

Reti di Telecomunicazioni 1

***Corso "on-line" - AA2006/07
Blocco 3***

***Ing. Stefano Salsano
e-mail: stefano.salsano@uniroma2.it***

1

- **Le sorgenti di traffico in una rete di TLC**

2

Tipi di flussi di informazione

- **Messaggi testuali**
- **Files**
- **Flussi vocali**
- **Flussi audio in genere (es. musica ad alta fedeltà)**
- **Flussi video**
- **...**

3

Le reti di telecomunicazioni consentono il trasferimento delle informazioni tra i “terminali” ad esse connessi. Un terminale che emette informazione destinata ad uno o più altri terminali connessi alla rete è detto “sorgente” di informazione.

In una comunicazione bidirezionale, ad esempio in una chiamata telefonica, entrambi i terminali sono sorgenti di informazione.

Le sorgenti di informazione possono essere classificate in vari modi. La distinzione principale riguarda ovviamente il “tipo” di informazione emessa, alcuni esempi sono riportati nella slide precedente: messaggi testuali, files, flussi vocali, flussi audio in genere (es. musica ad alta fedeltà), flussi video.

Tipi di flussi di informazione

● Messaggi testuali

● Files

Sono prodotti da sorgenti digitali

● Flussi vocali

● Flussi audio in genere
(es. musica ad alta fedeltà)

Sono prodotti da sorgenti analogiche

● Flussi video

5

Considerando il tipo di informazione, le sorgenti si possono catalogare quindi in due grandi classi: sorgenti “digitali” o “numeriche” e sorgenti “analogiche”.

Le sorgenti digitali emettono informazione in forma digitale cioè costituita da una sequenza di “bytes” o bit.

Esempi di sorgenti digitali:

- Un PC che accede ad un sito Web su Internet genera una sequenza di messaggi di richiesta che sono rappresentati da bytes.

- Un terminale Bancomat, che accede al server della banca per compiere le transazioni necessarie, inviando opportune sequenze di caratteri (bytes).

-Le sorgenti digitali vengono anche dette “sorgenti tipo dati” o “sorgenti dati”.

Di contro, le sorgenti analogiche emettono informazioni di vario tipo (es. suoni, immagini in movimento) che vengono anzitutto trasformate in segnali elettrici da appositi “trasduttori”. Il segnale in uscita dal trasduttore è ad esempio un valore di tensione che varia nel tempo. Il segnale può assumere valori arbitrari all’interno di un intervallo di tensioni (varia cioè in modo “continuo”). Inoltre la variazione avviene con continuità nel tempo.

Un segnale analogico è quindi un segnale “continuo” e “tempo continuo”.

Una sorgente analogica produce quindi una informazione che viene convertita in un segnale analogico.

Si noti che il segnale analogico dovrà poi essere convertito nella forma originale a destinazione, mediate un “riproduttore”.

Esempi di sorgenti analogiche:

- La voce prodotta da un utente telefonico. Il trasduttore è il microfono nella cornetta telefonica, che produce un segnale elettrico. A destinazione il segnale elettrico viene mandato al riproduttore cioè l’altoparlante nella cornetta telefonica.

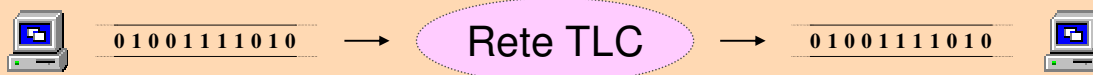
- Le immagini riprese da una videocamera. Nella videocamera le immagini vengono convertite in un segnale elettrico, detto “segnale video”. A destinazione il segnale video viene riprodotto da uno schermo (es. il tubo a raggi catodici di un televisore, o un monitor a cristalli liquidi).

Le sorgenti analogiche di questo tipo (voce, audio, video) vengono dette sorgenti “real-time” (tempo reale) quando devono essere trasferite “in diretta” come avviene ad esempio per la voce durante una conversazione telefonica.

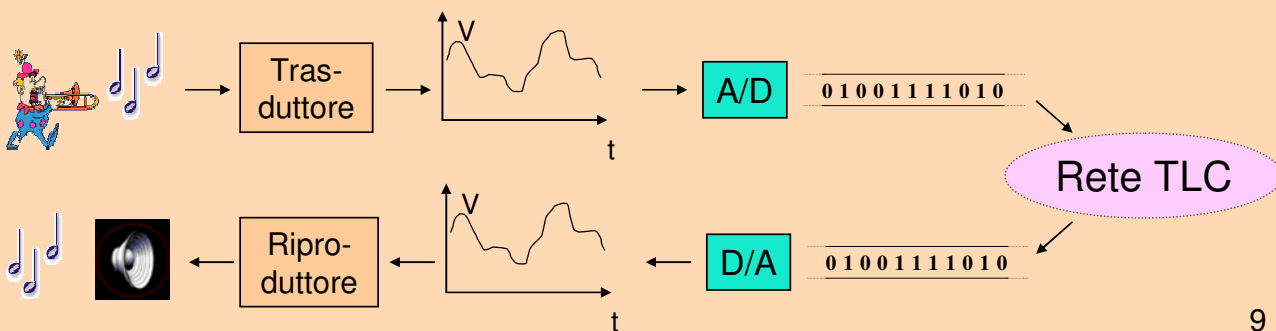
La Natura Digitale dell'Informazione

L'informazione scambiata nelle moderne reti (numeriche) è in forma digitale, cioè come sequenza di cifre binarie **1** o **0** (bit=Binary digiT).

