Università di Genova
Facoltà di Ingegneria

Telematica 2

1. Servizi Multimediali e Qualità del Servizio (QdS) su IP

1.5 Voce e Video su IP

Prof. Raffaele Bolla

Servizi multimediali e VoIP

- I servizi multimediali realizzabili tramite tecnologia IP sono in qualche modo classificabili nell'ambito di due nomenclature usante oggi in modo piuttosto diffuso, che sono
  - **VoIP (*Voice over IP),***
  - ***Videoconferenza.***

VoIP (Voce over IP)

- In senso generale col nome di VoIP si identificano tutti i servizi di comunicazione su IP che coinvolgono lo scambio interativo di segnali audio ed eventualmente video e dati fra due interlocutori (***unicast***).
- L'acronimo descrive e richiama il servizio più semplice fra quelli compresi in questa categoria, ossia una comunicazione telefonica corrispondente a quella realizzabile tramite la rete PSTN .
- Altre tipologie di servizi più avanzati possono essere ad esempio la video-telefonata, l'interazione con call-center con supporti video e dati.

Video-conferenza

- In questo contesto (TCP-IP), sotto il nome di video-conferenza vengono raccolti in genere i servizi che prevedo l'interazione in tempo reale audio, video e dati di tre o più utenti, si tratta in pratica della "versione" multicast del VoIP.
- Anche in questo caso si parte da servizi mono-media (solo voce) per arrivare alla versione più sofisticata che coinvolge scambi voce-video-dati.
- Due esempi sono la vera e propria video-conferenza, i servizi di didattica a distanza in tempo reale.

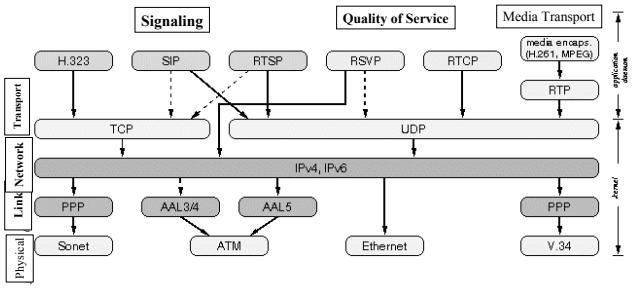
VoIP – Tipologie di protocolli

- Per realizzare applicazioni di VoIP sono necessari tre tipologie di protocolli:
  - **trasporto dei media:**
    servono per trasportare i veri e propri flussi multimediali (audio, video, immagini e dati) all'interno della rete;
  - **segnalazione**:
    necessari per stabilire la presenza degli utenti, localizzarli e instaurare, modificare e terminare le sessioni;
  - **supporto**:
    forniscono una serie di funzionalità "accessorie" quali traduzione degli alias in indirizzi IP, localizzazione dei gateway, QoS, AAA interdominio ...

VoIP – Protocolli utilizzati

- Trasporto:
  - **RTP** (***Realtime Transport Protocol***) per i media (definito da IETF e adottato anche dall'ITU);
  - TCP/UDP per il trasporto all'interno della rete.
- Segnalazione:
  - **SDP** (***Session Description Protocol***) - IETF
  - **SIP** (***Session Initiation Protocol***) - IETF
  - **H.323** - ITU-T
- Supporto:
  - DNS (*Domain Name System*);
  - RSVP (*Resource Reservation Setup Protocol*);
  - COPS (*Common Open Policy Service*), definisce politiche di controllo per QoS;

VoIP – Architettura protocollare

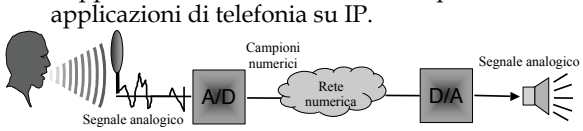


Trasporto di flussi multimediali su IP

- La trasmissione dei diversi media richiede una serie di operazioni fondamentali
  - acquisizione dei segnali (microfoni, telecamere, tastiere);
  - **codifica dei segnali** ⇦
    - » conversione analogico/digitale,
    - » rappresentazione in una codifica binaria;
    - » compressione.
  - trasmissione dell'informazione
  - decodifica dei segnali
    - » conversione digitale/analogica;
  - riproduzione del media (altoparlanti, monitor, stampanti, ...).

