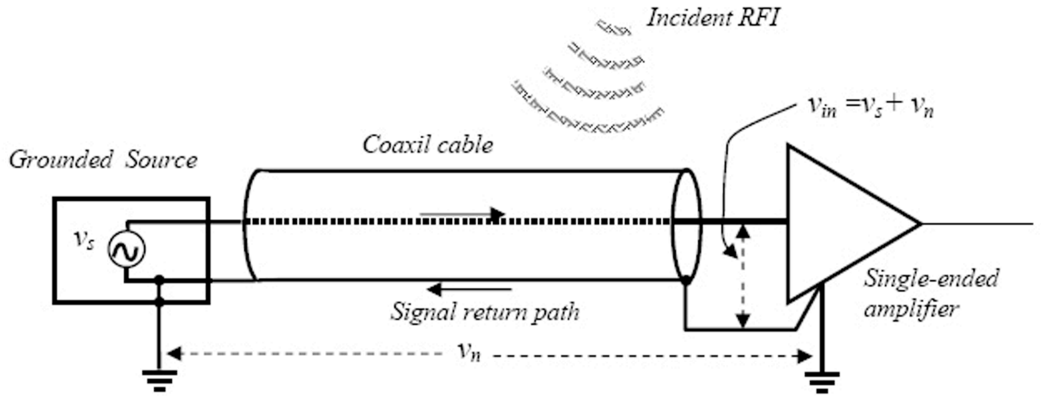
Due diversi generatori alimentano due carichi distinti e sono connessi attraverso tre distinti collegamenti a massa. Se questi collegamenti non sono ideali ci sarà una certa resistenza RG che fa sì che la corrente che scorre nel primo circuito induca una tensione che si somma a quella del secondo generatore. Se I_1 è a frequenza di rete e V_2 un generatore audio su V_{out} sarà presente un ronzio a 50 Hz spesso molto fastidioso.

Un'altra possibilità è che il loop di massa capti interferenze provenienti da altre apparecchiature (per esempio dai cavi di potenza) introducendo un subdola forma di distorsione che fa parte della categoria delle interazioni deboli, ovvero di quelle interferenze

poco avvertibile che influiscono essenzialmente su parametri come la fatica di ascolto, la ricostruzione spaziale, ecc.

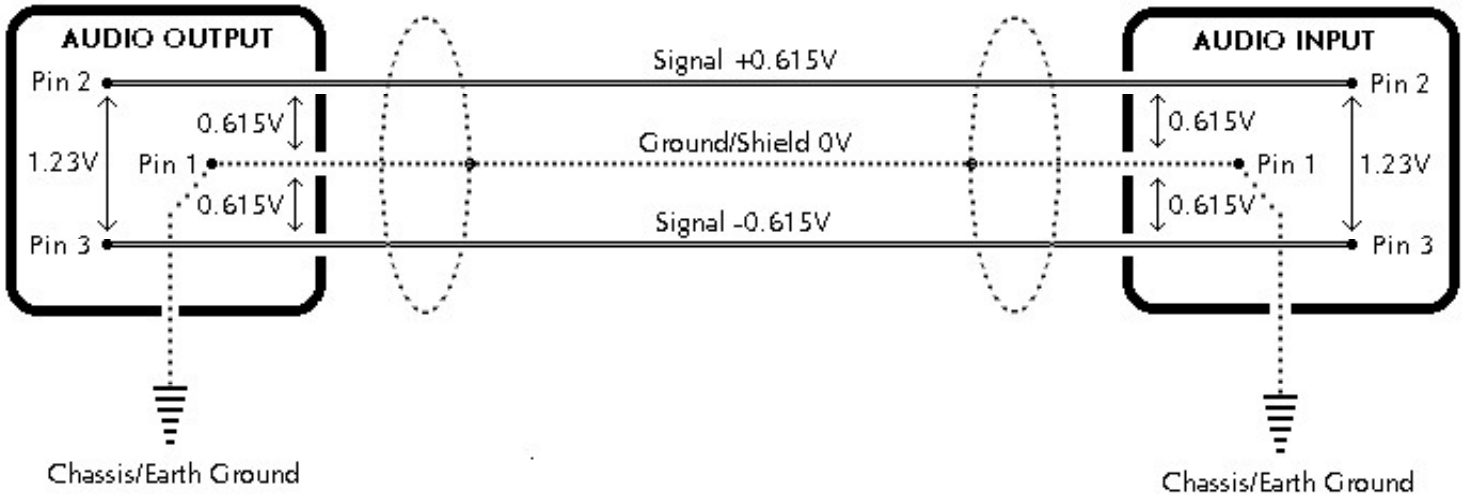
Connessioni di segnale sbilanciate

Solo le connessioni più comuni ed economiche ma anche le più soggette ad interferenze. Sono usate quasi esclusivamente nelle apparecchiature per uso domestico.



