

Appunti di Fondamenti di Comunicazioni e Internet

Canale 1 · Reti · Prof.ssa Francesca Cuomo

Capitolo 2: Commutazione di circuito e di pacchetto

Autore: Tommaso C.

Appunti tratti dalle lezioni in aula e dal materiale del corso

Argomenti: Il nucleo della rete · Commutazione di circuito · FDM e TDM

Internet come rete di reti: ISP gerarchici · Commutazione di pacchetto ·

Store-and-forward

Multiploazione statistica · Confronto tra circuito e pacchetto · Ritardo end-to-end

Indice

1	Il nucleo della rete	1
1.1	Internet come rete di reti	1
2	Commutazione di circuito	2
2.1	Multiploazione: FDM e TDM	3
3	Commutazione di pacchetto	4
3.1	Buffer, FIFO e store-and-forward	5
3.2	Multiploazione statistica, congestione e perdita	6
3.3	Che cosa arriva a destinazione	6
3.4	La velocità di un utente	7
4	Confronto tra circuito e pacchetto	8
4.1	Quanti utenti su un collegamento	8
4.2	Ritardo di un pacchetto attraverso più nodi	8
5	Esercizi	10
6	Soluzioni	13

1 Il nucleo della rete

Il nucleo è una **rete magliata di router** che interconnette i sistemi terminali. I collegamenti sono per circa il 90% in **fibra ottica**; rame e cavo coassiale sono rarissimi.

- Dove la geografia non consente la fibra si usano tratti wireless, i **ponti radio**, che collegano un router a un altro.
- Tra continenti la comunicazione passa soprattutto sui **cavi sottomarini**, in fibra ottica; l'alternativa è il **satellite**, che copre aree ampie.

Le risorse del nucleo sono **condivise** da moltissimi utenti e devono essere molto veloci. Nell'analogia stradale del Capitolo 1 i collegamenti sono le strade e i router gli incroci: per trasferire l'informazione su queste "autostrade" ci sono due modi.

Definizione – Commutazione di circuito e di pacchetto

- **Commutazione di circuito** (*circuit switching*, CS): per l'intera durata della sessione si riserva un circuito dedicato (esempio: la rete telefonica).
- **Commutazione di pacchetto** (*packet switching*, PS): i messaggi di una sessione usano le risorse su richiesta e possono dover attendere per accedere a un collegamento.

1.1 Internet come rete di reti

Definizione – ISP e gerarchia di Internet

Internet è una **rete di reti**: le reti interconnesse sono gli **Internet Service Provider** (ISP), organizzati **gerarchicamente** in livelli.

- **Livello 1**: grandi ISP con copertura nazionale e internazionale (Verizon, Sprint, AT&T). Sono connessi direttamente fra loro e comunicano **alla pari**.
- **Livello 2**: ISP più piccoli, nazionali o regionali, **clienti** di un ISP di livello 1, che fornisce loro la connettività verso il resto della rete.
- **Livello 3 e locali** (ISP di accesso): le reti dell'**ultimo salto**, le più vicine ai sistemi terminali; sono clienti degli ISP di livello 2.

Ogni ISP ha la propria infrastruttura fisica, fatta di router e collegamenti. Due ISP connessi direttamente si dicono **pari** (*peer*). Gli ISP di livello 2 di norma non sono collegati fra loro: per interconnetterli direttamente serve una struttura apposita, l'**Internet Exchange Point** (IXP).

Un pacchetto parte dall'ISP locale della sorgente, sale all'ISP di livello 2 e a quello di livello 1; può passare a un altro ISP di livello 1, per esempio in un'altra nazione, e poi

