

# Reti

di Calcolatori

Autunno 2002

Prof. Roberto De Prisco

---

**P1-06: Commutazione di pacchetto**

---

Università degli studi di Salerno  
Laurea e Diploma in Informatica

Reti
Autunno 2002  
Prof. Roberto De Prisco
P1  
06.2

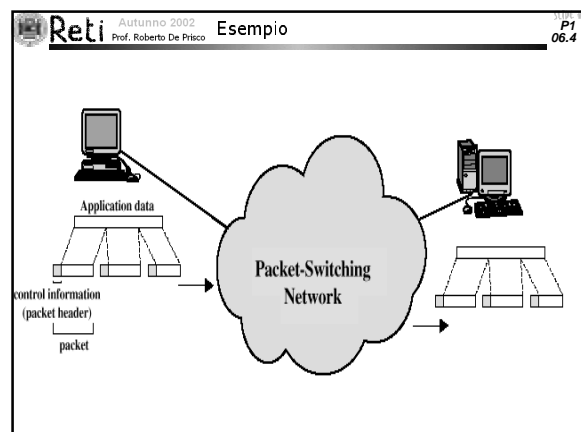
### Svantaggi commutazione circuito

- Risorse riservate al circuito
  - Se ci sono troppi circuiti le risorse si esauriscono
  - Non è possibile stabilire una nuova connessione
- Utilizzo del circuito non è efficiente
  - Va bene per una conversazione telefonica (si parla sempre, quindi c'è sempre scambio di dati)
  - Per una connessione fra computer non va bene
    - Es. connessione browser – Server Web: mentre guardiamo la pagina non c'è scambio di dati, per cui una connessione dedicata comporterebbe uno spreco della capacità del canale
- Richiede che sorgente e destinazione abbiamo la stessa velocità trasmissiva e ricettiva

Reti
Autunno 2002  
Prof. Roberto De Prisco
P1  
06.3

### Commutazione di pacchetto

- I dati da spedire vengono divisi in piccoli blocchi, detti "pacchetti"
- Ogni blocco viene instradato singolarmente sulla rete
- I pacchetti sono indipendenti
- A volte seguono la stessa strada a volte no
- Giungono comunque alla destinazione che può riassembliarli per ricostruire i dati



Reti
Autunno 2002  
Prof. Roberto De Prisco
P1  
06.5

### Vantaggi commutazione pacchetto

- Efficienza
  - I pacchetti vengono accodati in un buffer e trasmessi il più velocemente possibile
  - Quindi non si spreca mai la capacità del canale
- Conversione tassi di trasmissione
  - Il nodo trasmittente può spedire più velocemente di quanto il nodo ricevente sia capace di supportare (e viceversa)
- Nessuna "connessione" viene bloccata
  - I pacchetti vengono comunque immessi nella rete (ovviamente possono esserci ritardi maggiori)
- Si possono usare delle priorità sui pacchetti
  - Favorire pacchetti più "importanti"

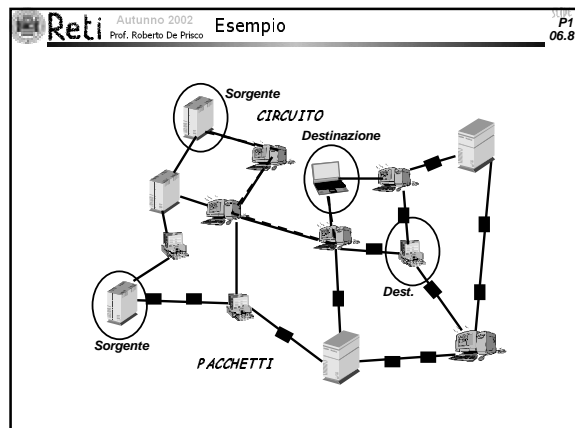
Reti
Autunno 2002  
Prof. Roberto De Prisco
P1  
06.6

### Svantaggi commutazione pacchetto

- Difficile garantire qualità del servizio
  - Per una telefonata occorre garantire una certa velocità di trasmissione
- Vengono introdotti dei carichi aggiuntivi (overhead)
  - I pacchetti devono viaggiare insieme ad informazioni di controllo per poter essere correttamente instradati
- La rete può congestionarsi
  - Poiché si accettano sempre pacchetti si potrebbe arrivare ad una situazione di saturazione che blocca la rete
- Per reti di computer si usano reti a commutazione di pacchetto