Media - Voce

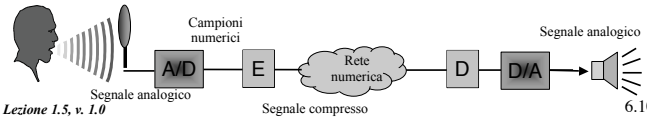
- Rappresenta il media fondamentale per le applicazioni di telefonia su IP.



- Lo spettro del segnale vocale è di circa 4 KHz
  - in base del teorema di Nyquist è necessario campionare il segnale analogico ad almeno 8 kHz;
  - il risultato sono 8000 campioni/s.
- Il segnale analogico viene codificato tramite PCM a 16 bit
  - usare 16 bit a campione rende l'errore di quantizzazione sicuramente impercettibile all'orecchio umano.

Media – Voce
Codec

- Un'applicazione di questo tipo genera un flusso dati a 128 kbps (8000 camp/s × 16 bit/camp).
- L'utilizzo di un codec permette di ridurre il tasso trasmissivo mantenendo un livello adeguato di qualità del segnale
  - è composto da un codificatore (E) e un decodificatore (D)
    - » il codificatore comprime i campioni numerici rimuovendo l'informazione ridondante (vedi teoria dell'informazione);
    - » il decodificatore ricostruisce il segnale originale a partire da quello compresso.

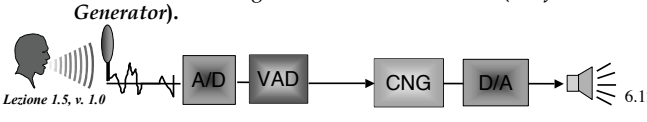


Media – Voce
Codec

- Esistono due tipologie di codificatori:
  - **voce**
    - » sfruttano le caratteristiche della voce umana permettendo di raggiungere elevati fattori di compressione.
  - **audio**
    - » coprono una ampia gamma dello spettro e di tipologie di suoni ma raggiungono fattori di compressione minori del caso precedente;

Media – Voce
Codec

- Sono varie le caratteristiche della voce che contribuiscono a rendere efficiente (e quindi vantaggiosa) l'operazione di compressione.
- Una di esse è data dal fatto che una sorgente vocale alterna fasi di attività (parlato) a fasi di inattività (silenzio) in cui è inutile trasmettere. Pertanto si può prevedere
  - In trasmissione l'utilizzo di ***Voice Activity Detector*** **(VAD)** permette di riconoscere i momenti di silenzio e annullare la trasmissione durante il loro svolgersi;
  - in ricezione, dato che la completa assenza di segnale appare innaturale, l'uso di generatori di rumore **CNG (*Confort Noise Generator*).**

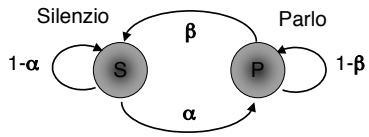


Media – Voce
Codec

- Durata media del periodo attività (*talkspurt*) = 1.00 s
- Durata media del periodo di silenzio (*gap*) = 1.35 s
- Percentuale di attività ≈ 42 %
- Questo modello in pratica riconosce solo le pause fra frasi o al massimo parole. Modelli (e SAD) più complessi sono in grado di riconoscere e sfruttare anche le micro-pause fra parole e fra sillabe ed ottenere livelli di efficienza ancora superiori

R. Bolla Telematica 2, n. o.

Media – Voce
Codec



- Durata media del periodo attività (*talkspurt*) = 1.00 s
- Durata media del periodo di silenzio (*gap*) = 1.35 s
- Percentuale di attività ≈ 42 %
- Questo modello in pratica riconosce solo le pause fra frasi o al massimo parole. Modelli (e SAD) più complessi sono in grado di riconoscere e sfruttare anche le micro-pause fra parole e fra sillabe ed ottenere livelli di efficienza ancora superiori

R. Bolla Telematica 2, n. o.

Media – Voce
Codec

- Per permettere lo svolgimento di comunicazioni vocali efficaci è ovviamente necessario che le tecniche di compressione vengano inquadrate in uno standard riconosciuto.
- L'enete che ha fatto questo nel campo della voce è principalmente ITU-T, con gli standard
  - G.711
  - G723.1
  - G.726
  - G.728
  - G.729
  - G.729A

R. Bolla Telematica 2, n. o.

Media – Voce
Codec ITU-T

- **G.711**
  - Ampiamente utilizzato nelle reti telefoniche e noto come μ-law (America e Giappone) e A-law (Europa);
  - prevede la trasformazione di campioni PCM lineari a 14 (μ-law) o 13 bit (A-law) in campioni codificati esponenzialmente a 8 bit;
  - produce una bit rate di 64 kbps.