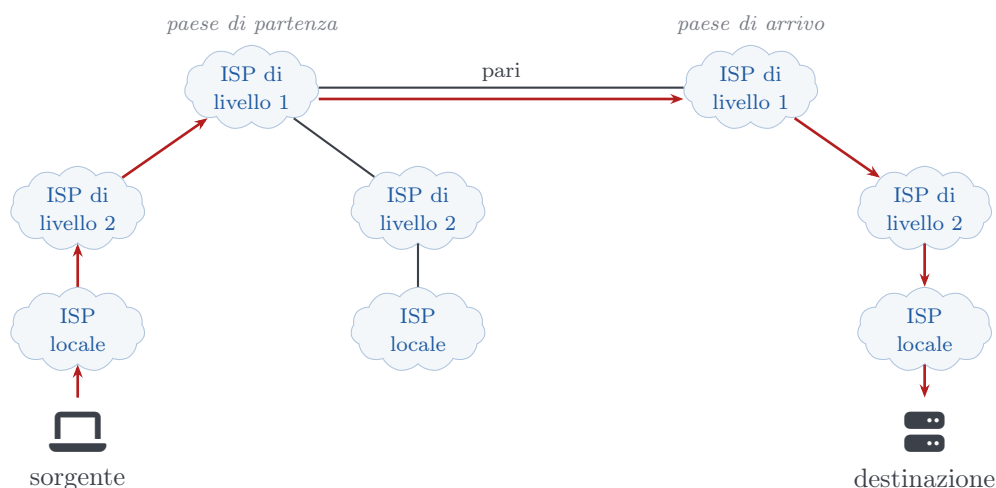


Figura 1: Percorso di un pacchetto nella gerarchia degli ISP: sale fino al livello 1, passa fra ISP di livello 1 pari e scende fino all'ISP locale della destinazione.

scende attraverso i livelli 2 e locale fino alla destinazione (Figura 1). Il percorso cambia con la destinazione. Con tutti e tre i livelli la rete diventa una magliatura strettissima, e un pacchetto può attraversare moltissime reti.

2 Commutazione di circuito

Definizione – Circuito

Nella commutazione di circuito la rete ricava **dinamicamente** e temporaneamente, lungo il percorso tra sorgente e destinazione, una porzione di risorsa riservata alla comunicazione: un **canale** o **circuito**. Le risorse (banda dei collegamenti, capacità dei commutatori) sono **dedicate** alla “chiamata”: non c'è condivisione e le prestazioni sono garantite.

È come ritagliare su un'autostrada una **corsia preferenziale** per ogni comunicazione, casello compreso: tutti condividono l'autostrada, ognuno nella propria corsia. È il modo di funzionare storico della **telefonia**. Una comunicazione ha tre fasi:

1. **instaurazione** (la *chiamata*): si chiede la risorsa alla rete, che verifica se può tracciare la corsia e la assegna;
2. **trasferimento**: si usa il circuito per tutto il tempo che si vuole;
3. **abbattimento**: a fine chiamata la rete cancella la corsia.

Proposizione – Pro e contro della commutazione di circuito

Pro: dall'origine alla destinazione c'è una strada tutta per sé, come un filo dedicato; prestazioni garantite, ritardo di trasferimento basso.

Contro: la risorsa resta impegnata per tutta la durata, anche quando non si trasmette (la corsia per andare a 130 percorsa a 30 all'ora), e nessun altro può usarla. Inoltre il numero di divisioni della risorsa è limitato: efficienza bassa.

2.1 Multiplazione: FDM e TDM

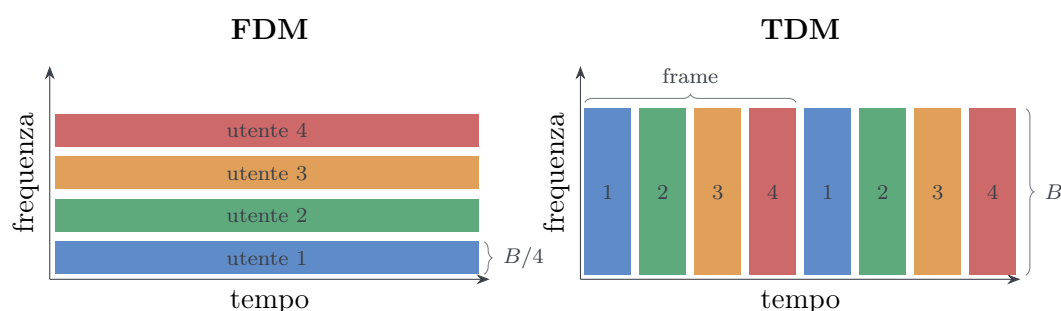
Per ricavare i circuiti si divide la risorsa del canale (fibra, cavo, onda elettromagnetica) in pezzi. Mettere molte comunicazioni sullo stesso mezzo si chiama **multiplazione** (*multiplexing*).

