

Reti di Elaboratori

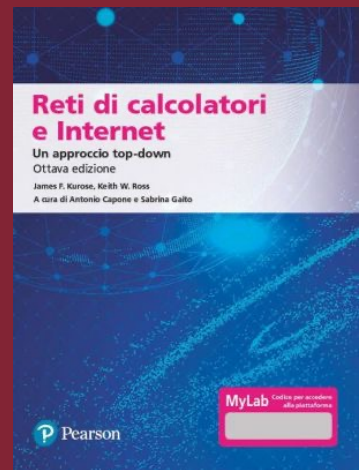
Capacità e prestazioni delle reti



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Alessandro Checco

alessandro.checco@uniroma1.it



Capitolo 1

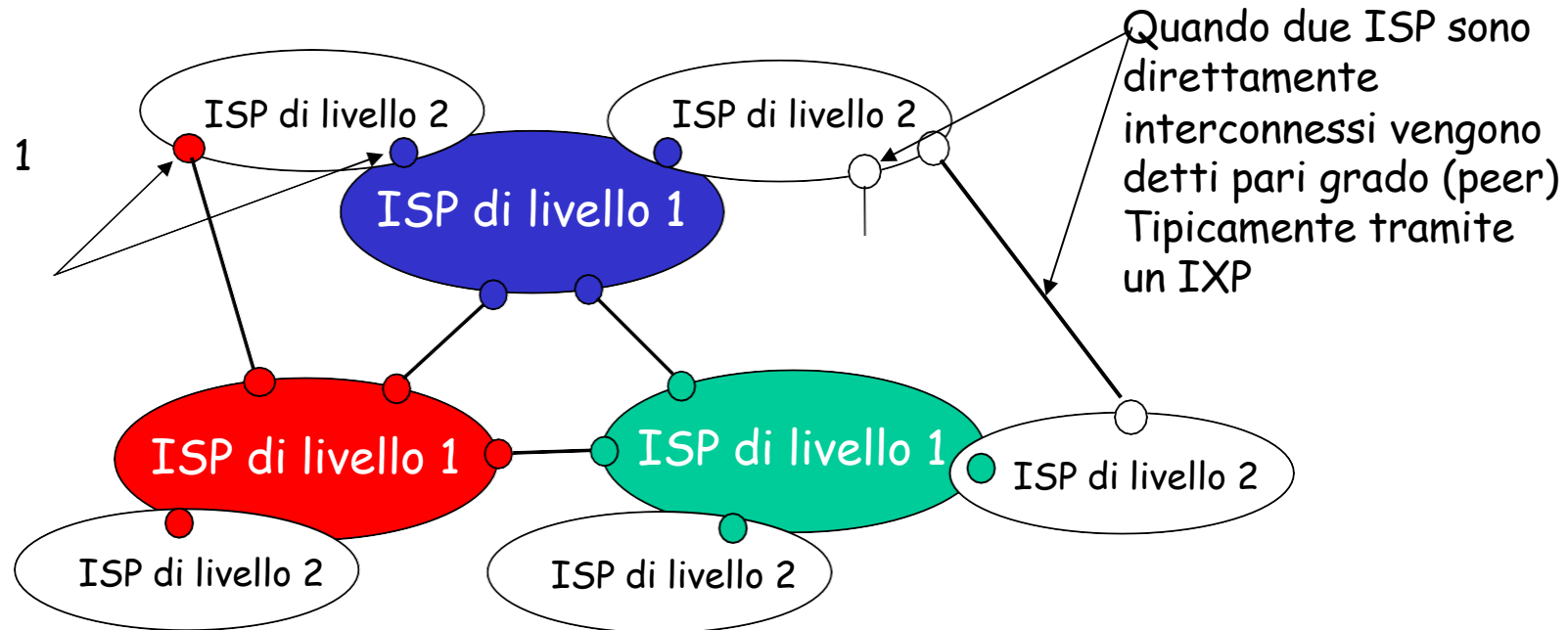
Struttura di Internet: la rete delle reti

ISP di livello 2: ISP più piccoli (nazionali o distrettuali)

- Si può connettere solo ad alcuni ISP di livello 1, e possibilmente ad altri ISP di livello 2


Un ISP di livello 2
paga l'ISP di livello 1
che gli fornisce la
connettività per il
resto della rete

un ISP di livello 2 è
cliente di un ISP di
livello 1



Peering

- Tramite uno switch dedicato (Internet Exchange Point)
- Di solito a titolo gratuito, protocollo BGP (lo vedremo più avanti)

 **PeeringDB**

[Register or](#)

[Advanced Search](#)

The Interconnection Database

Join. Search. Grow your network.


PeeringDB is a freely available, user-maintained, database of networks, and the go-to location for interconnection data. The database facilitates the global interconnection of networks at Internet Exchange Points (IXPs), data centers, and other interconnection facilities, and is the first stop in making interconnection decisions.

The database is a non-profit, community-driven initiative run and promoted by volunteers. It is a public tool for the growth and good of the Internet. Join the community and support the continued development of the Internet.

Learn more [about](#) PeeringDB or [register](#).

Most Recent Updates

Exchanges	Networks	Facilities
ERA-IX Amsterdam 5 hours ago	ORG-HSTL1-AFRINIC (329210) 25 minutes ago	SYMC STT - Bangkok 10 hours ago
FIXO 1 days ago	TRUVISTA (12208) 27 minutes ago	SYMC IDC - Chatuchak 10 hours ago
CGIX-BZV 3 days ago	UTELS (56835) 48 minutes ago	SYMC AIMS - Bangkok 10 hours ago
Baoshuo Internet Exchange 4 days ago	CodeBGP Monitor (50414) 1 hours ago	OPTAGE Umeda Kita Data Center 19 hours ago
Nephren IX 4 days ago	Arelion (Twelve99) (1299) 1 hours ago	Flexential - Portland/Hillsboro 4 (PDX04) 20 hours ago



[How It Works](#) [Ou](#)

[Peering](#) [Edge Nodes \(GGC\)](#) [Google Cloud Interconnect](#) [Google Messaging & Voice Interconnect](#) [Google Mobile ID](#)

Peering is the direct interconnection between Google's network and another network to support the exchange of traffic. Networks peer to gain some combination of economic, performance and traffic control benefits.

