

VoIP
Voice Over IP

Maria Luisa Merani

INDICE

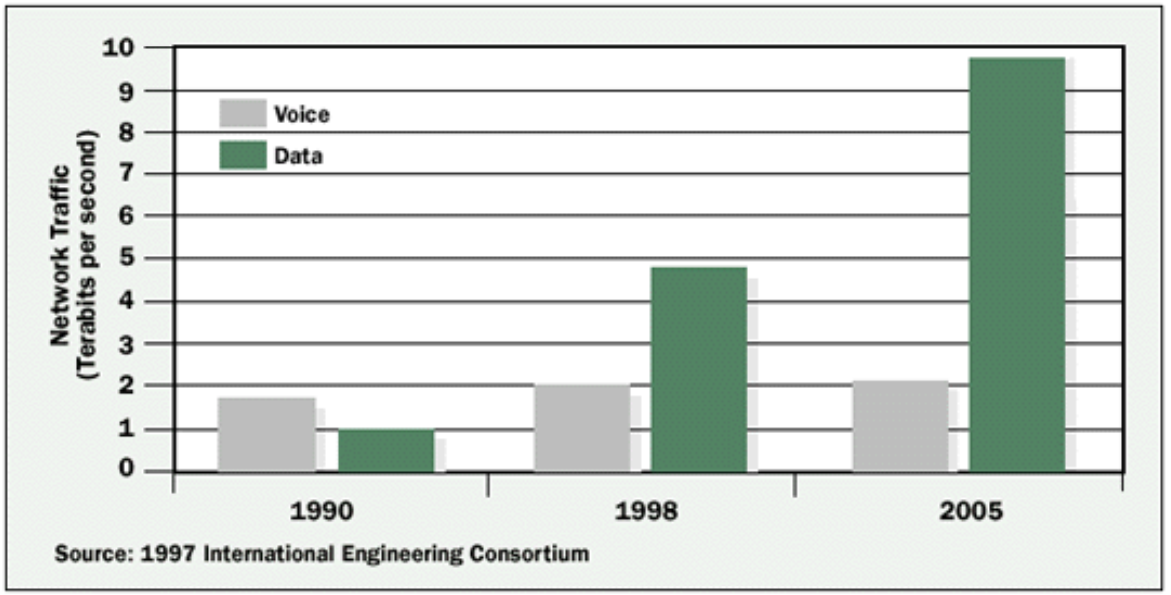
- Motivazioni
  - Integrazione dei servizi
  - Vantaggi e problemi aperti
- Architettura di riferimento
- La codifica vocale
- Il trasporto
  - RTP e RTCP
  - QoS in reti IP e VoIP requirements
- La segnalazione
  - H.323
  - SIP
- Cenni su VoIP reliability
- Problemi del VoIP con NAT e firewalls
- Qualità della voce
- Valutazione oggettiva della qualità della voce
  - L'algoritmo PESQ, E-model

INDICE

- *Motivazioni*
  - *Integrazione dei servizi*
  - *Vantaggi e problemi aperti*
- *Architettura di riferimento*
- *La codifica vocale*
- *Il trasporto*
  - *RTP e RTCP*
  - *QoS in reti IP e VoIP requirements*
- La segnalazione
  - H.323
  - SIP
- Cenni su VoIP reliability
- Problemi del VoIP con NAT e firewalls
- Qualità della voce
- Valutazione oggettiva della qualità della voce
  - L'algoritmo PESQ

VANTAGGI

- L'idea di integrare servizi voce e dati sfruttando la medesima infrastruttura di rete non è nuova
  - Quali i presupposti ?
    - Il traffico dati ha ormai superato quello voce
    - differenziare il trasporto sulla base dell'applicazione, piuttosto che impiegare reti distinte

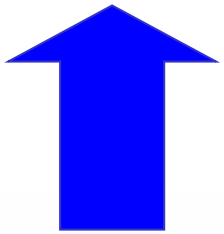


QUALI le MOTIVAZIONI

- che spingono gestori e aziende?

  - Abbattimento dei costi attraverso l'impiego di nuove tecnologie
  - Possibilità di introdurre nuovi servizi, pensati e implementati più rapidamente
    - ✓ Accesso congiunto voce/Internet, attesa di chiamata via Internet …

COSTI INFERIORI, MAGGIORE SCALABILITÀ



  - Condivisione della banda
    - ✓ Statistical multiplexing

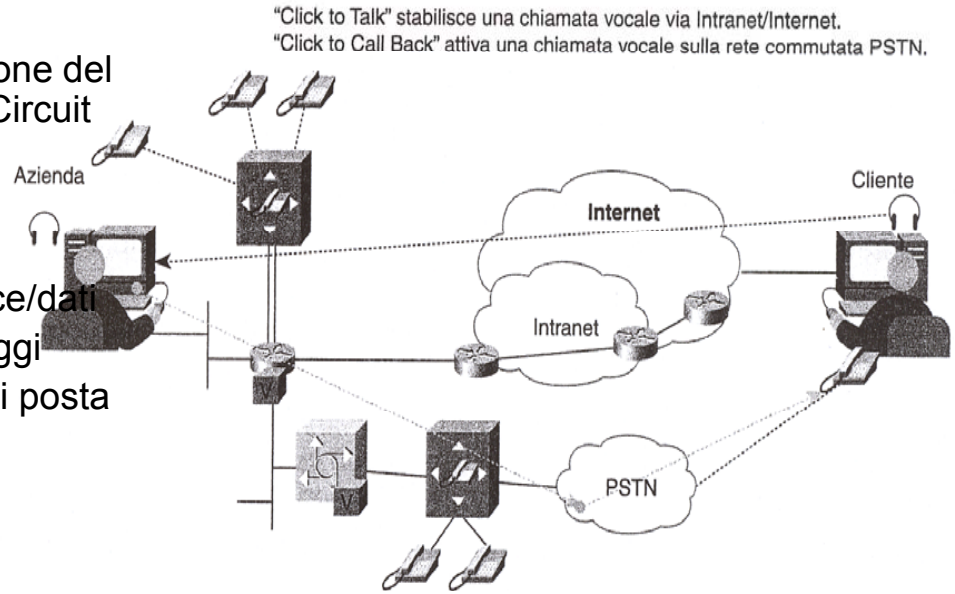
ALCUNI ESEMPI

- ***Vantaggi pratici***
  - L'unificazione della rete voce a quella dati si traduce nella necessità per una azienda di affittare un numero inferiore di linee PSTN
  - Un'infrastruttura che impieghi telefoni IP e che faccia uso delle funzionalità del DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) consente di spostare tali telefoni nel punto desiderato, senza variazioni dell'interno telefonico ad essi associato
  - con VoIP il server dei messaggi vocali deve semplicemente avere una connessione IP
    - ✓ Un PBX tradizionale offre un servizio di messaggistica vocale il cui costo dipende dal numero di caselle e di porte fisiche necessarie per supportare un determinato numero di utenti simultanei …



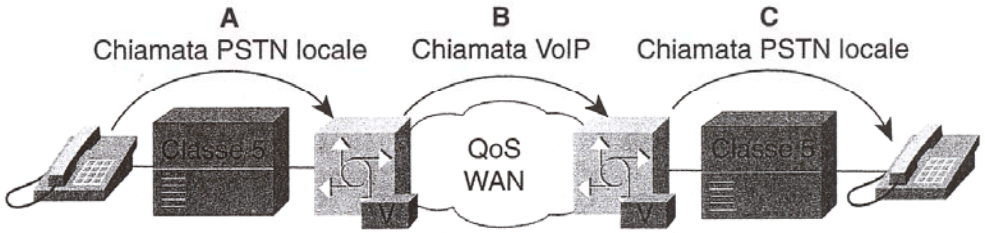
CALL CENTER

- I vantaggi possono essere molteplici anche per i call center
  - Attualmente devono crescere a blocchi, le dimensioni dipendono dal numero di porte che si possono acquistare per il PBX => mancanza di flessibilità
  - Un call center basato su VoIP garantisce
    - ✓ Un incremento flessibile delle dimensioni del sistema in base alla crescita dei clienti
    - ✓ L'impiego di utenti remoti per una frazione del costo richiesto dai tradizionali CSCC (Circuit Switched Call Center)
    - ✓ Integrazione con il web
      - – Servizio click to callback
    - ✓ L'inserimento di nuove applicazioni voce/dati
    - ✓ Servizi di gestione unificata dei messaggi
      - – conversione da fax a messaggi di posta elettronica
      - – da testo a voce
      - – da voce a testo



CARTA TELEFONICA PREPAGATA

- Esempio dei fornitori di servizi a carta telefonica prepagata
  - Segmento della telefonia fissa in espansione
  - Consente anche ai nuovi fornitori di acquisire quote di mercato con rapidità
  - Questi sono spesso Internet provider
    - ✓ Già dotati di numerose interfacce PRI (Primary Rate Interface) verso la rete PSTN e di svariate connessioni a livello mondiale tramite Internet
    - ✓ le infrastrutture IP già esistenti consentono loro di offrire tariffe particolarmente ridotte



- Non è sufficiente chiamare il numero telefonico di destinazione
- Occorre chiamare un numero speciale che richiede un'autenticazione o fornisce un secondo tono di libero

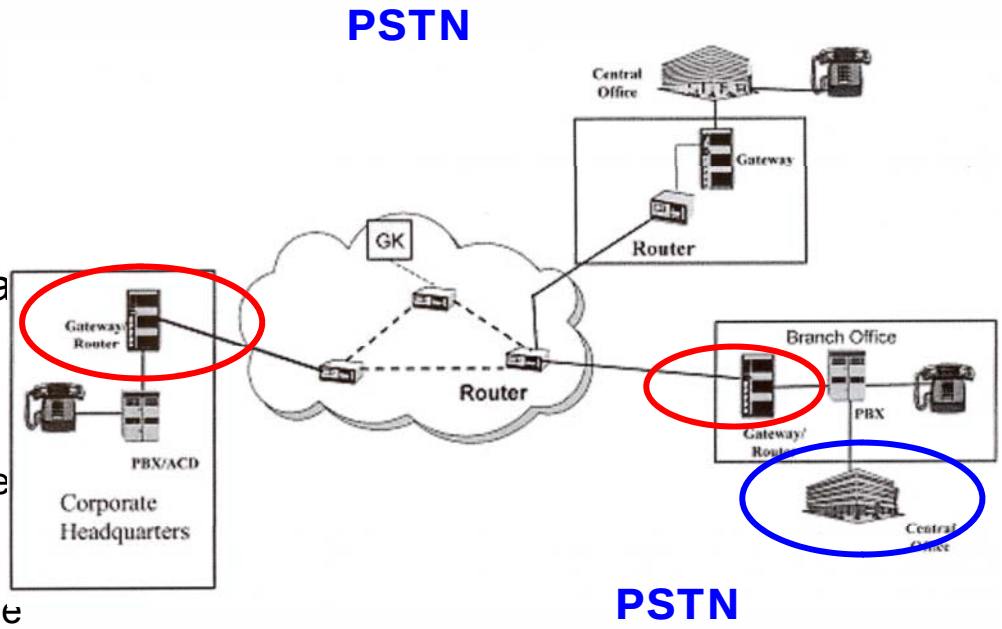
SERVIZIO V2L

- Si tratta di un servizio molto semplice che consente agli utenti Internet di eseguire e ricevere chiamate telefoniche tramite il proprio Internet provider, dunque via
  - modem
  - linea ADSL

- Al PC viene in molti casi assegnato un identificativo numerico E.164 valido
- Ulteriore vantaggio: il provider può
  - offrire gratuitamente il servizio di traffico locale verso altri abbonati del medesimo provider
  - Garantire tariffe più economiche per le chiamate a lunga distanza
- Svantaggio:
  - Reliability???

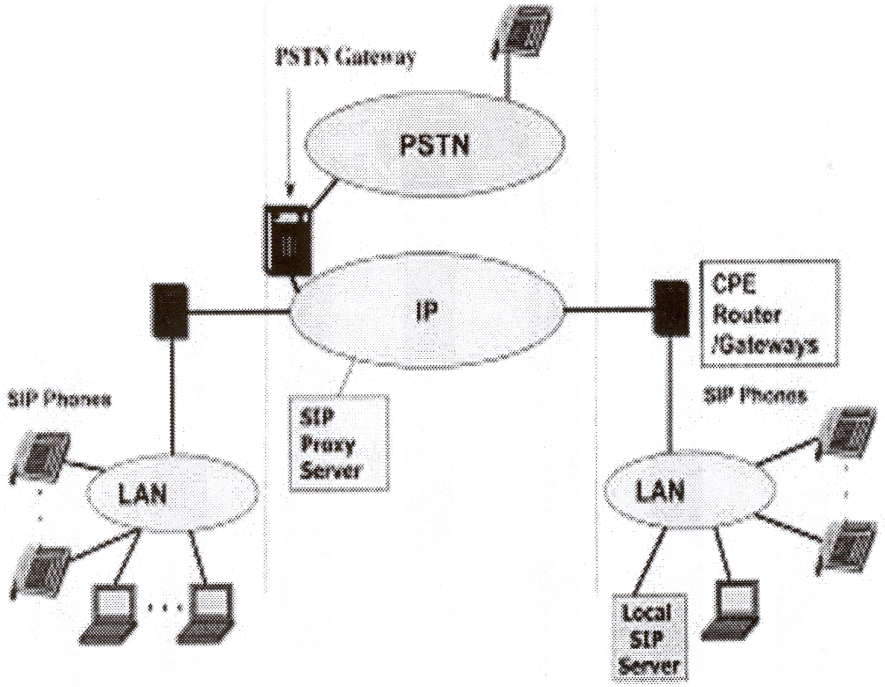
UN POSSIBILE SCENARIO di RIFERIMENTO

- La figura mostra un'azienda in cui il PBX della filiale è connesso ad un gateway VoIP (in rosso), ma anche alla centrale della compagnia telefonica locale (in blu)
  - I telefoni sono analogici o digitali, ma l'operazione di pacchettizzazione della voce avviene nel gateway
  - Soluzioni d'uso
    - ✓ L'azienda potrebbe scegliere di impiegare la rete IP esclusivamente pe effettuare le chiamate tra i suoi siti connessi via gateway VoIP
    - ✓ Oppure ripartire il traffico tra la rete IP e la rete telefonica tradizionale a commutazione di circuito sulla base di un algoritmo a minimo costo configurato nei suoi PBX



VoIP end-to-end

- Oppure:
  - È possibile impiegare telefoni VoIP e by-passare l'impiego di PBX tradizionali
    - ✓ Il telefono IP include un codec vocale, per convertire in digitale la voce (e viceversa), ed anche la funzionalità che consente di pacchettizzare (e depacchettizzare) i campioni vocali codificati
  - I telefoni IP sono in questo caso connessi ad una LAN
    - ✓ Le chiamate locali vengono eseguite via LAN
    - ✓ Chiamate tra siti diversi avvengono attraverso la WAN
    - ✓ Server proxy eseguono la registrazione delle chiamate IP e coordinano la segnalazione tra siti
    - ✓ Sono possibili connessioni alla PSTN attraverso gateway opportuni



LA CODIFICA della VOCE

- Per trasformare il segnale analogico vocale in una sequenza di bit è necessario fare uso di un codec
- Obiettivi:
  - Trasmettere la voce con la migliore qualità possibile
  - Utilizzando la minor quantità di banda possibile

    Più si è prossimi a tali obiettivi, più l'algoritmo che il codec prevede è complesso, da cui
    1. Maggiori ritardi nella comunicazione
    2. Maggiori costi di implementazione

- La progettazione di un buon codec deve cercare il difficile compromesso tra
  - Qualità
  - Banda utilizzata
  - Ritardo introdotto
  - Complessità

CODEC e QUALITÀ VOCALE

- Impiegare un codec significa mettere in conto una perdita – più o meno significativa – di informazione dunque di qualità audio
  - Questo ancor prima di avere attraversato la rete!
  - È sufficiente pensare alla conversione A/D con quantizzazione …
- La qualità della voce all' uscita di un codec può essere misurata attraverso test soggettivi attuati da ascoltatori "trained"
  - La valutazione viene espressa attribuendo al campione vocale un valore di MOS (Mean Opinion Score)

MOS	significato
1	*Very bad*
2	*Poor*
3	*Fair*
4	*good*
5	*excellent*

  - Esistono anche algoritmi per la valutazione oggettiva del MOS

BANDA UTILIZZATA e COMPLESSITÀ

- Banda
  - Il bitrate del segnale all'uscita dal codificatore audio: varia da 64 kbit/s a 1.2 kbit/s
    - ✓ 5 Kbit/s: limite inferiore per ottenere qualità soddisfacente