Definizione – FDM

Nel **Frequency Division Multiplexing** (FDM) la banda B del canale è divisa in sotto-bande di frequenza, una per comunicazione. Tutti trasmettono **contemporaneamente**, ciascuno sulla propria frequenza; trasmettitore e ricevitore devono **sintonizzarsi** su quella frequenza. Esempi: la radio e la televisione.

Definizione – TDM

Nel **Time Division Multiplexing** (TDM) ogni utente usa **tutta la banda B** , ma solo per brevi intervalli di tempo, i **time slot**. Gli slot si ripetono ciclicamente (utente 1, 2, 3, 4, poi di nuovo 1, ...): ogni circuito ha lo stesso slot in ogni *frame*. Uno slot dura millisecondi o meno.



Proposizione – Velocità per utente

La velocità è proporzionale alla banda usata (Capitolo 1). Se il canale ha velocità complessiva R (con la banda B) ed è diviso equamente tra N utenti:

$$R_{\text{utente}} = \frac{R}{N}.$$

- **FDM**: ogni utente ha banda B/N per tutto il tempo, quindi velocità R/N .
- **TDM**: ogni utente trasmette a velocità R , ma per $1/N$ del tempo, quindi in media di nuovo R/N .

I due sistemi sono **equivalenti in teoria**.

In figura le quattro strisce FDM hanno la stessa larghezza: frequenze diverse, stessa velocità. Il tempo di trasmissione su un circuito si calcola nell'Esercizio 1; quante comunicazioni entrano in un canale FDM, nell'Esercizio 5.

Osservazione – Perché oggi si preferisce il TDM

- Con le tecnologie di un tempo cambiare utente ogni millisecondo era difficile; con le comunicazioni digitali basta alternare i bit dei vari utenti.
- In FDM una sintonizzazione imprecisa porta interferenza dai canali **vicini**. Si lasciano allora **bande di guardia** tra le strisce, e la banda utile di ciascuno, con la velocità, diminuisce.

I sistemi attuali, per esempio quelli cellulari, **combinano** le due tecniche: una divisione in frequenza con sopra una divisione nel tempo.

3 Commutazione di pacchetto

Definizione – Commutazione di pacchetto

Il flusso di dati è suddiviso in **pacchetti**, piccoli insiemi di bit, che condividono le risorse di rete **senza canalizzazione a priori**:

- ciascun pacchetto usa **completamente** il canale mentre viene trasmesso;
- le risorse sono usate a seconda delle necessità (**multiplazione statistica**);
- l'unico vincolo è che due pacchetti non occupino lo stesso collegamento nello stesso istante;
- i nodi si attraversano in modalità **store-and-forward**.

I pacchetti sono macchine su un'autostrada senza corsie preferenziali. Ora anche l'incrocio (il router) è condiviso: per gestirlo si mette un **semaforo**, e davanti al semaforo si forma la **coda**.

3.1 Buffer, FIFO e store-and-forward

Definizione – Buffer e FIFO

In ogni nodo i pacchetti in attesa di attraversare l'incrocio sono messi in una coda, il **buffer**. La disciplina tipica è **FIFO** (*first in, first out*): il primo pacchetto arrivato è il primo a essere inoltrato sul collegamento in uscita.

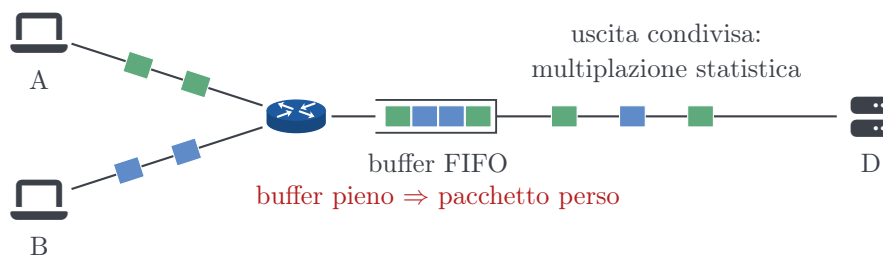
Definizione – Store-and-forward

Nella modalità **store-and-forward** il commutatore deve **ricevere e memorizzare l'intero pacchetto** (*store*) prima di poter cominciare a trasmetterlo sul collegamento in uscita (*forward*).