[Submit your peering request](#)

Capitolo 1: sommario

- *Cos'è Internet ?*
- *Cos'è un protocollo?*
- *Periferia della rete: host, rete di accesso, supporti fisici*
- *Nucleo di rete: commutazione pacchetto/circuito, struttura internet*
- **Prestazioni: bitrate, bandwidth, throughput, loss, latency**
- *Sicurezza*
- *Livelli di protocollo, modelli di servizio*
- *Storia*

Bandwidth e bit rate

Con il termine *ampiezza di banda* si indicano due concetti leggermente diversi ma strettamente legati

1. Caratterizzazione del canale o del sistema trasmissivo: *quantità che si misura in hertz e rappresenta la larghezza dell'intervallo di frequenze utilizzato dal sistema trasmissivo, ovvero l'intervallo di frequenze che un mezzo fisico consente di trasmettere senza danneggiare il segnale in maniera irrecuperabile. Maggiore è l'ampiezza di banda, maggiore è la quantità di informazione che può essere veicolata attraverso il mezzo trasmissivo*
2. Caratterizzazione di un collegamento: *quantità espressa in bit al secondo (bps), detta anche bit o transmission rate (velocità di trasmissione), anche rate, ovvero la quantità di bit al secondo che un link garantisce di trasmettere*

Bandwidth e bit rate

Il bit rate dipende sia dalla banda (in hertz) che dalla specifica tecnica di trasmissione, o formato di modulazione digitale utilizzato.

Il bit rate è proporzionale alla banda in hertz

Per banda di un tipo di rete si intende il bit rate garantito (nominalmente) dai suoi link

- Esempio: il rate di un link Fast Ethernet è di 100 Mbps, ovvero tale rete può inviare al massimo 100 Mbps

Il rate fornisce un'indicazione della capacità della rete di trasferire dati

Throughput

Il throughput indica quanto velocemente riusciamo effettivamente a inviare i dati tramite una rete

Numero di bit al secondo che passano attraverso un punto della rete (ad es. client)

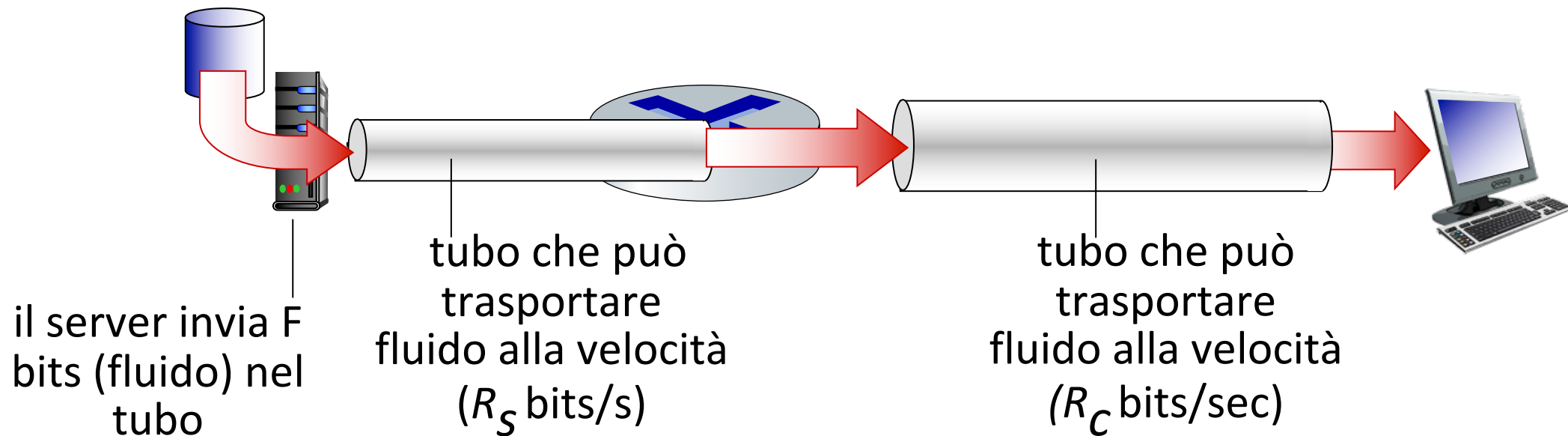
Somiglia al *rate* MA

- Un link può avere un rate di B bps, ma possiamo inviare solo T bps tramite quel link, con $T \leq B$
- Il **rate** è una misura della **potenziale** velocità di un link, il **throughput** è una misura dell'**effettiva** velocità di un link (quanto velocemente riusciamo a inviare i dati in realtà)

Esempio: una strada è progettata per far transitare 1000 auto al minuto da un punto all'altro. Se c'è traffico, tale cifra può essere ridotta a 100. Il rate è 1000 auto al minuto, il throughput 100 auto al minuto

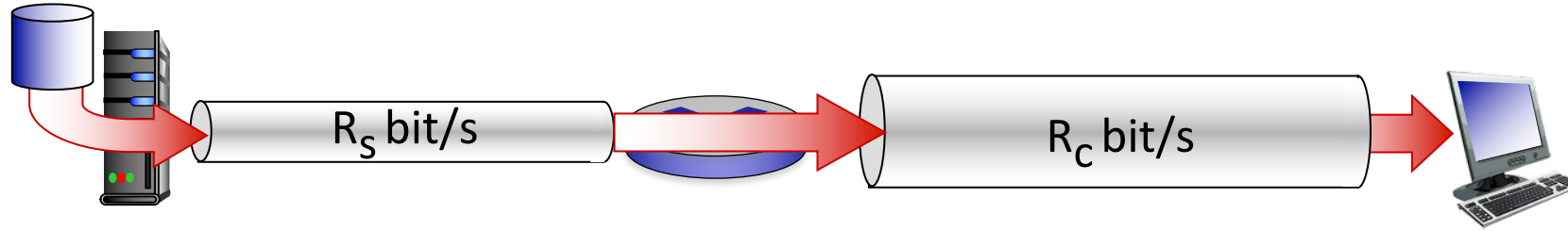
Throughput

- *throughput*: velocità (bit/unità di tempo) alla quale i bit vengono inviati dal mittente al destinatario (goodput se consideriamo solo i bit del messaggio)
 - *istantaneo*: velocità in un dato momento
 - *media*: velocità calcolata su un periodo di tempo più lungo

