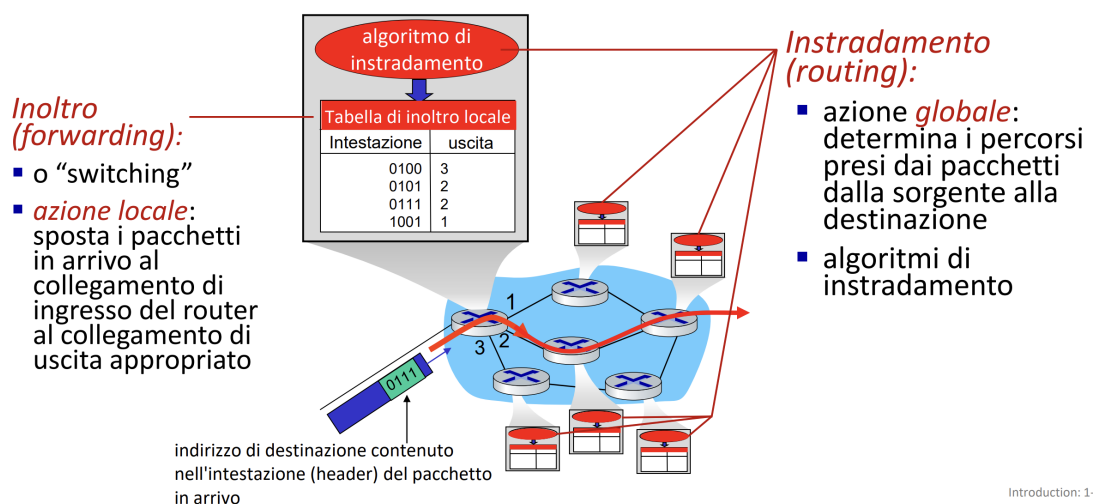


Lezione 2

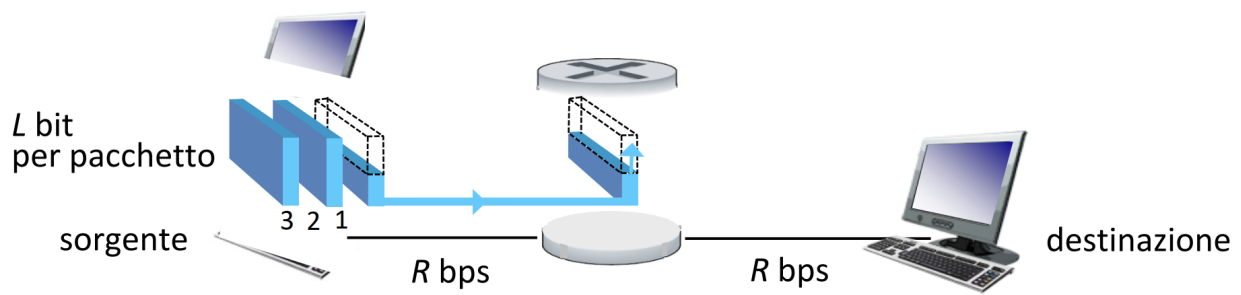
Il nucleo di rete

- Una maglia (mesh) di commutatori di pacchetti e collegamenti che interconnettono i sistemi periferici di internet. - **Commutazione di pacchetto** (packet-switching): i sistemi periferici suddividono i messaggi di livello applicativo in pacchetti. - la rete inoltra (forwards) i pacchetti da un router al successivo attraverso i collegamenti (links), lungo un percorso (path o route) dalla sorgente alla destinazione. !
[[Pasted image 20240308104117.png]]

- Ci sono due definizioni importanti nel nucleo della rete ovvero:
 - Inoltro** (forwarding o switching): ha un *azione locale*, sposta i pacchetti in arrivo al collegamento di ingresso del router al collegamento di uscita appropriato.
 - Instradamento** (routing): ha un *azione globale*, determina i percorsi presi dai pacchetti dalla sorgente alla destinazione e ci sono degli algoritmi per l'instradamento.



Commutazione di pacchetto: store-and-forward



- **Ritardo (delay) di trasmissione:** servono L/R secondi per trasmettere pacchetti di L bit attraverso un collegamento a R bps.
- **Store and forward:** il router deve aver ricevuto l'intero pacchetto prima di poter cominciare a trasmettere sul collegamento in uscita.