Proposizione – Tempo di trasmissione di un pacchetto

Ogni pacchetto è trasmesso alla velocità del collegamento. Un pacchetto di L bit su un collegamento a R bps richiede

$$t = \frac{L}{R} \text{ secondi.}$$



I pacchetti di A e di B si accodano nel buffer del router e vengono inoltrati sullo stesso collegamento nell'ordine di arrivo, senza uno schema prefissato.

3.2 Multiplazione statistica, congestione e perdita

Definizione – Multiplazione statistica

La **multiplazione statistica** è la condivisione dinamica, su richiesta, di un collegamento tra più flussi: la sequenza dei pacchetti dei vari utenti non segue uno schema prefissato. Nel TDM, invece, ogni host ha uno slot dedicato unicamente alla sua connessione.

Se viaggiano poche macchine vanno veloci; se sono tante vanno tutte un po' più lente. La 500 a 30 all'ora e la Ferrari a 150 viaggiano insieme, ciascuna alla propria velocità.

Definizione – Congestione e perdita

- C'è **congestione** quando la richiesta di risorse supera la quantità disponibile: i pacchetti si accodano e aspettano di usare il collegamento.
- Il buffer ha **dimensione finita**: un pacchetto che arriva a buffer pieno viene scartato, cioè va **perso**.

Quando nascono le contese per il collegamento condiviso è l'argomento dell'Esercizio 6.

Proposizione – Guadagni e perdite

Guadagno: non si riservano risorse a priori, quindi sono usate meglio (efficienza maggiore). Non serve instaurare la chiamata.

Perdita: il **tempo**. A ogni incrocio c'è un ritardo di attraversamento che dipende dal traffico e non si conosce a priori.

3.3 Che cosa arriva a destinazione

Un utente trasmette un "treno" di 10 pacchetti, uno dietro l'altro. A ogni nodo i pacchetti incontrano code e traffico diversi, e pacchetti dello stesso flusso possono seguire **strade diverse**. A destinazione si possono verificare tre fenomeni (Figura 2):

1. **disallineamento temporale**: partiti attaccati, arrivano distanziati in modo irregolare, perché le attese ai nodi variano;
2. **perdita di pacchetti**: alcuni non arrivano (buffer pieni);
3. **inversione dell'ordine**: un pacchetto partito terzo può arrivare prima del secondo.



Figura 2: Un treno di 10 pacchetti numerati alla partenza e all'arrivo.

Osservazione – Come rimediare

- **Ordine:** il numero d'ordine del pacchetto, scritto nell'**intestazione** (*header*), permette di riordinare.
- **Perdita:** la stessa numerazione rivela i pacchetti mancanti, che si **richiedono di nuovo** (ritrasmissione).
- **Disallineamento:** per un file non conta. Per lo **streaming video**, che richiede quadri a cadenza fissa, sì: si inizia la riproduzione **in ritardo**, accumulando prima un po' di pacchetti. Il ritardo è tollerabile per alcune applicazioni e non per altre.

Il protocollo **IP**, che lavora a pacchetto, non risolve nessuno dei tre problemi, perché vuole essere essenziale. Il **TCP** riordina i pacchetti e ritrasmette quelli persi.

3.4 La velocità di un utente

Ogni pacchetto viaggia alla velocità della linea: su un collegamento a R bps è trasmesso a R bps. La velocità complessiva di un *utente*, cioè del proprietario di un insieme di pacchetti, dipende invece dal tempo passato in coda a ogni tratto, quindi dal **traffico**. A differenza del circuito non si calcola in anticipo:

- si **misura a posteriori**, dal tempo impiegato dai pacchetti tra partenza e arrivo;
- si **stima** dallo storico del traffico, come le previsioni di un navigatore per un viaggio in auto.

4 Confronto tra circuito e pacchetto

4.1 Quanti utenti su un collegamento

Proposizione – Quando conviene il pacchetto

La commutazione di pacchetto serve **molti più utenti** di quella di circuito quando il traffico è **a burst**: utenti che trasmettono a ritmo variabile, con un massimo ma una media bassa. Il prezzo è il ritardo complessivo. Per questo Internet l'ha preferita al circuito.

