SUPSI

Audio e video streaming

Fondamenti di Multimedia Processing

Tiziano Leidi

Trasmissione di contenuti multimediali

La trasmissione di contenuti multimediali su lunghe distanze è una delle sfide tecnologiche con cui l'essere umano si sta confrontando da tempo.

Le tecniche impiegate in passato sono innumerevoli.

Oggi la convergenza è nella direzione di soluzioni di streaming audio/video che sfruttano Internet come canale di comunicazione.

Telefono

Il telefono è stato il primo degli strumenti che ha reso possibile la comunicazione di un segnale audio attraverso una lunga distanza.

Il telefono converte suono, di norma la voce umana, in un segnale elettrico trasmesso via cavo (o qualche altro mezzo di trasmissione) ad un altro telefono che si occuperà della riproduzione.

Cenni storici

Prima dell'invenzione dei telefoni elettromagnetici, esistevano dei dispositivi meccanico-acustici capaci di trasmettere la voce (e la musica) su distanze maggiori di quelle possibili per propagazione diretta. Sfruttavano tubi di trasmissione e altre soluzioni fisiche.

Il telefono è emerso dall'evoluzione del telegrafo elettrico. Varie persone contribuirono alla sua invenzione, inclusi Antonio Meucci, Elisha Grey e Thomas Edison.

Cenni storici

Nel 1876, Alexander Graham Bell fu il primo a depositare un brevetto negli Stati Uniti per un dispositivo capace di generare in tempo reale a distanza una replica chiaramente intellegibile della voce umana.

In seguito l'evoluzione fu ampia, sia in termini tecnologici che di modalità di utilizzo. Fra i principali cambiamenti vanno sicuramente citati la telefonia mobile e gli smartphone, ma anche la telefonia over IP.

Linee telefoniche

Una linea telefonica è un singolo cavo fisico (o altro mezzo di comunicazione) che collega un telefono alla rete telefonica. Ogni linea è di norma associata ad un numero di telefono. Oggi le linee telefoniche vengono usate soprattutto per la comunicazione Internet tramite Digital Subscriber Line (DSL). Di norma, i cavi sono in rame (in alcuni casi alluminio) che in passato venivano appesi a pali del telefono in coppie distanziate o come doppino. Le linee odierne sono sotterranee.

Cavi di tipo twisted pair

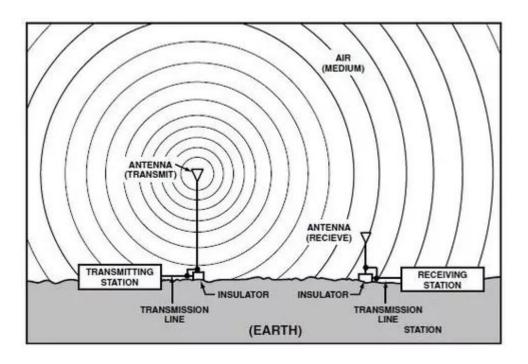
UTP Category	Description	
CAT1	Up to 1Mbps, Old Telephone Cable	
CAT2	Up to 4Mbps, Token Ring Networks	
CAT3	Up to 10Mbps, Token Ring & 10BASE-T Ethernet	
CAT4	Up to 16Mbps, Token Ring Networks	
CAT5	Up to 100Mbps, Ethernet, Fast Ethernet, Token Ring	
CAT5e	Up to 1Gbps, Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet	
CAT6	Up to 10Gbps, Gigabit Ethernet, 10G Ethernet(55 meters)	
CAT6a	Up to 10Gbps, Gigabit Ethernet, 10G Ethernet(55 meters)	
CAT7	Up to 10Gbps, Gigabit Ethernet, 10G Ethernet(100 meters)	

Trasmissione radio

La trasmissione radio è la tecnologia che sfrutta le onde radio per trasmettere informazione (voce, suono, ...), modulando sistematicamente le proprietà di onde elettromagnetiche trasmesse nello spazio. Come proprietà vengono sfruttate: ampiezza, frequenza, fase, lunghezza di impulso. Quando le onde incontrano un conduttore elettrico, il campo oscillante induce una corrente alternata nel conduttore. L'informazione contenuta può essere estratta, ricostruendo il segnale originale.

Trasmissione radio

Per la trasmissione e la ricezione vengono utilizzate delle antenne: array di conduttori connessi elettricamente ai trasmettitori o ai ricevitori.



Trasmissione radio

Per le trasmissioni ad onde radio viene sfruttato il range dello spettro fra i 3 kHz e i 300 GHz.