- Complessità
  - Ogni codec contiene un DSP, ovvero un processore ottimizzato per l'esecuzione delle operazioni incontrate più di frequente
  - La complessità del codec viene valutata attraverso i parametri caratterizzanti il DSP
    - ✓ MIPS, RAM, ROM
    - ✓ Capacità del DSP di supportare operazioni in virgola mobile

RITARDO

- Ritardo di un codec:

  Def. intervallo di tempo che intercorre tra l'istante in cui il campione del segnale vocale arriva all'encoder e l'istante in cui questo viene prodotto in uscita dal decoder

  - nell'ipotesi in cui l'outpout dell'encoder sia direttamente collegato all'input del decoder

- Consiste di due contributi

  1. Ritardo di processing, o algoritmico, dovuto all'algoritmo di codifica impiegato dal codec
  2. Ritardo di lookahead
     - ✓ La maggior parte dei codec ha necessità di conoscere alcuni dei campioni immediatamente seguenti a quelli che sta correntemente codificando

  ➢ Ritardo minimo: ritardo dettato dalla lunghezza del frame in cui si carica un campione vocale & dalla dimensione del lookahead

  OSS: Il decoder introduce un ritardo che è circa la metà di quello introdotto dall'encoder

IN GENERALE …

- Principali funzionalità di un codec audio:
  - Conversione A/D
  - VAD Voice Activity Detection
  - CNG Comfort Noise Generation
  - Pacchettizzazione dei campioni vocali ormai in formato digitale
  - Tecniche di error concealment (interleaving, FEC)

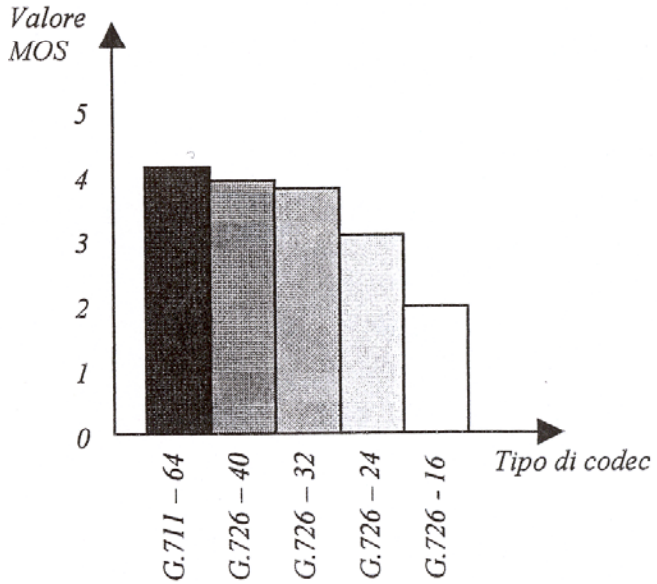
Previste nei codec VoIP,
pensati per reti a commutazione di pacchetto!

CLASSIFICAZIONE dei CODEC

1. Codificatori di forma d'onda

I decodificatori corrispondenti tentano di ricostruire il segnale di input senza l'impiego di alcuna informazione sulla sorgente che lo ha generato. Possono operare:

- ***Dominio dei tempi***
  - ✓ Operando una conversione A/D che utilizza diverse tecniche di quantizzazione
    - – **Codec PCM (G.711 a 64 Kbit/s)**
    - – ADPCM (G.721 a 32 Kbit/s, G.726 e G.727 a 16, 24, 32 e 40 Kbit/s) AD => Adaptive Differential
      - » ES. G.726 consente di codificare la voce a 2,3,4 o 5 bit



OPPURE …

- ***Dominio delle frequenze***
  - ✓ Tali codec vengono in generale impiegati per i segnali musicali
  - ✓ Il segnale di input viene suddiviso in un certo numero di sottobande, ognuna quantizzata e codificata separatamente, con un livello di accuratezza che dipende dalla percezione uditiva riguardante ciascuna banda
  - ✓ Sub Band Codec SBC (9.6-32 Kbit/s) e ATC (9.6-20 Kbit/s)

2. Codificatori di sorgente

Sfruttano le proprietà del parlato umano al fine di creare un modello della sorgente. I dati che vengono trasmessi sono i parametri del modello

- Producono voce con una sonorità metallica
- Vocoder LPC (Linear Predictive Coding), con notevole complessità computazionale, ma buoni risultati anche a 4.8 Kbit/s
- LPC10: bit rate di 2.4 kbit/s, MOS=2.3, 20 MIPS per operare in realtime

Continua

- Vocoder CELP (Code Excited Linear Predictor)

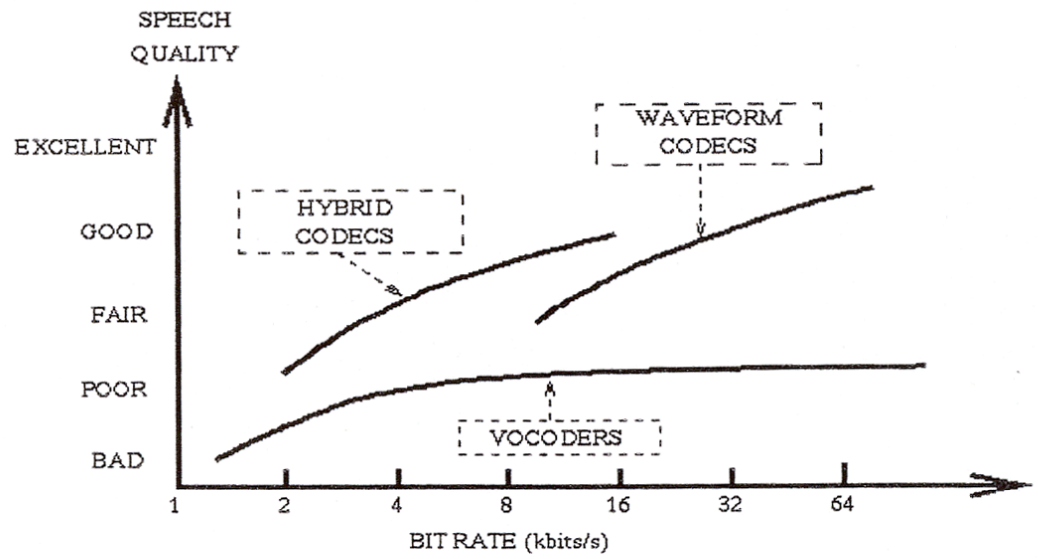
❑ Altri codificatori di sorgente di interesse

- Codificatori percettivi, utilizzano – anche - un modello (psicoacustico) per caratterizzare la percezione dell'orecchio umano, in aggiunta al modello di sorgente

- Esempi di codificatori percettivi sono quelli sviluppati dal Motion Picture Expert Group (MPEG)
  - ✓ Codificatori MPEG-1 Audio
    - – MP1
    - – MP2
    - – **MP3**

3. **Codificatori ibridi**

Costituiscono il punto di incontro tra codificatori di forma d'onda e vocoder, miglior compromesso tra qualità e bit rate

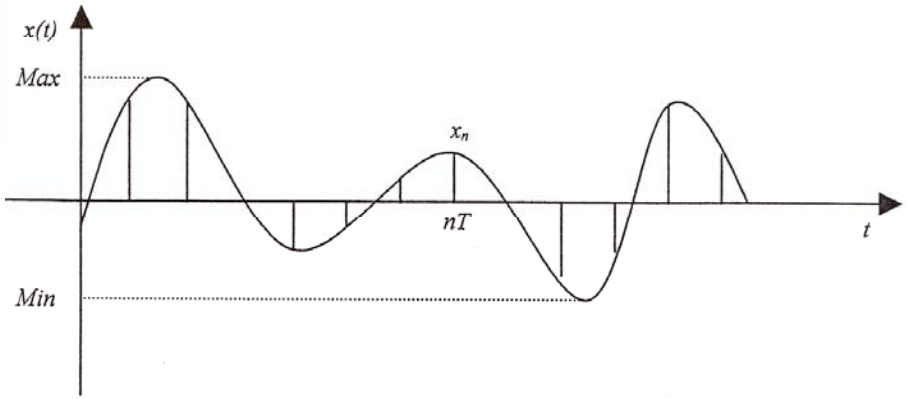


CODEC ITU

Voice CODER	Bit rate	durata del pacchetto	MOS atteso
G.711 (PCM) *Forma d'onda*	64 kbit/s	1 ms	4.1
G.723.1 (MP-MLQ)	6.3 kbit/s	30 ms	3.9
G.723.1 (ACELP) *Ibrido*	5.3 kbit/s	30 ms	3.65
G.726 (ADPCM) *forma d'onda*	32 kbit/s	0.125 ms	3.85
G.729A (CS-ACELP) *ibrido*	8 kbit/s	10 ms	3.7

ALCUNE INDICAZIONI SUI CODEC di FORMA d'ONDA

- ***Primo*** passo, l'operazione di campionamento: il teorema di Shannon!
  - Da segnale tempo continuo a segnale tempo discreto, senza perdita di informazioni, *sotto opportune condizioni*



Qualità	Banda	Frequenza di campionamento	Principali applicazioni
Voce con qualità telefonica	300-3400 Hz	8 KHz	PSTN, ISDN, telefonia cellulare
Voce a banda larga e audio	50-7000 Hz	16 KHz	Conferenze audio e video, radio FM
Voce e audio ad alta qualità	30-15000 Hz	32 KHz	Suono digitale per TV analogica
-"-	20-20000 Hz	44.1 KHz	Audio CD
-"-	10-22000 Hz	48 KHz	Audio professionale

TECNICHE di QUANTIZZAZIONE …

- Il ***secondo*** passo della conversione A/D: da un segnale continuo nei valori ad un *segnale discreto nei valori*
  - Impiego di una legge di quantizzazione $f_q(\cdot)$
  - *Perdita irreversibile di informazione*

- Sono diverse le funzioni di quantizzazione utilizzabili
  - Quantizzazione *uniforme*
  - Quantizzazione *non uniforme*
    - ✓ *Statica*
    - ✓ *Dinamica Adattativa*

QUANTIZZAZIONE UNIFORME

- Il range dei possibili valori ammessi per il segnale tempo discreto viene suddiviso in tanti intervalli, ciascuno di ampiezza pari a Δ
- Ad ogni valore continuo campionato appartenente ad un generico intervallo viene associato *un solo valore* entro tale intervallo: si tratterà del *livello di quantizzazione* corrispondente

  Tale valore potrebbe coincidere con il ***valore mediano*** di tale intervallo. In tal caso si ha che la legge di quantizzazione $f_q(x)$ risulta essere

$$f_q(x) = \left\lfloor \frac{x}{\Delta} \right\rfloor \Delta + \frac{\Delta}{2}$$

dove il simbolo $\lfloor . \rfloor$ rappresenta la parte intera inferiore

QUANTIZZAZIONE UNIFORME

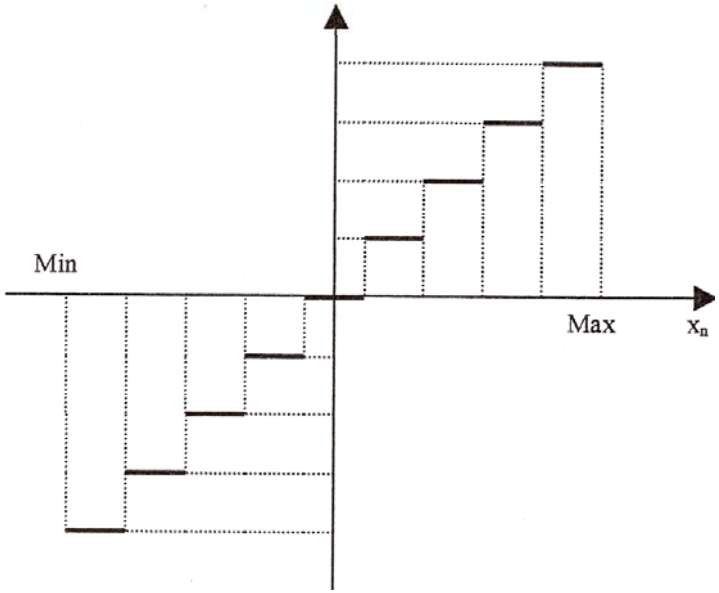
- Graficamente …

- Numero dei livelli di quantizzazione:
  - Tipicamente si tratta di una potenza di 2, per la quale indichiamo con b l'esponente

    ES: 2^b=256 livelli se b=8
  - In tal caso per la voce si ha

    Br=(4000*2)*8=64 kbit/s

    Si tratta del ***codec PCM***



QUANTIZZAZIONE NON UNIFORME

- ***Statica.*** E' basata sull'osservazione che
  - nella voce *segnali di piccola ampiezza sono più frequenti* dei segnali ad ampiezza elevata
  - Inoltre *l'orecchio umano è più sensibile ai segnali di piccola ampiezza*
- Risulta pertanto opportuno rappresentare più accuratamente questi ultimi. Come?
  - ***Infittendo il numero di intervalli di quantizzazione*** impiegati per i segnali deboli
  - La realizzazione effettiva di quantizzatore non uniforme di questo tipo impiega ancora un quantizzatore uniforme, preceduto da una rete di preenfasi, che implementa una opportuna funzione distorcente, dunque non lineare
  - In ricezione: rete di deenfasi

Legge μ-law

- Ipotizzando, senza perdita di generalità, che i valori del segnale tempo discreto in ingresso appartengano all'intervallo [-1,+1], la legge μ-law è del tipo:

$$f(x) = \mathrm{sgn}(x)\frac{\log(1+\mu|x|)}{\log(1+\mu)}$$

- Al crescere di μ la rete diviene sempre più distorcente

Legge A-law

- La legge è del tipo

$$f(x) = \mathrm{sgn}(x) \begin{cases} \dfrac{A|x|}{1+\log(A)} & se \quad |x| < \dfrac{1}{A} \\ \dfrac{1+\log(A|x|)}{1+\log(A)} & se \quad |x| \geq \dfrac{1}{A} \end{cases}$$

- Anche in questo caso il parametro corrispondente, A, guida il fattore di compressione

- μ-law: maggiormente impiegata in Nord America e Giappone
- A-law: diffusa in Europa

- Quantizzazione differenziale
  - Elevato grado di correlazione tra campioni vocali adiacenti fa sì che la loro differenza abbia una varianza minore di campioni singolarmente presi
  - Richiede pertanto un numero minore di livelli di quantizzazione
    - ✓ Meno bit per la codifica!

Si esegue la quantizzazione $f_q()$ della differenza tra il valore da trasmettere e il precedente valore decodificato $e(n)=x(n)-x_d(n-1)$

In ricezione il valore recuperato è f_q^{-1} ($f_q(e(n))$), che viene sommato a $x_d(n-1)$, per ottenere $x_d(n)$:

$$x_d(n-1)+ f_q^{-1}\left(f_q(e(n))\right)= x(n)+\left\{f_q^{-1}\left(f_q(e(n))\right)-e(n)\right\}= x_d(n)$$

In assenza di altri disturbi che non siano il rumore di quantizzazione, si riottiene x(n)

- Elevata sensibilità agli errori di trasmissione
- Quantizzazione differenziale predittiva,

  $e(n)=x(n)-x_p(n)=x(n)-c(1)x_d(n-1)$

  Si trasmette la quantizzazione della differenza tra il campione e la sua predizione (che dipende comunque dal valore precedentemente decodificato $x_d(n-1)$) e non, come nel caso precedente, il valore quantizzato della differenza tra due campioni

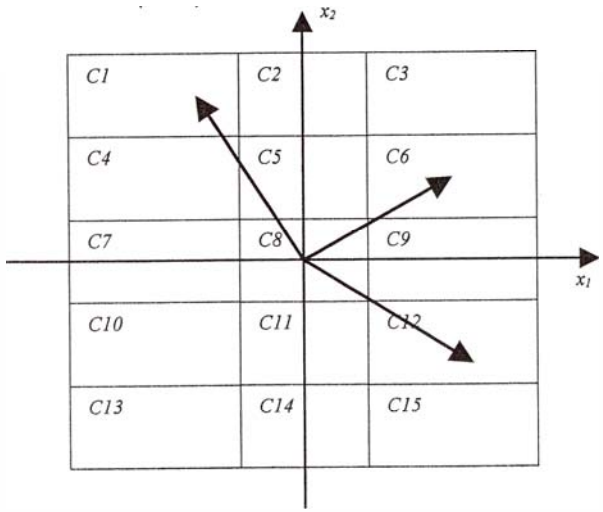
Quantizzazione dinamica adattativa

- E' ad esempio possibile utilizzare un ***passo variabile di quantizzazione*** a seconda della *varianza del segnale in ingresso* al quantizzatore
  - Tale proposta muove dalla considerazione che il segnale audio non è ergodico
  - Con riferimento ai segnali PCM, l'approccio proposto da Jayant prevede di modificare il passo di quantizzazione in base della varianza misurata sui campioni trattati sino a quel momento: si tratta della tecnica Adaptive PCM, APCM
  - Esiste poi la tecnica ADPCM, di tipo differenziale e predittivo

Inoltre …

- E‘ possibile ricorrere alla ***quantizzazione vettoriale***
  - Un blocco di **M** campioni vocali (o di differenze di campioni vocali) costituisce un vettore
  - Spazio M-dimensionale suddiviso in celle
  - Ad ogni cella è associato un vettore appartenente ad un codebook opportunamente definito, ed è questo che viene inviato
    - ✓ Richiede maggior potenza computazionale rispetto alla quantizzazione scalare
    - ✓ Errore su un vettore impatta M campioni vocali!