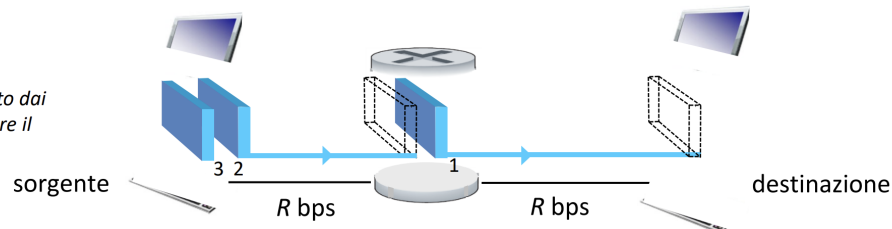
Un esempio numerico "one-hop":

- $L = 10$ kbit
- $R = 100$ Mbps
- ritardo di trasmissione "one-hop"

$$\frac{10\text{kbit}}{100\text{Mbps}} = \frac{10 \cdot 10^3 \text{bit}}{100 \cdot 10^6 \frac{\text{bit}}{\text{s}}} = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{s} = 0.1 \text{ms}$$

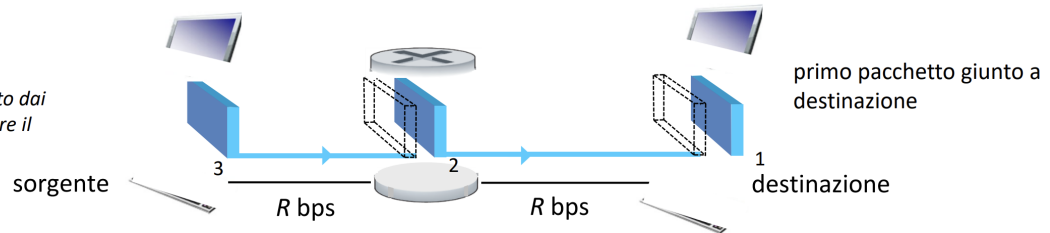
$$T = L/R$$

Trascurando il tempo impiegato dai bit a attraversare il collegamento



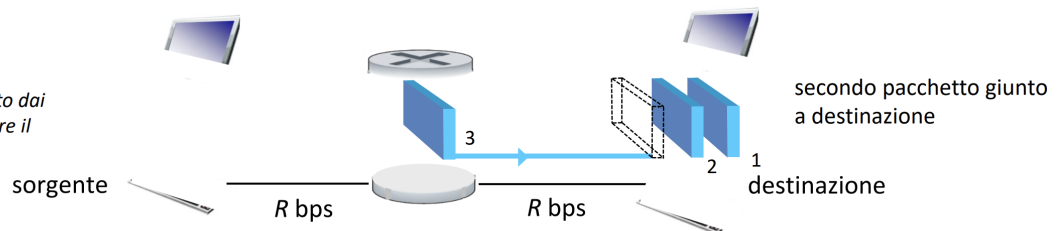
$$T = 2L/R$$

Trascurando il tempo impiegato dai bit a attraversare il collegamento



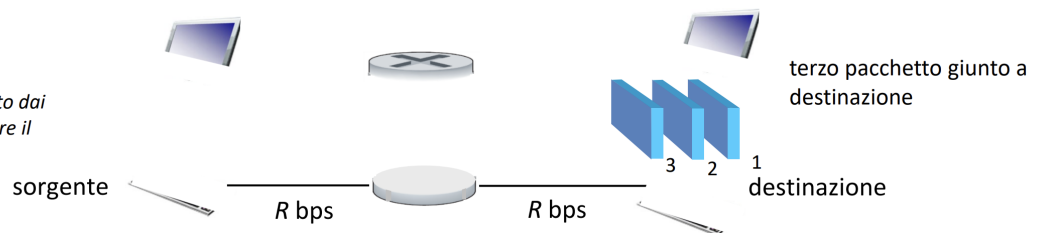
$$T = 3L/R$$

Trascurando il tempo impiegato dai bit a attraversare il collegamento



$$T = 4L/R$$

Trascurando il tempo impiegato dai bit a attraversare il collegamento



- Il ritardo da un capo all'altro (end-to-end) per la trasmissione di 1 pacchetto su un percorso di N collegamenti di pari velocità R:

$$d_{end-to-end} = N \frac{L}{R}$$
- Il ritardo da un capo all'altro per la trasmissione di P pacchetti su un percorso di N collegamenti di pari velocità R:

$$d_{end-to-end} = (N + P - 1) \frac{L}{R}$$

Commutazione di pacchetto: accodamento

L'accodamento (queuing) si verifica quando il lavoro arriva più velocemente di quanto può essere elaborato. Se il tasso di arrivo al collegamento eccede il tasso di trasmissione del collegamento per un certo periodo di tempo:

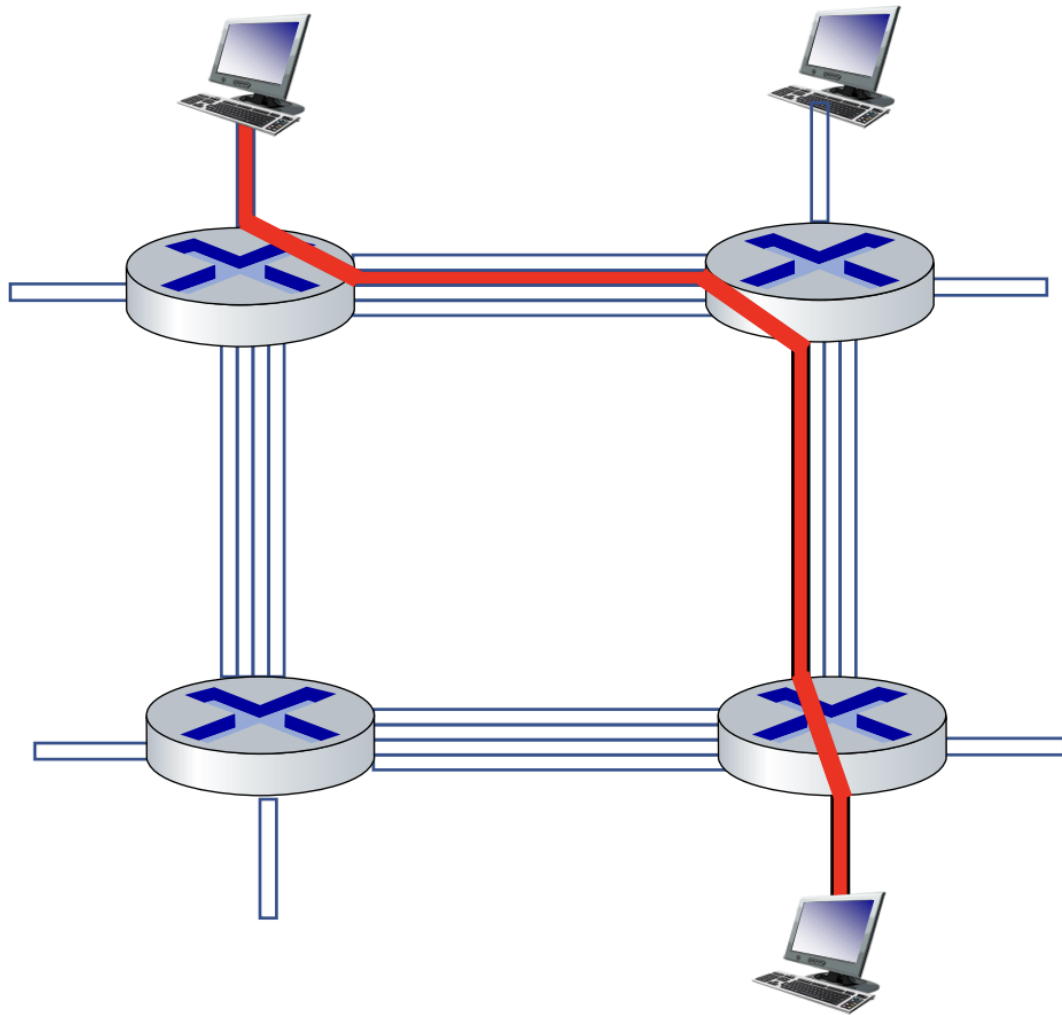
- I pacchetti si accodano in attesa di essere trasmessi sul collegamento in uscita.
- I pacchetti possono essere scartati (persi) se la memoria (buffer) si riempie

Alternativa alla commutazione di pacchetto: commutazione di circuito

Le risorse richieste lungo il percorso per consentire la comunicazione tra sistemi periferici sono riservate per l'intera durata della sessione di comunicazione.