Name	Frequency (Hz) (Wavelength)	Photon energy (eV)
Gamma ray	> 30 EHz (0.01 nm)	124 keV - 300+ GeV
X-Ray	30 EHz - 30 PHz (0.01 nm - 10 nm)	124 eV to 120 keV
Ultraviolet	30 PHz - 750 THz (10 nm - 400 nm)	3.1 eV to 124 eV
Visible	750 THz - 428.5 THz (400 nm - 700 nm)	1.7 eV - 3.1 eV
Infrared	428.5 THz - 300 GHz (700 nm - 1 mm)	1.24 meV - 1.7 eV
Microwave	300 GHz - 300 MHz (1 mm - 1 m)	1.24 µeV - 1.24 meV
Radio	300 MHz - 3 kHz (1 m - 100 km)	12.4 feV - 1.24 meV

Cenni storici

L'idea della comunicazione senza fili risale agli anni intorno al 1830 in cui venivano condotti esperimenti di telegrafia wireless mediante trasmissione sul suolo, l'acqua o addirittura i binari del treno.

Nel 1894 l'inventore Italiano Guglielmo Marconi costruì il primo telegrafo senza fili, basato sulla tecnologia di trasmissione ad onde radio (trasmissione di onde Hertziane nell'aria), che ebbe successo commerciale.

A partire da quel momento la tecnologia radio venne sfruttata per una moltitudine di impieghi, inclusa la trasmissione di suono e video per radio e televisione.

Broadcasting

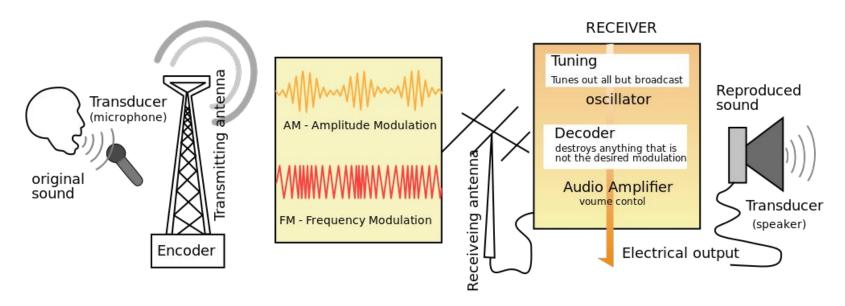
Il broadcasting è la distribuzione di contenuti audio o video ad un audience delocalizzata tramite un mezzo di comunicazione di massa, tipicamente usando le onde radio, in un modello uno a molti.

Le soluzioni di telecomunicazione precedenti al broadcasting erano caratterizzate da un modello uno a uno (ad esempio il telefono).

Il broadcasting ha avuto i suoi inizi con la radio AM, popolare a partire dagli anni 20 grazie all'introduzione dei trasmettitori e ricevitori radio a valvole.

Radio broadcasting

Con radio broadcasting si intende la trasmissione di contenuti audio (voce e musica) tramite tecnologia radio. Mentre in passato la trasmissione veniva fatta solo tramite onde radio, oggi può passare anche via cavo o più genericamente in Internet.



AM e FM

Le stazioni radio AM sono state le prime a venire sviluppate. AM significa modulazione d'ampiezza, una metodologia di broadcasting tramite onde radio in cui viene variata l'ampiezza del segnale trasmesso in corrispondenza delle variazioni d'ampiezza del segnale sonoro. Viene principalmente usata la banda delle onde medie.

Le stazioni radio FM sfruttano invece la modulazione di frequenza nella banda VHF. La modulazione di frequenza è stata inventata da Edwin Howard Armstrong per ovviare al problema di radio-frequency interference (RFI), che produce rumore nella ricezione AM.

AM e FM

Band	Frequency	Wavelength
	range	range
Extremely low frequency (ELF)	< 3 kHz	>100 km
Very low frequency (VLF)	3 - 30 Hz	10 - 100 krn
Low frequency(LF)	30 - 300 kHz	1 - 10 km
Medium frequency (MF)	300 kHz - 3 MHz	100m - 1km
High frequency (HF)	3 - 30 MHz	10 - 100m
Very high frequency (VHF)	30 - 300 MHz	1 - 10m
Ultra high frequency (UHF)	300 MHz - 3 GHz	10cm - 1m
Super high frequency (SHF)	3 - 30 GHz	1 - 10cm
Extremely high frequency (EHF)	30 - 300 GHz	1mm - 1cm

Televisione

Nel broadcasting televisivo, oltre al suono vengono trasmesse anche immagini in movimento. Oggi la televisione è diventata un mass media per l'intrattenimento, le news, la politica, la pubblicità, ecc.