R. Bolla Telematica 2, n. o.

Media – Voce
Codec ITU-T

- **G.723.1**
  - produce in uscita pacchetti di dimensione variabile:
    - » a partire da blocchi di 240 campioni (30 ms) codificati a 16 bit/camp. produce pacchetti di 24 byte, tramite l'algoritmo *Multi-Pulse Maximum Likelihood Quantization* (MP-MLQ), ottenendo una bitrate di 6.3 kbps;
    - » a partire dagli stessi ingressi produce pacchetti di 20 byte, utilizzando l'algoritmo *Algebraic Code-Excited Linear Prediction* (ACELP), ottenendo una *bitrate* di 5.3 kbps;
    - » Genera pacchetti di 4 byte nei periodi di silenzio per specificare i parametri da utilizzare per il CNG;
  - è possibile variare la codifica alla fine di ogni blocco corrispondente a 30 ms di conversazione;
  - lo standard definisce anche gli algoritmi per il VAD e il CNG.

R. Bolla Telematica 2, n. o.

Media – Voce
Codec ITU-T

- **G.726**
  - utilizza la codifica *Adaptive Differential Pulse Code Modulation* (ADPCM) per comprimere i campioni a 8 bit di una codifica G.711 a 2, 3, 4 o 5 bit, ottenendo bitrate pari a 16, 24, 32 o 40 kbps.
- **G.728**
  - utilizza la codifica *Low Delay – Code-Excited Linear Prediction* (LD-CELP) per comprimere blocchi di 5 campioni (0.625 ms) a 16 bit in campioni a 10 bit a velocità di 16 kbps.

Media – Voce

Codec ITU-T

- G.729
  - utilizza la codifica *Conjugate Structure – Algebraic Code-Excited Linear Prediction* (CS-ACELP) per comprimere blocchi di 80 campioni (10 ms) a 16 bit in pacchetti di
    - » 10 byte (8 kbps)
    - » 2 byte, per i parametri del CNG.
  - G.729 specifica anche gli algoritmi per il VAD ed il CNG.

Media – Voce

Caratterizzazione dei Codec

- ***Bit rate:*** un minor bitrate permette di multiplexare più flussi nella stessa banda e di ottenere una migliore QoS.
- ***Complessità:*** si misura in milioni di istruzioni al secondo (MIPS). La complessità di un algoritmo influenza elementi quali la memoria (ROM o RAM) necessaria, la potenza della CPU, la potenza di alimentazione necessaria.

Media – Voce

Caratterizzazione dei Codec vocali

- ***Ritardo*** composto da
  - *ritardo dell'algoritmo, che è legato alla:*
    - » dimensione del blocco: è necessario collezionare un certo numero di campioni prima di effettuare la codifica (es. 30 ms per G.723.1 e 10 ms per G.729);
    - » ritardo *look-ahead*: alcuni codificatori necessitano di conoscere anche alcuni campioni successivi al blocco in fase di compressione (es. 7.5 ms per G.723.1 e 5 ms per G.729);
  - *ritardo di elaborazione:* dipende dalla complessità dell'algoritmo e dalla potenza dell'hardware a disposizione.

Media – Voce

Caratterizzazione dei Codec vocali

- ***Qualità del segnale***
  tipicamente misurata in termini di ***Mean Opinion Score*** (MOS), con un punteggio soggettivo crescente da 1 a 5.
- ***Altre...***
  Ad esempio la capacità dei codec di trasportare correttamente i toni DTMF (*Dual-Tone Multi-Frequency*), particolarmente utili nei sistemi interattivi automatici (IVR, *Interactive Voice Response*), o la capacità di trasporti di segnali FAX.