Connessioni di segnale bilanciate

In questo caso il segnale viaggia su due conduttori con valori di polarità opposta rispetto alla massa. Il circuito di ingresso è sensibile solo alla differenza tra i due valori ed eventuali disturbo captati da entrambi sono cancellati. I collegamenti bilanciati possono essere anche molto lunghi e sono lo standard universale delle applicazioni professionale (studi di registrazione, auditorium, concerti, all'aperto, ecc.) Sono anche usati nelle migliori apparecchiature per uso domestico.



Il circuito di ingresso bilanciato può contenere un trasformatore o un circuito integrato che trasforma il segnale in sbilanciato oppure tutta l'apparecchiatura può avere una costruzione bilanciate (simmetrica). Questa seconda soluzione è sicuramente di maggior pregio ma richiede uno sdoppiamento di tutta la circuitazione.

Connessioni di potenza

Il collegamento che va dall'amplificatore alla casse è forse il più critico, sia perché i cavi devono spesso trasportare un potenza considerevole, sia perché il carico costituito dal sistema di altoparlanti ha un generale un impedenza fortemente dipendente dalla frequenza.

I parametri elettrici principali di un cavo di potenza sono la resistenza *R* la capacità *C* e l'induttanza *L*. Accade che l'impedenza del cavo si combini con l'impedenza del carico producendo alterazioni del suono che, pur di alcuni ordini di grandezza inferiori ad altri parametri (primo tra tutti l'accoppiamento casse-ambiente di ascolto), possono essere avvertibili.

Queste alterazioni sono ma certamente difficili da prevedere a priori a parte alcune considerazioni basilari

- La qualità del cavo è tanto migliore quanto più bassi sono i di R, L e C, il modo migliore per ridurli tutti contemporaneamente è tenere il cavo più corto possibile..
- L'uso di cavi fortemente inadeguati (il cavetto rosso nero) introduce alterazioni della risposta in frequenza con evidenti attenuazioni alle alte frequenze

Non è questa una sede per un trattamento esaustivo di tutte le problematiche con le relative soluzioni. Vediamo solo i fatti principali.

- Capacità e induttanza per unità di lunghezza sono legate dalla relazione già vista

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \approx \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

  da cui

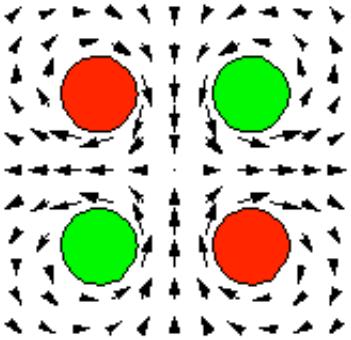
$$LC = \varepsilon\mu \approx \frac{\varepsilon_r}{c^2}$$

  Quindi, a parità di dielettrico, ogni azione volta diminuire l'induttanza induce un conseguente aumento della capacità. Uno studio effettuato nei laboratori della rivista Audio Review ha mostrato che la presenza di una distorsione alle alte frequenze crescente con l'induttanza del cavo.