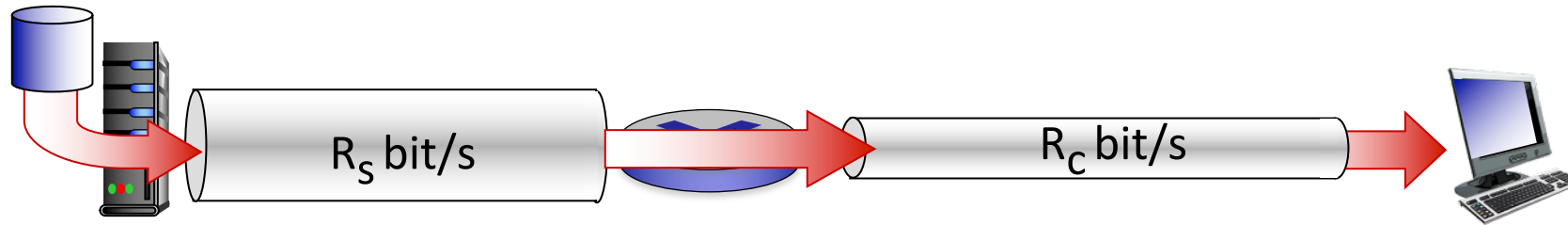


Throughput

$R_s < R_c$ Qual è il throughput end-to-end medio?



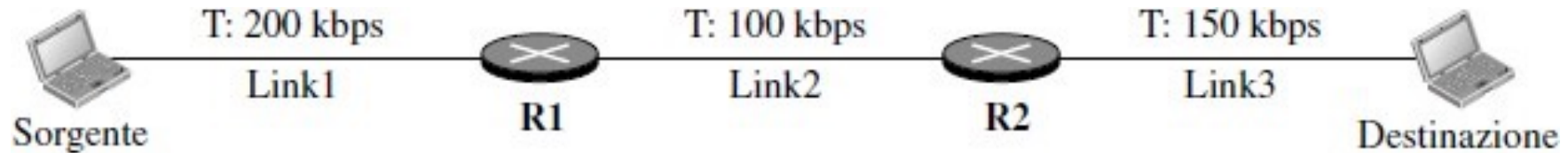
$R_s > R_c$ Qual è il throughput end-to-end medio?



collo di bottiglia

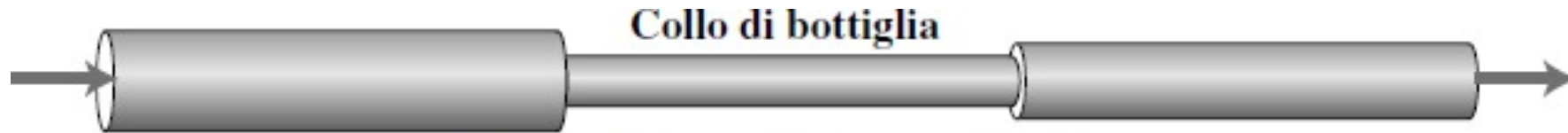
È il link sul percorso end-to-end che limita il throughput

Throughput su un percorso di tre link



a. Un percorso attraverso tre link

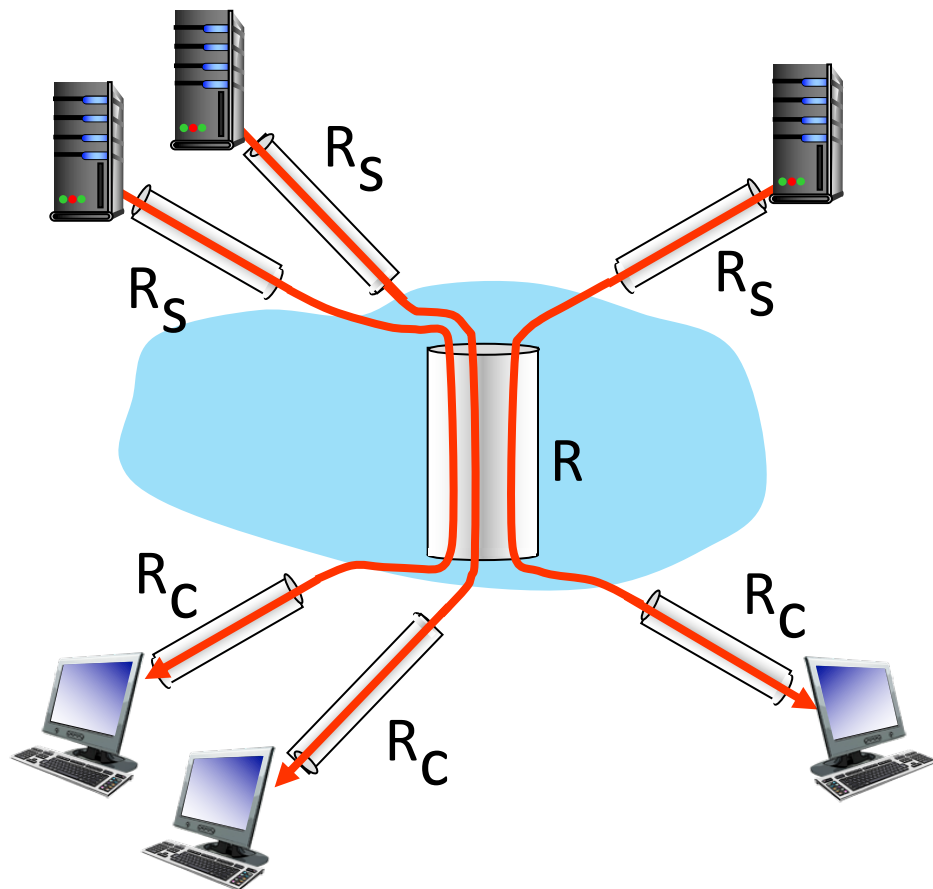
T: Throughput



b. Simulazione utilizzando dei tubi

- ❑ Il throughput dei dati per il percorso è 100 kbps
- ❑ In generale in un percorso con n link in serie abbiamo:
 - ❑ $\text{Throughput} = \min\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$