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Tecniche di commutazione P1 06.7

- Datagram
  - Ogni pacchetto contiene informazioni di controllo come sorgente, destinazione
  - Viene instradato indipendentemente dagli altri pacchetti
  - Pacchetti possono seguire strade diverse
- Circuito virtuale
  - Viene stabilito un circuito virtuale prima di spedire i pacchetti
  - Ogni pacchetto viaggia con l'identificativo del circuito virtuale e viene instradato sul circuito virtuale



Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Svantaggi e vantaggi P1 06.9

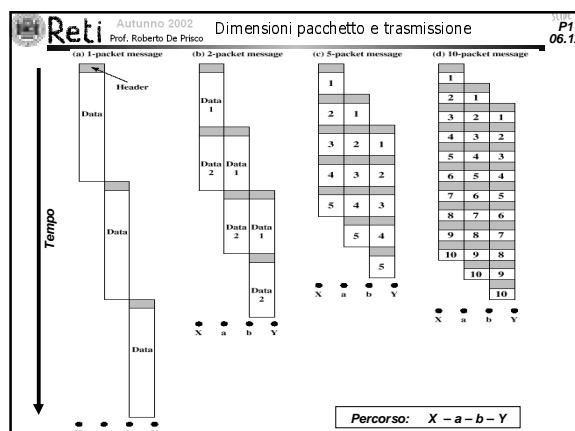
- Datagram
  - Pacchetti possono arrivare non in ordine
  - Possono perdersi
  - Ad ogni nodo occorre prendere una decisione per l'instradamento del pacchetto
  - ☺ Semplice
  - ☺ Più veloce per comunicazioni brevi
- Circuito virtuale
  - Ritardo nella spedizione dovuto all'attivazione del circuito virtuale
  - Non sono necessarie decisioni di routing
  - Protocollo di comunicazione più complesso
  - ☺ Più affidabile
    - Controllo errore può essere fatto nel circuito, richieste di ritrasmissione più veloci
  - ☺ Più veloce per comunicazioni lunghe

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Circuito e circuito virtuale P1 06.10

- C'è differenza fra commutazione di circuito e commutazione di pacchetto con circuito virtuale?
- Entrambe usano un circuito
  - I dati proseguono sempre sullo stesso cammino
- Differenza fondamentale: con i pacchetti non ci sono risorse riservate al circuito virtuale
- Semplicemente il percorso di tutti i pacchetti viene scelto una volta per tutti i pacchetti (e quindi si ha un circuito virtuale)

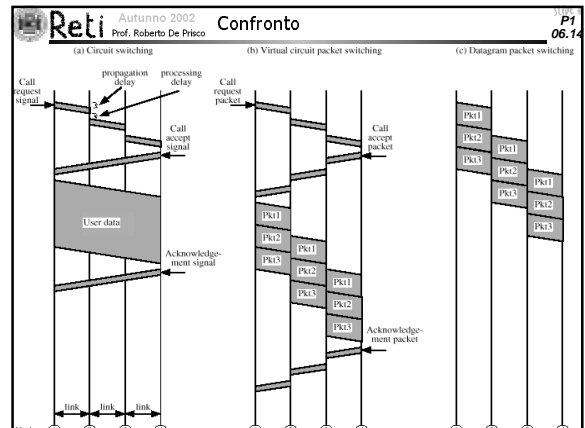
Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Dimensioni del pacchetto P1 06.11

- I pacchetti in genere sono piccoli
- Su Internet i pacchetti sono al massimo 1.5 Kb
- La dimensione del pacchetto influenza il tempo di trasmissione
- Per pacchetti più piccoli si hanno tempi di spedizione più corti (si possono spedire in parallelo)
- Ogni pacchetto però comporta un sovraccarico, quindi troppo piccoli non va bene