La programmazione viene distribuita da differenti stazioni televisive (dette canali) con licenza di distribuire in una determinata banda di frequenza. All'inizio la trasmissione ad onde radio era l'unico mezzo sfruttato, progressivamente sostituito dall'avvento della televisione via cavo.

Oggi esistono alcune alternative come la televisione digitale terrestre, la televisione via satellite e la televisione over IP.

Televisione via cavo

La televisione via cavo è un sistema di distribuzione della programmazione televisiva tramite segnali a radiofrequenza trasmessi via cavi coassiali in sostituzione delle onde radio. Inizialmente la trasmissione era di tipo analogico, poi si è passati al digitale.

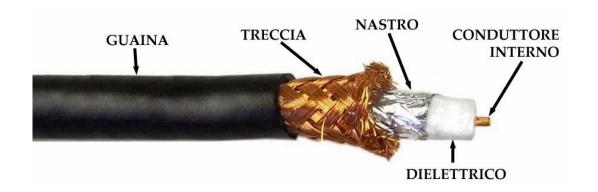
Oggi il cavo viene sfruttato anche per servizi alternativi come quelli telefonici, la radio FM e l'high-speed Internet.

Alcuni canali televisivi sono nati specifici per la televisione via cavo (e via satellite), come ad esempio: HBO, MTV, Cartoon Network, Eurosport e CNN.

Cavo coassiale

Un cavo coassiale è composto da un conduttore interno circondato da uno strato tubolare d'isolazione. Si chiama coassiale perchè il conduttore e la schermatura condividono un medesimo asse geometrico. Ha capacità di trasmissione 80 volte maggiore a quella di un cavo twisted-pair.

Le dimensioni di un cavo coassiale vengono controllate per fornire uno spazio di conduzione costante, indispensabile per il funzionamento efficace della linea di trasmissione.



Televisione via satellite

La televisione via satellite è un servizio che distribuisce la programmazione televisiva direttamente alle case dei telespettatori da un satellite di telecomunicazione che orbita attorno alla terra.

Il segnale viene ricevuto con un'antenna parabolica. Mentre in passato si usavano grosse parabole per la trasmissione di segnali analogici, i sistemi moderni sono digitali e trasmettono nella banda di frequenze fra i 12 e i 18 GHz. Richiedono quindi una parabola più piccola di un metro di diametro.

Digitale terrestre (radio)

Il broadcasting radio digitale è emerso inizialmente in Europa e poi si è diffuso in molte regioni del mondo. Il sistema utilizzato più comunemente è il Digital Audio Broadcasting (DAB) di cui ne esistono alcune varianti, incluso il DAB+. La radio analogica (AM e FM) è però ancora utilizzata. Inoltre, la competizione della radio IP è forte.

Nel broadcasting digitale, il segnale analogico viene digitalizzato e compresso con formati come l'MP2, poi trasmesso con schemi di modulazione digitale. L'obiettivo è di aumentare il numero di programmi presenti in una determinata banda di spettro e di migliorarne la qualità.

Digitale terrestre (televisione)

In maniera simile, la televisione digitale terrestre (DTTV o DTT) sfrutta le onde radio terrestri per trasmettere segnali TV digitali. Rispetto all'analogico, i vantaggi sono innumerevoli, inclusi un miglior sfruttamento dello spettro di frequenze e migliore qualità di trasmissione.

Esistono quattro formati principali: ATSC, DVB, ISDB e DTMB. Dal 2010 questi formati hanno sostituito praticamente ovunque i sistemi analogici NTSC, PAL e SECAM.

Radio e televisione Internet

La radio e la televisione Internet sono forme di distribuzione digitale che sfruttano Internet come mezzo di trasmissione. Questo tipo di approccio presenta diversi vantaggi rispetto a soluzioni più tradizionali come il digitale terrestre, la via cavo e la via satellite.

Per la telefonia, la radio e la televisione in Internet esistono soluzioni specifiche over IP:

- il voice over Internet protocol (VoIP),
- il radio over Internet protocol (RoIP),
- l'Internet Protocol Television (IPTV).

Radio e televisione over IP

Oggi, molti distributori radio e TV hanno sostituito le soluzioni tradizionali con quelle over IP mediante set-top boxes o altro equipaggiamento simile.