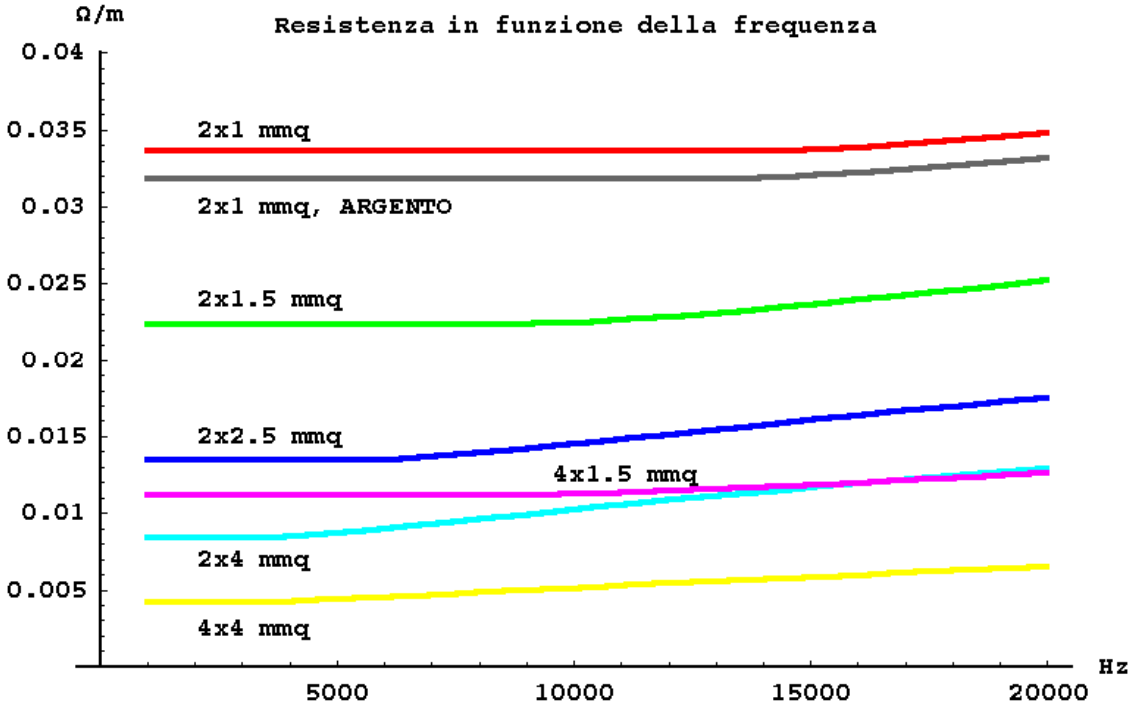
- La resistenza per unità di lunghezza è inversamente proporzionale alla sezione del cavo e può quindi essere ridotta a piacimento aumentando il diametro dei conduttori, ma alle frequenze più elevate l'effetto pelle causa un aumento della stessa.

Ecco alcune ricette di prima approssimazione:

- Per tenere i collegamenti più corti possibile si può inserire l'amplificazione di potenza al centro delle casse eventualmente usando lunghi collegamenti bilanciati a livello di segnale.
- Una soluzione interessante è l'uso di quattro conduttori in un unico cavo connessi in configurazione anti induttiva,



  la maggiore superficie diminuisce l'effetto pelle mentre la configurazione dei campi elettromagnetici mostra un riduzione della induttanza per unità di lunghezza. Questa soluzione, estremamente economica visto che si può usare cavo da elettricisti dovrebbe essere il punto di partenza in base al quale valutare eventuali miglioramenti.
- *L'uso di materiali nobili come l'argento non introduce miglioramenti significativi se non alla consistenza del portafoglio del fabbricante di cavi*. Nella figura che segue si vede la variazione di resistenza in funzione della frequenza per vari tipi di cavo in rame e un tipo di cavo in argento.



- L'uso di casse attive (con amplificatori dedicati, interni al mobile interni) risolve il problema alla radice eliminando il problema dei cavi di potenza.

Cavi di rete

L'alimentazione in alternata delle apparecchiature audio esce nei trasformatori medio/bassa tensione e viaggia comunemente su linee aeree e/o interrate fino al contatore di casa, di qui attraverso i muri giunge alla presa di corrente e, con un cavo di rete, alla apparecchiatura da alimentare. Vi sono almeno tre diversi generi di problemi che possono affliggere l'alimentazione di rete:

- Le interferenze indotte dalle altre apparecchiature connesse alla stessa rete (ascensori, frigoriferi, condizionatori, forni, dimmer, ecc.)
- La possibilità che la tensione sia al disotto del valore nominale (230V ± 10%).
- Le interferenze che l'alimentazione induce sulle altre apparecchiature audio nella parte di circuito che si colloca dopo la prese di corrente.