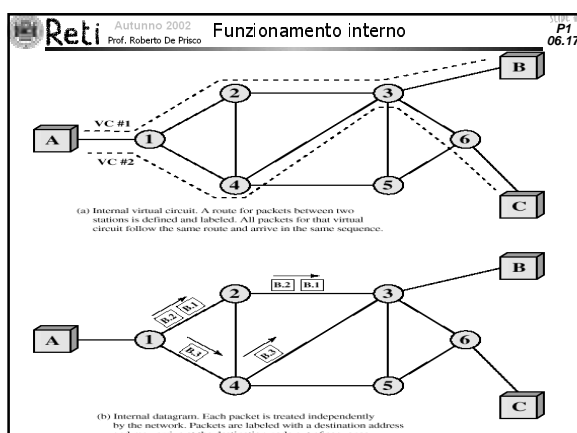
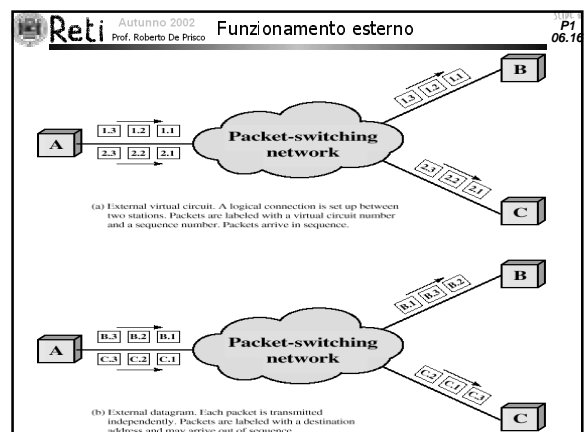
Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Prestazioni P1 06.13

- Ritardo di propagazione
  - Tempo che impiega un segnale a propagarsi sul canale
- Tempo di trasmissione
  - Tempo che un trasmettitore impiega ad inviare un pacchetto
- Ritardo del nodo
  - Tempo che un nodo impiega per compiere le elaborazioni necessarie per smistare i dati



Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Funzionamento interno ed esterno P1 06.15

- Esterno
  - È il funzionamento che vede un nodo dall'esterno della rete
- Interno
  - È il funzionamento della rete all'interno
- Tutte le combinazioni sono possibili
  - Circuito virtuale esterno, circuito virtuale interno
  - Circuito virtuale esterno, datagramma interno
  - Datagramma esterno, circuito virtuale interno
  - Datagramma esterno, datagramma interno



Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Routing (Instradamento) P1 06.18

- Tecniche per far giungere i pacchetti alla destinazione
- Aspetto cruciale, molto complesso
- Deve essere
  - **Robusto**: funzionare anche se nella rete ci sono dei guasti
  - **Stabile**: reagire in modo opportuno a congestioni
  - **Efficiente**: far giungere i pacchetti a destinazione quanto prima possibile
  - **Equo**: trattare tutti i pacchetti in modo equo
  - **Vantaggioso**: il lavoro dei nodi per il routing non deve superare i vantaggi che ne derivano

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Routing P1 06.19

- Come si fa a scegliere il miglior percorso?
- È difficile
- Un criterio semplice è la lunghezza del percorso in termini di numero di nodi attraversati
  - *hop* (salto) = passaggio da un nodo all'altro (canale)
  - Numero di *hop*
- Generalizzazione: percorso a costo minimo
  - Ogni canale ha un costo
  - La somma dei costi è il costo del percorso

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Percorsi con costo minimo P1 06.20

- Algoritmi di Dijkstra e Bellman-Ford

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Decisione di routing P1 06.21

- Quando viene presa la decisione di routing?
- Circuito virtuale: la decisione viene presa al momento dell'apertura della connessione
- Datagram: viene presa ad ogni hop
- Chi prende la decisione?
  - Routing distribuito: ogni singolo nodo
    - robusto e scalabile, usato per Internet
  - Routing centralizzato: un nodo centrale
  - Source Routing: la sorgente decide il percorso

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Routing distribuito P1 06.22

- Robusto
  - Se un nodo si guasta gli altri possono continuare a fare il routing (magari evitando il nodo guasto)
- Scalabile
  - È possibile aggiungere altri nodi in modo semplice perché non c'è gestione centralizzata
- Occorre che ogni nodo abbia delle informazioni sulla rete
  - Spesso le informazioni sono parziali
  - Su reti molto dinamiche (es. Internet) diventa un problema mantenere tali informazioni aggiornate
  - Ci sono vari problemi
    - Es. loop infiniti, perdita di pacchetti

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Tecniche di routing P1 06.23

- Routing fisso
- Flooding
- Routing casuale
- Routing adattivo

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Routing fisso P1 06.24

- Per ogni coppia di nodi c'è un percorso fissato
- Tale percorso viene fissato a priori e non cambia
  - Non può basarsi su variabili dinamiche quali il traffico
  - Se cambia la topologia della rete occorre ristabilire i percorsi
- Per implementarlo ogni nodo deve mantenere il prossimo hop per ogni nodo destinazione