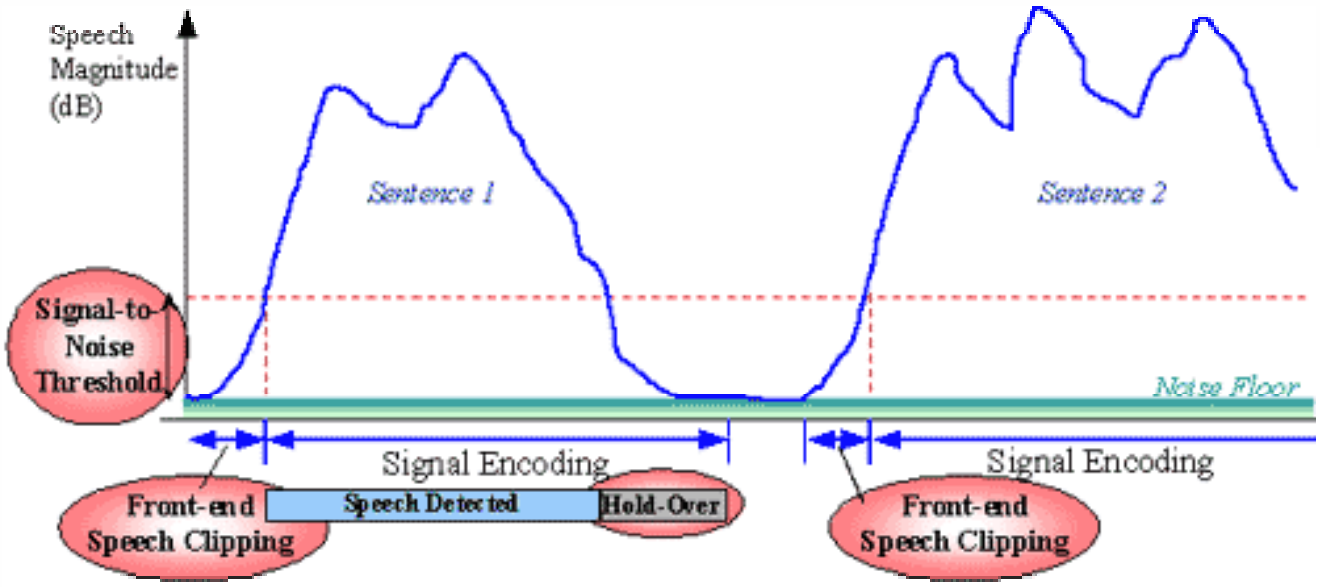
Esempio per M=2



ULTERIORI CARATTERISTICHE

- Silence suppression
  - Sfrutta il fatto che durante una conversazione non si parla mediamente per più del 40% del tempo
  - Si compone di due elementi principali
    - ✓ VAD Voice Activity Detector, cui è associata la capacità del codec di interrompere la trasmissione quando il VAD individua un periodo di silenzio
      - DTX Discontinuous Transmission
    - ✓ CNG Comfort Noise Generator
      - dispositivo presente in ricezione che inserisce rumore di sottofondo, per evitare che l'interlocutore abbia la sensazione che la linea sia caduta
      - i codec più moderni permettono di trasmettere sufficienti informazioni per ricostruire in ricezione un rumore simile all'originale

VAD – Principii di funzionamento



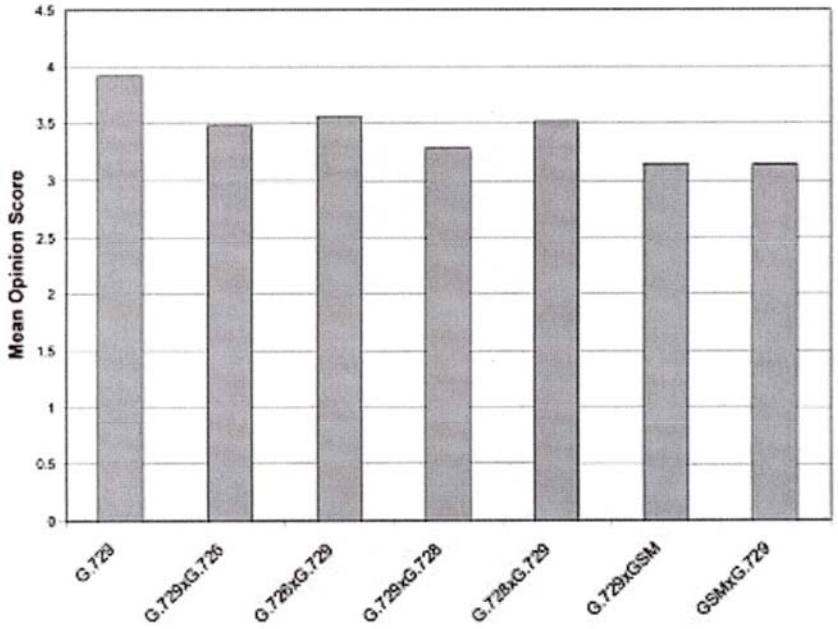
1. Tempi di front-end clipping (non si tx) non troppo elevati
   - ❑ riducono l'intelligibilità
2. Tempi di hold-over (si tx) anch'essi non eccessivamente estesi
   - ❑ riducono l'efficienza

CONDIZIONI di TEST per i CODEC

- Risulta significativo caratterizzare
  - Gli effetti del rumore ambientale
  - Gli effetti di codifiche/decodifiche in tandem
    - ✓ Il VoIP è tipicamente destinato ad essere impiegato su reti di trasporto wired e wireless, che impiegano – ed impiegheranno – codec diversi per ancora molti anni

- G.711 per PSTN
- RPE-LTP per GSM
- Codec AMR (terza generazione radiomobili)

code interworking



TRASPORTO

- TCP è inadeguato per le comunicazioni real-time, come ad esempio quelle vocali che una applicazione VoIP prevede
  - ACK e relative ritrasmissioni introducono ritardi significativi
  - Il three-ways handshake e la fase di connection termination costituiscono un overhead percentualmente significativo
- UDP è invece il protocollo di livello di trasporto che con il suo servizio
  - connectionless
  - unreliable

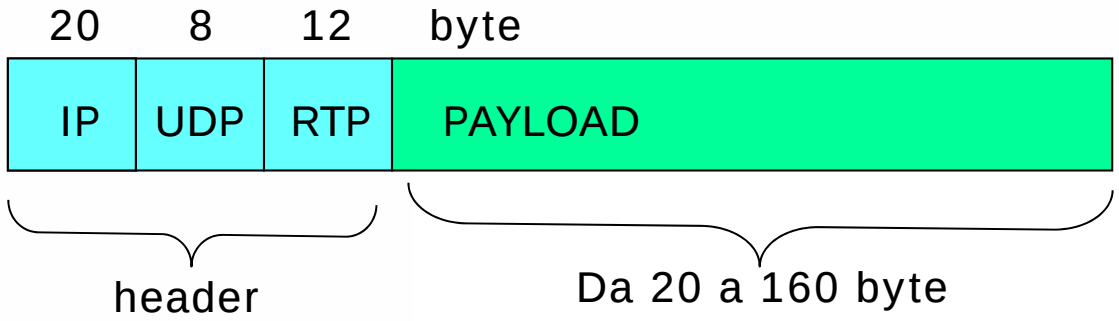
  garantisce le funzionalità di trasporto alle applicazioni che trasmettono dati real-time, audio e video, per servizi unicast e multicast
- Abbinato a RTP/RTCP per le applicazioni VoIP

RTP - RFC 3550

- *Real-time Transport Protocol*
  - Nato dall'esigenza di trasportare dati in tempo reale
  - Fornisce un servizio di trasporto che comprende
    - ✓ La specifica dei dati trasportati
    - ✓ La numerazione in sequenza dei pacchetti
    - ✓ Il timestamping
  - Non include alcun meccanismo per garantire
    - ✓ L'avvenuta consegna dei pacchetti
    - ✓ La loro consegna tempestiva
      - – No QoS
    - ✓ La consegna nell'ordine esatto
  - Per controllare la qualità di servizio e trasportare informazioni tra i partecipanti ad una sessione multimediale impiega il
    - ✓ ***PROTOCOLLO RTCP (Real Time Control Protocol)***

TRASPORTO

- Per IPv4, l'header RTP/UDP/IP è di 40 byte



- Esistono tuttavia numerosi algoritmi di compressione che lo riducono a 2-7 bytes
  - ✓ Un tipico header compresso è di 4 byte, di cui 2 per il checksum
  - ✓ Su una rete IP la compressione è attuata link per link, in quanto l'header originario deve essere ripristinato in corrispondenza ad ogni router
    - Deve consentire a tale dispositivo di scegliere l'interfaccia di uscita
    - Tecnica opportuna per i link di accesso low-speed (ma non solo)

PAYLOAD EFFICIENCY vs. PACKETIZATION DELAY

- Si definisce *Efficienza del Payload* il rapporto

$$Efficienza = \frac{\text{payload}}{\text{dimensione del pacchetto}}$$

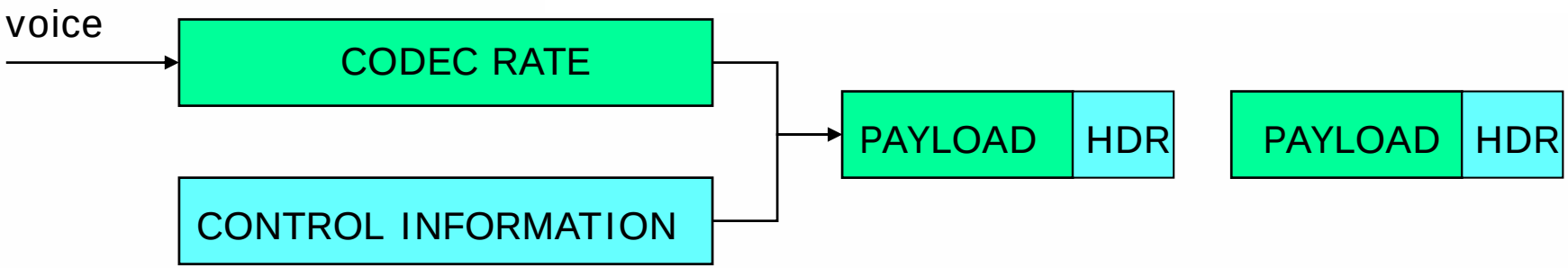
- Nel caso in cui non si faccia uso di compressione, l'header RTP/UDP/IP è 40 byte
  - Se il payload è anch'esso di 40 byte, l'efficienza è 0.5
    - ✓ Alcuni esempi numerici:
      - @64 Kbit/s, 5 ms per accumulare 40 byte
      - @8 Kbit/s, occorrono 40 ms
- Packetization delay: tempo necessario a "riempire" un pacchetto
    - ✓ 40 ms sono un PACKETIZATION DELAY significativo! Molti sistemi VoIP impiegano 20 ms, anche se l'efficienza è modesta nel caso di utilizzo di codec a basso bit rate
- Compromesso …

CAPACITÀ TRASMISSIVA

- Ipotesi:
  - continuous speech (no DTX)

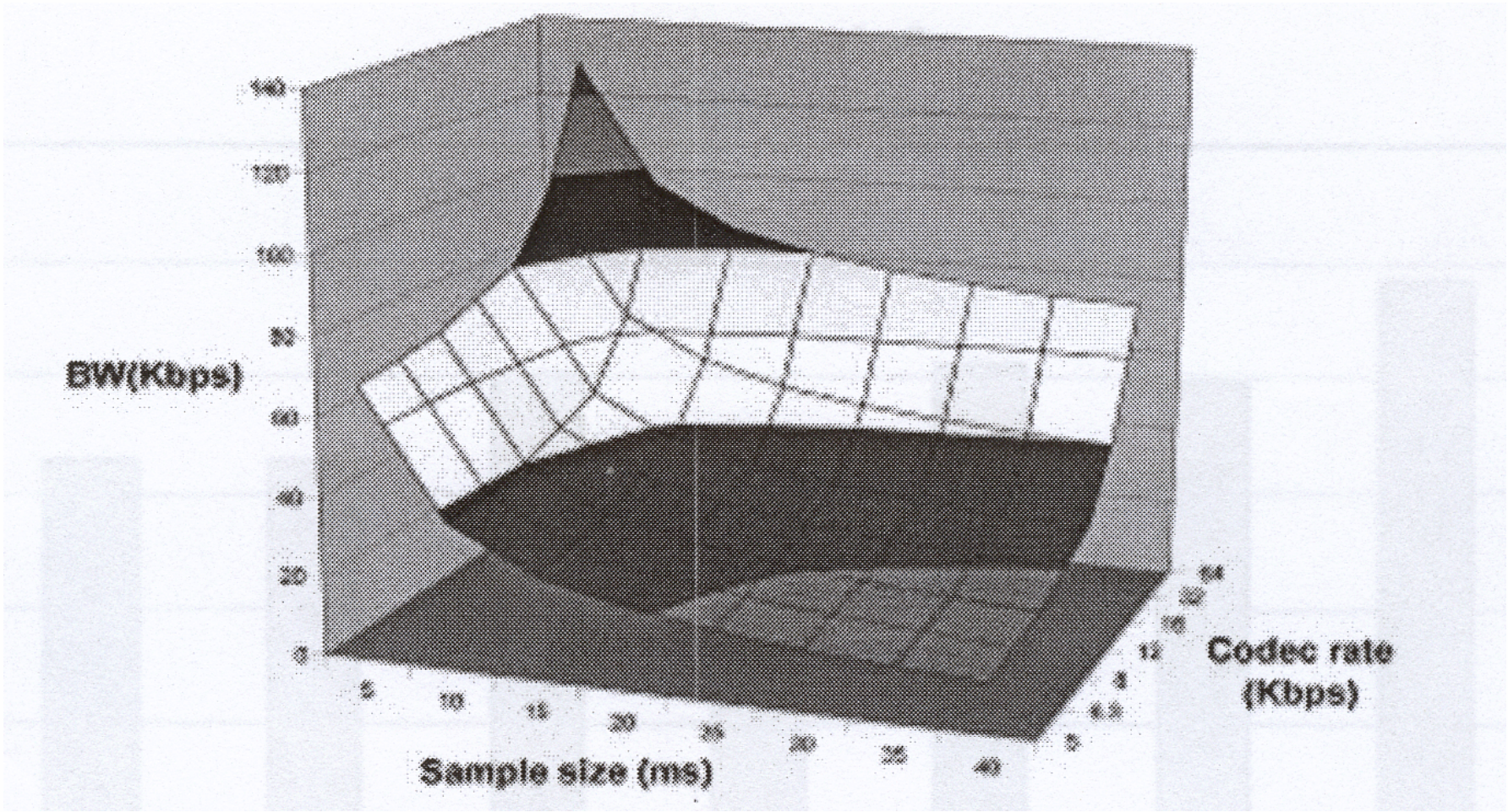
- Capacità trasmissiva richiesta per supportare la chiamata:

$$C(bit/s) = Codec\ Rate + \frac{Header(bits)}{Payload(bits)} Codec\ Rate$$

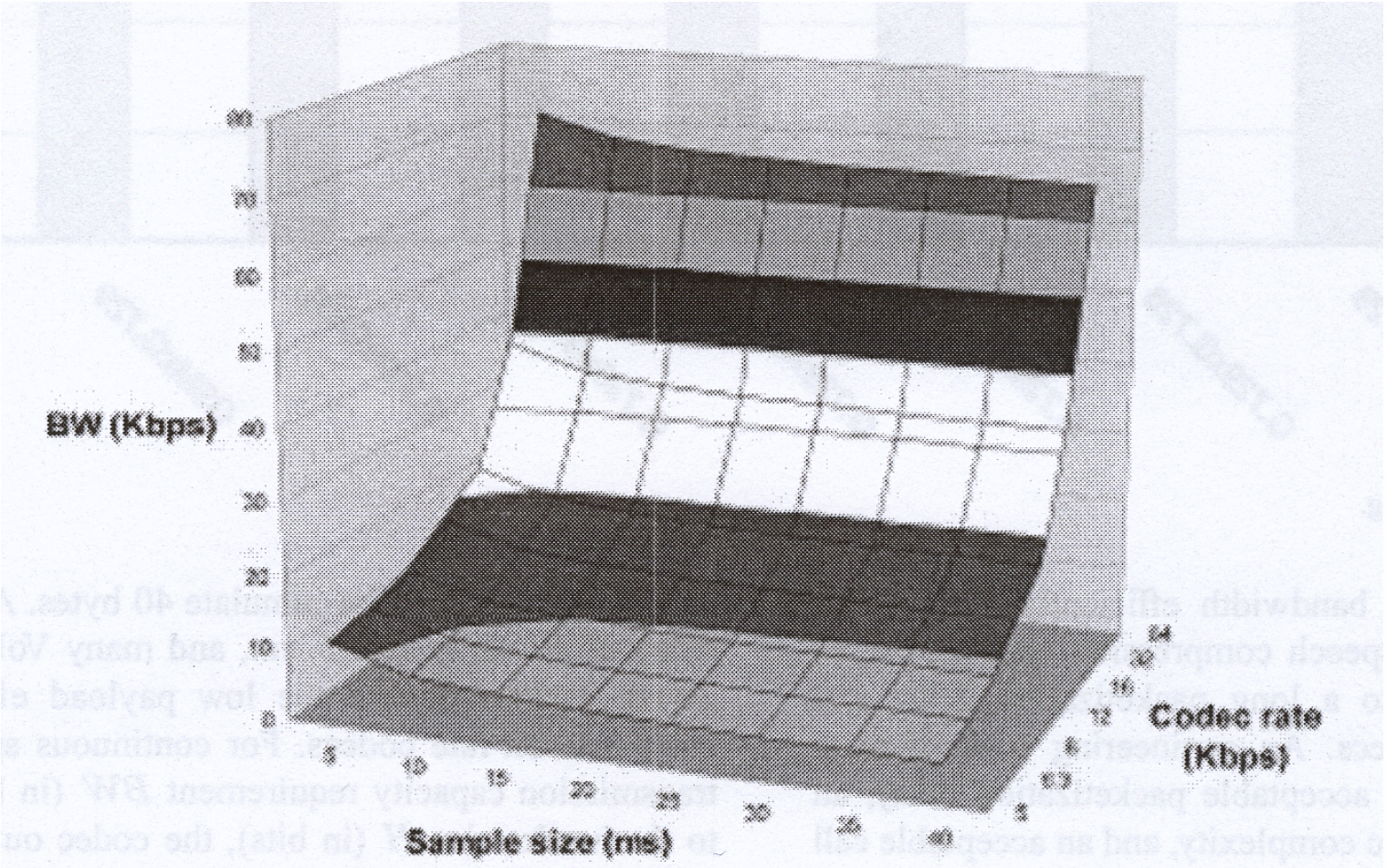


GRAFICAMENTE

- Caso 1 – No header compression



- Caso 2: Header compresso, pari a 4 byte

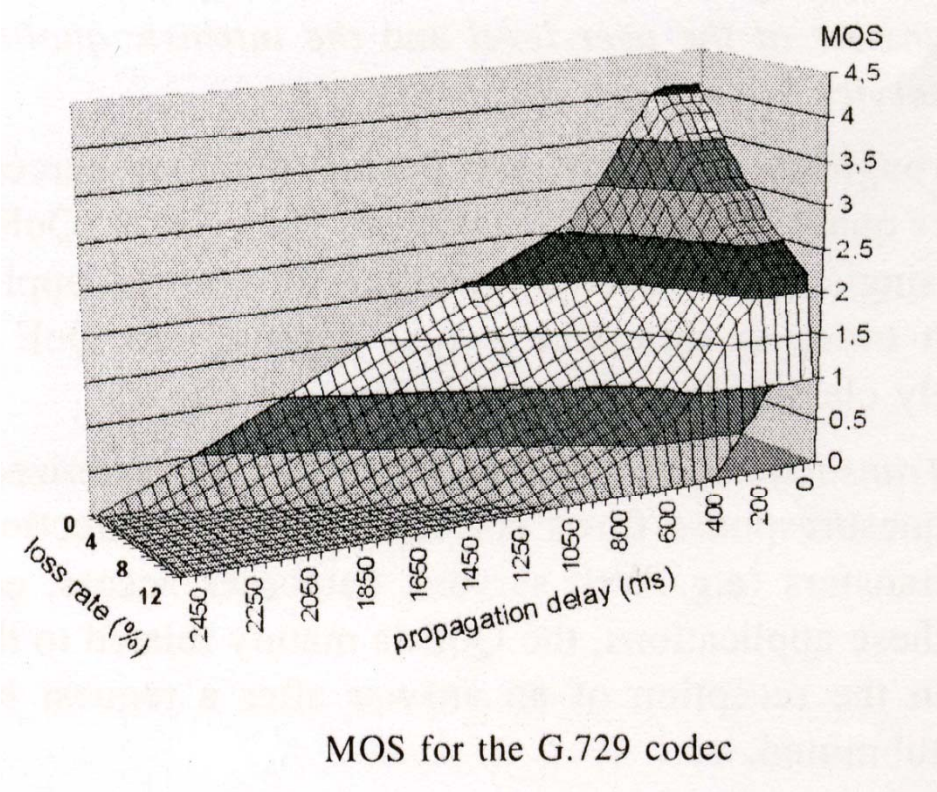


E GLI EFFETTI DELLA RETE?

- È fondamentale quantificarli!
  - ✓*Packet loss*
  - ✓*Ritardo*
  - ✓*Eco*

INOLTRE:

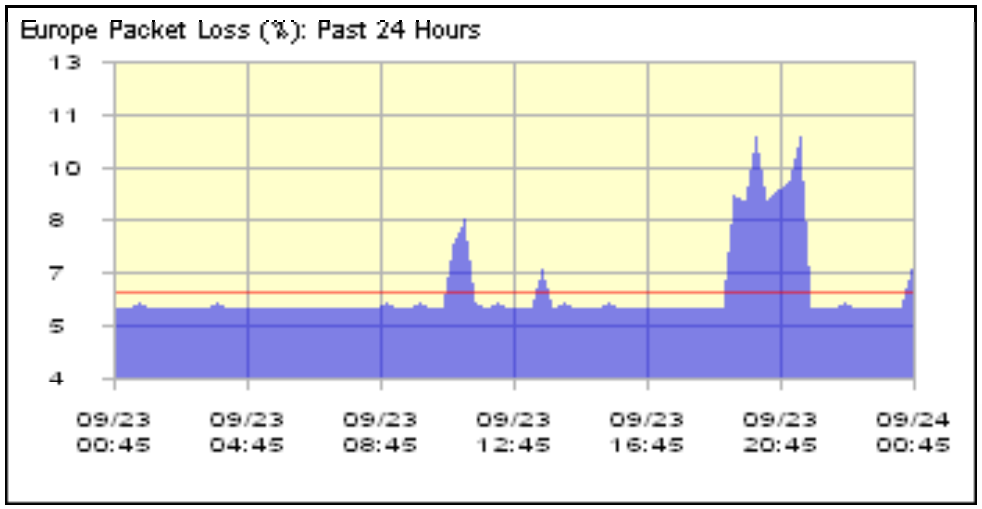
- Come si ***combinano*** le degradazioni che la rete introduce sulla chiamata VoIP con quelle che i vocoder ed i corrispondenti decodificatori già introducono?
- G.729, con pacchetti di 20 ms



MOS for the G.729 codec

PACKET LOSS

- Metriche di PACKET LOSS
  - Average loss rate
    - ✓ http://www.internettrafficreport.com/



Dati del 24 settembre 2010

  - Packet loss pattern
    - ✓ Perdite isolate (90%)
    - ✓ Perdite a burst

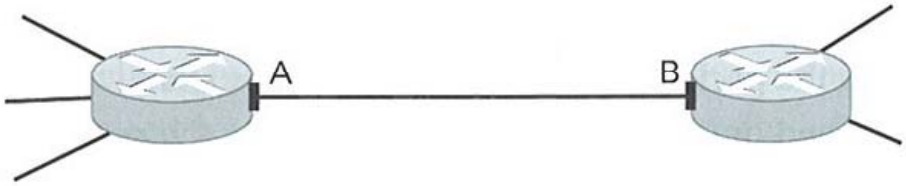
ANCORA

- Packet duplication
  - Falle nei router
  - Ritardi nella consegna dei TCP ACK

- Packet corruption
  - Il pacchetto giunge a destinazione, ma uno o più dei suoi bit costituenti sono stati sporcati da errore
    - ✓ Reti Wireless
    - ✓ Rilevazione attraverso il checksum field

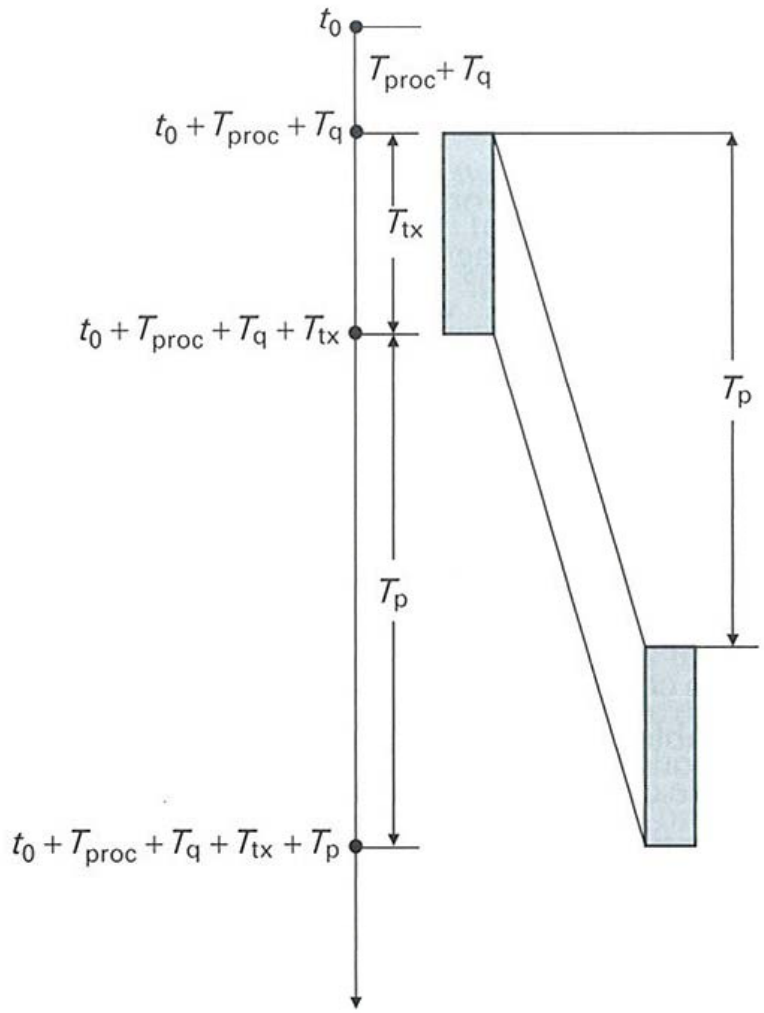
RITARDO

- SINGOLO LINK pto-pto tra due router

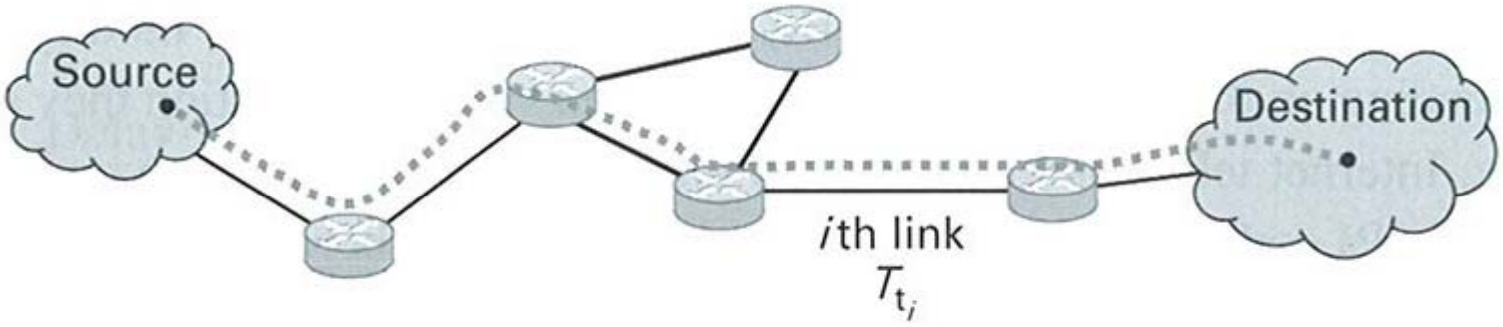


- Le diverse parti costituenti (*)
  - T_{proc}
  - T_q
  - T_{tx}
  - T_p

GRAFICAMENTE



RITARDO END-to-END



- Da cui

$$T_t = \sum_{i=1}^{N} T_{t_i} .$$

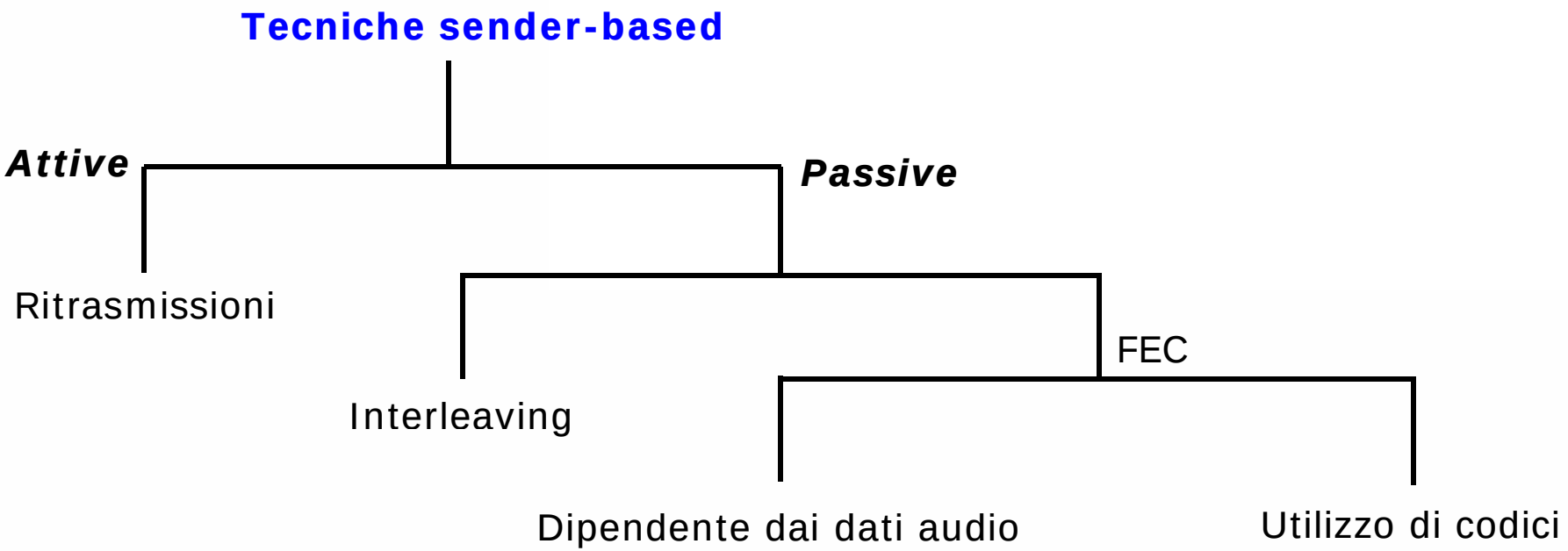
- Si tratta di una v.a.
- JITTER
  - Misura la variazione nel ritardo di consegna che diversi pacchetti appartenenti ad un medesimo stream sperimentano