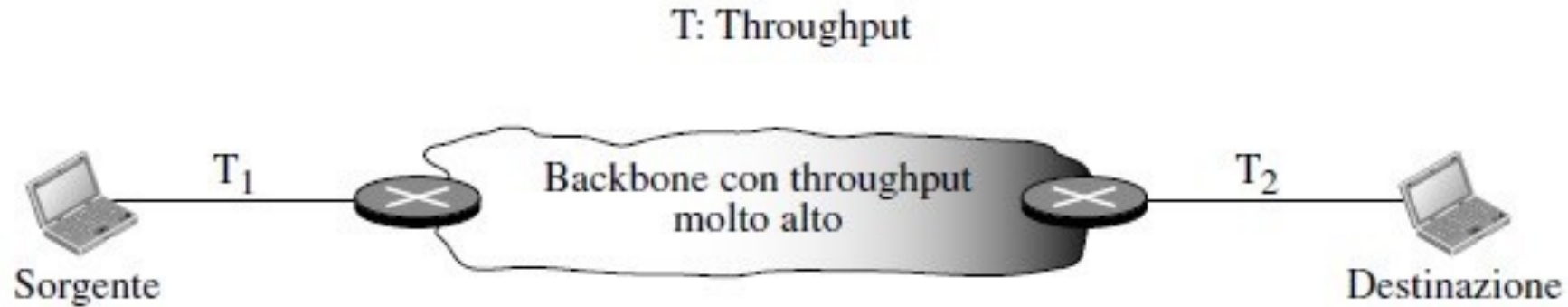
Throughput: scenario di rete



10 connessioni condividono
equamente il collegamento della
dorsale a R bit/s

- throughput end-end per connessione: $\min(R_c, R_s, R/10)$
- in pratica: R_c o R_s sono spesso i colli di bottiglia

Un percorso attraverso la backbone Internet



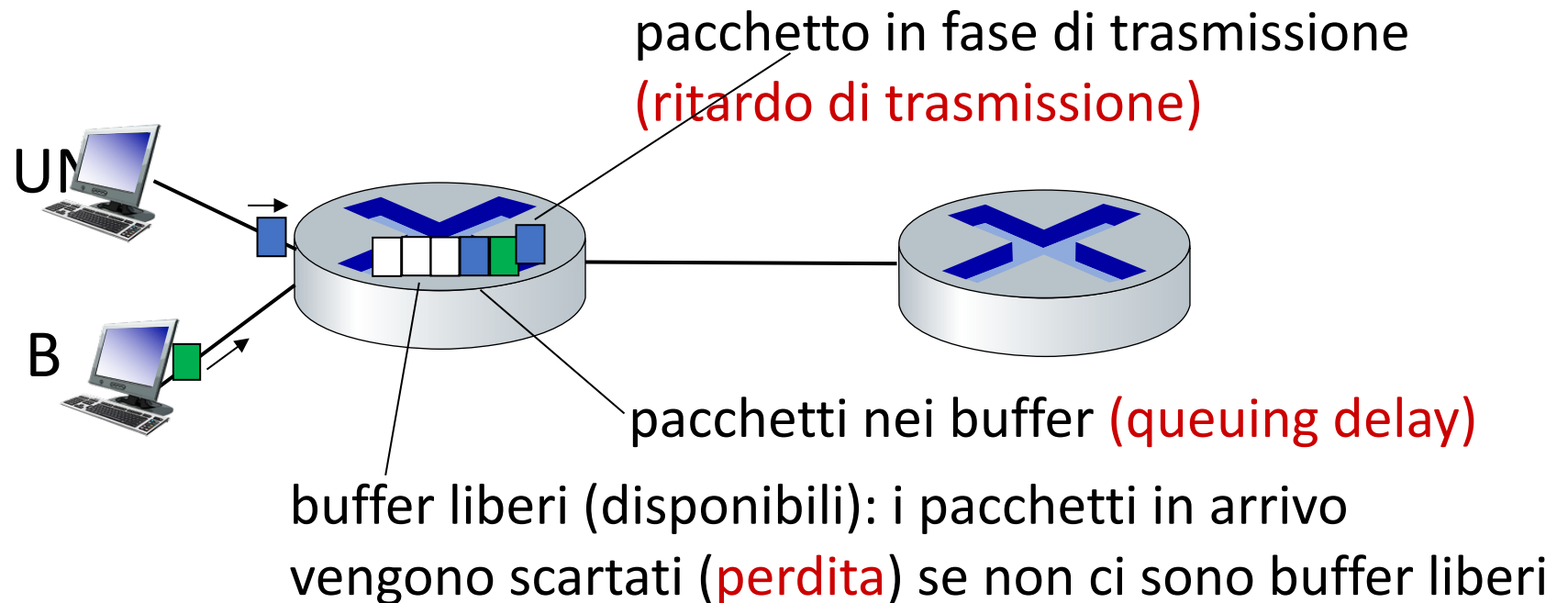
- ☐ La situazione reale in Internet è che i dati normalmente passano attraverso due reti di accesso e la dorsale Internet
- ☐ La dorsale ha un throughput molto alto (gigabit al secondo), quindi il throughput viene definito come il minimo tra i due link di accesso che collegano la sorgente e la destinazione alla dorsale
- ☐ Nell'esempio il throughput è il minimo tra T_1 e T_2
- ☐ Se T_1 è 100 Mbps (Fast Ethernet LAN) e T_2 è 40 kbps (linea telefonica commutata), il throughput è 40 kbps

Latenza e perdita di pacchetti

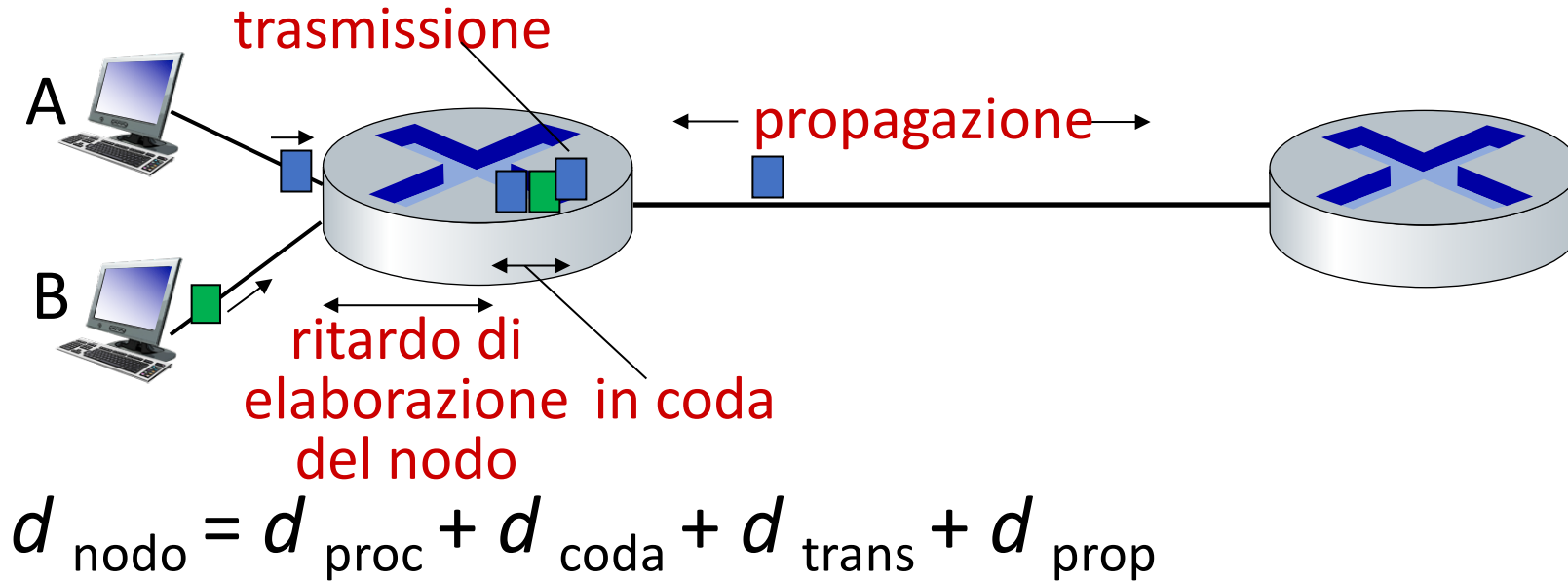
Come si verificano latenza e perdita di pacchetti?