☞ Informazione intrinsecamente digitale → Dati



☞ Informazione digitalizzata proveniente da sorgenti analogiche



9

Nella slide precedente si mostra come viaggiano i segnali all'interno delle reti di TLC.

Nelle moderne reti di TLC i segnali viaggiano in forma numerica, quindi le sorgenti numeriche potranno immettere “direttamente” i loro segnali nelle reti di TLC e i relativi ricevitori potranno estrarre le informazioni in modo diretto.

Nel caso delle sorgenti analogiche, è invece necessario introdurre degli elementi di “adattamento” tra i segnali (analogici) da trasmettere e la rete (digitale) che deve trasmetterli.

Questi elementi sono i “convertitori analogico/digitali” (A/D) posti tra la sorgente e la rete e i “convertitori digitale/analogico” (D/A) posti tra la rete e i destinatari dell'informazione.

In pratica i segnali analogici vengono convertiti in forma numerica prima di entrare nella rete, viaggiano all'interno della rete in forma numerica e vengono convertiti all'uscita della rete nuovamente in forma analogica.

Quindi il transito all'interno della rete avviene in forma numerica, sia per i segnali "intrinsecamente" numerici, sia per quelli analogici che vengono "convertiti" in digitale.

ATTENZIONE: sui mezzi trasmissivi i flussi numerici vengono comunque convertiti in segnali elettrici, elettromagnetici o ottici a secondo del mezzo trasmissivo

- **Cavi in rame: segnale elettrico (es. livello di tensione)**
- **Trasmissione via radio: segnale elettromagnetico**
- **Fibra ottica: segnale ottico**

La conversione di un flusso numerico in un segnale viene detta modulazione numerica, la conversione opposta demodulazione, gli apparati che effettuano queste operazioni sono detti "modem".

Illustriamo quando detto con alcuni esempi.

(1) Rete telefonica tradizionale. Nella rete telefonica tradizionale il segnale vocale viene “trasdotto” in segnale elettrico nel microfono della cornetta telefonica e viene trasferito in forma analogica alla centrale telefonica di accesso. Il cavo che trasporta il segnale dall’abitazione dell’utente fino alla centrale è un doppino in rame (cioè due fili di rame affiancati), detto appunto “doppino telefonico”. La conversione A/D viene fatta nella centrale telefonica e il segnale convertito in forma digitale viaggia attraverso la rete telefonica fino alla centrale di accesso di destinazione, cui è “attestato” l’altro interlocutore. Nella centrale di destinazione viene effettuata la conversione D/A e il segnale viaggia nuovamente in forma analogica fino al telefono e all’altoparlante nella cornetta, dove viene riprodotto.

(2) Rete telefonica “con accesso numerico”. Alcuni operatori di recente ingresso sul mercato (in Italia ad esempio Fastweb) offrono all’utente accesso ad Internet e telefonia di base, con una architettura di accesso differente da quella tradizionale. Il doppino telefonico viene utilizzato per trasportare un canale numerico all’interno del quale vengono multiplati (cioè trasportati contemporaneamente... dovrete averlo imparato !) sia i flussi dati per l’accesso ad Internet che il flusso vocale per la telefonia (trasportato in forma numerica).

La conversione A/D e D/A viene fatta in un apparato a casa dell’utente detto ad esempio “HAG - Home Access Gateway”. Quindi tutto l’impianto telefonico interno all’abitazione deve passare attraverso il dispositivo HAG.

(3) Rete telefonica e ADSL. In questo caso, a differenza del caso (2) il segnale telefonico continua ad essere trasportato in forma analogica fino alla centrale telefonica, come nel caso (1). Sul doppino telefonico vengono multiplati “a divisione di frequenza” il segnale vocale e il segnale ADSL. In realtà il segnale telefonico continua a viaggiare sul doppino esattamente come se non ci fosse il segnale ADSL, che occupa una banda di frequenza più elevata.

A casa dell'utente il segnale telefonico viene trasmesso e ricevuto dagli apparecchi tradizionali, con l'accortezza di inserire un filtro analogico che evita le interferenze prodotte dal segnale ADSL.