C'è anche un motivo di struttura (Sezione 1.1): riservare in anticipo un circuito attraverso tante reti eterogenee, grandi e piccole, di paesi e operatori diversi, è molto complicato. Il pacchetto è più agile e più semplice da realizzare.

Su un collegamento da 1 Mbit/s, con utenti da 100 kbit/s attivi il 10% del tempo, il circuito serve 10 utenti; il pacchetto ne regge 35 con probabilità circa 0,0004 di congestione (Esercizio 2). Con utenti attivi metà del tempo il vantaggio scompare (Esercizio 3). Per una sorgente a ritmo variabile, media, picco e numero di sorgenti con risorse riservate sul picco si calcolano nell'Esercizio 7.

In caso di congestione eccessiva (ritardi, perdite, disallineamenti) servono protocolli di recupero, altrimenti la rete è efficiente ma non fornisce un servizio utile: su IP si è introdotto il TCP.

Osservazione – Emulare un circuito su una rete a pacchetto

Alcune applicazioni (per esempio un'operazione chirurgica a distanza) non tollerano ritardi variabili né il ritardo iniziale dello streaming. Su una rete ormai nativa a pacchetto si può imitare il circuito: l'operatore offre un **servizio di qualità**, a pagamento, e i pacchetti di quell'utente ricevono **priorità altissima**, passando davanti a tutti a ogni nodo.

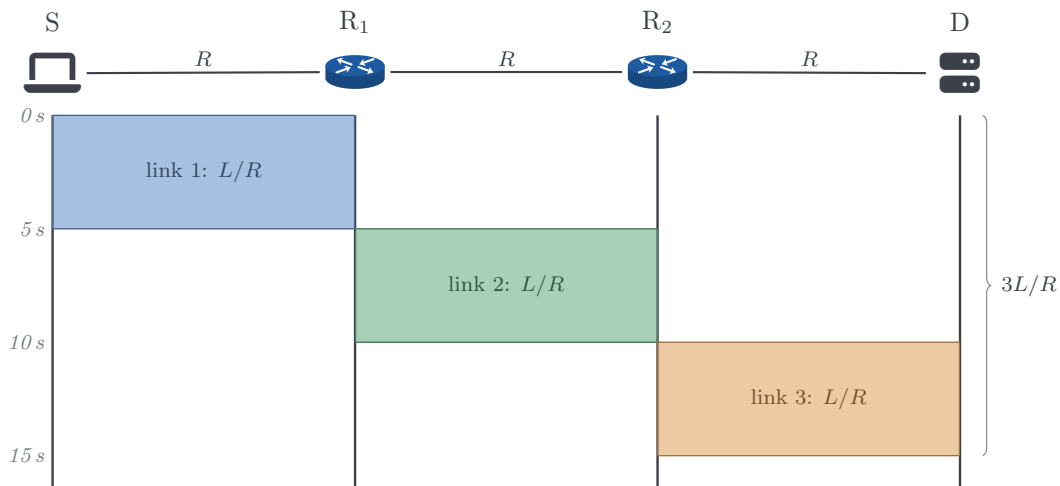
4.2 Ritardo di un pacchetto attraverso più nodi

Proposizione – Ritardo end-to-end con store-and-forward

Un solo pacchetto di L bit attraversa N collegamenti a velocità R (quindi $N - 1$ nodi), senza altro traffico, con un tempo di permanenza t_{nodo} in ciascun nodo:

$$T_{\text{PS}} = N \frac{L}{R} + (N - 1) t_{\text{nodo}}.$$

Se il tempo nei nodi e la propagazione sono trascurabili, $T_{\text{PS}} = NL/R$.



Con due router e tre collegamenti, e tempo nei nodi nullo, ogni router inizia a trasmettere solo dopo aver ricevuto tutto il pacchetto: il totale è $3L/R$. Con una permanenza nei nodi si ottiene l'Esercizio 4.

Osservazione – Da che cosa dipende il ritardo

- **Più nodi:** il ritardo cresce, perché ogni nodo in più aggiunge un termine L/R e una permanenza nel nodo.
- **Linee più veloci** ($R' \gg R$): il ritardo diminuisce, perché R sta al denominatore.
- **Più traffico:** L e R non cambiano, ma cresce il tempo di permanenza nei nodi (le code), quindi il ritardo peggiora.