i pacchetti *si accodano* nei buffer del router

- i pacchetti si accodano, attendono il loro turno
- la velocità di arrivo al collegamento (temporaneamente) supera la capacità del collegamento in uscita: perdita di pacchetti



Ritardo (latenza) del pacchetto: quattro fonti



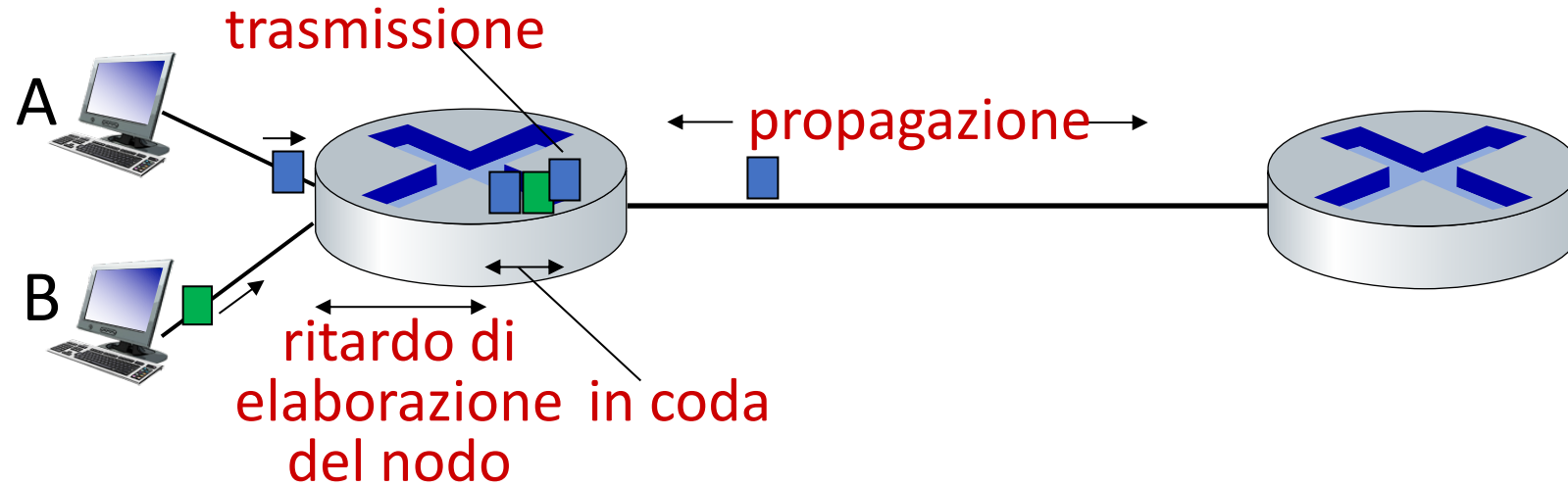
d_{proc} : elaborazione del nodo (processing delay)

- controllo errori sul bit
- determinazione del link di uscita
- tipicamente $< \mu\text{s}$

d_{queue} : ritardo di accodamento (queuing delay)

- attesa di trasmissione (in coda nel buffer)
- dipende dal livello di congestione del router
- dipende dal rate di arrivo e può variare da pacchetto a pacchetto

Ritardo (latenza) del pacchetto: quattro fonti



$$d_{\text{nodo}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{coda}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

d_{trans} : ritardo di trasmissione:

- L : lunghezza pacchetto (bit)
- R : velocità di trasmissione del link (bps)

$$d_{\text{trans}} = L/R$$

d_{prop} : ritardo di propagazione:

- k : lunghezza del collegamento fisico
- v : velocità di propagazione ($\sim 2 \times 10^8$ m/s)

$$d_{\text{prop}} = k/v$$

d_{trans} e d_{prop}
molto diversi!

Confronto tra ritardo di trasmissione e propagazione

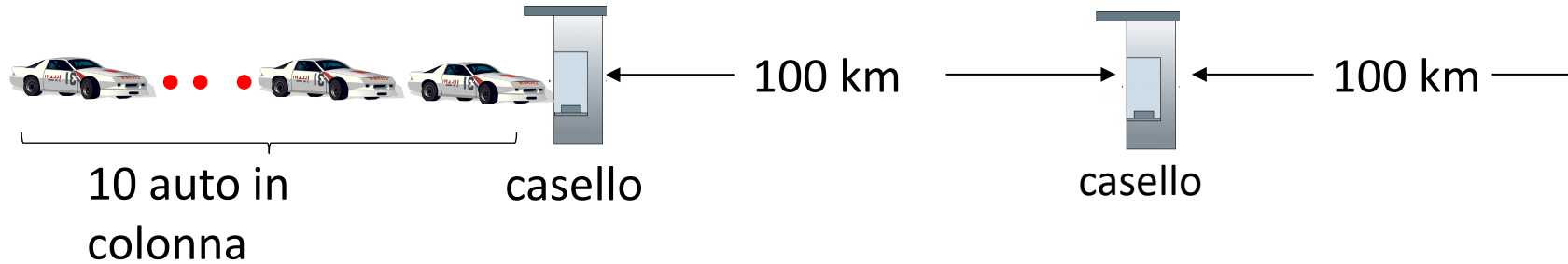
Trasmissione: tempo necessario a un nodo per far uscire il pacchetto (funzione della lunghezza del pacchetto e rate del link)

$$d_t = L/R$$

Propagazione: tempo che impiega un bit per propagarsi da un nodo all'altro sul mezzo trasmissivo, una volta fuori dal nodo (funzione della distanza e velocità di propagazione)