Il primo problema può dare origine a rumori udibili (clik, bump) in corrispondenza dell'accensione e/o dello spegnimento delle apparecchiature collegate sulla stessa linea. Possibili soluzioni sono l'adozione di filtri di rete e, nei casi estremi, l'installazione di una linea dedicata che dal contatore porta all'impianto Hi-Fi. I filtri non devono necessariamente essere costosi per funzionare bene ma è **ESSENZIALE** che rispettino rigorosamente le norme costruttive e di sicurezza, pena il rischio di incendi e di incidenti anche mortali.

Il secondo problema si risolve con i condizionatori di rete che elevano o addirittura ricostruiscono l'alimentazione.

Il terzo problema si risolve con un cablaggio accurato, usando cavi schermati, ed evitando di far correre in parallelo i cavi di rete quelli di segnale e quelli di potenza.

Connessioni digitali

Una sorgente di confusione quando si studiano i collegamenti audio digitali è il fatto che alcuni tipi di connessione possono essere utilizzati in modi concettualmente diversi.

Connessioni a periferiche

Ai moderni computer possono essere collegati molti tipi di periferiche (tastiera, mouse, stampanti, scanner, ecc.) In questo ambito siamo interessati a due tipologie di oggetti

- **Hard Disk.** Gli Hard Disk esterni sono un metodo potente e comodo per memorizzare e trasportare dati. Si va dai pochi GByte delle pennette ai molti Terabyte degli storage professionali. I protocolli di comunicazione sono svariati USB (per le pennette ed i dischi più piccoli), Firewire, eSATA (external SATA), NAS (Network Attached Storage), SAS (Serial Attached SCSI), Fiber Channel, ecc. In tutti i casi lo spazio disco aggiuntivo viene visto e trattato dal computer come quello dei dischi interni. I suoi dati sono accessibili e se vi sono file musicali questi possono venire suonati con gli applicativi presenti sul computer. Alcuni dispositivi audio (Amplificatori, Lettori CD, Tuner, ecc.) hanno un computer interno e attraverso una connettore USB femmina di tipo A possono "vedere" una penna o un hard disk e suonarne i file musicali. I tipi di file suonabili (.wav, .mp3, .aac) e la risoluzione dipendono dal software contenuto nell'apparecchiatura e non dal protocollo di collegamento, *che da parte sua farebbe passare anche la foto di mia nonna*.

- **Schede Audio.** Le schede audio tipicamente sono contenute all'interno del computer ma ne esistono anche modelli esterni che si connettono al computer attraverso un collegamento USB o FireWire. In questo caso i dati passano con un protocollo audio specifico (*la foto di mia nonna non passerebbe*) che dipende sia dalle capacità della scheda che dai Device driver presenti nel sistema operativo del computer collegato.
-

Passiamo adesso a considerare i vari standard per la trasmissione audio digitale.

S/PDIF (Sony Philips Digital Interface)

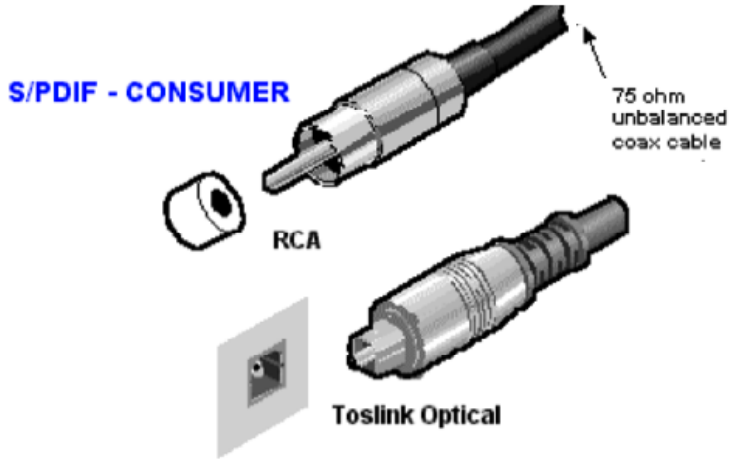
S/PDIF è un protocollo di collegamento introdotto da Sony e Philips per collegare apparecchiature consumer. Il segnale e il clock viaggiano insieme in un unico segnale. Ogni istante di sample rate viene trasmesso un blocco di 128 bit; i dati viaggiano codificati Biphase Mark un codice che raddoppiando il numeri di bit permette di avere un collegamento indipendente dalla polarità e con un numero elevato di transizioni 0/1 e 1/0 in modo da facilitare la ricostruzione del clock (non vi possono mai essere più di due 0 o due 1 consecutivi tranne che nei preamboli (parole di 8 bit all'inizio di un blocco che appunto non sono

codificate per facilitarne il riconoscimento. Un blocco porta quindi 56 bit di informazione di cui al più 24+24 bit di campioni audio e 8 bit di codici ausiliari.