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco P1 06.25

**Tabella completa**

To Node	From Node					
	1	2	3	4	5	6
1	—	1	5	2	4	5
2	2	—	5	2	4	5
3	4	3	—	5	3	5
4	4	4	5	—	4	5
5	4	4	5	5	—	5
6	4	4	5	5	6	—

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco P1 06.26

**Tabelle di routing**

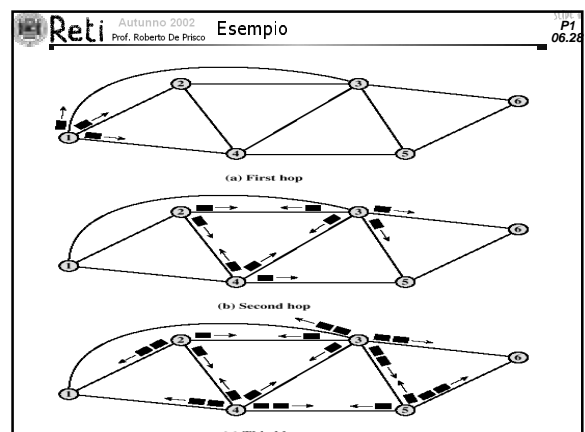
- Il nodo 1 deve spedire un pacchetto al nodo 6
  - Prossimo hop dal nodo 1: nodo 4
  - Prossimo hop dal nodo 4: nodo 5
  - Prossimo hop dal nodo 5: nodo 6.

Destination	Next Node
2	2
3	4
4	4
5	4
6	4

Destination	Next Node
1	2
2	2
3	5
5	5
6	5

Destination	Next Node
1	4
2	4
3	3
4	4
6	6

- Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco P1 06.27
- Flooding (inondamento)**
- Si invia una copia del pacchetto ad ogni nodo collegato
  - Molte copie possono arrivare alla destinazione
    - Identificativo per scartare le copie
  - Pacchetti potrebbero essere spediti all'infinito
    - Numero di hop massimo (diametro della rete) dopo i quali il pacchetto viene buttato
  - Vantaggi: Molto semplice e ...
    - Tollera molti guasti
    - Almeno un pacchetto arriva dal percorso minimo
    - Tutti i nodi ricevono il pacchetto
  - Svantaggio: traffico elevato



- Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco P1 06.29
- Routing casuale**
- Simile al flooding ma anziché inviare il pacchetto a tutti i nodi collegati il pacchetto viene mandato ad un solo nodo, scelto a caso (escludendo il nodo di provenienza)
  - Le probabilità potrebbero essere basate sulla velocità del canale
  - Vantaggi: il traffico generato è minore
  - Svantaggi: il pacchetto giunge a destinazione solo con una certa probabilità (quindi potrebbe perdersi)

- Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco P1 06.30
- Routing adattivo**
- La decisione di routing dipende dalle condizioni della rete
    - Guasti
    - Congestione
  - I nodi devono scambiarsi informazioni sullo stato della rete
  - Complesso
    - Decisioni complesse, carico di elaborazione sui nodi
    - Informazioni devono essere scambiate frequentemente: sovraccarico sulla rete
    - L'adattamento può creare problemi se è
      - Troppo veloce: crea oscillazioni
      - Troppo lento: è inefficiente

Autunno 2002  
Prof. Roberto De Prisco

Routing adattivo

P1  
06.31

- Grossi vantaggi
  - Migliora le prestazioni dal punto di vista dell'utente
  - Aiuta il controllo della congestione, che è un problema fondamentale
- Per ottenere questi benefici occorre progettare buoni algoritmi di routing adattivo
- Tali algoritmi sono in genere molto complessi e la loro vera valutazione avviene solo sul campo
- Il problema del routing è attualmente oggetto di ricerca

Autunno 2002  
Prof. Roberto De Prisco

Un algoritmo di routing adattivo

P1  
06.32

- Ogni linea in uscita ha una coda di pacchetti  $Q_i$ 
  - Instradare un pacchetto verso la linea di uscita con la coda minore
- Bilancia il carico in uscita
- Ovviamente bisogna considerare il fatto che potremmo instradare il pacchetto su una direzione poco conveniente
- Si potrebbe avere un "valore di predisposizione"  $B_i$  per ciascuna destinazione  $i$
- Scegliere il nodo che minimizza  $Q_i + B_i$