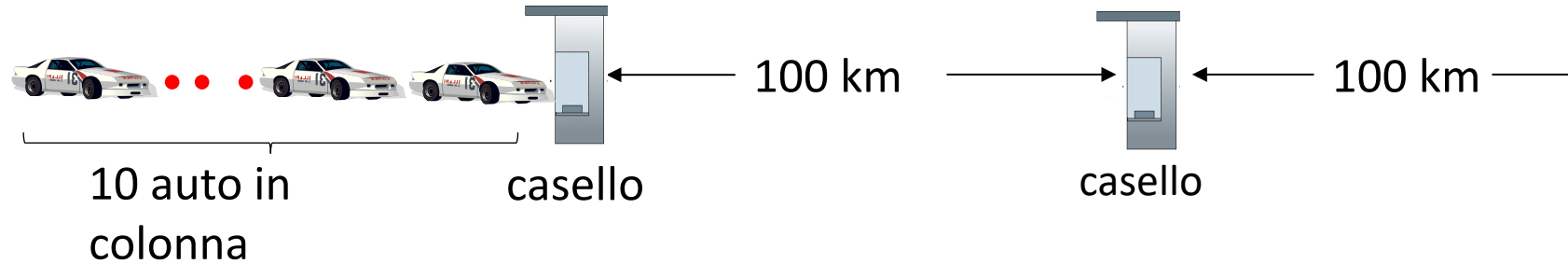
$$d_p = k/v$$

Analogia del casello autostradale



- le auto si “propagano” a 100 km/h
- il casello impiega 12 s per il servizio auto ($R = 1/12$)
- Auto \sim bit; colonna \sim pacchetto
- *D: quanto tempo occorre perché le 10 auto in carovana abbiano raggiunto il secondo casello?*
- Tempo richiesto al casello per trasmettere l'intera colonna sull'autostrada = $12 * 10 = 120$ s
- Tempo richiesto a un'auto per viaggiare dall'uscita di un casello fino al casello successivo $100 \text{ km} / (100 \text{ km/h}) = 1$ ora
- *R: 62 minuti*

Analogia del casello autostradale



- supponiamo che le auto ora si “propaghino” a 1000 km/h
- e supponiamo che il casello ora impieghi un minuto per servire un'auto
- *D: le prime auto arriveranno al secondo casello prima che le ultime auto della colonna lascino il primo?*
R: Sì! Dopo 7 minuti, la prima auto sarà al secondo casello, e tre auto saranno ancora in coda davanti al primo casello

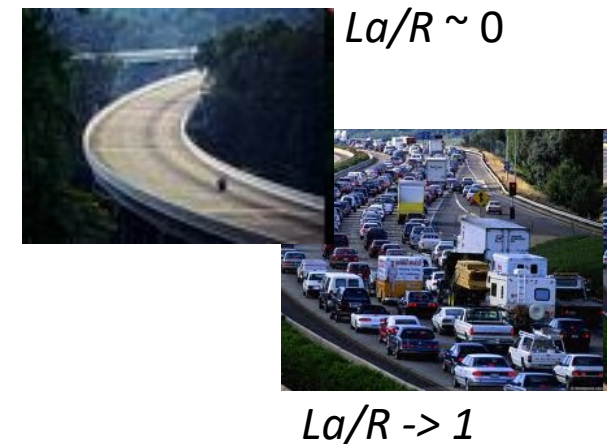
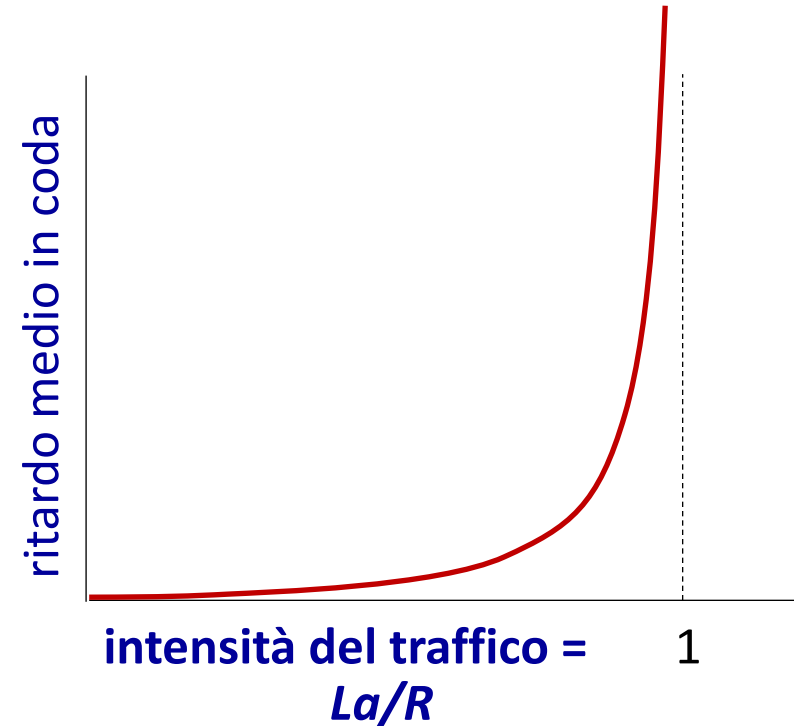
Il primo bit di un pacchetto può arrivare al secondo router prima che il pacchetto sia stato interamente trasmesso dal primo router!