- Risorse dedicate: nessuna condivisione
 - trasferimento dati a velocità costante e garantita.
- I segmenti del circuito restano inattivi se non utilizzati.

- Usato comunemente nella rete telefonica tradizionale.

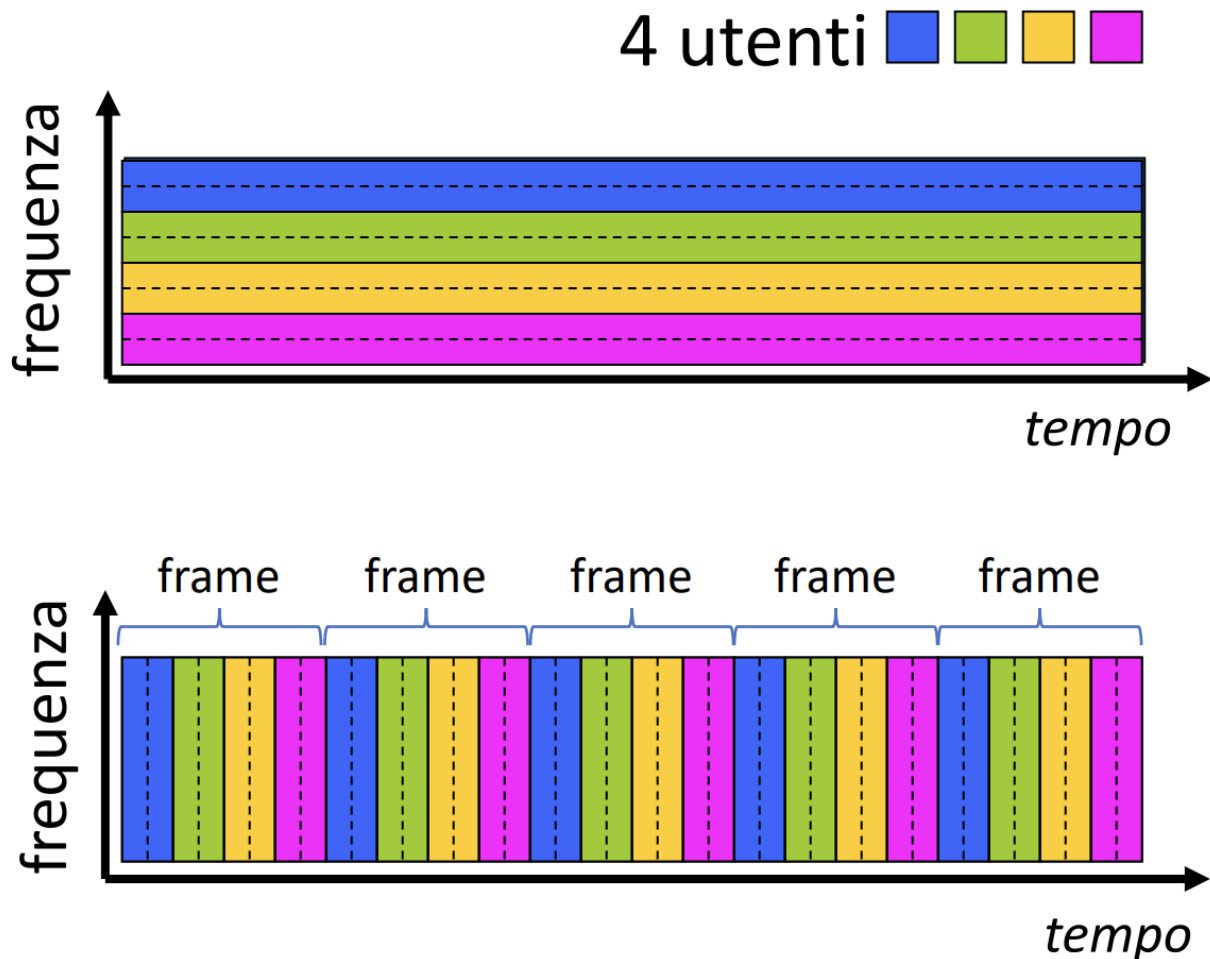


Commutazione di circuito: FDM e TDM

Multiplexing a Divisione di Frequenza (FDM), ha uno spettro di frequenza di un collegamento suddiviso in bande (band). Ogni circuito ha una propria banda, può trasmettere alla velocità massima di quella banda ristretta.