Autunno 2002  
Prof. Roberto De Prisco

Esempio

P1  
06.33

- Arriva un pacchetto per il nodo 6
- Valore di predisposizione verso il nodo 6
  - Nodo1: 9
  - Nodo2: 6
  - Nodo3: 3
  - Nodo5: 0
- Sceita
  - Nodo1:  $9+2 = 11$
  - Nodo2:  $6+3 = 9$
  - Nodo3:  $3+1 = 4$
  - Nodo5:  $0+5 = 5$
- Pacchetto instradato sul nodo 3

Autunno 2002  
Prof. Roberto De Prisco

Informazioni per le decisioni

P1  
06.34

- L'esempio visto si basa solo su informazioni locali al nodo
- Quante più informazioni si usano tanto migliore può essere la strategia
- È facile scambiare informazioni con i nodi adiacenti
- È possibile anche ricevere informazioni da altri nodi
  - Problemi di ritardo
  - Consistenza dell'informazione

Autunno 2002  
Prof. Roberto De Prisco

Distance Vector Routing

P1  
06.35

- Usato nella rete ARPANET (predecessore di Internet)
- Si basa sull'algoritmo di Bellman-Ford per i cammini minimi
- Ogni router ha un vettore della distanze che specifica la distanza minima verso ogni altro router
- Ogni router spedisce le sue informazioni a tutti i suoi vicini che possono aggiornare i loro vettori

Autunno 2002  
Prof. Roberto De Prisco

Esempio

P1  
06.36

Distanza	Next hop
1	0
2	∞
3	∞
4	∞
5	∞
6	∞

Nodo 1

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Esemplio P1 06.37

- Ogni nodo calcola la distanza (il ritardo sul canale) verso i nodi adiacenti

	Distanza		Next hop	
	Destinazione			
Nodo 1	1 0 -	1 2 1	1 5 1	1 1 1
Nodo 2	2 2 2	2 0 -	2 3 2	2 2 2
Nodo 3	3 5 3	3 3 3	3 0 -	3 9 3
Nodo 4	4 1 4	4 3 4	4 9 4	4 0 -
Nodo 5	5 ∞ -	5 ∞ -	5 1 5	5 9 5
Nodo 6	6 ∞ -	6 ∞ -	6 5 6	6 ∞ -

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Esemplio P1 06.38

- Ogni nodo aggiorna le distanze quando riceve informazione dagli altri nodi
- Aggiornamento periodico

	Distanza		Next hop	
	Destinazione			
Nodo 1	1 0 -	2 5	1	1 0 -
Nodo 2	2 2 2	0 3	2	2 2 2
Nodo 3	3 5 3	3 0	9	3 5 3
Nodo 4	4 1 4	3 9	0	4 1 4
Nodo 5	5 ∞ -	∞ 1	9	5 6 3
Nodo 6	6 ∞ -	∞ 5	∞	6 10 3

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Problemi P1 06.39

- L'algoritmo del vettore delle distanze è
  - Semplice
  - Converge alla soluzione
- Ha dei problemi
  - Convergenza lenta ...
  - ... che può causare problemi
- Un esempio semplice
  - Distanze unitarie
  - Collegamento B-C si rompe
  - B deve buttare le rotte che passano per C
  - Siccome A dice che può raggiungere C in 2 hop B conclude che può raggiungere C in 3 hop
  - Analogamente A, ricevendo un nuovo vettore da B, pensa che può raggiungere C in 4 hop ...

```

graph LR
  A((A)) --- B((B))
  B --- C((C))
  
```

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Nuove versioni P1 06.40

- I successori dell'algoritmo originale hanno cercato di risolvere le pecche dell'algoritmo originale
- Considerare anche i tassi di trasmissione
- Rendere la convergenza dell'algoritmo più veloce
- Non sovraccaricare le linee di comunicazione

Reti Autunno 2002 Prof. Roberto De Prisco Riepilogo P1 06.41

- Reti a commutazione di pacchetto
- Circuiti virtuali e pacchetti
- Importanza dimensione dei pacchetti
- Tecniche per l'instradamento
  - Routing fisso
  - Routing con flooding
  - Routing casuale
  - Routing adattivo
- Riferimento: Stallings, Capitolo 10