Applet ritardo trasmissione e propagazione

https://media.pearsoncmg.com/aw/ecs_kurose_compnetwork_7/cw/content/interactiveanimations/transmission-vs-propagation-delay/transmission-propagation-delay-ch1/index.html

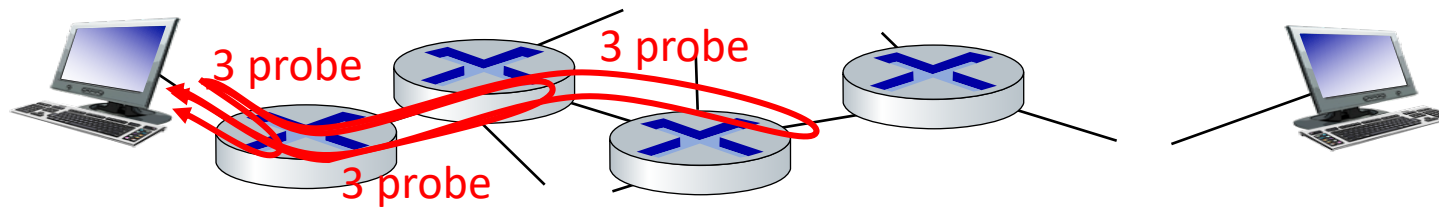
Ritardo di accodamento

- R : Rate di trasmissione o bandwidth (bps)
- L : lunghezza pacchetto (bit)
- a : tasso medio di arrivo dei pacchetti (pkt/s)
- $La/R \sim 0$: poco ritardo medio
- $La/R \rightarrow 1$: ritardo medio in coda di grandi dimensioni
- $La/R \geq 1$: più “lavoro” in arrivo di quanto possa essere effettivamente svolto, ritardo medio infinito! (anche se $La/R=1$)



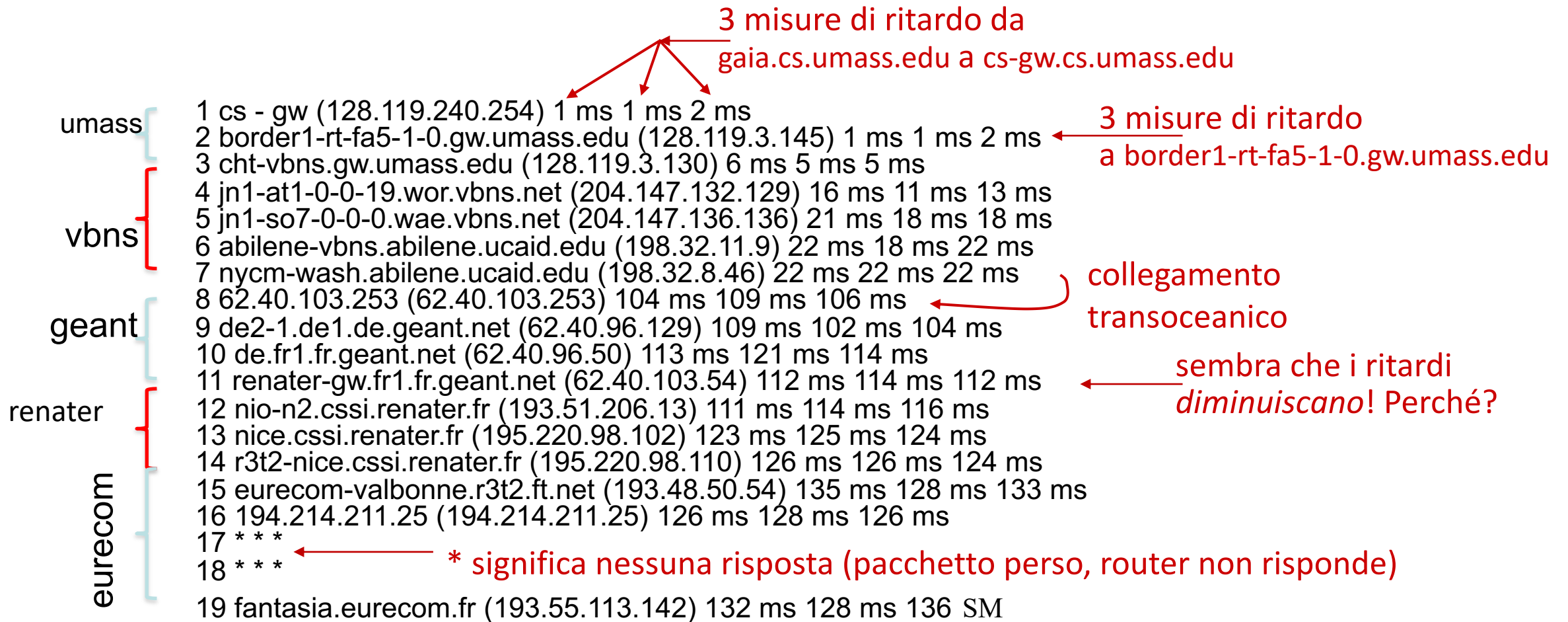
Ritardi e percorsi in Internet

- Ma cosa significano effettivamente packet delay and e loss nella “vera” Internet?
- **traceroute(tracert)**: programma diagnostico che fornisce una misura del ritardo dalla sorgente a tutti i router lungo il percorso Internet punto-punto verso la destinazione.
 - invia gruppi di tre pacchetti, ogni gruppo con tempo di vita (TTL) incrementale (da 1 a n , massimo valore $n = 30$) che raggiungeranno il router i ($i=1,n$) sul percorso verso la destinazione
 - il router i restituirà i pacchetti al mittente
 - il mittente calcola l'intervallo tra trasmissione e risposta