Proposizione – Lo stesso pacchetto su un circuito

A parità di situazione (un solo utente, un solo pacchetto), sul circuito non c'è store-and-forward: è come stendere un unico filo a velocità R da sorgente a destinazione. Spariscono la permanenza nei nodi e il fattore N , ma si aggiunge l'instaurazione del circuito:

$$T_{CS} = t_{\text{setup}} + \frac{L}{R}.$$

L è sempre la quantità di bit da inviare, non una lunghezza del canale.

Riepilogo

- **Rete di reti:** ISP di livello 1 (alla pari), 2 e locali, ciascuno cliente del livello superiore; un pacchetto sale fino al livello 1 e poi scende.
- **Circuito:** risorsa dedicata, instaurazione, trasferimento, abbattimento; FDM e TDM danno R/N per utente.
- **Pacchetto:** store-and-forward, buffer FIFO, moltiplicazione statistica; $t = L/R$ per collegamento; ritardi variabili, perdite, disordine.
- **Ritardi:** $T_{PS} = NL/R + (N - 1)t_{nodo}$, $T_{CS} = t_{setup} + L/R$.
- **Quando conviene il pacchetto:** traffico a burst e interconnessione di molte reti eterogenee.

5 Esercizi

Esercizio 1 – File su un circuito TDM

Quanto tempo occorre per inviare un file di 640 000 bit dall'host A all'host B su una rete a commutazione di circuito? Tutti i collegamenti hanno bit rate 2,048 Mbit/s e usano TDM con 32 slot; servono 500 ms per stabilire il circuito punto-punto.

Soluzione a pagina 13 →

Esercizio 2 – Utenti su un collegamento, circuito e pacchetto

Un collegamento da 1 Mbit/s è condiviso da utenti che, quando sono attivi, generano dati a 100 kbit/s, e sono attivi solo per il 10% del tempo (altrimenti trasmettono a zero). Quanti utenti si possono servire con la commutazione di circuito? Con quella di pacchetto e 35 utenti, qual è la probabilità di congestione?

Soluzione a pagina 13 →

Esercizio 3 – Utenti attivi al 50%

Ripetere il calcolo dell'Esercizio 2 con $N = 35$ e probabilità di attività $p = 0,5$ invece di 0,1. Come cambia la probabilità di avere più di 10 utenti attivi?

Soluzione a pagina 14 →

Esercizio 4 – Singolo pacchetto attraverso due nodi

Un pacchetto di $L = 7,5 \text{ Mbit}$ attraversa tre collegamenti a $R = 1,5 \text{ Mbit/s}$ e due router in modalità store-and-forward, ciascuno attraversato in $t_{\text{nodo}} = 15 \text{ s}$ (fisso, perché non c'è altro traffico). Quanto vale il ritardo totale?

Soluzione a pagina 14 →

Esercizio 5 – Appelli del 12/01/2023, domanda 10, e del 08/02/2023, domanda 2, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo

Avendo un canale in banda traslata di dimensione 40 MHz:

- a. con una moltiplicazione FDM si possono teoricamente moltiplicare fino a 10 comunicazioni digitali con occupazione di banda 2 MHz ognuna;
- b. si può avere sempre solo una singola comunicazione digitale per volta di banda 20 MHz;
- c. con una moltiplicazione FDM si possono teoricamente moltiplicare fino a 20 comunicazioni digitali con occupazione di banda 2 MHz ognuna;
- d. si può avere sempre solo una singola comunicazione digitale per volta di banda 40 MHz.