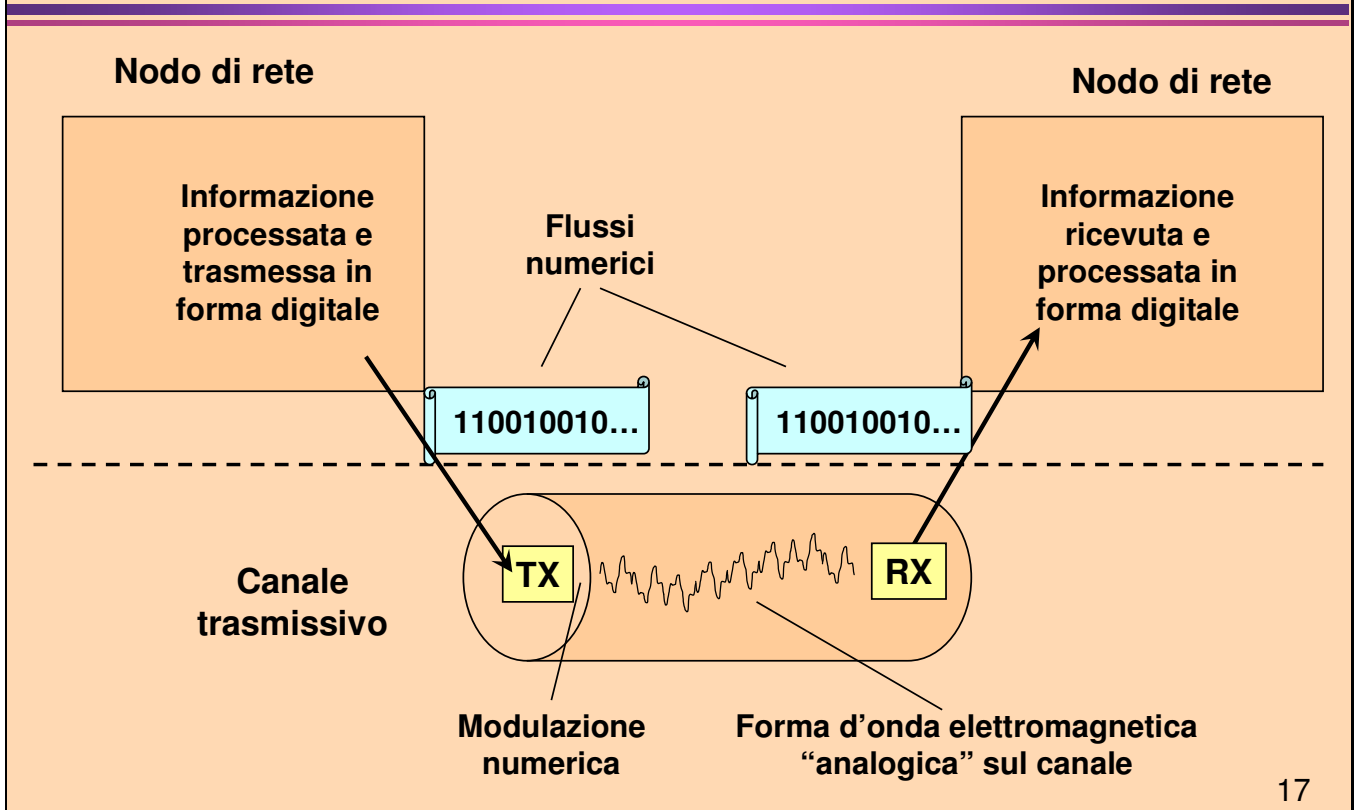
Nella centrale telefonica i segnali vocale e ADSL sono separati filtrandoli in frequenza. Il segnale vocale viene collegato ai “tradizionali” convertitori A/D e D/A, mentre il segnale ADSL viene collegato al modem ADSL presente in centrale.

(4) Rete cellulare 1G e 2G

Nelle reti cellulari di “prima generazione” (il sistema TACS), il segnale vocale veniva trasmesso in forma analogica sul canale radio tra cellulare e stazione radio-base (si utilizzava la modulazione di frequenza, lo stesso meccanismo utilizzato dalle emittenti radiofoniche appunto FM). Il nodo di rete cellulare effettuava la conversione A/D e D/A analogamente a quanto visto per le centrali telefoniche di accesso.

Nelle reti cellulari di “seconda generazione” (il sistema GSM), il segnale vocale viene convertito in forma digitale direttamente dal cellulare stesso. Viaggia quindi in forma digitale anche sul canale radio tra cellulare e stazione radio-base.

Trasmissione numerica nei canali



NOTA:

Al livello fisico sui canali di trasmissione il segnale viaggia ovviamente sempre come forma d'onda elettromagnetica e quindi in forma "analogica".

Un segnale numerico verrà trasformato in una forma d'onda elettromagnetica mediante un processo detto "modulazione numerica" dall'apparato trasmissivo e riconvertito in forma numerica dall'apparato ricevitore.