VEDIAMO

- … come è possibile **confinare** tali degradazioni
  - In particolare, concentriamoci sulle tecniche impiegate nei codec per il ***mascheramento delle perdite di pacchetto,*** così che la perdita di un datagramma IP non si traduca direttamente nella perdita di campioni vocali

TASSONOMIA delle TECNICHE

- Si distinguono
  - Tecniche *sender-based*
  - Tecniche *receiver-based*



VEDIAMOLE

A PARTIRE DALLE SENDER-BASED

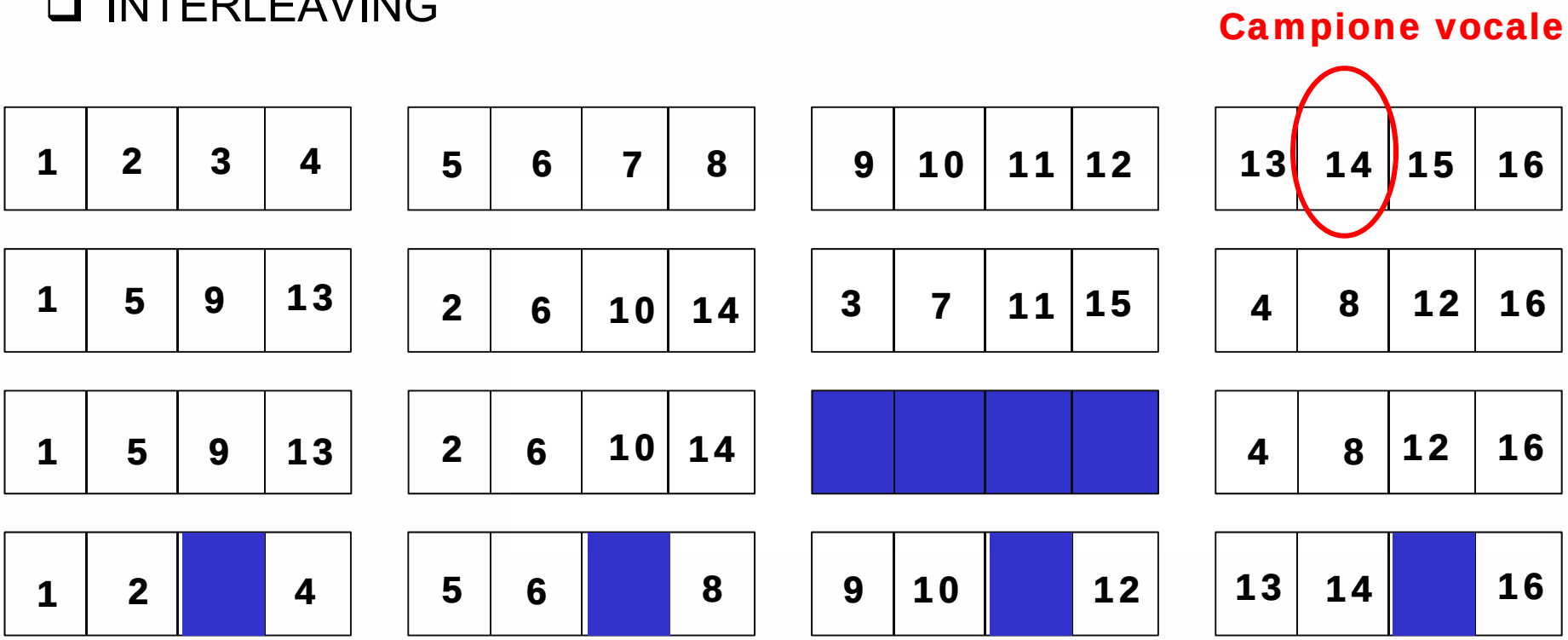
1. Attive
   - retransmission-based
2. Passive
   - Interleaving
   - FEC
     - Basate sui campioni vocali
     - Basate sui codici

TECNICHE ATTIVE

- Ritrasmissioni – a livello applicazione -
  - Tipicamente non impiegate
    - ✓ Q. Motivo?
    - ✓ R. …
- Unica possibilità e contesto di interesse:
  - protocolli che limitano il numero massimo di ritrasmissioni ammesse
  - Reti caratterizzate da valori di *loss rate modeste*

TECNICHE PASSIVE

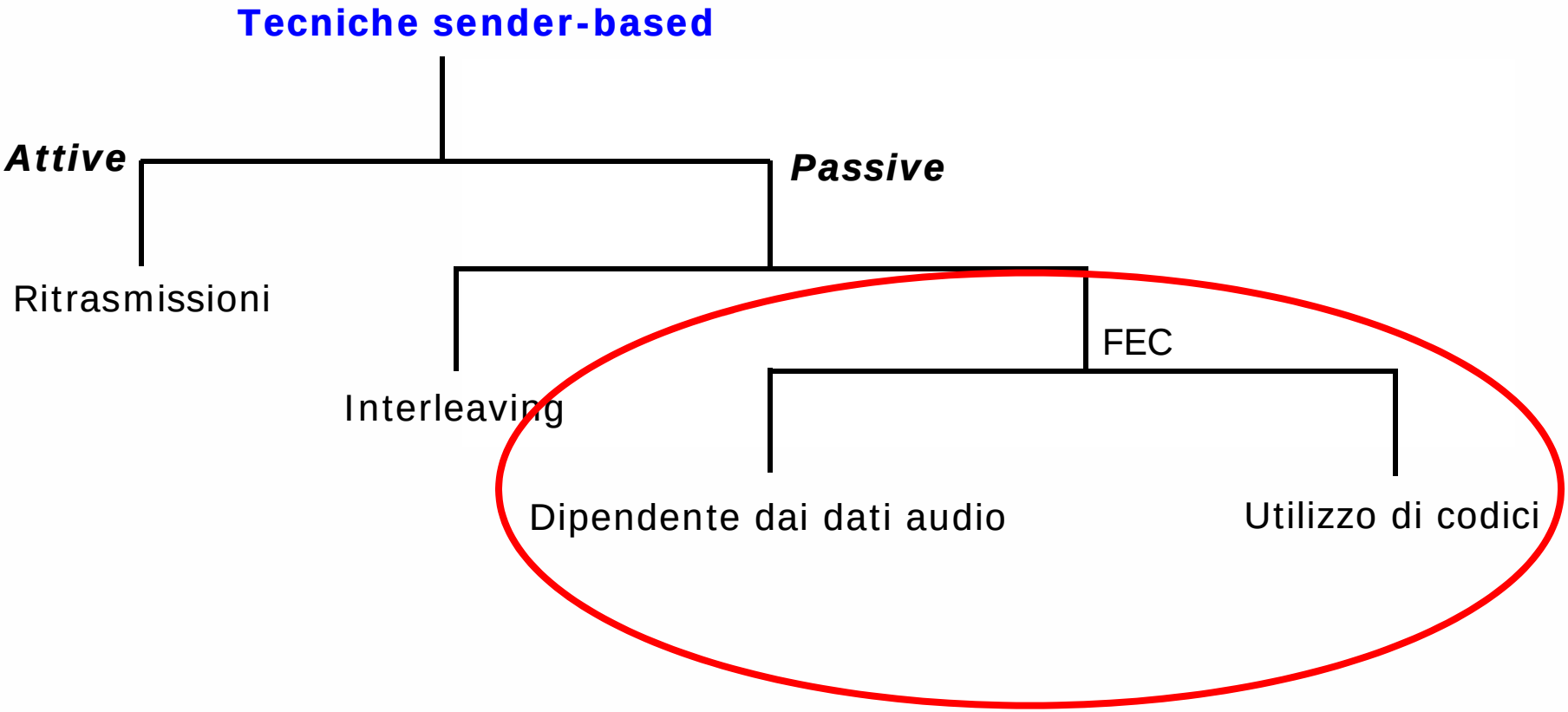
- INTERLEAVING



- Può migliorare significativamente la qualità audio in ricezione
- Overhead pressochè nullo, vantaggio importante!
- Tuttavia … problemi che è possibile incontrare?
- Contesti in cui può risultare adeguato?

TECNICHE PASSIVE

- FEC



TECNICHE PASSIVE

- FEC

  Tecniche di codifica che possono

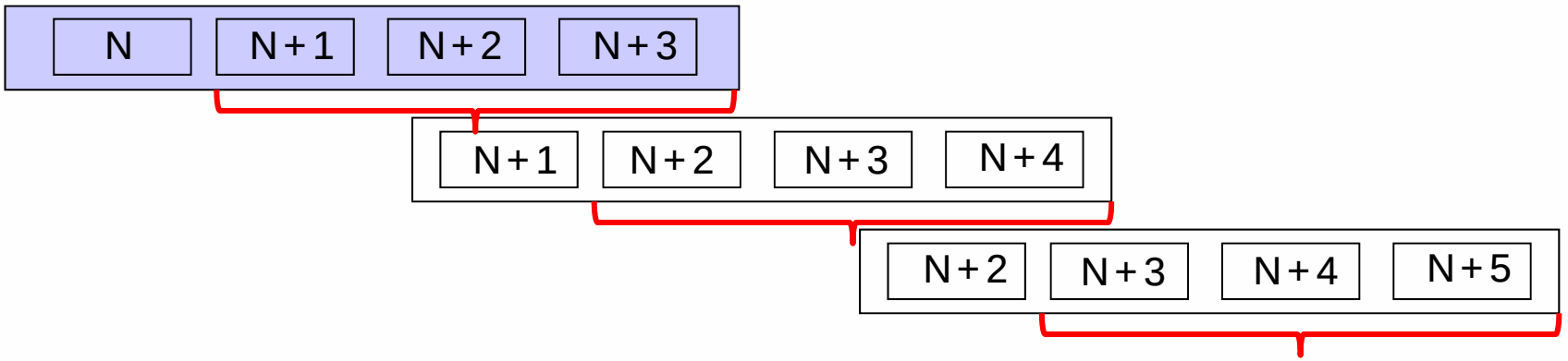
  1. *Operare - opportunamente - a partire dai campioni vocali*
  2. oppure fare *uso di codici A LIVELLO APPLICAZIONE*

- Alcuni esempi nel primo caso

  Es1: si invia una copia dei precedenti k campioni nel datagramma n-simo;

  consente di recuperare il campione vocale n-simo quando vengono al più perduti k datagrammi in successione

  Graficamente, con k=3



OPPURE …

- Es2: è possibile prevedere l'invio di uno stream audio alla bit rate nominale e di un ulteriore stream a bassa risoluzione e bassa bit-rate, denominato stream ridondante
  - Il primo è ad esempio uno stream audio a 64 kbit/s, il secondo a 13 kbit/s
  - Il trasmettitore costruisce l'n-simo pacchetto con l'n-simo chunk dallo stream nominale e vi appende il chunk n-1 dallo stream ridondante



CONTINUA

- VANTAGGIO: **perdite di pacchetti *non consecutive*** possono essere mascherate
- Chunk appartenenti allo stream a bassa bit rate forniscono una qualità più bassa rispetto ai chunk nominali
- Tuttavia, nel complesso lo stream audio ricevuto
  - ✓ senza perdita di chunk e
  - ✓ occasionalmente con qualche chunk a bassa qualità

  ha una buona qualità
- Overhead introdotto: **dipende** dalla codifica audio a bassa bit rate impiegata

CONTINUA

- Es3: ulteriore variante rispetto all'ultima soluzione.
  Prevede di appendere al chunk n-simo a buona qualità
  - i chunk (n-1), (n-2),
  - oppure l'(n-1), (n-3) …
    - ✓ Maggiore robustezza in ambienti particolarmente "ostili" ☺
    - ✓ Maggiore richiesta in banda ☹
    - ✓ Aumenta il ritardo di playout ☹

TECNICHE PASSIVE

- FEC
  - UTILIZZO DI CODICI (A BLOCCHI)
  - Operano **a livello applicazione, NON a livello fisico**
    - **DUNQUE L'UNITÀ NON È IL BIT, MA IL PACCHETTO**
    - INPUT: ***n-k*** PACCHETTI
    - OUTPUT: ***n*** PACCHETTI
  - ESEMPI:
    - ✓ Codice di parità
      - XOR applicato ad un ***gruppo di pacchetti (n),*** per generare il ***pacchetto di parità (1)***
      - ***Se*** si perde un solo pacchetto ogni n, quel pacchetto viene recuperato
    - ✓ Codici Reed Solomon

FEC con codice di parità

- XOR
  - 0 XOR 0 = 0
  - 1 XOR 0 = 1
  - 0 XOR 1 = 1
  - 1 XOR 1 = 0
  - Proprietà
    1. Associativa
       1. A XOR B XOR C = (A XOR B) XOR C = A XOR (B XOR C)
    2. **A XOR B XOR B = A, per ogni A e B**

- Nel caso in esame XOR tra n pacchetti, bit per bit
- Invio dei parity bit in un pacchetto ***distinto*** rispetto a quelli contenenti i dati da proteggere (parity packet)

RECOVERY CON PARITY FEC

Pacchetto A

0	0	0	1	1	1	1	0

Parity packet

1	0	1	1	0	1	0	0

Pacchetto B

1	0	1	0	1	0	1	0

LATO RICEVITORE:

Parity packet

1	0	1	1	0	1	0	0

Pacchetto A ☺

0	0	0	1	1	1	1	0

XOR

Pacchetto B

1	0	1	0	1	0	1	0

FEC: VANTAGGI e SVANTAGGI

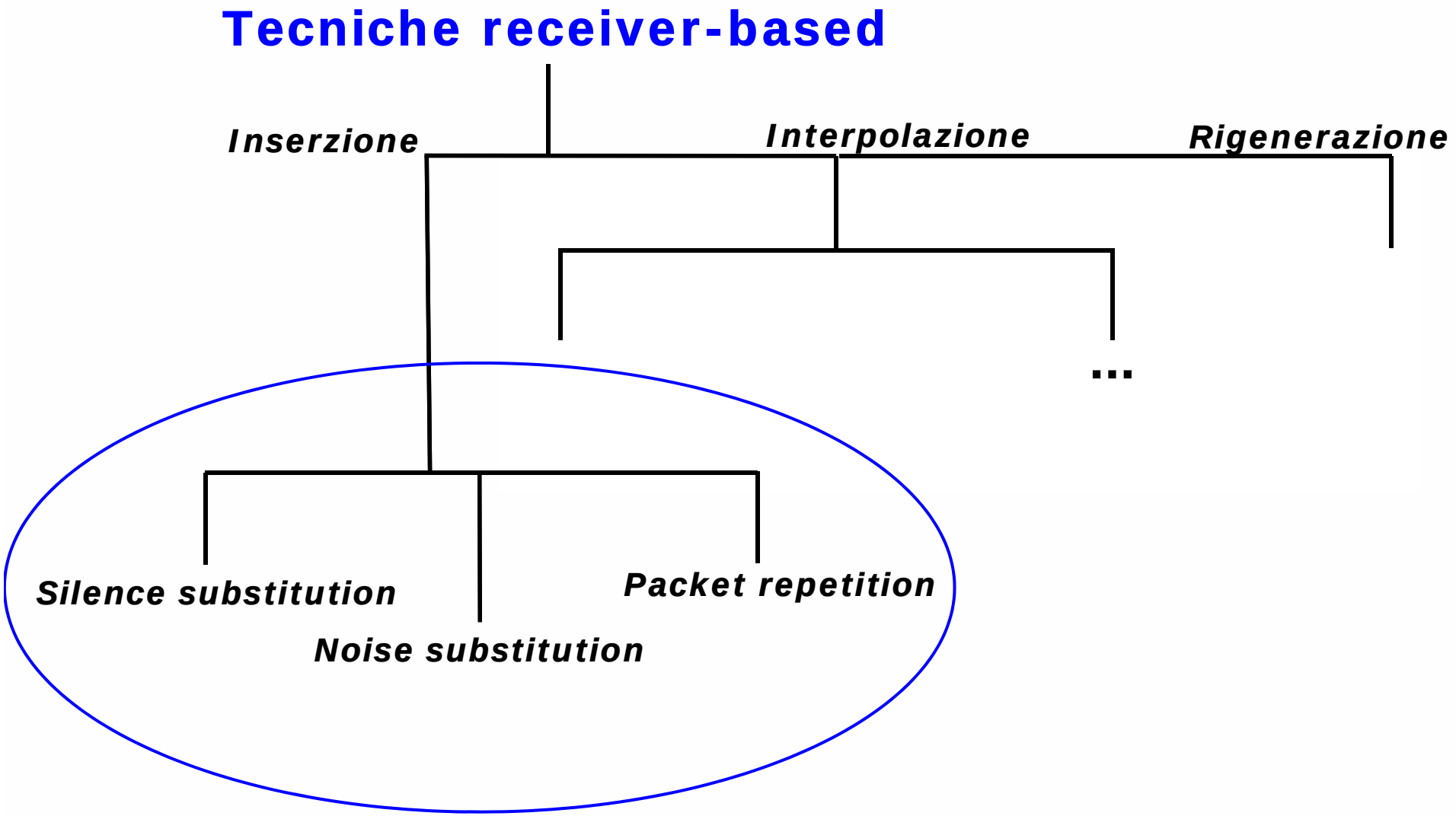
- Q1. *Il mascheramento delle perdite è una sostituzione esatta di uno o più pacchetti persi?*
  - FEC operante sui campioni vocali: NO
  - FEC che utilizza un codice al livello applicazione: …
- Q2. *Overhead può essere ridotto senza inficiare il numero di perdite che è possibile mascherare?*
  - FEC operante sui campioni vocali: SI ☺
  - FEC che utilizza un codice al livello applicazione: …
- Entrambe le soluzioni introducono un ritardo e richiedono un impegno di banda maggiore rispetto al flusso audio non protetto. Inevitabile …