Il sample rate non è definito nel protocollo e questo formato può trattare dati fino a 192 KHz, purché l'implementazione a livello elettrico lo permetta.

La frequenza di clock è 5.6448 MHz per un sample rate di 44100 Hz e sale fino a 24.576 MHz per un sample rate di 192 KHz ma naturalmente la banda passante necessaria per una corretta ricostruzione dei dati è maggiore.

Esistono due tipi collegamento S/PDIF

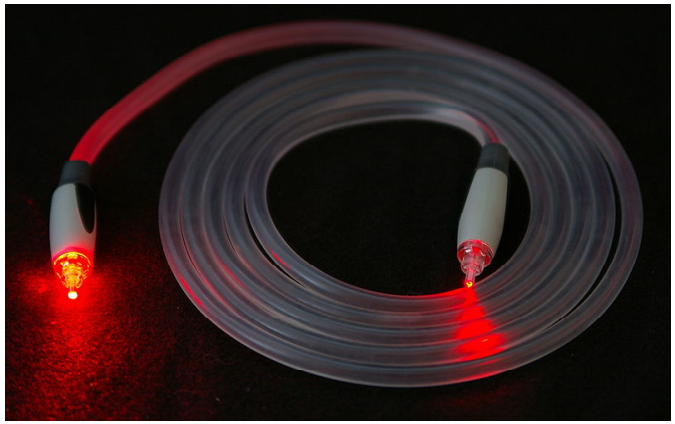


- **Cavo coassiale (IEC 60958 Type II)**

Cavo coassiale da 75 Ohm di impedenza, terminato RCA o, più raramente BNC, è il tipo di cavo usato per il video composito e le discese satellitari.

- **Fibra Ottica**

Fibra ottica, tipicamente di plastica, ma a volte anche di vetro. All'inizio limitata a 20 bit e 48 Khz, lo standard è stato esteso per molti formati moderni. Rispetto al collegamento su rame ha una completa immunità ai disturbi, ma la bassa qualità della fibra e dei connettori lo rense scarsamente non competitivo.



AES-EBU (IEC 60958 Type I)

Il protocollo **AES/EBU** è simile allo S/PDIF con alcune piccole variazioni nel significato dei bit di codici ausiliari. Il segnale viaggia preferibilmente su cavo coassiale bilanciato a due conduttori da 110 Ohm con connettori XLR maschio e femmina che è esattamente (e volutamente) lo stesso tipo di cavo usato per il collegamenti audio analogici bilanciati in ambito professionale. È anche possibile (ma più raro) il collegamento sbilanciato con cavo da 75 Ohm e connettore BNC (talvolta eletricamente compatibile con lo S/PDIF).

Sia per S/PDIF che AES/EBU una soluzione alternativa al problema della ricostruzione del clock (usata tipicamente in ambito professionale, quando si devono interfacciare molte diverse apparecchiature digitali) è far viaggiare un clock di riferimento su linee separate (word clock).

Il problema degli 83 centimetri

Esiste una demenziale leggenda metropolitana che afferma che i cavi S/PDIF coassiali devono essere lunghi un multiplo di 83 centimetri. Essendo una leggenda è difficile trovare motivazioni più serie di "l'ho letto su un forum" ma qualcuno più intraprendente dà la seguente spiegazione.

La lunghezza d'onda a 44100 Hz è $\lambda = c/f = 299792458/44100$ metri = 6798.01 metri continuando a dividere per due si ottengono le lunghezza che minimizzano le onde stazionarie.

Lunghezze ragionevoli si ottengono dividendo per 2^{12} (viene 166 cm) e per 2^{13} (viene 82.93 cm).