Per quanto riguarda questo corso di Reti possiamo però trascurare questo aspetto, legato alla trasmissione fisica del segnale sui canali e considerare che un segnale numerico viaggia in forma numerica. Quindi nella nostra astrazione il segnale numerico "entra" ed "esce" dai nodi in forma numerica e viene processato dai nodi della rete in forma esclusivamente numerica.

Conversione analogico-digitale

- Ogni segnale analogico tempo-continuo $s(t)$ può essere convertito in forma numerica attraverso due operazioni
- Si rende discreto l'asse temporale (campionamento)
 - » Si sostituisce il segnale analogico tempo-continuo con una serie di campioni analogici (teorema del campionamento: $f_c \geq 2B$)
- Si rende discreto l'asse delle ampiezze (quantizzazione)
 - » l'ampiezza analogica dei campioni che ricadono in un intervallo è approssimata con un singolo valore (ampiezza quantizzata)
 - » ad ogni intervallo dell'asse si associa un numero
 - » la quantizzazione di solito non è uniforme

19

Nella slide successiva il procedimento schematizzato sopra viene rappresentato graficamente.

L'operazione di campionamento è caratterizzata dall'intervallo di campionamento T_c o dal suo inverso $f_c = 1/T_c$ detta frequenza di campionamento. L'idea è di poter sostituire alla forma d'onda continua i suoi "campioni" ossia l'insieme dei valori che la forma d'onda assume negli istanti di campionamento, per poter poi riprodurre la forma d'onda originaria a partire da questi campioni.

Intuitivamente, tanto più frequente è il campionamento, tanto più "fedele" sarà la riproduzione ottenuta a partire dai campioni.

Il teorema del campionamento ci garantisce di poter avere una riproduzione perfettamente fedele se campioniamo con una frequenza superiore a $2B$, dove B è la larghezza di banda del segnale.

Per quanto riguarda l'operazione di quantizzazione, essa associa ad ogni campione un valore di riferimento scelto tra un insieme finito di valori. Questa operazione è concettualmente equivalente all'arrotondamento di un numero reale con un numero intero, che consiste nel sostituire il numero reale con il numero intero più vicino. Analogamente, nella quantizzazione si prende il valore "discreto" più vicino al valore "continuo" del campione.

Nella operazione di quantizzazione si commette un "errore" variabile pari alla differenza tra il campione da quantizzare e il valore "discreto" che gli viene associato.

Ad ogni valore discreto, infine si associa una sequenza di bit, in genere numerando in modo crescente i valori discreti e prendendo la rappresentazione binaria del numero d'ordine. Nella slide ad esempio gli 8 valori discreti sono associati ai numeri interi da 0 a 7 e sono associati con le relative rappresentazioni binarie.

Abbiamo visto che ad ogni valore viene associata una rappresentazione binaria, cioè una sequenza di bit. Risulta in genere conveniente che tutte le sequenze abbiano lo stesso numero di bit, che indichiamo con N_b .

Dato quindi N_b il numero di bit con cui si rappresentano i valori discreti, il numero di valori discreti possibili è ovviamente 2^{N_b} , che individuano $2^{N_b}-1$ intervalli.

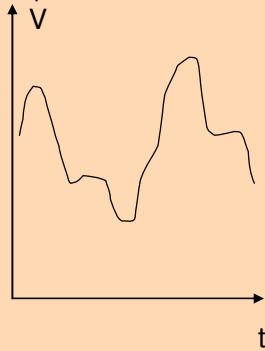
Nell'esempio riportato nella slide $N_b=3$, quindi ci sono 8 valori discreti (rappresentati con i numeri da 0 a 7 espressi in binario) e ci sono 7 intervalli.

Maggiore è il numero degli intervalli, minore è l'ampiezza di questi intervalli e quindi minore può essere l'errore che si commette nel fare la quantizzazione.

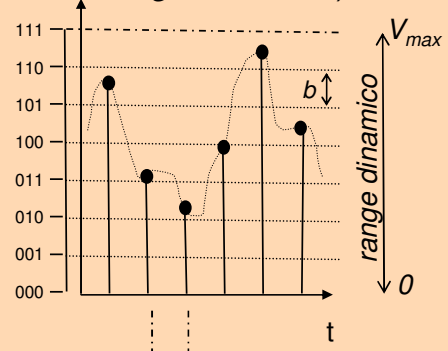
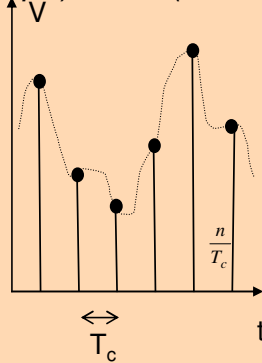
Ad esempio se il valore massimo di tensione è V_{max} e si utilizzano intervalli di uguale ampiezza, l'ampiezza ciascun intervallo è $V_{max}/(2^{N_b}-1)$ e l'errore massimo, pari alla metà dell'intervallo, è $V_{max}/(2^{N_b}-1)/2$