Soluzione a pagina 14 →

Esercizio 6 – Appello del 08/02/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, domanda 9

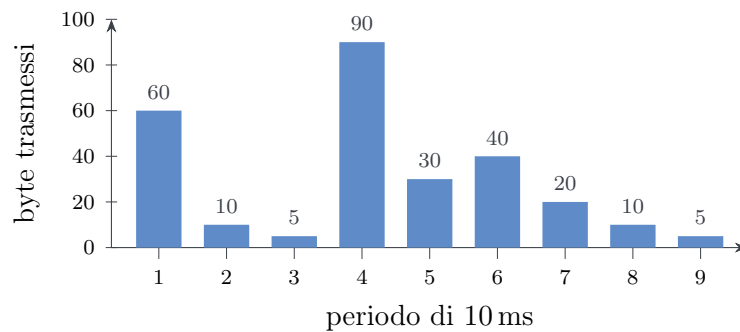
Con riferimento all'operazione di moltiplicazione dinamica di Unità Informative (UI) su un canale condiviso:

- a. non si verificano mai contese di utilizzazione;
- b. si possono verificare contese di utilizzazione quando il canale moltiplicato è impegnato e quindi non disponibile per il trasferimento immediato di una UI;
- c. le contese di utilizzazione si possono verificare solo se i buffer di moltiplicazione non sono adeguatamente dimensionati.

Soluzione a pagina 15 →

Esercizio 7 – Appello del 13/07/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, esercizio, adattato

Si consideri una sorgente informativa a ritmo binario variabile (VBR) che trasmette, in periodi di 10 ms l'uno, il numero di byte riportato nel grafico (9 periodi consecutivi, 90 ms in tutto).



La sorgente deve essere trasferita su una linea a 6 Mbit/s.

1. Calcolare il bit rate medio e di picco della sorgente.
2. Determinare il numero massimo di sorgenti di questo tipo che si possono moltiplicare sulla linea con un criterio di moltiplicazione su base banda di picco.

Soluzione a pagina 15 →

6 Soluzioni

Soluzione dell'Esercizio 1 – File su un circuito TDM

La linea è divisa in 32 slot, quindi ogni circuito ha

$$R_{\text{circ}} = \frac{2048 \text{ kbit/s}}{32} = 64 \text{ kbit/s} = 64\,000 \text{ bit/s}.$$

Verifica: $64 \times 32 = 2048$. Dividere per 32, un numero puro, lascia invariata l'unità.

Tempo di trasmissione del file:

$$t_{\text{trasm}} = \frac{640\,000 \text{ bit}}{64\,000 \text{ bit/s}} = 10 \text{ s}.$$

Scrivere le unità conferma che si sta calcolando un tempo: bit diviso bit/s dà s.

Tempo totale, con l'instaurazione del circuito ($500 \text{ ms} = 0,5 \text{ s}$), che si paga una volta sola, all'inizio:

$$t_{\text{tot}} = t_{\text{setup}} + t_{\text{trasm}} = 0,5 \text{ s} + 10 \text{ s} = \boxed{10,5 \text{ s}}.$$

← *Torna all'Esercizio 1, pagina 10*

Soluzione dell'Esercizio 2 – Utenti su un collegamento, circuito e pacchetto

Circuito. A ogni utente va riservata una corsia da 100 kbit/s in ogni istante, che trasmetta o no:

$$N_{\text{CS}} = \frac{1 \text{ Mbit/s}}{100 \text{ kbit/s}} = \frac{1000 \text{ kbit/s}}{100 \text{ kbit/s}} = 10 \text{ utenti}.$$

Pacchetto. A priori il numero non è fissato: si sceglie una soglia di congestione e se ne calcola la probabilità. Il collegamento regge fino a 10 utenti attivi insieme; c'è congestione se ne sono attivi **più di 10**. Con $N = 35$ utenti indipendenti, ognuno attivo con probabilità $p = 0,1$, il numero X di utenti attivi segue la **binomiale**:

$$P(X = k) = \binom{35}{k} p^k (1 - p)^{35-k},$$

$$P(X > 10) = \sum_{k=11}^{35} \binom{35}{k} (0,1)^k (0,9)^{35-k} \approx 0,0004.$$

Più precisamente $4,24 \cdot 10^{-4}$; il numero medio di utenti attivi è $Np = 3,5$.

Con 35 utenti, più del triplo dei 10 del circuito, la congestione si verifica solo con probabilità circa 0,0004: quasi sempre il traffico entrante è $\leq 1 \text{ Mbit/s}$ e i pacchetti passano come in un circuito.

← *Torna all'Esercizio 2, pagina 10*

Soluzione dell'Esercizio 3 – Utenti attivi al 50%

$$P(X > 10) = \sum_{k=11}^{35} \binom{35}{k} (0,5)^{35} \approx 0,992.$$

Ora la media è $Np = 17,5 > 10$: la congestione diventa quasi certa. La moltiplicazione statistica conviene perché gli utenti sono attivi **poco**; con utenti quasi sempre attivi il vantaggio scompare.