Media – Voce

Caratterizzazione dei Codec

Codec	*Bitrate (kbps)*	*Complessità (comparata a G.726)*	*Ritardo Algoritmico (ms)*	*Qualità (MOS)*
G.711	64	molto bassa	0.125	4
G.723.1	5.3	8	37.500	3.9
G.723.1	6.3	8	37.500	3.6
G.726	32	1	0.125	3.9
G.728	16	15	0.625	3.6
G.729	8	10	15.000	3.9
G.729 A	8	6	15.000	3.7

Media – Voce

Un esempio di trasmissione di voce su IP

- Si consideri un'applicazione che genera dati con tasso pari a 64 kb/s (8000 campioni/s, ognuno di 8 bit).
- Questa significa che l'applicazione, ogni 20 ms genera un blocco di 160 Bytes (64 kb/s/8 × 20 ms).
- Al blocco si aggiunge una intestazione ed il tutto viene inserito in un pacchetto UDP ed inviato in rete.
- Il ricevitore riceve questi pacchetti, ma non tutti, perché alcuni vanno persi, e con ritardo variabile (eventualmente anche fuori sequenza).
- Il ricevitore deve decidere quando riprodurre un blocco e cosa fare se mancano dei blocchi.

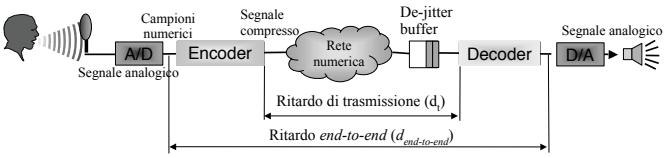
Media – Voce

Un esempio di trasmissione di voce su IP

- Sono due i problemi principali che vanno risolti
  - Ritardo
    - » Il ritardo *end to end* deve essere inferiore a 300 ms, altrimenti ne risente l'interatività.
    - » Il *jitter* in questo caso è dato dal fatto che i pacchetti sono trasmessi a 20 ms uno dall'altro ma possono arrivare al ricevitore sia più vicini che più lontani.
    - » Si dovrebbe comunque inserire dei *timestamp* per capire quando un blocco dati debba essere riprodotto.
  - Perdite di pacchetti:
    - » Si potrebbe usare TCP, ma la ritrasmissione introduce ritardo e il controllo di flusso limita il tasso.
    - » Se si usa UDP, in ogni modo, bisogna inserire numeri di sequenza per accorgersi di eventuali perdite.

Media – Voce

Un esempio di trasmissione di voce su IP



- I ritardi del microfono, dei convertitori A/D e D/A e degli autoparlanti sono trascurabili.
- Il ritardo dei coder (d_{coder}) è dovuto a
  - all'encoder
    - » ritardo algoritmico
    - » ritardo di elaborazione
  - al decoder
    - » ritardo di elaborazione

Media – Voce

Un esempio di trasmissione di voce su IP

- Il ritardo di trasmissione (d_t) dipende dalla rete e dal traffico presente
  - il ritardo di trasmissione è composto dal ritardo della rete (d_{net}) e dalle sue variazioni (*jitter*, j_{net}):

$$d_t = d_{net} + j_{net}$$

- Il ritardo *end-to-end* può quindi essere caratterizzato da queste due componenti:

$$d_{end\text{-}to\text{-}end} = d_{coder} + d_t < 300 \text{ ms}$$

Media – Voce

Un esempio di trasmissione di voce su IP

- A destinazione
  - il ritardo, se limitato, non influenza la ricezione;
  - il jitter, al contrario, degrada notevolmente la qualità del segnale ricevuto.
- Per questa ragione conviene introdurre un ulteriore ritardo in modo da eliminare i jitter.