Le soluzioni over IP hanno inoltre permesso l'apparizione di nuove forme di distribuzione, principalmente di tipo subscription-based sempre su set-top boxes o direttamente sugli smart TV.

Un esempio nell'ambito audio è Spotify, mentre in quello video alcuni esempi sono Netflix, Amazon Video e Google Play Movies.

Tipologie di soluzioni di streaming

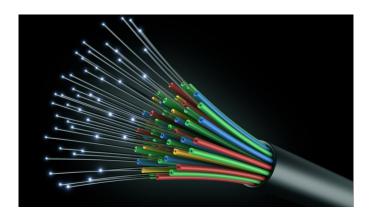
Le soluzioni di streaming audio/video possono essere classificate in tre gruppi principali:

- live media (televisione): permette di accedere alla programmazione dal vivo, con o senza interattività.
- time-shifted media: permettono di accedere alla programmazione passata.
- video on demand (VOD): permette di accedere ad un catalogo di contenuti disponibili per lo streaming.

Fibra

La fibra ottica è la nuova generazione di supporto fisico per la comunicazione. Ogni elemento della fibra ottica (piccoli tubi di vetro) è ricoperto da uno strato di plastica ed introdotto in un tubo protettivo.

La capacità di trasmissione è quella della luce, 26'000 volte maggiore di quella del cavo twisted-pair. È leggera e robusta in termini di trasmissione, è però più complessa da installare rispetto ai cavi twisted pair o coassiali.



comincia "istantaneamente".

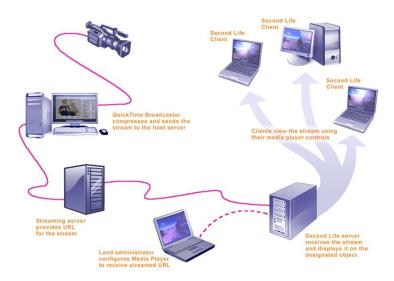
Streaming

Il termine "streaming" ha cominciato a venire utilizzato negli anni '90 come migliore descrizione di video on demand su IP. Oggi, "streaming" viene utilizzato per tutte le situazioni in cui contenuti audio/video vengono trasmessi tramite internet a un computer, uno smartphone, un set-top box o una smart TV. Nello streaming non è necessario scaricare il contenuto interamente prima di poterlo sentire/vedere. La riproduzione

Servizi di streaming famosi sono ad esempio YouTube, Netflix, Spotify e Apple Music.

Live streaming

Con live streaming si intende lo streaming in tempo-reale mentre l'evento ha luogo, come nella televisione dal vivo. Il live streaming è più complesso da realizzare. Necessita di videocamere e microfoni, encoder real-time per la digitalizzazione, uno strumento di publishing dei contenuti e una content delivery network (CDN) per distribuirli.



Challenges del multimedia streaming

Ci sono alcune challenges legate allo streaming su Internet di contenuti multimediali.

I principali problemi che possono insorgere sono quelli di packet-loss, packet-delay e network jitter.

In particolare, se la connessione non presenta sufficiente larghezza di banda, può capitare che i dati non arrivino per tempo, con conseguente degrado della qualità di ricezione.

Unicast vs. multicast

I protocolli unicast inviano una copia separata della stream dal server a ogni utente connesso. L'unicast è la norma per le connessioni Internet, ma la scalabilità non è ideale se molti utenti vogliono ricevere i medesimi contenuti contemporaneamente.

I protocolli multicast sono stati sviluppati per ridurre il carico sul server e sulla rete. Viene spedita un'unica stream dalla sorgente agli utenti. La disponibilità del multicast non è sempre garantita. Dipende dall'infrastruttura di rete disponibile. Inoltre routers e i firewalls possono ostacolarne il passaggio.

Content delivery network

Per ovviare alla moltitudine di ostacoli tecnici, una soluzione spesso adottata è quella di spedire la stream dalla sorgente ad un'infrastruttura cloud detta content delivery network (CDN), responsabile dell'eventuale transcoding e della distribuzione dei contenuti multimediali agli utenti.



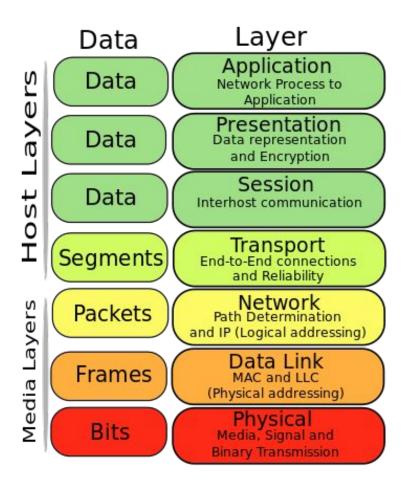
LAN vs. WAN

Esistono alcune soluzioni specifiche per l'audio o il video over IP su LAN. Nel caso dell'audio è possibile ad esempio utilizzare le tecnologie come Dante o Ravenna.