[← Torna all'Esercizio 3, pagina 10](#)

Soluzione dell'Esercizio 4 – Singolo pacchetto attraverso due nodi

Trasmissione su un collegamento:

$$\frac{L}{R} = \frac{7,5 \text{ Mbit}}{1,5 \text{ Mbit/s}} = 5 \text{ s.}$$

Il pacchetto viene trasmesso su tre collegamenti e attraversa due nodi:

$$T = 3 \cdot 5 \text{ s} + 2 \cdot 15 \text{ s} = 15 \text{ s} + 30 \text{ s} = \boxed{45 \text{ s}}.$$

[← Torna all'Esercizio 4, pagina 11](#)

Soluzione dell'Esercizio 5 – Appelli del 12/01/2023, domanda 10, e del 08/02/2023, domanda 2, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo

Conta solo la **larghezza** della banda, non dove si trova sull'asse delle frequenze: che sia traslata, cioè lontana dallo zero, non cambia nulla. L'FDM divide i $B = 40 \text{ MHz}$ in sotto-bande affiancate, una per comunicazione, e tutte trasmettono insieme. Con 2 MHz ciascuna:

$$N = \frac{B}{B_{\text{com}}} = \frac{40 \text{ MHz}}{2 \text{ MHz}} = 20.$$

“Teoricamente” vuol dire senza bande di guardia, che ridurrebbero il numero.

- b e d sono false: la moltiplicazione serve proprio a far convivere più comunicazioni sullo stesso canale.
- a è falsa: 10 comunicazioni da 2 MHz occupano solo 20 MHz dei 40 disponibili.

Risposta: ☒ c.

[← Torna all'Esercizio 5, pagina 11](#)

Soluzione dell'Esercizio 6 – Appello del 08/02/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, domanda 9

La multiplazione dinamica è la multiplazione statistica della commutazione di pacchetto; le UI sono i pacchetti. Il canale non è riservato a nessuno: ogni UI lo usa per intero mentre viene trasmessa, e due UI non possono occuparlo nello stesso istante.

- Se una UI arriva mentre il canale trasmette un'altra UI, non può passare subito: c'è una **contesa**, e la UI aspetta nel buffer. Quindi a è falsa e b è vera.
- La contesa dipende dal canale occupato, non dal buffer. Il dimensionamento del buffer decide solo se la UI in attesa trova posto o va persa: c è falsa.

Risposta: b.

[← Torna all'Esercizio 6, pagina 11](#)

Soluzione dell'Esercizio 7 – Appello del 13/07/2023, Canale 1, Prof.ssa Francesca Cuomo, esercizio, adattato

1. *Bit rate medio.* In 90 ms la sorgente emette

$$60 + 10 + 5 + 90 + 30 + 40 + 20 + 10 + 5 = 270 \text{ byte} = 270 \cdot 8 = 2160 \text{ bit},$$

$$R_{\text{medio}} = \frac{2160 \text{ bit}}{0,09 \text{ s}} = 24\,000 \text{ bit/s} = \boxed{24 \text{ kbit/s}}.$$

Bit rate di picco. Il periodo più carico è il quarto, con 90 byte = 720 bit in 10 ms:

$$R_{\text{picco}} = \frac{720 \text{ bit}}{0,01 \text{ s}} = 72\,000 \text{ bit/s} = \boxed{72 \text{ kbit/s}}.$$

Il picco è il triplo della media: è un traffico a burst.

2. *Allocazione di picco.* Come nel circuito dell'Esercizio 2, a ogni sorgente si riserva sempre la sua velocità di picco, che trasmetta o no. Il numero di sorgenti è la parte intera del rapporto:

$$N = \left\lfloor \frac{6000 \text{ kbit/s}}{72 \text{ kbit/s}} \right\rfloor = \lfloor 83,3 \rfloor = \boxed{83}.$$

Verifica: $83 \cdot 72 = 5976 \leq 6000$, mentre $84 \cdot 72 = 6048 > 6000$.

[← Torna all'Esercizio 7, pagina 12](#)