Conversione A/D

Campionamento
(discretizzazione nel tempo)



Quantizzazione
(discretizzazione nel range dinamico)



T_c intervallo di campionamento (sec)

$f_c = 1/T_c$ frequenza di campionamento (Hz)

N_b bits di codifica per campione

($\rightarrow 2^n$ intervalli di quantizzazione di ampiezza $b = \frac{V_{max}}{2^n - 1}$)

Ritmo di emissione o *bit-rate*:

$$R = N_b \cdot f_c = \frac{N_b}{T_c}$$

Es. codifica PCM per la voce:

$f_c = 8\text{Khz}$ $T_c = 125\mu\text{s}$ $N_b = 8$
 $P = 64\text{Kb/s}$

Nella slide precedente abbiamo visto che la conversione A/D produce N bit ogni T_c secondi.

Possiamo quindi definire il ritmo di emissione R della sorgente, cioè il numero di bit emessi nell'intervallo di tempo come:

$$R = N_b/T_c = N_b \cdot f_c \text{ [b/s]}$$

Il ritmo di emissione di una sorgente è un parametro fondamentale per valutare il servizio che la rete dovrà offrire alla sorgente, cioè le capacità trasmissive che dovranno essere impiegate per trasportare il flusso generato dalla sorgente.

Nella slide successiva viene rappresentato il processo inverso, cioè la conversione Digitale/Analogica. Tale processo consente di convertire un flusso di bit in una forma d'onda analogica, che dovrebbe essere quanto più fedele possibile alla forma d'onda originale.

Dal flusso di bit vengono estratte le sequenze di bit che rappresentano i valori discreti di tensione, quindi un generatore di tensione controllato fornisce negli istanti di riferimento il valore di tensione corrispondente a tale valore, infine viene prodotto un segnale in uscita che “interpola” in forma continua i valori discreti.

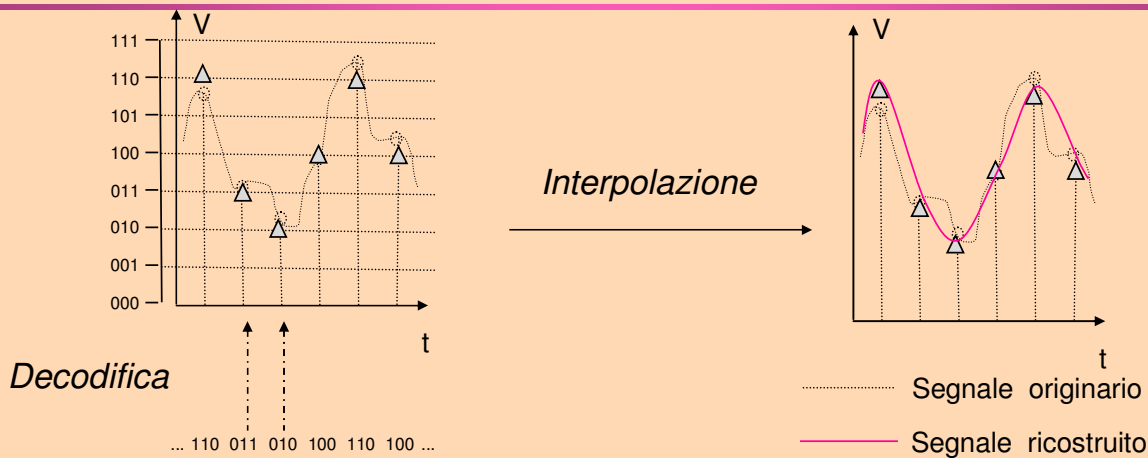
Nella figura si vede che la distanza tra il segnale originale e quello ricostruito dipende:

- (1) dall'errore di quantizzazione**
- (2) dal fatto che il segnale potrebbe avere delle oscillazioni tra due istanti di campionamento non riprodotte dalla interpolazione**

Il primo fenomeno si controlla riducendo gli intervalli di quantizzazione cioè aumentando il numero N_b di bit per campione.

Il secondo fenomeno è possibile se l'intervallo di campionamento è troppo lungo, ossia la frequenza di campionamento è minore di due volte la banda B del segnale.

Conversione D/A



Il segnale ricostruito è tanto più simile a quello originario quanto...