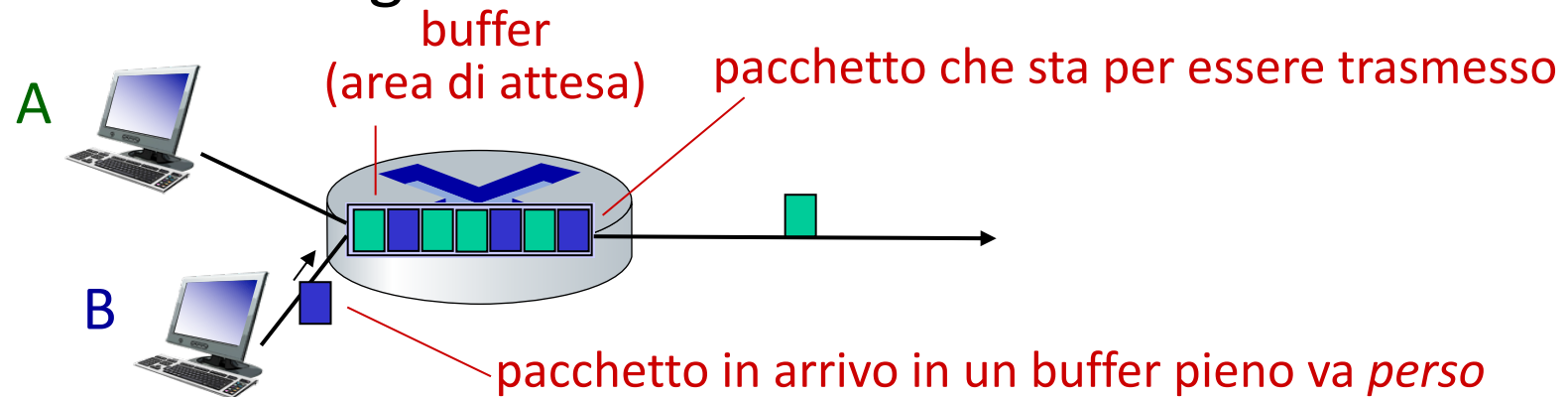
Ritardi e percorsi in Internet

traccia percorso: gaia.cs.umass.edu a www.eurecom.fr



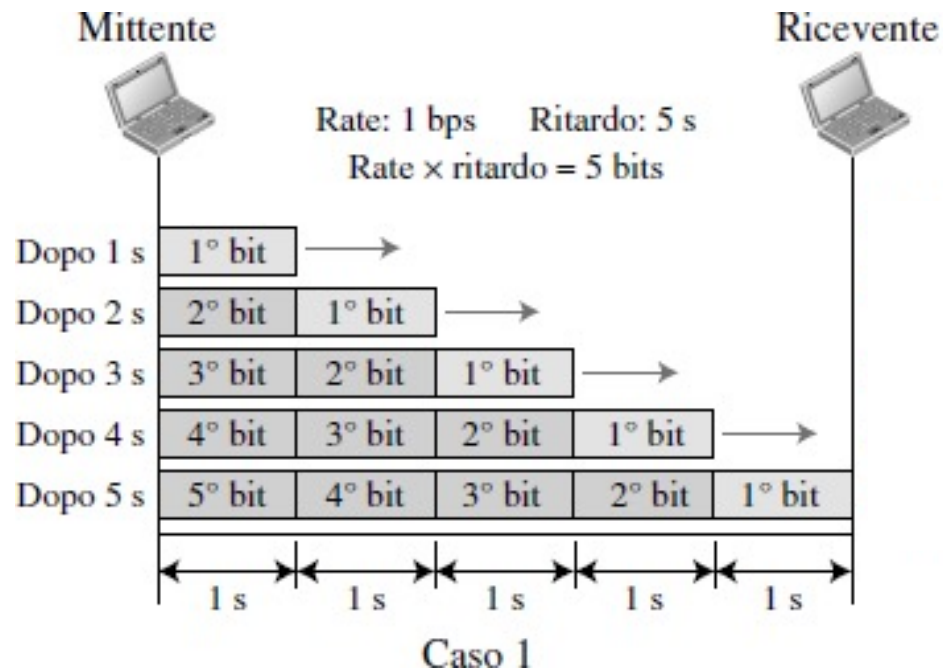
Perdita di pacchetti (packet loss)

- la coda (nota anche come buffer) che precede il link ha una capacità finita
- il pacchetto che arriva a una coda piena viene scartato (e quindi viene perso)
- il pacchetto perso può essere ritrasmesso dal nodo precedente, dal sistema terminale di origine o non essere ritrasmesso affatto



Prodotto rate*ritardo

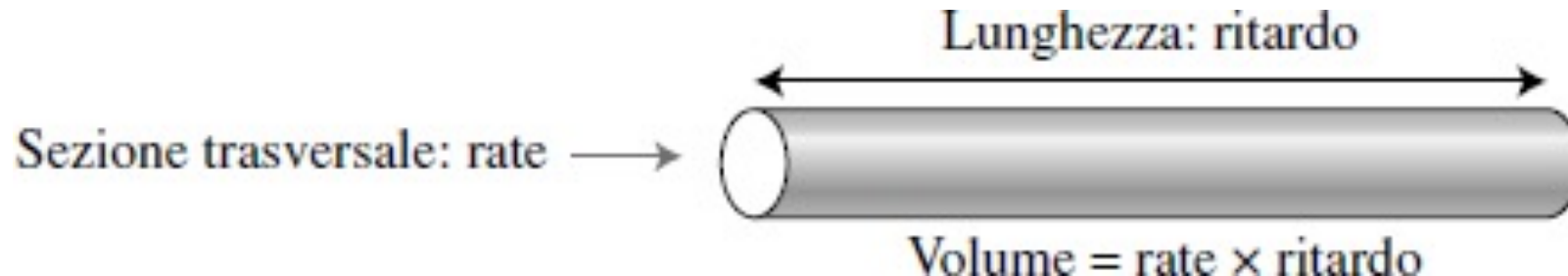
Supponiamo di avere un link con rate di 1 bps e un ritardo di propagazione di 5 secondi
Cosa rappresenta il prodotto rate*ritardo?



- Massimo numero di bit che possono riempire il collegamento
- Non possono esserci più di 5 bit contemporaneamente sul link

Concetto rate*ritardo

- Possiamo pensare al link tra due punti come a un tubo.
- La sezione trasversale del tubo rappresenta il rate e la lunghezza rappresenta il ritardo.
- Possiamo dire che il volume del tubo definisce il prodotto rate-ritardo



Esercizio

- Quanto tempo impiega un pacchetto di 1000 byte per **propagarsi** su un collegamento di 2500 km, con velocità di propagazione pari a $2,5 \times 10^8$ m/s e rate di 2 Mbps?
- Questo ritardo dipende dalla lunghezza del pacchetto?
- Quanto tempo impiega un pacchetto di 1000 byte per **arrivare a destinazione** su un collegamento di 2500 km, con velocità di propagazione pari a $2,5 \times 10^8$ m/s e rate di 2 Mbps?
- Questo ritardo dipende dalla lunghezza del pacchetto?



Unità SI

exa	E	10^{18}	1 000 000 000 000 000 000	deci	d	10^{-1}	0.1
peta	P	10^{15}	1 000 000 000 000 000	centi	c	10^{-2}	0.01
tera	T	10^{12}	1 000 000 000 000	milli	m	10^{-3}	0.001
giga	G	10^9	1 000 000 000	micro	μ	10^{-6}	0.000 001
mega	M	10^6	1 000 000	nano	n	10^{-9}	0.000 000 001
kilo	k	10^3	1 000	pico	p	10^{-12}	0.000 000 000 001
hecto	h	10^2	100	femto	f	10^{-15}	0.000 000 000 000 001
deca	da	10^1	10	atto	a	10^{-18}	0.000 000 000 000 000 001