Multiplexing a Divisione di Tempo (TDM), ha il tempo suddiviso *frame* di durata fissa, ripartiti in un numero fisso di *slot*. Ciascun circuito riceve slot periodici, può trasmettere alla massima velocità della banda di

frequenza solo nei propri slot temporali.



Commutazione di Pacchetto VS Commutazione di circuito

Esempio:

- collegamento a 1 Gb/s ;
 - ogni utente :
 - 100 Mb/s quando "attivo" ;
 - attivo per il 10% del tempo.
- Quanti utenti possono usare questa rete sotto la commutazione di circuito e sotto la commutazione di pacchetto?
- *Commutazione di circuito*: 10 utenti.
 - *Commutazione di pacchetto*: con 35 utenti, probabilità > 10 attivi allo stesso tempo è meno di 0.0004.

D: come abbiamo ottenuto 0.0004?

R: $P(\text{utenti attivi} > 10) = 1 - P(\text{utenti attivi} \leq 10)$

$$\begin{aligned} &= 1 - \sum_{i=0}^{10} P(\text{utenti attivi} = i) = 1 - \sum_{i=0}^{10} \binom{35}{i} 0.1^i (1 - 0.1)^{35-i} = \\ &= 1 - \sum_{i=0}^{10} \frac{35!}{i! (35-i)!} 0.1^i (1 - 0.1)^{35-i} \leq 0.0004 \end{aligned}$$

Quella a pacchetto è ottimo per i dati a "raffica", è più semplice.

Se c'è un'eccessiva congestione: c'è un ritardo e perdita di pacchetti in caso di buffer overflow, qui sono necessari protocolli per il trasferimento affidabile dei dati e per il controllo della congestione. Ci sono dei ritardi end-to-end variabili e imprevedibili, a causa della variabilità e imprevedibilità dei ritardi di accodamento.

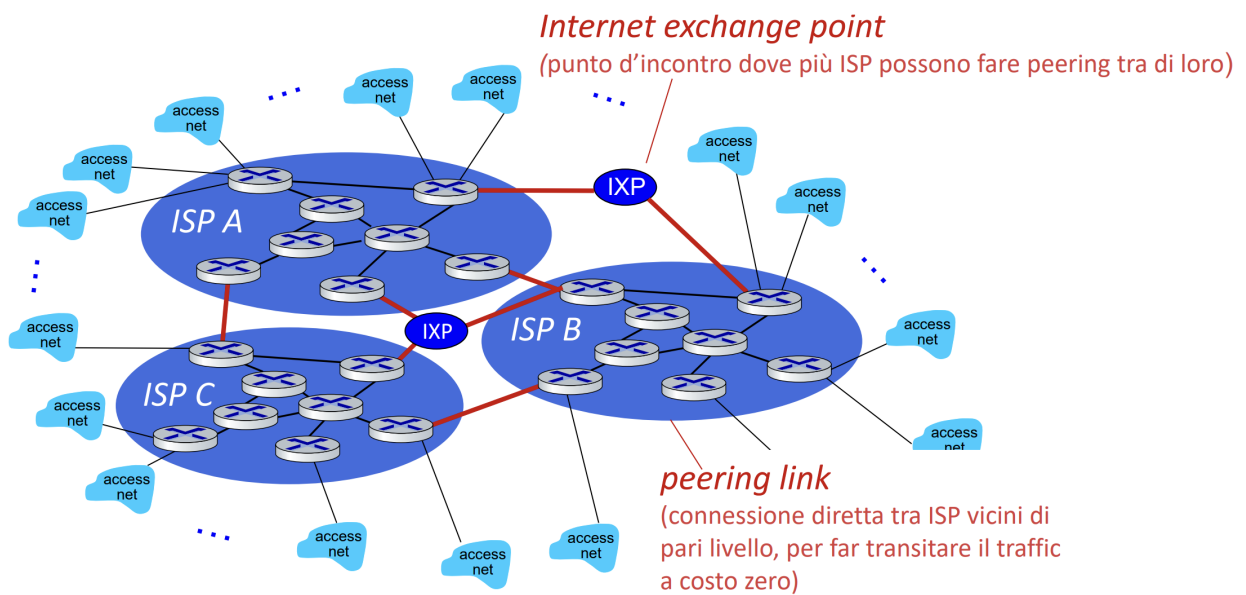
Struttura di Internet

- I sistemi periferici accedono a internet tramite i cosiddetti Internet Service Provider (ISP) di accesso.
- Gli ISP devono essere interconnessi a loro volta, in modo che due host qualsiasi possano inviare pacchetti l'uno all'altro.