- ☞ ...minore è l'intervallo di campionamento T_c \longrightarrow maggiore freq. di camp. f_c
- ☞ ...minore è l'intervallo di quantizzazione b \longrightarrow maggior numero n di bits di cod.

migliore qualità di riproduzione	\longleftrightarrow	maggiore ritmo di emissione (<i>bit-rate</i>)
--	-----------------------	---

27

Parametri di un segnale numerico

- **Parametri chiave per la qualità del segnale riprodotto:**
 - » periodo di campionamento $T_c = 1/f_c \leq 1/2B$
 - » numero di bit per campione N_b
- **Il ritmo binario (bit rate) di sorgente è $R = f_c N_b$**
- **Esempi**
 - » segnale telefonico: $f_c = 8 \text{ kHz}$, $N_b = 8 \text{ bit} \Rightarrow 64 \text{ kbit/s}$
 - » segnale CD hi-fi (ogni canale): $f_c = 44.1 \text{ kHz}$, $N_b = 16 \text{ bit} \Rightarrow 705.6 \text{ kbit/s}$ per canale

28

Parametri di un segnale numerico

- **Tecniche di compressione possono ridurre il ritmo binario (bit rate) $f_c N_b$**
- **Esempi**
 - » segnale telefonico non compresso: 64 kbit/s
 - » segnale audio GSM: $1/f_c = 20 \text{ ms}$, $N_b = 260 \text{ bit} \Rightarrow 13 \text{ kbit/s}$

 - » segnale CD hi-fi non compresso: 1411.2 kbit/s per i due canali
 - » codifica MP3: può essere configurata a seconda della qualità voluta, valori tipici sono ~64 kb/s (qualità bassa), ~200 kb/s (qualità media), ~350 kb/s (qualità alta)

29

Abbiamo visto che un flusso numerico ottenuto dalla conversione A/D di un segnale audio (o video) è caratterizzato da un ritmo binario di emissione R .

Prima di trasmettere il flusso in una rete, questo ritmo binario può essere convenientemente ridotto con delle opportune “tecniche di compressione”. L’obiettivo della compressione è ovviamente di limitare l’utilizzo delle capacità della rete, o addirittura rendere possibile il trasferimento in rete, che non sarebbe stato possibile per il flusso non compresso.

Le tecniche di compressione sfruttano il fatto che la quantità di informazione contenuta in un messaggio rappresentato da una stringa bit NON è semplicemente pari al numero di bit stessi.

Ad esempio consideriamo due messaggi costituiti da dieci pagine di testo fatte di caratteri "ASCII", ciascuna pagina con 30 righe da 80 caratteri. Il primo messaggio riporta l'inizio dei "Promessi Sposi", il secondo messaggio è costituito da "spazi bianchi". Entrambi i messaggi possono essere codificati con $30 \cdot 80 \cdot 10 = 24.000$ caratteri, ma il "contenuto informativo" del primo messaggio è decisamente superiore a quello del secondo messaggio. Il secondo messaggio contiene una grande quantità di informazione "ridondante", che non aggiunge cioè nuova informazione rispetto a quanto trasmesso prima. Il secondo messaggio può essere codificato in modo più efficiente trovando un modo per dire "Ci sono 24.000 spazi bianchi" (in italiano ho usato 28 caratteri !).

I programmi di compressione per file dati (es. PKZIP) lavorano proprio in questo modo, evidenziando ripetizioni di informazioni all'interno dello stesso file e trasferendo l'informazione ridondante in modo più efficiente.

Il risultato in termini di lunghezza della compressione "ZIP" di due file di pari lunghezza NON è quindi uguale, perché dipende dal contenuto informativo dei file originari.

Accenniamo infine che le tecniche di compressione possono essere "senza perdita" o "con perdita", a seconda che si ottenga un messaggio compresso da cui è possibile ricostruire esattamente il messaggio originario o meno.

Le tecniche "con perdita" sono più efficienti cioè il rapporto tra la lunghezza del messaggio originale e quella del messaggio compresso è maggiore rispetto al caso "senza perdita". Lo svantaggio è ovviamente la degradazione della "qualità" del messaggio.

Sorgenti: caratteristiche di emissione

- Sorgenti a ritmo binario costante (Constant Bit Rate, CBR)
- Sorgenti a ritmo binario variabile (Variable Bit Rate, VBR)

Dal punto di vista delle loro caratteristiche di emissione, le sorgenti di informazione possono essere a ritmo binario costante (CBR - Constant Bit Rate) e a ritmo binario variabile (VBR - Variable Bit Rate).

Per una sorgente VBR il ritmo binario emesso varia nel tempo tra un valore massimo (il ritmo binario di picco) e un valore minimo, che può essere anche nullo.

Una sorgente CBR è caratterizzata dal solo ritmo binario di picco R_p .

La variabilità di una sorgente VBR è dovuta alla possibile variazione nel tempo del contenuto informativo all'ingresso del codificatore.

Conviene quindi realizzare una codifica che tiene conto di questa variazione, in modo da utilizzare in modo più efficiente la capacità richiesta per trasferire l'informazione:

quando il contenuto informativo in ingresso si riduce, il codificatore riduce il ritmo binario prodotto in uscita

Un particolare tipo di sorgente VBR, rappresentata nella slide successiva, è la sorgente "tutto o niente" (ON/OFF).

In una sorgente tutto o niente la sequenza dei dati emessi è strutturabile in intervalli di attività e di silenzio.

Gli intervalli di attività sono chiamati tratti informativi, mentre quelli di silenzio sono detti pause.