TECNICHE RECEIVER-BASED

- ***NON*** richiedono la partecipazione attiva del sender
- Utili quando
  - Il sender non può partecipare all'operazione di recovery
  - Le tecniche sender-based viste in precedenza hanno fallito
    - ✓ ***NON*** sono alternative alle precedenti, tipicamente mascherano le perdite residue lato ricevitore
    - ✓ ***NON*** richiedono banda ulteriore
- RATIO

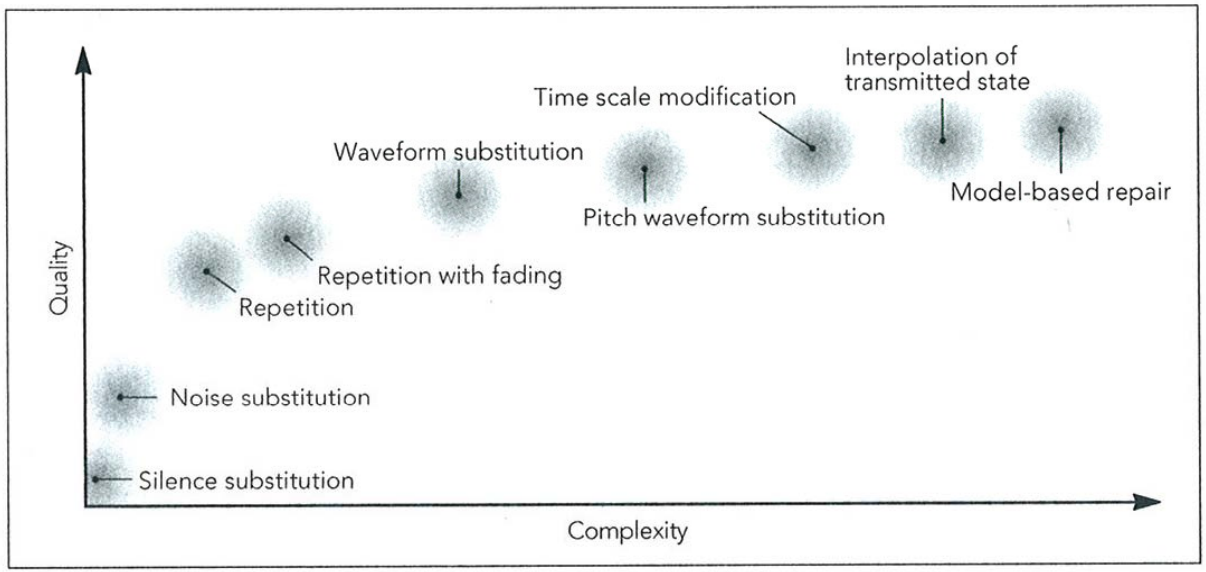
  generare un pacchetto che
  1. sostituisca quello originario andato perduto
  2. ne risulti simile
     - ✓ il parlato esibisce un elevato grado di correlazione su scala temporale a breve termine
     - ✓ OK per per pacchetti piccoli (4-40 ms) e per loss rates modeste (≤ 15%)
     - ✓ Quando la perdita si estende su un intervallo paragonabile alla durata di un fonema (5-100 ms) tali tecniche risultano inutili

TECNICHE RECEIVER-BASED



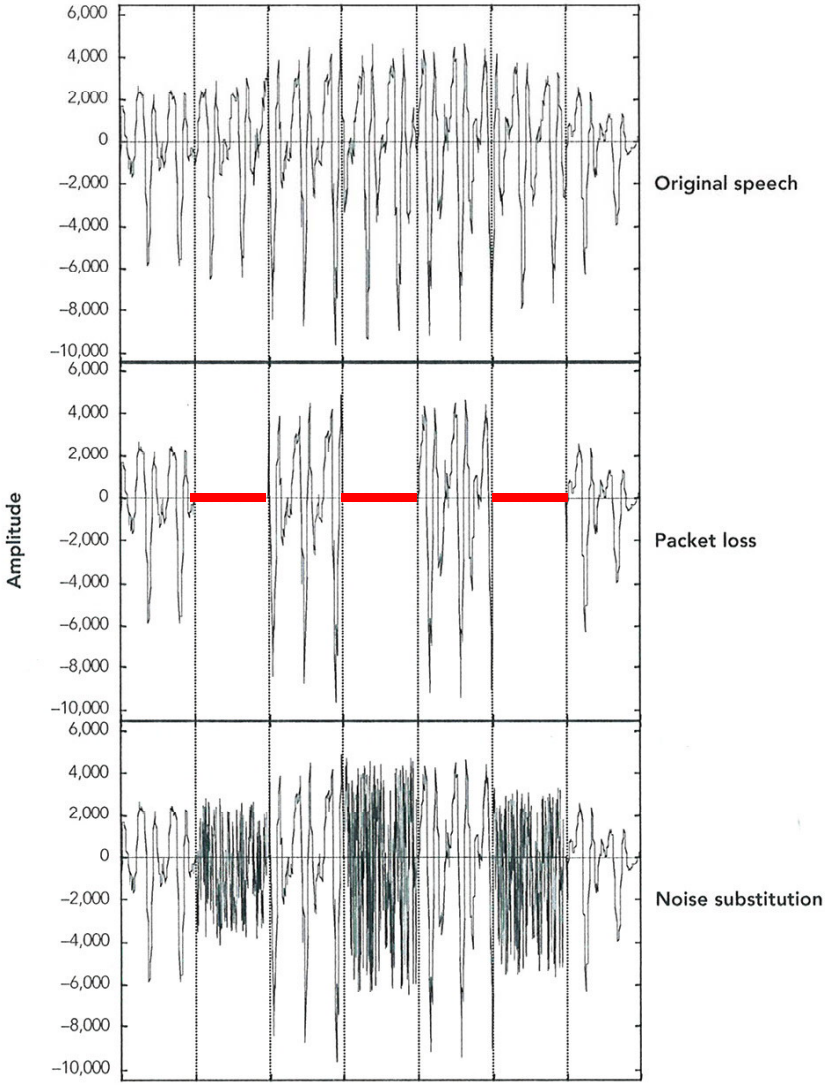
PERCHÉ NON

- … le vediamo tutte?
  - Le tecniche di sostituzione rappresentano la base
  - Le successive esibiscono
    - ✓ Complessità implementativa crescente
    - ✓ Miglioramenti incrementali



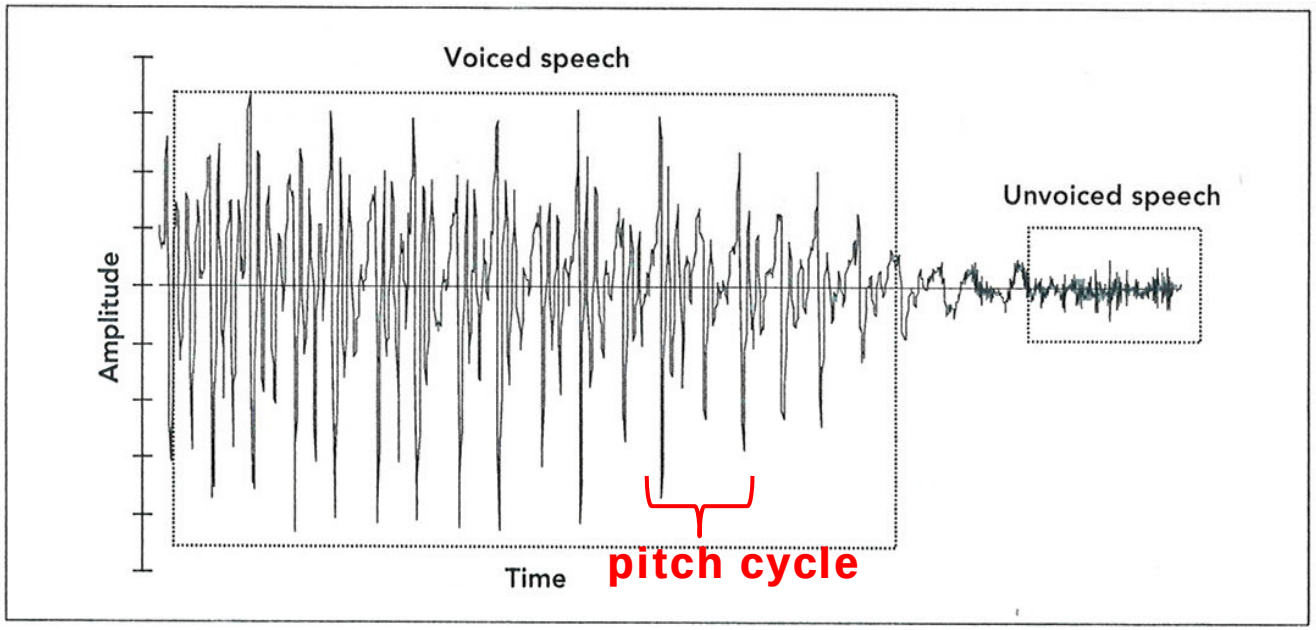
SILENCE e NOISE SUBSTITUTION

- L'interesse verte sulla tecnica del NOISE SUBSTITUTION
  - Consiste nel riempire il vuoto lasciato dai campioni vocali contenuti in un pacchetto perduto con del rumore di background:
    - ✓ tipicamente rumore bianco
    - ✓ di ampiezza paragonabile a quella dei campioni vocali contenuti nel pacchetto precedente
  - Garantisce
    - ✓ Miglior intelleggibilità
    - ✓ Miglior qualità vocale

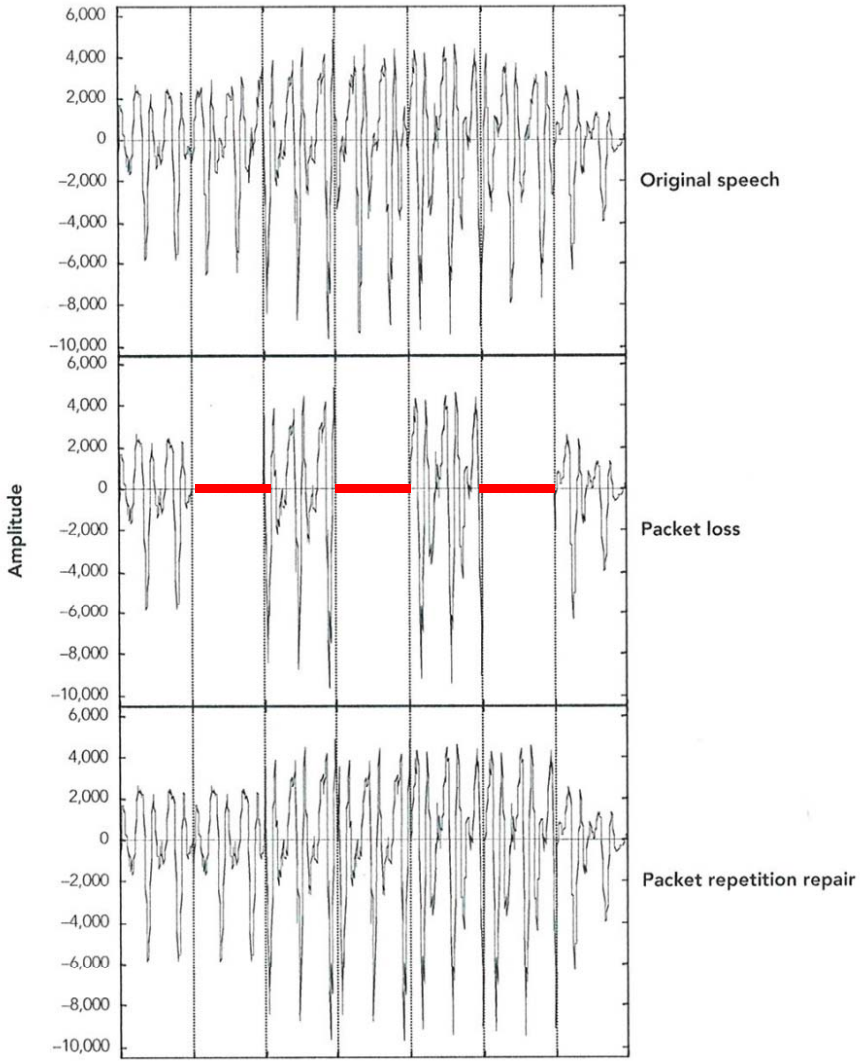


RIPETIZIONE di UN PACCHETTO

- I segnali audio sono disseminati di schemi ripetitivi, chiamati *pitch cycle*, della durata tipica di 20 – 100 ms
- Le perdite che si verificano durante un pitch cycle hanno buona probabilità di essere mascherate



RIPETIZIONE di UN PACCHETTO continua



- Se il gap di perdita fosse temporalmente più esteso, è possibile migliorare le prestazioni di tale tecnica introducendo un fading graduale del segnale che viene ripetuto
- Tecnica adottata nei sistemi radiomobili

MA TORNIAMO AGLI EFFETTI della RETE

- Abbiamo parlato di

  - ✓ *Packet loss*
  - ✓ *Ritardo*
    - – *Jitter*
    - – *Quantifica la variabilità del ritardo subito dai diversi pacchetti appartenenti ad un medesimo stream*
  - ✓ *Eco*

RITARDO

- la raccomandazione ITU-T G.114 suggerisce i seguenti valori per il ritardo di transmissione “one-way” di connessioni *con un eco adeguatamente controllato*:
  - 0-150 ms accettabile per la maggior parte delle applicazioni utente
  - 150-400 ms accettabile per connessioni internazionali
  - > 400 ms *inaccettabile* per scopi di pianificazione della rete. Limite oltrepassabile in alcuni casi eccezionali
    - ✓ Test soggettivi hanno mostrato che
      - – Il MOS decresce da 3.74 (± 0.52) a 3.48 (± 0.48) aumentando il ritardo di trasmissione “one-way” da 100 a 350 ms

  - **SE** tali vincoli sono rispettati, *si garantisce il livello di interazione desiderato tra gli end-point coinvolti nella conversazione*

- ***Le variazioni di ritardo*** subite dai pacchetti VoIP nell’attraversamento della rete sono altrettanto importanti

  => *delay jitter*

JITTER

- Il gateway o il telefono ricevente devono compensare le variazioni di ritardo con un **jitter buffer**, detto anche **buffer di playout**
  - Impone un ritardo sui pacchetti che sperimentano un ritardo minimo, gli "early packets"
  - Inoltra immediatamente i pacchetti che hanno subito un ritardo significativo, i "late packets"