Media – Voce

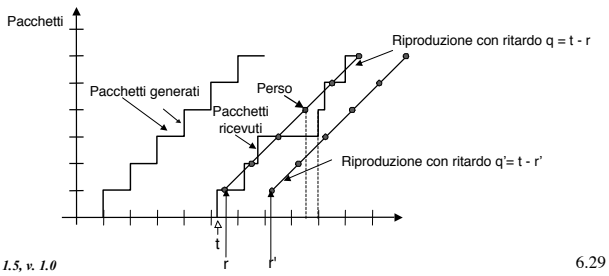
Compensazione del *jitter*

- Il *Jitter* viene in genere compensato utilizzando un buffer ed inserendo un ritardo q di riproduzione, ossia:
  - Se un blocco con un *timestamp* t è ricevuto entro t + q, viene riprodotto all'istante t + q
  - Altrimenti viene scartato
- Questa strategia non richiede numeri di sequenza per gestire le perdite
- Il problema è fissare q
  - q lunghi implicano meno perdite (per *jitter*);
  - q corti: l'interazione è più efficace.

Media – Voce

Compensazione del *jitter*

- La sorgente genera un pacchetto ogni 20 ms.
- Il primo pacchetto è ricevuto all'istante t.
- Nel primo caso (ritardo q) è riprodotto a partire dall'istante r.
- Nel secondo caso (ritardo q') è riprodotto a partire dall'istante r'.



Media – Voce

Compensazione del *jitter*

- Il meccanismo di compensazione del jitter può essere reso più efficace variando in modo adattativo il ritardo di riproduzione.
- In particolare questo si realizza
  - Stimando il ritardo introdotto dalla rete (ed eventualmente la sua varianza).
  - Variando l'istante di inizio di ogni periodo di *parlato* (quando la sorgente è nello stato ***parlo***) , ossia comprimendo o allungando i periodi di silenzio (quelli durante i quali l sorgente è nello stato ***silenzio***).
  - Durante i periodi di *parlato* (*talk spurt*) la riproduzione avviene come nel caso di ritardo fisso.

Media – Voce

Compensazione del *jitter*

- Indicando con
  - t_i = il *timestamp* dell'i-esimo pacchetto
  - r_i =l'istante in cui l'i-esimo pacchetto viene ricevuto
  - p_i =l'istante in cui l'i-esimo pacchetto viene riprodotto
  - d_i = il ritardo medio di rete stimato dopo la ricezione dell'i-esimo pacchetto
  - v_i = la deviazione media del ritardo dopo la ricezione dell'i-esimo pacchetto
- Si può scrivere:

Costante < 1 (ad es. 0,01)

$$d_i = (1-u)d_{i-1} + u(r_i - t_i)$$
$$v_i = (1-u)v_{i-1} + u\,|r_i - t_i - d_i\,|$$

- I valori d_i e v_i sono calcolati ogni pacchetto ricevuto, anche se vengono usati solo all'inizio di ogni periodo di *parlato*.

Media – Voce

Compensazione del *jitter*

- Usando questa quantità si può iniziare a riprodurre un *talk-spurt* all'istante:

$$p_i = t_i + d_i + Kv_i$$

- Per ogni singolo pacchetto il ritardo dovrà essere:

$$q_i = p_i - t_i = d_i + Kv_i$$

- E quindi l'istante di riproduzione di un pacchetto r all'interno del *talk-spurt* diventa

$$p_r = t_r + q_i$$

- Per determinare l'inizio di un *talk-spurt* si deve verificare se la differenza fra due successivi *timestamp* con il numero di sequenza (che qui diventa necessario per non farsi ingannare dalle perdite di pacchetti) in ordine corretto è > di 20 msec.

Media – Voce

Compensazione del *jitter*

- La compensazione del jitter ha comunque dei limiti

$$d_{\text{end-to-end}} < 300 \text{ ms} \qquad (1)$$

- Si ricordi che:

$$d_{\text{end-to-end}} = d_{\text{coder}} + d_t = d_{\text{coder}} + d_{\text{net}} + j_{\text{net}} \qquad (2)$$

- In ricezione, la riproduzione di un *frame* attenua l'effetto dei jitter:
  - i. $\max(j_{\text{net}}) \le fs \Rightarrow j_{\text{buf}} = 0$
  - ii. $\max(j_{\text{net}}) > fs \Rightarrow j_{\text{buf}} = \max(j_{\text{net}}) - fs$

Media – Voce

Compensazione del *jitter*

- Le precedente equazioni consentono di ricavare un limite alla compensazione dei jitter in ricezione:

$$d_{\text{end-to-end}} = d_{\text{coder}} + d_{\text{net}} + j_{\text{net}} < 300 \text{ ms}$$
$$d_{\text{coder}} + d_{\text{net}} + j_{\text{buf}} + fs < 300 \text{ ms}$$
$$j_{\text{buf}} < 300 \text{ ms} - d_{\text{coder}} - d_{\text{net}} - fs$$

- Considerando un coder G.723.1, $d_{\text{coder}} \approx 42.5$ ms, fs = 30 ms e d_{net} = 60 ms, è possibile assorbire i jitter della rete fino a 167.5 ms.