Nelle sorgenti "tutto o niente" in generale, le durate dei tratti informativi e delle pause sono delle quantità variabili in modo aleatorio.

Sorgenti VBR "tutto o niente"



37

Nella slide precedente, il ritmo binario di emissione viene rappresentato in ordinata, il tempo in ascissa. Si vede che la sorgente alterna periodi in cui emette al ritmo di picco R_p , e periodi in cui non emette.

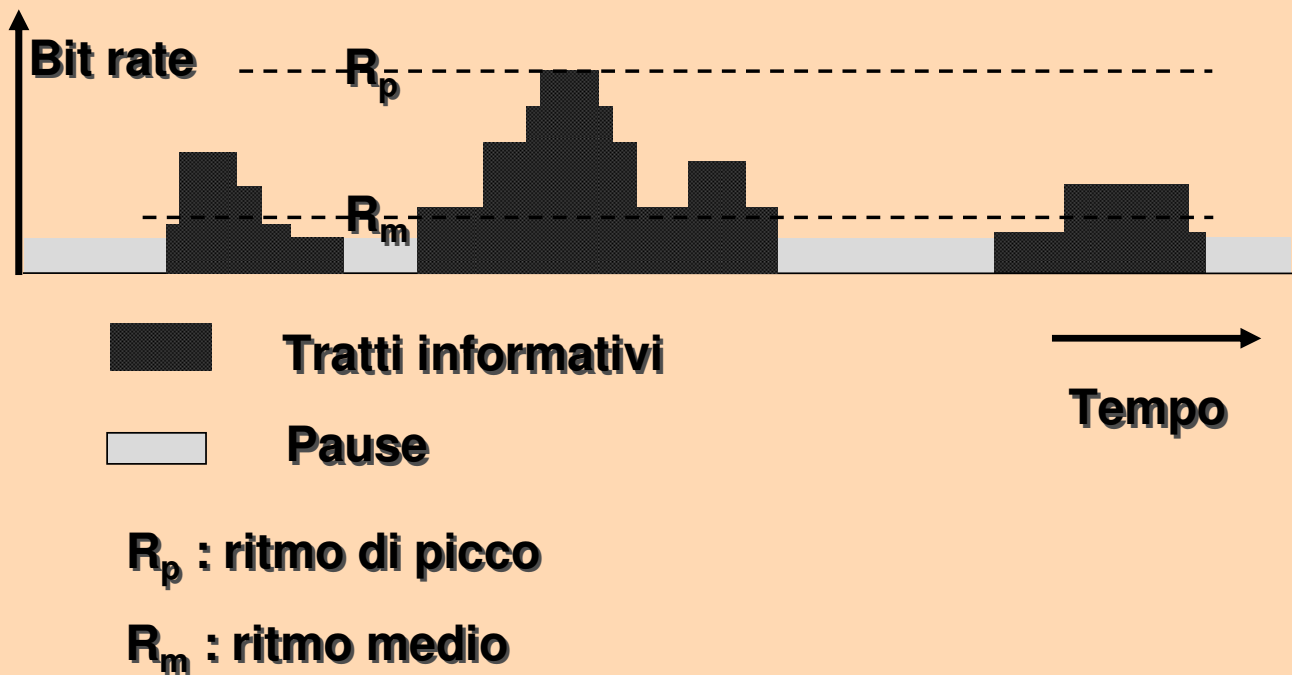
Facendo una media di lungo periodo si può valutare un ritmo medio di emissione R_m , ottenuto come $R_m = \text{bit emessi} / \text{tempo di osservazione}$.

Il rapporto tra Ritmo di picco R_p e Ritmo medio R_m viene detto grado di intermittenza I : $I = R_p / R_m > 1$

Il suo inverso viene detto coefficiente di attività a : $a = R_m / R_p < 1$

La slide successiva mostra infine una sorgente VBR di tipo generale, in cui il ritmo di emissione è arbitrariamente variabile nel tempo tra 0 ed R_p

Sorgenti VBR generiche



39

- La multiplazione a divisione di tempo numerica

40

Dopo aver trattato la conversione analogico/digitale dei segnali, possiamo tornare brevemente sulla moltiplicazione a divisione di tempo numerica.

Abbiamo visto che un segnale analogico convertito in forma digitale è un “flusso” di bit caratterizzato da un ritmo di emissione R (consideriamo qui il caso di sorgenti CBR cioè a ritmo costante).

La moltiplicazione di tempo numerica consiste nel trasportare N flussi detti “tributari” di ritmo R_t in un flusso detto “aggregato” di ritmo R_a , dove $R_a > NR_t$.

Il flusso aggregato è organizzato in “trame” che si ripetono periodicamente. All’interno di ogni trama si distinguono le porzioni (“slot”) dedicate ai singoli tributari, più una parte di informazione, detta “overhead” o “extra-informazione”.