Domanda: Dati milioni di ISP di accesso, come collegarli tra loro?

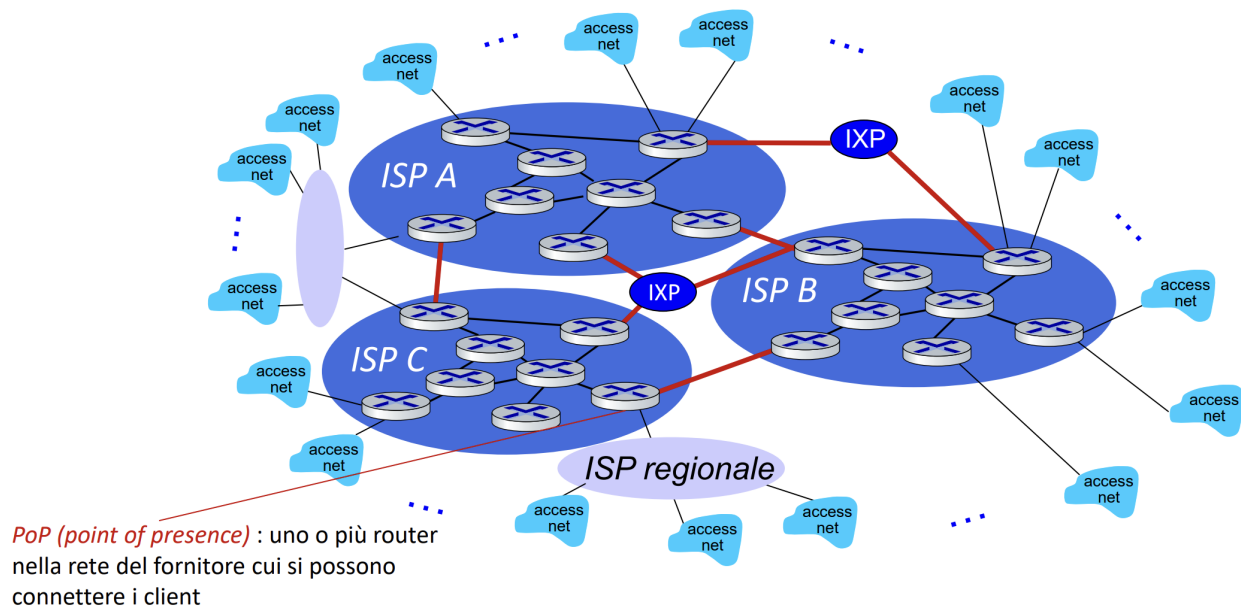
Collegare ogni ISP di accesso a un ISP globale di transito.

Ma se un ISP globale è un'attività vantaggiosa, ci saranno concorrenti...



Introduction: 1-58

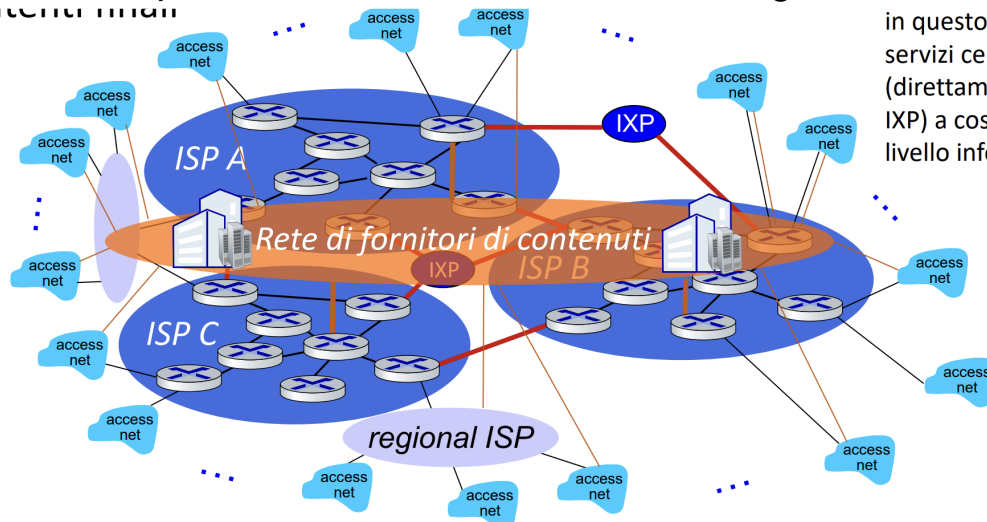
E reti regionali possono sorgere per collegare le reti di accesso agli ISP