Media – Voce

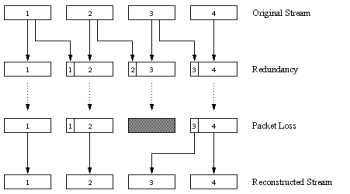
Compensazione delle perdite

- ***Forward Error Correction*** **(FEC)**
- Siccome la perdita significa il non arrivo del pacchetto, le tecniche FEC devono coinvolgere più di un pacchetto.
- Possiamo fare due esempi di possibili strategie:
  - **Strategia 1**
    - » Ogni n blocchi, si costruisce un blocco ridondante ottenuto come XOR degli n precedenti e lo si invia in coda al gruppo
    - » Se perdo un blocco solo degli n+1, all'istante di ricezione del blocco n+1 lo posso ricostruire
    - » La banda aumenta di un fattore 1/n (ad es. 1/10 se n= 10)
    - » Il ritardo fisso iniziale d deve essere tale da permettere la ricezione di almeno n+1 pacchetti (se n = 10, d > 200 msec).
    - » Quindi aumentando n aumenta l'efficienza ma aumenta anche il ritardo e la probabilità di avere più di una perdita in una sequenza (situazione in cui questo meccanismo diventa inefficace).

Media – Voce

Compensazione delle perdite

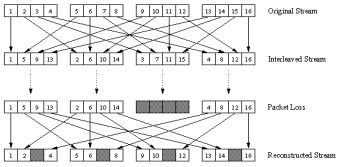
- **Strategia 2**
  - » Si comprime i dati usando due codifiche a risoluzioni diverse: una bassa (B) ed una alta (A) (ad es. un PCM a 64 Kbit/s e un GSM a 13 Kbit/s).
  - » Si costruisce il pacchetto n prendendo il blocco n del flusso codificato con A (160 Byte) e il blocco n-1 del flusso codificato con B (32,5 byte)
  - » Quando un pacchetto viene perso può essere ricostruito (con minore qualità) all'arrivo de pacchetto successivo
  - » Si può proteggere anche nei confronti di due perdite consecutive aggiungendo anche il blocco n-2 del flusso B.



Media – Voce

Compensazione delle perdite

- ***Interleaving***
  - I blocchi sono spezzato in unità più piccole (ad esempio in 4 unità da 40 byte).
  - Le unità vengono mescolate in pacchetti successivi che quindi contengono parti di più blocchi.
  - I blocchi originari vengono ricostruiti al ricevitore.
  - Se un pacchetto viene perso la perdita viene distribuita su n blocchi e quindi è più facilmente compensabile.



- Ricostruzione pacchetto/unità persa
  - Si usano dei dati che assomiglino ai precedenti (ripetizione o interpolazione)
  - Funziona abbastanza bene per perdite rare e pacchetti/unità piccole (4-40 msec)

Media - Testo

- Oggi lo scambio di testo è molto diffuso (es. chat)
  - il testo può essere generato da una tastiera o da appositi dispositivi convertitori della voce o riconoscitori della scrittura.
- Un esempio di coder del testo è T.140 dell'ITU-T
  - utilizza la codifica ISO-IEC 10646-1 level 3 e ISO-IEC 6429 per rappresentare i caratteri alfabetici e le funzioni di controllo;
  - non prevede la compressione;
  - richiede al protocollo di trasporto di mantenere l'ordine dei dati inviati.

Media - Video

- La trasmissione di video in rete richiede di acquisire, codificare e trasportare sulla rete il segnale video.
- Le fasi richieste sono analoghe a quelle viste per il segnale vocale:
  - acquisizione;
  - **codifica** ⇦
  - trasporto;
  - decodifica;
  - visualizzazione.