Questo ragionamento è senza senso da qualunque parte lo si guardi perché:

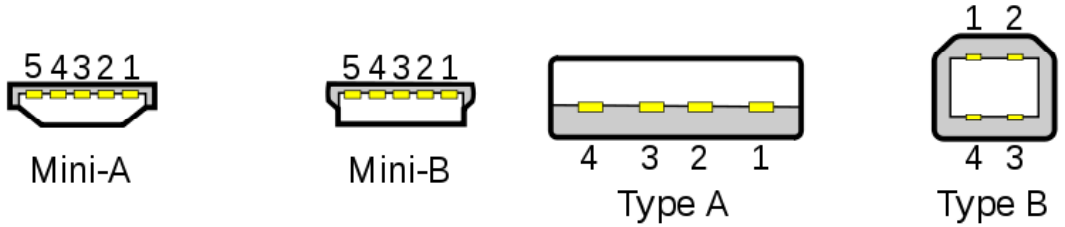
- A quelle lunghezze (frazioni di λ) non ha senso parlare di linea di trasmissione, e quindi di onde stazionarie, impedenza del cavo, ecc
- La forma d'onda non è sinusoidale (sono impulsi non una portante modulata)
- In ogni caso la velocità di propagazione nel cavo non è c ma dipende dal dielettrico e anche si volesse applicare il ragionamento di cui sopra si dovrebbe tenere in considerazione la natura del dielettrico ottenendo valori completamente diversi da 83 e 166 cm.
- Bisognerebbe comunque cambiare cavo ogni volta che si cambia il sample rate.

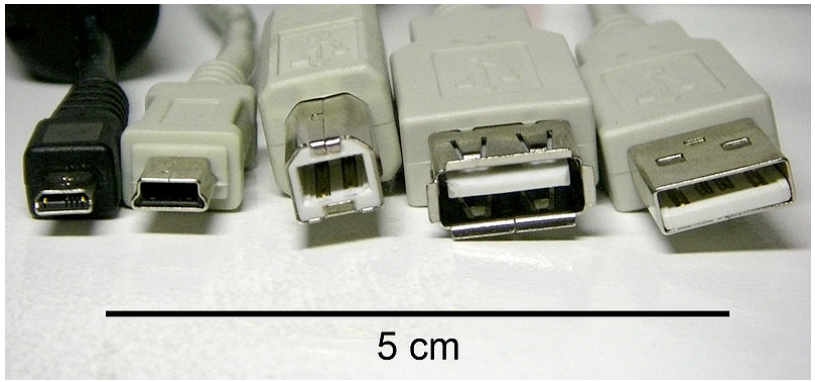
USB

Il bus **USB (Universal Serial Bus)** è il tipo di collegamento seriale più diffuso al giorno d'oggi. Le versioni **1.0** e **1.1** erano state introdotto per connettere periferiche a bassa velocità (mouse, tastiere, lettori di floppy-disk) e hanno un limite teorico intorno ai 12 Mbit/sec, il bus **USB 2.0** con la sua capacità di 480 Mbit/sec si presta bene a collegare periferiche ad alta velocità (Hard Disk, schede audio, ecc.)

Lo schema del collegamento USB è asimmetrico e prevede un nodo principale (**Host**: un computer o qualcosa che si comporta come tale) connesso ad una moltitudine di dispositivi

(**Device**: un disco, una penna, una stampante, un modem, un mouse, una tastiera, un DAC, una macchina fotografica, un telefono, un navigatore satellitare, ecc.) attraverso un collegamento a stella. Il cavo è a 4 conduttori e prevede una alimentazione a 5V CC (che può non essere usata) e due conduttori intrecciati che portano i dati. I connettori si dividono in **Type A** per l'Host, e **Type B** per il Device, le due estremità non sono intercambiabili per evitare di collegare tra loro due Host o due Device e sono di varie dimensioni, in alcuni casi il cavo entra direttamente nel dispositivo come accade per mouse e tastiere. Nelle figura sono mostrati esempi di vari connettori USB.





- **Protocollo**

Il tipo di trasferimento che ci interessa qui è quello di un segnale musicale da un Host (per esempio un computer) ad un Device (per esempio una scheda Audio con ingresso USB di tipo

B). Questo caso non deve assolutamente essere confuso con la lettura di un file audio residente su un Device (per esempio una pennetta USB) da parte di un Host (per esempio un lettore cd con ingresso USB di tipo A).