E le reti di fornitori di contenuti (come Google) possono gestire la

propria rete, per avvicinare servizi e contenuti agli utenti finali

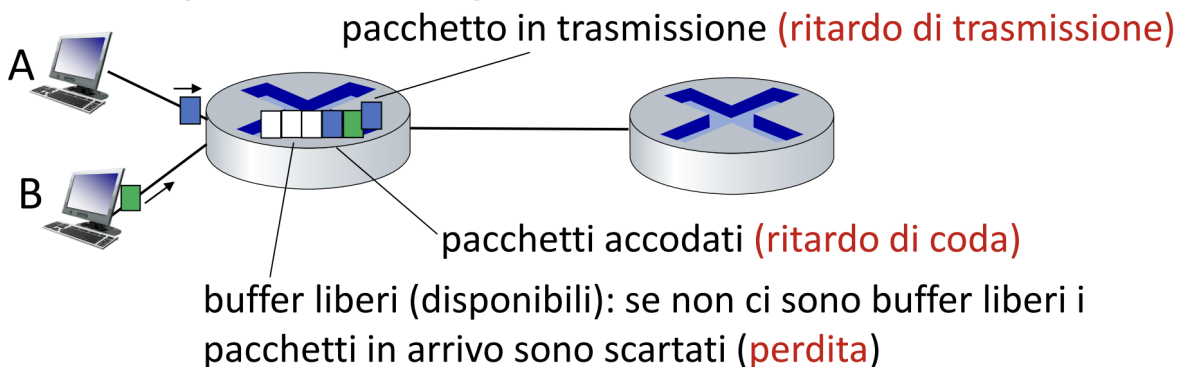
gli utenti finali



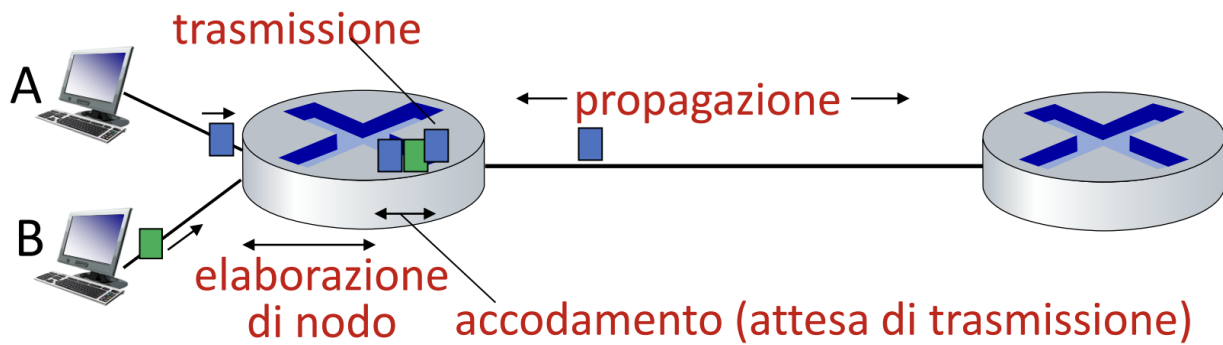
in questo modo i fornitori di servizi cercano di fare peering (direttamente o tramite gli IXP) a costo zero con gli ISP di livello inferiore

Come si verificano ritardi e perdite?

- I pacchetti si **accodano** nei buffer del router, aspettando il proprio turno per la trasmissione
 - La lunghezza della coda cresce quando il tasso di arrivo dei pacchetti sul collegamento eccede la capacità del collegamento di evaderli.
- La **perdita** di pacchetti si verifica quando la memoria che contiene la coda dei pacchetti si riempie.