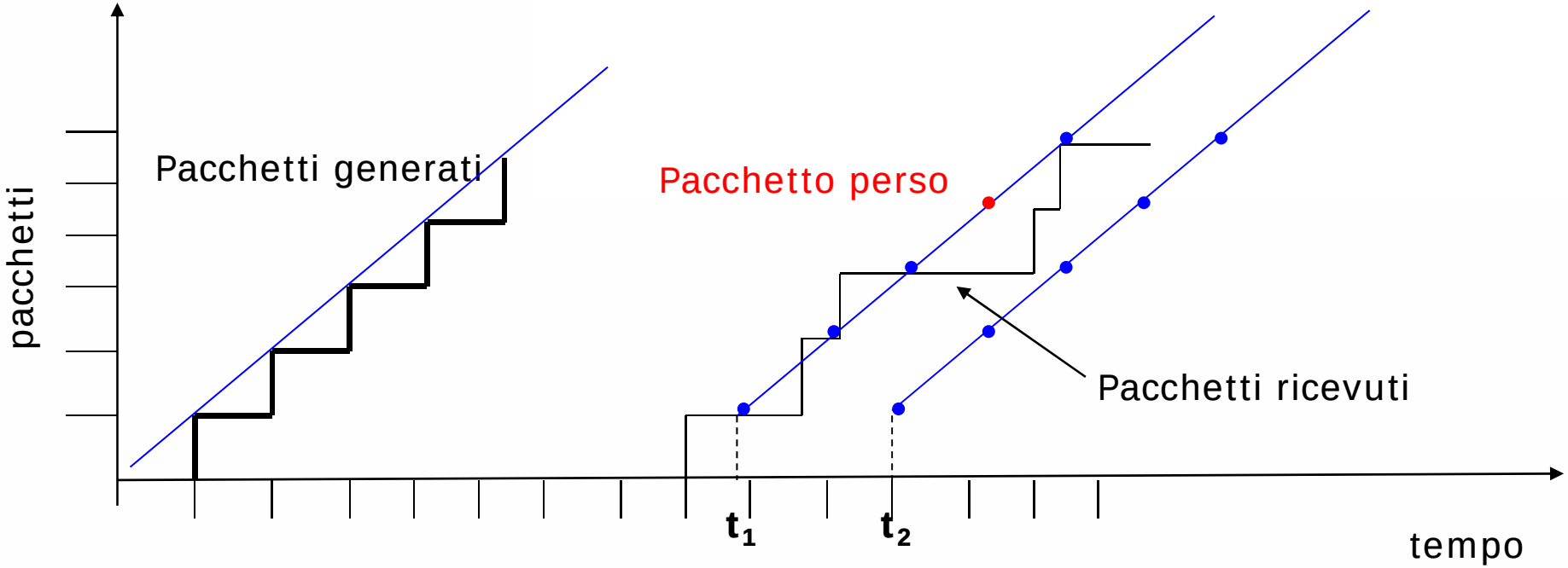
    così che

    OBIETTIVO:

    I campioni del flusso vocale decodificato si presentino al ricevitore con una frequenza costante
  - I pacchetti che arrivano con un ritardo maggiore di quello che il jitter buffer può accomodare vengono scartati, dunque *incrementano la packet loss*
  - Q. Dove risulta significativo misurare la packet loss?
  - R. In corrispondenza alla sezione tra il jitter buffer ed il decodificatore

Continua …

- Obiettivo è garantire una packet loss rate modesta, e pertanto il ritardo di un jitter buffer statico è pari alla massima variazione di ritardo che si *prevede* sulla rete
  - ✓ Esperienze con reti VoIP private e reti di accesso via DSL evidenziano che il jitter tende ad essere modesto, qualche decina di ms



- Spesso i jitter buffer sono di natura adattativa e modificano la profondità del ritardo di playout dinamicamente, sulla base del livello corrente di jitter o del valore corrente di packet discard rate
  - Tali parametri devono essere stimati lato ricezione, attraverso opportuni algoritmi
  - Si appoggiano sul timestamp dei pacchetti e
  - sul loro numero di sequenza

DELAY BUDGET

- Ipotesi:
  - Stima indicativa del delay jitter di 60 ms
  - Codec G.729 @8 Kbit/s

29 ms per rete nazionale
Ma 100 ms in Asia/regioni del Pacifico/Nord America

Sorgente di ritardo	***Budget (ms)***
Acquisizione del campione vocale da parte del dispositivo	*0.1*
Ritardo di encoding (algoritmico+processing)	*17.5*
Ritardo di pacchettizzazione/depacchettizzazione	*20*
Spostamento sull'output queue => ritardo di output	*0.5*
Ritardo di accesso sul link di trasmissione in ingresso	*10*
Ritardo di propagazione sulla rete di backbone	*X (???)*
Ritardo sul link di uscita	*10*
Coda di ingresso all'applicazione	*0.5*
Jitter buffer	*60*
Ritardo di processing del decoder	*2*
Ritardo di playout del dispositivo	*0.5*
Totale	***121.1*** + *X*

PUNTO DELLA SITUAZIONE

- Discusso di

  - ✓ *Packet loss*
    - *– e relative tecniche di error concealment*
  - ✓ *Ritardo*
    - *– Jitter*
      - *» Playout buffer*

  - ✓ *Eco …*

L'ECO

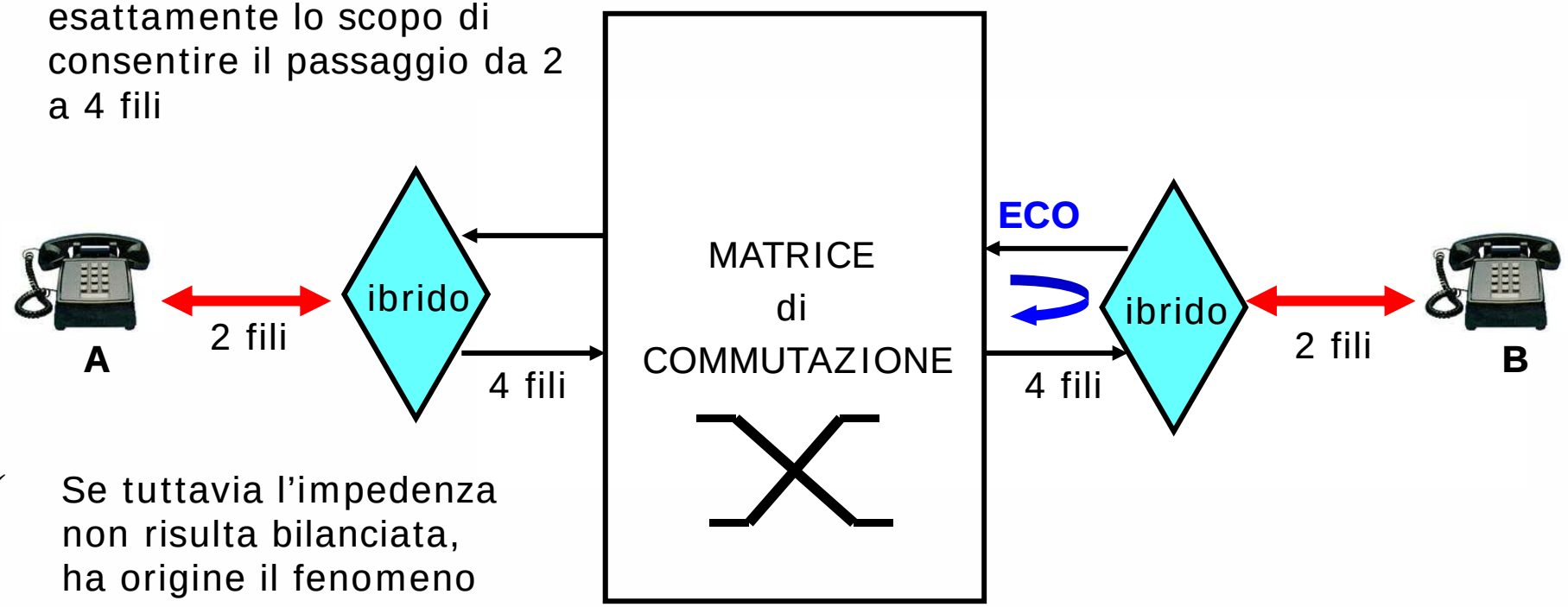
- L'**eco** è un fenomeno che in una conversazione telefonica può risultare non solo fastidioso, ma in alcune circostanze ledere addirittura l'intelleggibilità della conversazione
  - Udire la propria voce ritardata e sovrapposta al parlato dell'altro interlocutore arreca disturbo alla cadenza della conversazione
  - Tecnicamente si tratta di una *retroazione sonora positiva*

- *In una rete a commutazione di circuito di tipo tradizionale* l'eco è normalmente provocato da un errore di adattamento dovuto alla conversione da due a quattro fili, necessaria per amplificare i segnali
  - ✓ In tal caso, se il segnale riflesso ritorna al chiamante dopo una qualche decina di ms, viene percepito come un eco distinto
    - 25 ms di eco sono deleteri …

Inoltre, all'aumentare del ritardo associato alla connessione, il livello di eco tollerabile diminuisce

SINGOLA COMUNICAZIONE

- ✓ I commutatori ibridi presenti in questo schema hanno esattamente lo scopo di consentire il passaggio da 2 a 4 fili



- ✓ Se tuttavia l'impedenza non risulta bilanciata, ha origine il fenomeno dell'***ECO***
- ✓ *L'eco rappresentato può distorcere significativamente il segnale che **A** riceve*

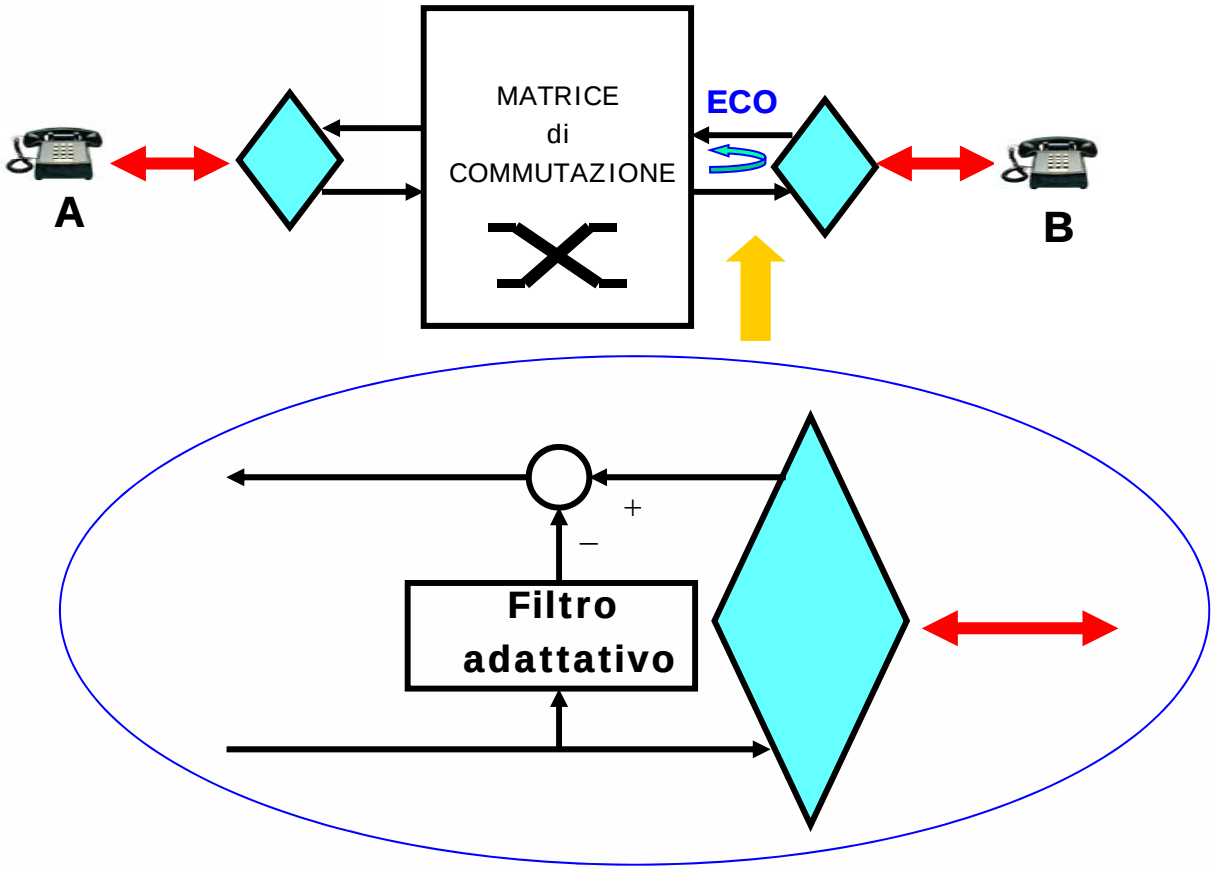
COME CONFINARE L'ECO?

- Passivamente
  - Innanzitutto si impiega negli ibridi un valore di impedenza di compromesso, che garantisce un segnale riflesso di parecchi dB inferiore rispetto al segnale di input
    - ✓ 11 dB negli USA

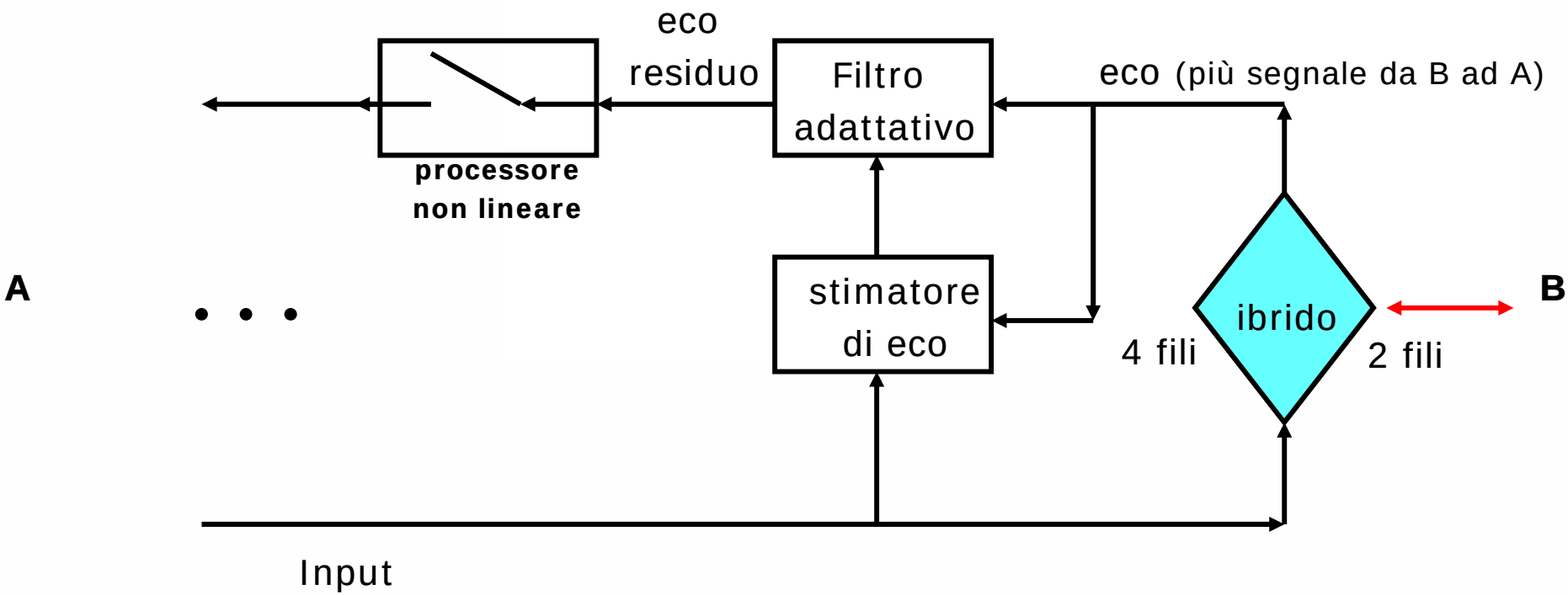
- Attivamente:
  - ***Soppressore d'eco***
    - ✓ È concettualmente uno switch, che disconnette o introduce una perdita di trasmissione molto elevata nel path di ritorno ogniqualvolta su quel percorso un meccanismo di decisione conduce a concludere che il segnale presente sul percorso è eco
    - ✓ Errori lasciano in talune occasioni passare l'eco e in altre tagliano la voce …
  - ***Cancellatore d'eco***

CANCELLATORE D'ECO: schema a blocchi

- L'idea è quella di generare una replica sintetica dell'eco e di sottrarla dal segnale di ritorno diretto ad **A**
  - Si elimina l'eco senza interruzione del parlato di **B**



IN DETTAGLIO



- Storicamente i primi cancellatori d'eco furono pensati per la *telefonia satellitare*
  - l'avvento della fibra ottica ha rimosso il problema connesso agli elevatissimi ritardi di propagazione del segnale via satellite

- Il problema si è tuttavia riproposto nella *telefonia wireless*: qui l'aumentato ritardo è da ascrivere al ritardo di codifica