Il protocollo di trasmissione è controllato da software presente sull'Host (i driver del sistema operativo) e quello residente sul device.

- Nel caso più semplice (**Synchronous**) la sincronizzazione è basata sul **SOF** (**Start of Frame marker**) il clock del bus inviato dall'Host ogni millisecondo.
- Nella comunicazione asincrona (**Asynchronous**) la sincronizzazione è basata su un clock esterno al bus USB (per esempio generato dall'Host).
- Nella comunicazione adattiva (**Adaptive**) la sincronizzazione è basata su una interazione libera tra Host e Device, è con questo procedimento che il Device può ottenere i dati con un qualunque rate determinato dall'interfaccia audio. È attraverso questo protocollo che apparecchiature di qualità possono controllare con precisione il sample rate riducendo il Jitter al minimo purché nell'Host siano presenti i driver corretti.

Fire-Wire (IEEE 1394)

La connessione **FireWire** è stata introdotta da Apple per collegamenti ad alta velocità, con il nome di **i.link** è stata usata da Sony per il collegamento di telecamere, Nella versione base ha una capacità di 400 Mbit/sec poi estesa a 800 Mbit/sec (IEEE 1394b) con un collegamento retro compatibile.

- La connessione **FireWire 400** usa un cavo a 6 conduttori di cui due di alimentazione.

- La connessione **i.link** usa un cavo a 4 conduttori privo di alimentazione.

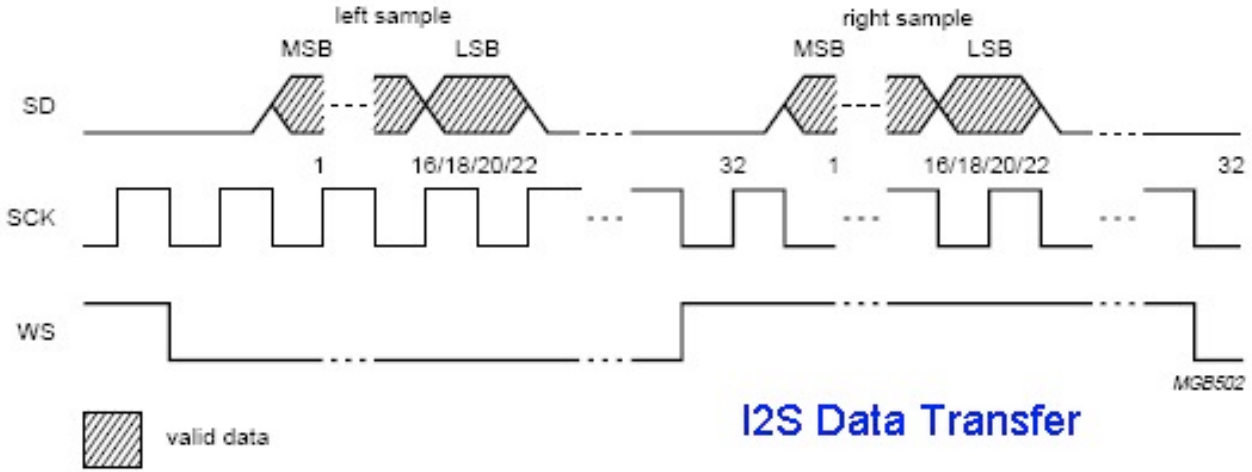
- La connessione **FireWire 800** usa un cavo a 9 conduttori. Può essere utilizzato anche con dispositivi FireWire 400 attraverso adattatori o cavi misti ma ovviamente in questo caso la velocità è quella del protocollo più vecchio.

La topologia del collegamento FireWire è ad albero e non esistono nodi privilegiati (il protocollo è peer-to-peer).

A livello di comunicazioni audio FireWire è molto usato, sopratutto in campo professionale dove la sua maggiore affidabilità permette agevoli collegamenti multicanale.

I2S

Il protocollo **I2S** (**Integrated Interchip Sound**) è nato come protocollo seriale di comunicazione tra dispositivi digitali all'interno delle apparecchiature. Usa da 3 a 5 conduttori in modo da far viaggiare il clock separato dai dati. Quest'ultima caratteristica lo rende preferibile allo S/PDIF anche per comunicazioni tra diverse apparecchiature e alcuni costruttori hanno iniziato ad adottarlo in tal modo.