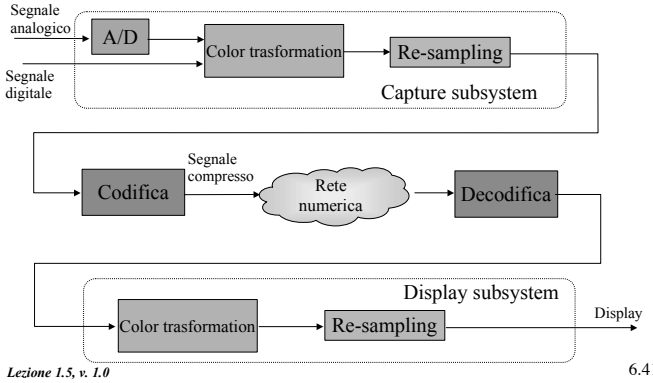
Media - Video

Codec

- In linea di massima gli standard attuali di codifica video sono:
  - H.261 (obsoleto)
  - H.263
  - H.263 versione 2
  - H.264 (MPEG4 part 10- AVC, Advanced Video Coding)

Media - Video

Sistema di trasmissione (ITU-T H.261-3-4)



Media - Video

Sistema di trasmissione (ITU-T H.261-3-4)

- Il segnale in ingresso può essere
  - analogico (NTSC, PAL),
  - digitale (DV).
- La conversione A/D conduce alla rappresentazione digitale dell'eventuale segnale analogico in ingresso:
  - NTSC: 720 pixel × 480 linee a 29.97 Hz;
  - PAL: 720 pixel × 576 linee a 25 Hz.
- La trasformazione del colore permette di passare da una rappresentazione RGB ad una YC_rC_b, richiesta dai formati PAL e NTSC.

Media - Video

Sistema di trasmissione (ITU-T H.261-3-4)

- L'occhio umano è meno sensibile alle variazioni di colore piuttosto che alla luminanza, per cui i codificatori H.261/H.263 richiedono un sottocampionamento 4:2:0 (le due componenti di crominanza sono sottocampionate della metà, in verticale ed orizzontale, rispetto alla luminanza)
  - i livelli di crominanza sono dunque 360 × 240 ciascuno.
- I codificatori H.261/H.263 accettano in ingresso solo formati multipli o frazionari di un *Common Intermediate Format (CIF)*
  - 352 × 288 [pixel/line × linee] per la luminanza,
  - 176 × 144 [pixel/line × linee] per la crominanza.

Media - Video

Sistema di trasmissione (ITU-T H.261-3-4)

- Inoltre è richiesto che questi pixel siano rappresentati su una superficie 4:3.
- H.261 accetta:
  - CIF, QCIF (Quarter CIF, 176 × 144).
- H.263/4 accetta:
  - CIF, SQCIF (128 × 96), QCIF, 4CIF (704 × 576) e 16CIF (1408 × 1152) per la prima versione,
  - qualsiasi dimensione multipla di 4, a partire da 4 × 4 fino a 2048 × 1152 nella seconda (H.263+ e H.264).
- Tale formato non è ancora compresso
  - un video a 10 frame/s, QCIF e 12 bit/pixel richiede una banda di 4.5 Mbps.
- I tassi trasmissivi ottenibili dopo la compressione sono compresi fra 10 Kbps e 2 Mbps con H.263.

Media - Video

Sistema di trasmissione (ITU-T H.261-3-4)

- In ricezione, il sottosistema di visualizzazione sovra-campiona le componenti di crominanza (in modo da avere lo stesso numero di pixel della luminanza) e convertono la rappresentazione dei colori e la risoluzione dei quadri in un formato compatibile con l'hardware a disposizione.

Media - Video

Sistema di trasmissione (ITU-T H.261-3-4)

- Per questa ragione i codificatori H.261 e H.263 prevedono la compressione del segnale prima della trasmissione.
  - Il flusso generato prevede la compressione dei *frame* in diversi modi:
    - » I-frame (Intra-frame): se la codifica avviene in modo indipendente dagli altri frame;
    - » P-frame (Predictive) e B-frame (Bidirectional) se la codifica prende in considerazione più *frame*, operando una compensazione del movimento.