Lo streaming su WAN è più complesso a causa della presenza dei routers, dei firewalls e dei differenti Internet service providers (ISP) che riducono le possibilità di connessione. In generale, il multicast su WAN è molto difficile da eseguire, perché bloccato dagli ISP.

In generale l'HTTP è l'unico canale di comunicazione garantito.

Modello OSI



Protocolli e formati per lo streaming

I protocolli e i formati comunemente utilizzati sono:

- Network Layer: IP
- Transport Layer: TCP, UDP
- Application Layer: HTTP, FTP, RTP (con RTCP), RTSP, RTMP (Adobe), RTMFP (su UDP), RTMPT (HTTP tunnel)
- Dynamic Adaptive Streaming (su HTTP): HLS (Apple), MPEG-DASH, HDS (Adobe), Smooth Streaming (Microsoft)

Ravenna

Ravenna è una tecnologia di streaming audio over IP pensata principalmente per utilizzo in LAN:

- Basata su RTP / RTCP
- Supporta sia unicast che multicast
- Sfrutta SDP o RTSP per la gestione della connessione e della stream
- La sincronizzazione viene mantenuta tramite PTPv2
- QoS basato su DiffServ

RTP

Il real-time transport protocol (RTP) permette la delivery sia di audio che di video over IP. Viene utilizzato nei sistemi di comunicazione e entertainment per la telefonia, teleconferenza, televisione e streaming Internet (incluso il WebRTC).

Di norma l'RTP viene utilizzato con UDP e in combinazione con l'RTP control protocol (RTCP), per mantenere controllo e sincronizzazione delle streams. L'RTP supporta anche il multicast.

RTP

L'RTP è pensato per lo streaming multimediale in real-time di dati da punto a punto. Fornisce funzionalità per la compensazione del jitter e per la detection della packet loss e dell' out-of-order delivery.

RTP è una delle fondamenta tecniche del Voice over IP. In questo contesto viene usato in combinazione con il session initiation protocol (SIP) per stabilire le connessioni all'interno della rete.

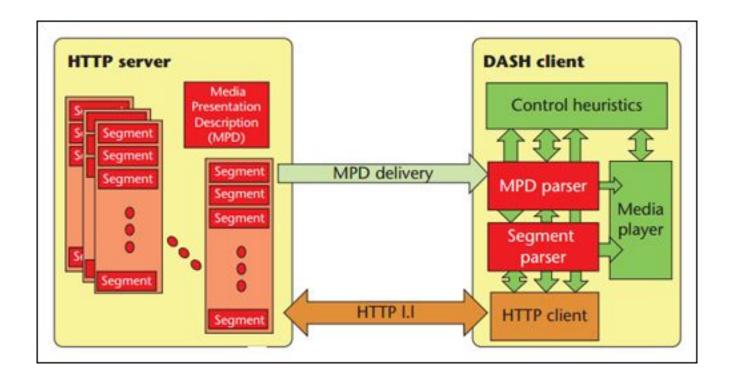
Il dynamic adaptive streaming over HTTP (DASH), più comunemente conosciuto come MPEG-DASH, è una tecnica di streaming a bitrate adattivo che permette lo streaming Internet di contenuti multimediali a partire da web servers HTTP convenzionali.

È simile all'HTTP live streaming (HLS) di Apple, ma non è proprietario ed è uno standard internazionale.

Il funzionamento è il seguente: i contenuti multimediali vengono spezzati in una sequenza di segmenti (ad esempio di 10 sec) messi a disposizione in una varietà di bitrates differenti.

Sulla base delle condizioni di rete, il dispositivo di ricezione è responsabile della scelta del formato adeguato da scaricare e riprodurre. È anche responsabile di gestire eventuali pacchetti mancanti o out of order.

Il download è quindi un normale HTTP download.



MPEG-DASH può essere utilizzato da televisori, set-top boxes, computers, smartphones, tablets, etc.

A differenza di HLS, HDS, o Smooth Streaming, l'MPEG-DASH non ha vincoli di codec. In combinazione si può utilizzare qualsiasi formato audio e video.