Come cavi e connettori in genere sono adottati quelli in uso per la linee ethernet

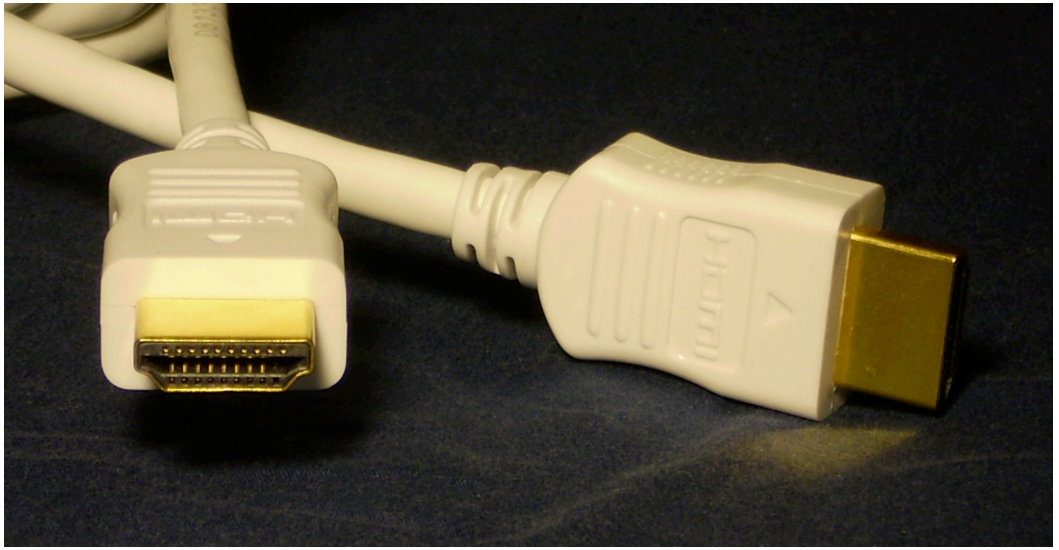
HDMI

Abbiamo già visto come la connessione **HDMI** (**High-Definition Multi-media Interface**) consenta attraverso il trasferimento di dati per audio e video ad alta definizione con una richiesta di banda, in generale, molto elevata.

Le connessioni ad alta definizione analogiche non trattavano i segnali audio e quando ciò avveniva comunque si trattava di audio analogico e di qualità non elevata. L'HDMI rende disponibili invece, sullo stesso cavo del video, 8 canali codificati fino a 192 KHz, 24 bit (ma il segnale può ed essere campionato anche a 32, 44.1, 48, 88.2, 96 e 176.4 kHz). Ciò implica che è possibile trasferire su HDMI tutti i formati audio compatibili con la classificazione IEC61937, nella quale sono inclusi i contenuti audio dei supporti Blu-ray e HD-DVD, delle trasmissioni HDTV o provenienti dai PC e dalle console da gioco. A partire dalla versione HDMI 1.2 sono anche supportati fino a 8 canali audio DSD (la tecnologia usata dai Super Audio CD). Per quanto concerne le codifiche audio dedicate all'Home Theater, dalla versione 1.3 l'HDMI supporta espressamente le forme di streaming audio compresse lossless come Dolby TrueHD e DTS-HD Master Audio.

Il cavo HDMI è a 19 conduttori con gruppi intrecciati e schermati separatamente. Per evitare perdite né interazioni tra i segnali trasportati dai singoli conduttori si fa uso della tecnologia **TMDS** (**Transition Minimized Differential Signaling**), già in uso anche nei sistemi video digitali DVI. Ciò si realizza mediante un algoritmo di codifica (dal lato di trasmissione) che permette una riduzione dell'interferenza elettromagnetica sui cavi e rende più sicuro il recupero del clock di sincronismo da parte del dispositivo ricevente, garantendo la comunicazione anche su cavi molto lunghi oppure su cavi corti di basso costo. La trasmissione dei dati video, audio e ausiliari sul canale TMDS avviene sfruttando in tre periodi

differenti. Durante il periodo relativo ai dati video viene trasmessa una linea dell'immagine, tra una riga e l'altra vengono trasmessi i dati relativi all'audio e ai dati ausiliari, inframmezzati a loro volta da un periodo in cui sono trasmessi dati di controllo.



audioplay