L’overhead è utilizzato per trasportare informazioni:

- necessarie per l’allineamento di trama (riconoscere cioè a destinazione la struttura di trama all’interno del flusso di bit ricevuti)**
- relative a procedure di “gestione” (es. invio di allarmi relativi a malfunzionamenti)**
- relative a procedure di “controllo” (es. la segnalazione relativa all’instaurazione e abbattimento delle chiamate).**

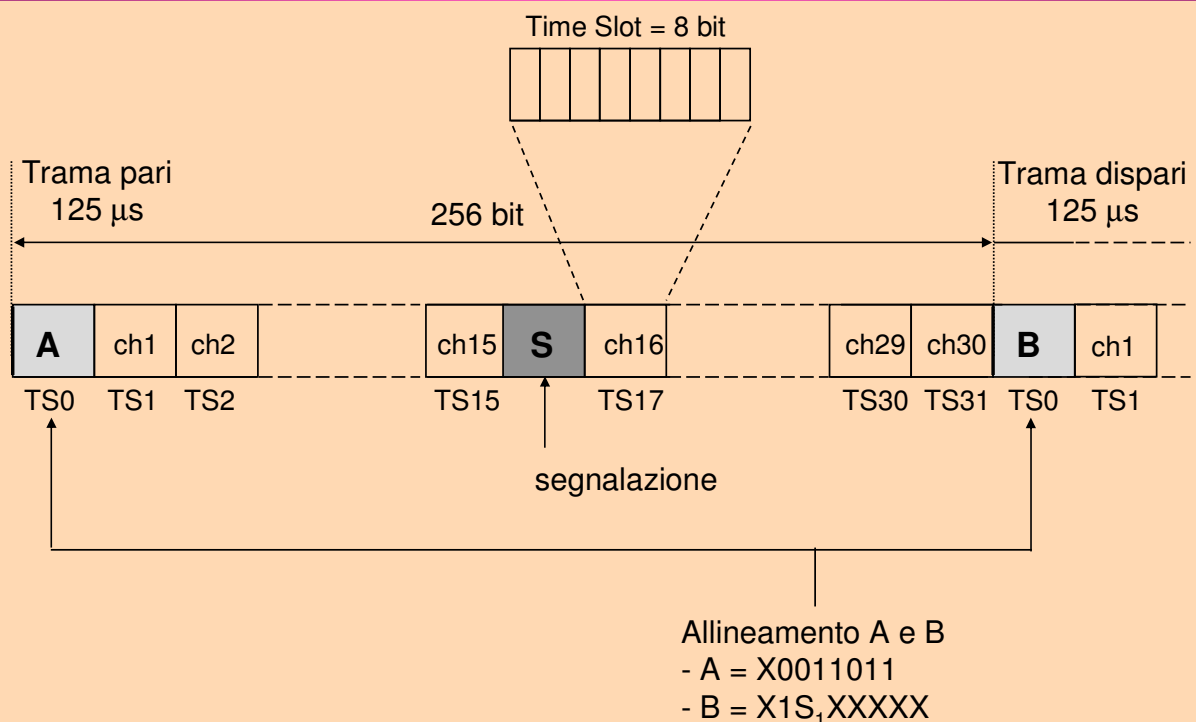
Come esempio di struttura di trama riportiamo nella slide successiva il flusso numerico detto PCM primario, che moltiplica 30 canali telefonici da 64 kb/s in un flusso aggregato a 2048 kb/s.

La struttura di trama si ripete ogni 125 μ s ed è composta da 32 intervalli temporali (time-slots) da 8 bit ciascuno, di cui 30 sono dedicati ai flussi tributati, 1 alle procedure di allineamento di trama e alla gestione e 1 alla segnalazione.

Per valutare il bit rate del flusso aggregato R_a , si contano i bit trasmessi in un tempo di trama e si divide per il tempo di trama stesso:

$$R_a = 256 \text{ bit} / 125 \mu\text{s} = 2048 \text{ kb/s}$$

Struttura di Trama del flusso "PCM primario"



In generale, il processo di moltiplicazione può essere iterato per livelli successivi. I diversi livelli definiscono una “gerarchia di moltiplicazione”. Ad esempio quattro flussi PCM primari a 2048 kb/s (detti flussi “E1”) diventano a loro volta tributari e vengono aggregati in un flusso detto “E2” (che avrà quindi una capacità di oltre 8 Mb/s). A titolo di esempio ecco la gerarchia di moltiplicazione “PDH” (Plesiochronous Digital Hierarchies – Gerarchia digitale plesiocrona), che è una tecnologia utilizzata per moltiplicare canali telefonici.

Livello	Trasporta	Freq. Nom.	Num. canali telefonici
E1	Flusso PCM primario	2.048 kb/s	30
E2	4 x E1	8.448 kb/s	120
E3	4 x E2	34.368 kb/s	480
E4	4 x E3	139.264 kb/s	1920