Ci sono quattro cause: $d_{nodo} = d_{elab} + d_{acc} + d_{trasm} + d_{prop}$



1. d_{elab} : elaborazione di nodo:
 - controllo errori sui bit.
 - determinazione del canale di uscita.
 - tipicamente < microsecondi.
2. d_{acc} : ritardo di accodamento:
 - attesa di trasmissione.
 - dipende dal livello di congestione del router.
3. d_{trasm} : ritardo di trasmissione:
 - L : lunghezza del pacchetto (in bit).
 - R : tasso di trasmissione del collegamento (in bps).
 - $d_{trasm} = \frac{L}{R}$
4. d_{prop} : ritardo di propagazione:
 - d : lunghezza del collegamento fisico.
 - v : velocità di propagazione.
 - $d_{prop} = \frac{d}{v}$

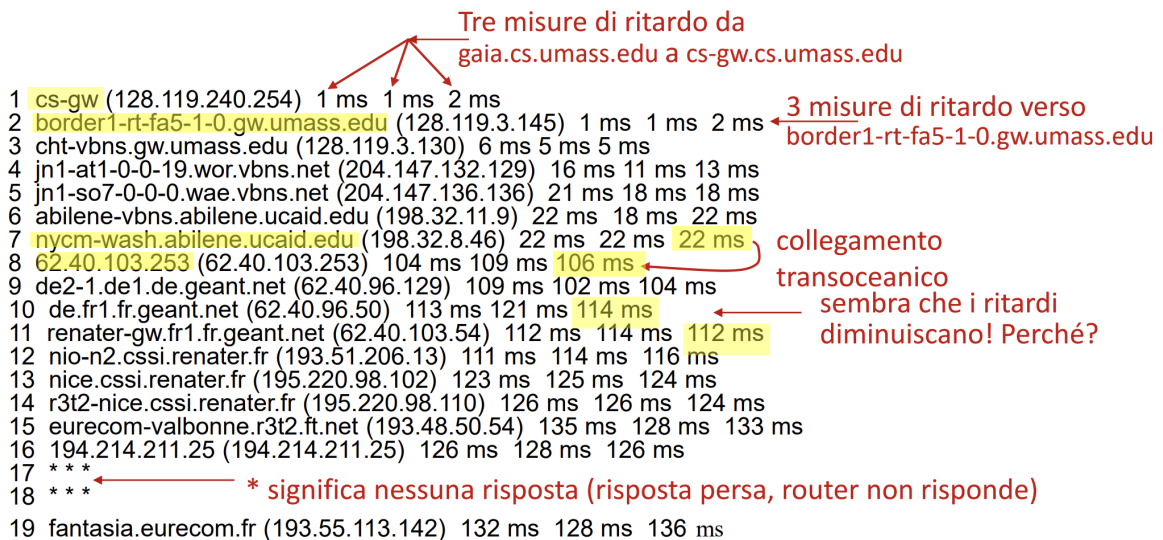
Ma cosa significa effettivamente ritardi e perdite nella "vera" Internet?

- **traceroute** : programma diagnostico che fornisce una misura del ritardo dalla sorgente al router lungo i percorsi internet punto-punto verso la destinazione. Per tutti i :
 - invia tre pacchetti che raggiungeranno il router i sul percorso verso

la destinazione.

- il router *i* restituirà i pacchetti al mittente.
- il mittente calcola l'intervallo tra trasmissione e risposta.

traceroute: da gaia.cs.umass.edu a www.eurecom.fr



* Do some traceroutes from exotic countries at www.traceroute.org

La perdita di pacchetti avviene quando la coda che precede un collegamento ha capacità finita.

Quando il pacchetto trova la coda piena, viene scartato (quindi perso).

Il pacchetto perso può essere ritrasmesso dal nodo precedente, dal sistema terminale che lo ha generato, o non essere ritrasmesso affatto.

Throughput

- **Throughput:** frequenza (bit/unità di tempo) alla qual i bit sono trasferiti tra mittente e ricevente.

- **istantaneo:** in un determinato istante.

- **medio:** in un periodo di tempo più lungo.

Il throughput end-to-end dipende dalla velocità di trasmissione dei collegamenti attraversati dal flusso di dati.

- se il percorso non è interessato dal altro traffico:

throughput su per giù $\min(R_i)$ dove R_i è la velocità di trasmissione dell'*i*-esimo collegamento.

- altrimenti, come fatto nella slide sullo "scenario internet", occorre suddividere la velocità di trasmissione di un collegamento tra i vari flussi che lo attraversano.
Il throughput effettivo può essere inferiore a causa di altri fattori.