PROBLEMI SPECIFICI con il VoIP

- Se nella *telefonia VoIP* ci si interfaccia, per alcune tratte, alla rete telefonica, il problema dell'eco ricompare, in quanto
  1. l'impiego del VoIP sottintende, come ben sappiamo, dei ritardi che possono essere anche significativi
     - L'eco risulta maggiormente fastidioso al crescere dei ritardi …
  2. compare inoltre il fenomeno di inizio d'eco e
  3. l'eco di natura ambientale

2. INIZIO D'ECO

- Il processo di front-end realizzato con il filtro adattativo necessita di un certo intervallo di tempo per operare
- mentre il filtro converge sull'eco, una frazione di energia residua dell'eco

  può essere anche significativa!!

  sfugge inevitabilmente al cancellatore e ritorna al parlante
- La durata di tale periodo d'eco, detto ***fenomeno di inizio di eco***, *sperimentato sulle prime parole della conversazione*, è una funzione complessa
  - dell'Echo Return Loss (ERL) della specifica connessione in esame
  - del progetto del filtro adattativo
  - della soglia impiegata nel secondo stadio, ovvero nel processore non lineare, che da un punto di vista funzionale blocca l'energia residua dell'eco aprendo il circuito di ritorno

Di nuovo, la sensibilità a tale tipo di eco aumenta all'aumentare del ritardo associato alla connessione

2. INIZIO D'ECO - continua

- Nelle tradizionali conversazioni telefoniche su rete PSTN il ritardo di convergenza del filtro non è problematico

- L'introduzione del ritardo dovuto alla presenza di uno o più link VoIP tuttavia,
  - pur non causando alcun rallentamento ulteriore nel funzionamento del cancellatore di eco,
  - Fa sì che il *fenomeno di inizio d'eco* venga udito
    - ✓ senza il ritardo dovuto al VoIP tale disturbo sarebbe sotto la soglia di udibilità/fastidio dell'utilizzatore …

3. ECO AMBIENTALE

- lo speaker parla al microfono e tale segnale, amplificato, viene catturato anche dalle cuffie di ricezione che lo ripropongono con un ritardo fastidioso agli altoparlanti del parlante
  - Occorre prevederne la cancellazione

IN GENERALE …

- Il campo di azione del cancellatore è limitato al tempo di attesa del segnale riflesso
  - Se si configura un livello modesto di cancellazione d'eco, il chiamante potrà udire l'eco della sua conversazione
  - Se si configura una cancellazione d'eco in eccesso, il cancellatore necessiterà di più tempo per convergere ed eliminare l'eco
- l'aumento del range di operatività va di pari passo con una capacità computazionale maggiore
  - maggior costo …

SOLUZIONE

- Progettare cancellatori di eco
  - Con una velocità di convergenza sempre più elevata, dunque
    - ✓ progetto di filtri adattativi più veloci
    - ✓ Abbassamento della soglia del cancellatore che regola l'operatività del suo processore nonlineare

    Oppure
    - ✓ far funzionare il cancellatore di eco come un soppressore di eco all'inizio della chiamata, dove l'eco è maggiormente problematico, per poi commutare sulla cancellazione quando è trascorso un tempo sufficiente a garantire al filtro adattativo la costruzione di un controllo d'eco adeguato

ALCUNI VALORI NUMERICI

- **Per il VoIP in particolare,**
  - il cancellatore d'eco viene tipicamente realizzato nel *DSP* dei codec VoIP, dunque
    - ✓ nei router/gateway VoIP oppure
    - ✓ nei telefoni VoIP
  - *Valori tipici di configurazione per il VoIP*: 16-24-32 ms

LINEE GUIDA per il PROGETTO dei CODEC

- Numerosi sviluppatori si sono concentrati sulla progettazione di vocoders che consumino sempre meno banda
- Direzione corretta?
  - La maggior parte delle applicazioni VoIP viaggia su Internet, dove la maggior parte degli utenti ha una connessione di almeno 56 kbit/s …
  - Sì, se
    - ✓ L'obiettivo è consentire agli utenti di impiegare in modo concorrente altre applicazioni, più intensive sotto il profilo del consumo di banda
  - Ma tipicamente, su una rete aziendale, persino i 64 kbit/s al secondo del PCM possono essere una richiesta minimale, se l'utente ha a disposizione linee a diverse migliaia di kbit/s
- È forse più opportuno spostare il focus
  - sulla QUALITÀ, a scapito della banda necessaria per la trasmissione del segnale vocale
  - Sulla CAPACITÀ del codec di gestire pacchetti fuori sequenza e perdite di pacchetti

In FUTURO …

- I codec potrebbero essere progettati con l'obiettivo di consentire il trasporto di segnali audio stereo ad alta fedeltà
  - Applicazione potenziale:
    ascoltare via VoIP musica in formato MP3, consumando solo 128 kbit/s …

QoS e VoIP

- Prima di discutere di qualità di servizio, è opportuno chiedersi:

- La QoS è veramente necessaria?
  - Alcuni ritengono che il modo per garantire buone prestazioni su reti IP è attraverso l'OVERPROVISIONING, piuttosto che attraverso complicati protocolli di QoS
    - ✓ Se un link non è mai impegnato per più del 30% del tempo, questi protocolli non sono necessari

Ma …

- L'eccesso di capacità di rete è meno costoso che implementare la Qualità di Servizio?
  - In taluni casi i link di accesso sono costosi
    - ✓ Esempio: I link wireless
    - ✓ la QoS può risultare utile anche se la core network risulta scarica
    - ✓ è fondamentale per le chiamate da telefoni IP wireless
    - ✓ Ulteriore esempio: impiego di linee numeriche dedicate, ma "leased" da un gestore
      - – Più banda si noleggia, più si paga …

IntServ

- Concetto:
  - Prenotare risorse all'interno della rete per ciascun flusso

- RSVP è stato originariamente pensato per essere il protocollo di prenotazione
  - ✓ Consegna le richieste dell'applicazione a ciascun router lungo il percorso
  - ✓ Flow Specs
    - T(raffic)spec: descrive il flusso
    - R(equest)spec: descrive la richiesta di servizio del flusso che si conforma alle specifiche Tspec

- IntServ consente di scegliere tra

1. Guaranteed Service

- Prevede un policing del traffico con un modello leaky-bucket che controlla il traffico medio
  - ✓ Il traffico di picco è limitato da un parametro della frequenza di picco p e da un intervallo T
    - In un qualsiasi intervalllo T non vengono trasmessi più di p*T byte
  - ✓ La dimensione del pacchetto deve ricadere nell'intervallo [m,M]
    - Pacchetti di dimensioni maggiori vengono scartati
  - ✓ Su ogni "hop" viene prenotata banda a sufficienza per soddisfare le richieste del flusso
- *Pensato per applicazioni real-time di tipo interattivo*

2. **Controlled-Load Service**

- I flussi che impiegano tale servizio dovrebbero sperimentare le medesime prestazioni che in una rete “best effort” e “lightly loaded”
- Appropriato
  - ✓ per controllo d’ammissione delle chiamate
  - ✓ Per prevenire ritardi e perdite di pacchetto che penalizzano il traffico real-time quando la rete è congestionata

IntServ e VoIP

- Diverse ragioni per non impiegare IntServ con RSVP per la telefonia IP
  - l'elevato numero di chiamate che un provider di telefonia IP deve gestire metterebbe sotto stress un sistema IntServ RSVP
    - ✓ Il codice dei router RSVP non è stato progettato per supportare molte migliaia di connessioni simultanee per router
    - ✓ La banda richiesta dalla voce è modesta, ed il traffico di controllo RSVP rappresenterebbe una percentuale significativa del totale

DiffServ e VoIP

- Vantaggio di DiffServ
  - Relativamente semplice
  - Garantisce ad applicazioni come il VoIP un miglioramento delle prestazioni rispetto alle reti IP “best-effort”

Tuttavia:

- In caso di congestione, DiffServ non esegue accodamento di pacchetti o rerouting
- DiffServ non prevede un controllo d’ammissione topology-aware
- Il DiffServ Working Group di IETF non ha raccomandato un meccanismo per rifiutare chiamate VoIP che, se accettate, degraderebbero la qualità delle chiamate già in corso

APPENDICE - APPROFONDIMENTO

- Viste in precedenza alcune tecniche di error concealment per i pacchetti perduti durante l'attraversamento della rete
- Pacchetti perduti a causa di:
  - Congestione
  - *Errori di natura trasmissiva* (contesto wireless)

- Possibile approccio alternativo in questo secondo caso
  - Consegnare comunque i pacchetti, anche se corrotti
    - ✓ Per talune applicazioni è meglio che non consegnare nulla!
    - ✓ Diversi codec audio e video obbediscono a tale filosofia
      - – AMR speech codec
      - – H.263+, H.264, MPEG-4 video codec

COME?

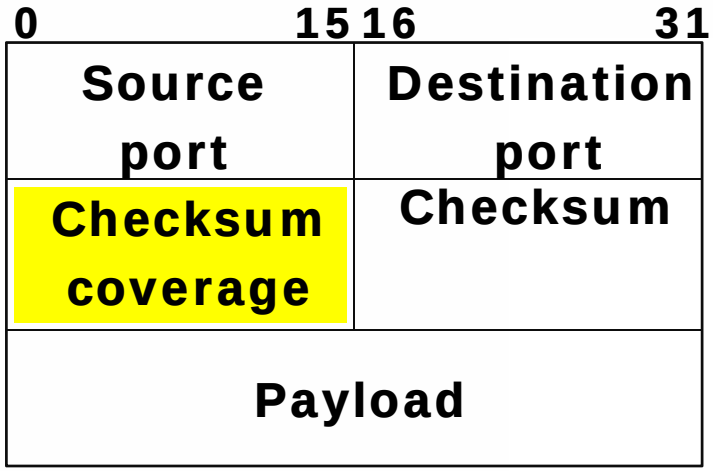
- Disabilitando il checksum di UDP
  - Impossibile su talune piattaforme
  - possibile, ma globalmente, e non su base singolo stream, su altre

  oppure

- Impiegando a livello trasporto **UDP-Lite**

UDP-Lite *RFC 3828*

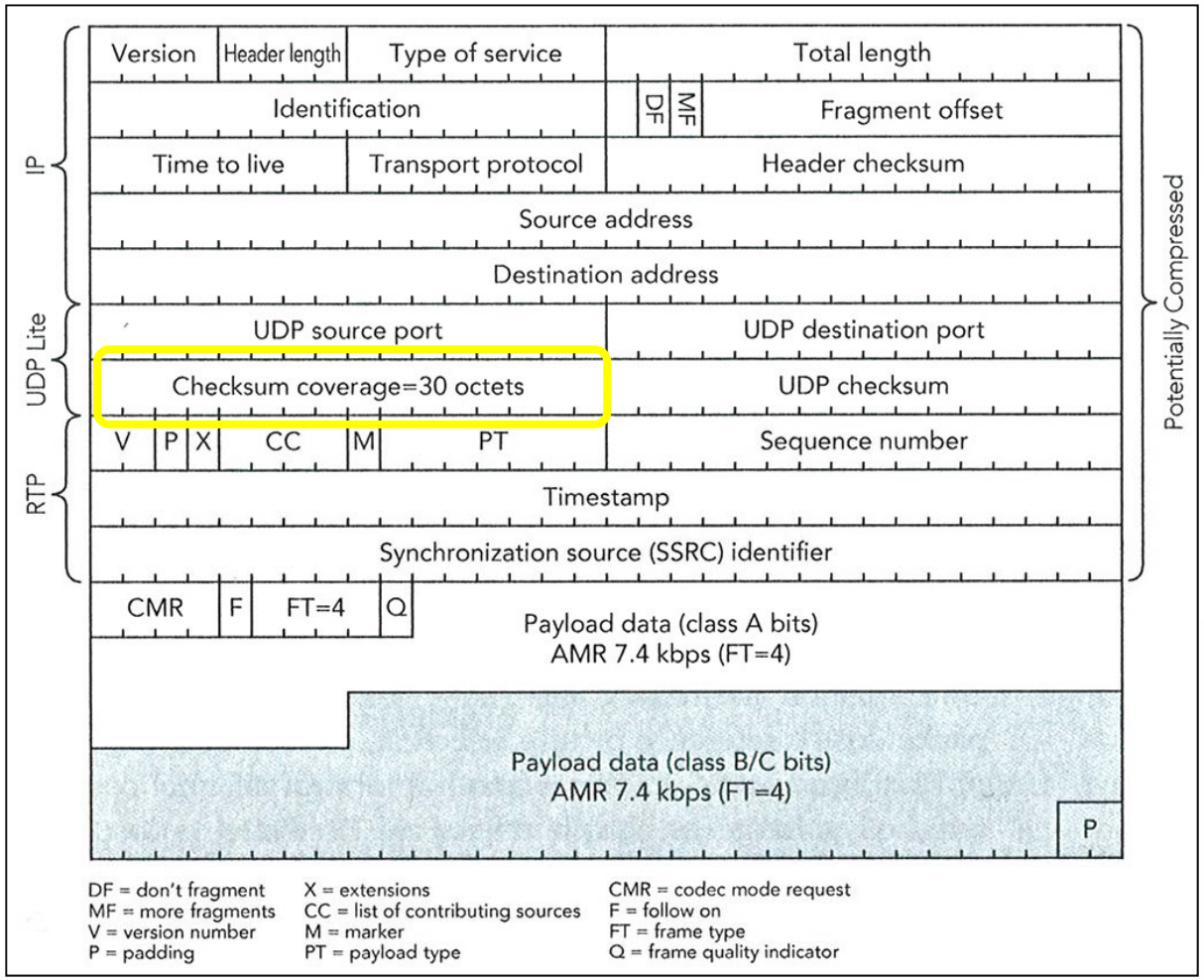
- Formato di header



- Il campo checksum coverage di UDP viene sostituito dal campo length di UDP
- Consente di discriminare quali byte protegge il checksum
  - ✓ Solo header (caso limite)
  - ✓ Header più una porzione di payload
  - ✓ Intero pacchetto (come UDP)

- Il destinatario
  - scarta i pacchetti in cui l'header - o altre porzioni salienti – sono stati corrotti, ma
  - impiega quelli che contengono degli errori solo nella porzione di payload non rilevante

UN ESEMPIO DI UTILIZZO



Riferimento al ***codec audio AMR***, impiegato nei sistemi 3G

1. Bit di classe A protetti
2. Bit di classe B e C non protetti

A latere, il codec AMR supporta anche

- Interleaving
- Trasmissioni ridondanti

RIFLESSIONE IMPORTANTE

- E gli effetti dei “lower layer” sull’efficacia di UDP-Lite?
  - ***NON*** possono essere trascurati
  - Infatti …

- È necessario dunque un supporto anche dal livello 2 affichè UDP-Lite operi correttamente
  - Il livello 2 *deve scartare frame* che incapsulano pacchetti UDP-Lite se si rilevano *errori nella parte sensibile*, quella compresa tra il primo byte dell’header IP e l’ultimo ottetto identificato dal Coverage field
  - *Non deve scartare frame* contenenti pacchetti UDP-Lite se gli *errori* sono *nella parte non sensibile*
  - Si parla al proposito di **CROSS-LAYER interaction** e di **PARTIAL error detection**
- Ricordiamo che tutte queste considerazioni sull’impiego di UDP-Lite valgono esclusivamente per error-prone network!

ALCUNI QUESITI

- **Q1.** Il checksum parziale offre dei vantaggi in caso di congestione sulla rete attraversata dal flusso audio pacchettizzato?
  - SI
  - NO
- **Q2.** Lo svantaggio insito nella disabilitazione del checksum UDP è
  1) L'utilizzo di pacchetti UDP che contengono dati corrotti
  2) Il packet header può essere corrotto, causando l'inutilizzo o lo scorretto instradamento del pacchetto
  3) La consegna del pacchetto ad un host che non ne è il corretto destinatario
- **Q3.** In UDP-Lite, un campo checksum che contiene il valore 0 indica che
  1) Nessun byte del payload è protetto dal checksum
  2) Solo il payload viene protetto dal checksum
  3) Il checksum protegge header e payload

Continua

- **Q4.** In UDP-Lite, pacchetti che contengono nel campo checksum un valore compreso tra 1 e 7 devono sempre essere scartati dal ricevitore
  - Vero
  - Falso
- **Q5.** In UDP-Lite, l'header viene sempre protetto, indipendentemente dal valore presente nel campo checksum coverage
  - Vero
  - Falso
- **Q6.** UDP-Lite ed i MAC 802.11/802.16 insieme operano correttamente
  - Vero
  - Falso