

Reti di Calcolatori



Introduzione

Università degli Studi di Verona
Dipartimento di Informatica

Docente: [Damiano Carra](#)

Acknowledgement and contacts

❑ Credits

- *Part of the material is based on slides provided by the following authors*
 - Jim Kurose, Keith Ross, "Computer Networking: A Top Down Approach," 4th edition, Addison-Wesley, July 2007.
 - Antonio Corghi

❑ Contacts

- Main source of information
 - course web site
- Office hours (→ Ca' Vignal 2, 1st floor, #82)
 - Thursday, 11.00 - 13.00 (check the website for last-minute changes)
 - Based on agreement (via email)
- Email

damiano.carra@univr.it



Organizzazione

- Teoria + esercizi
- Argomenti
 - Modelli a strati (OSI e TCP/IP)
 - Cenni al livello applicativo
 - Livello di trasporto (TCP)
 - Livello rete (IP)
 - Livello Data Link
- Esercizi numerici svolti in classe
- Sul sito del corso si trova il dettaglio delle lezioni svolte
 - Lucidi
 - Giorni di lezione / esercitazione
 - **Attenzione! Per impegni vari alcune lezioni possono saltare**

3



Modalità d' esame

- Scritto, basato su esercizi come quelli svolti in classe
 - Contiene domande sulla parte teorica
- Orale, come integrazione dello scritto se:
 - Scritto vicino alla sufficienza
 - Richiesto dallo studente
 - Ci sono dubbi sullo scritto

4



Libri di testo

- ❑ J. Kurose, K. Ross, “Reti di calcolatori e Internet. Un approccio top-down,” Addison-Wesley
- ❑ B.A. Forouzan, F. Mosharraf, “Reti di calcolatori. Un approccio top-down,” McGraw-Hill
- ❑ **NEW!** O. Bonaventure et al., “Computer Networking : Principles, Protocols and Practice”
 - Online free book, solo in inglese
 - <https://scm.info.ucl.ac.be/release/cnp3/Book/html/>
- ❑ Altri testi consigliati
 - A.Tanenbaum, “Reti di Calcolatori,” Pearson, Prentice Hall
 - D. Comer, “Internetworking with TCP/IP” vol. 1
- ❑ **NOTA IMPORTANTE**
 - Le slides non costituiscono materiale di studio, ma solo di supporto, da usare come riferimento per capire quali argomenti sono stati trattati a lezione



Introduzione



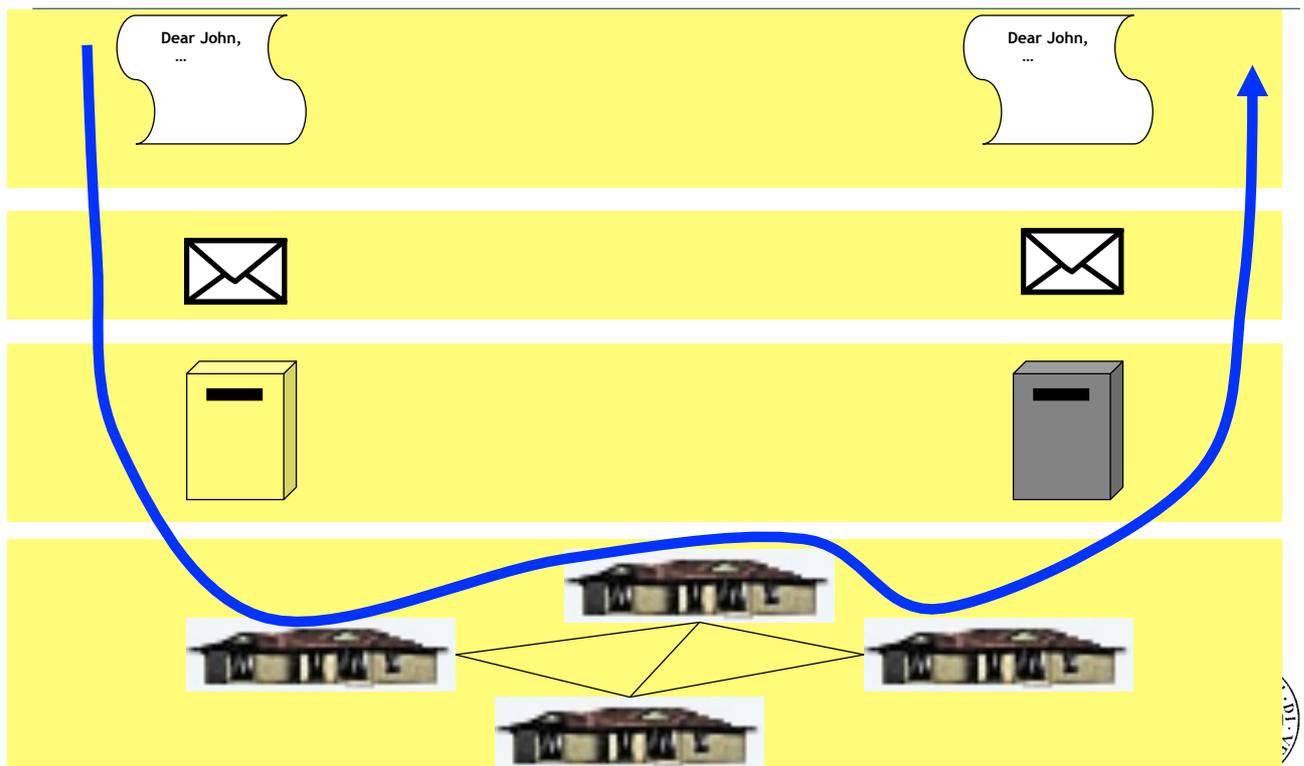
Scopo del corso

- ❑ Fornire le basi delle tecnologie per “Reti di Computer”
 - ad es. Local Area Network, Internet, ...
- ❑ Ci occuperemo delle problematiche associate a
 - protocolli di comunicazione
 - architetture dei diversi elementi che compongono una rete
- ❑ Approccio “top-down”
 - dal livello applicativo
 - trasmissione di messaggi
 - al livello fisico
 - trasmissione di bit

7



Top-down o Bottom-up? Esempio: invio di una lettera



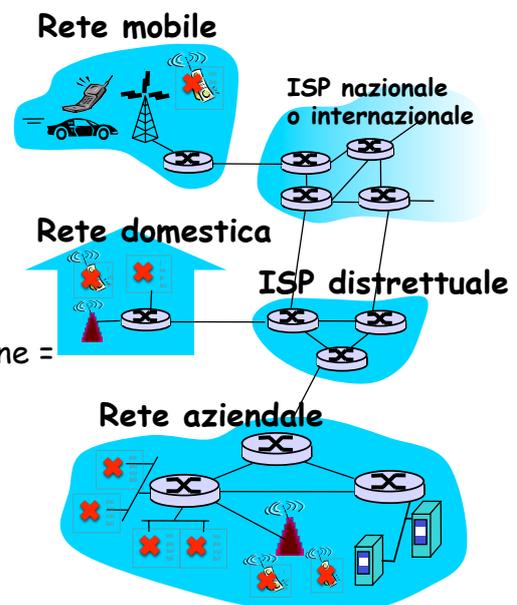
Indice degli argomenti

- ❑ **Cos'è Internet?**
- ❑ Ai confini della rete
 - ❖ sistemi terminali, reti di accesso
- ❑ Il nucleo della rete
 - ❖ commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete
- ❑ Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto
- ❑ Reti sotto attacco: la sicurezza
- ❑ Storia di Internet

Che cos'è Internet?

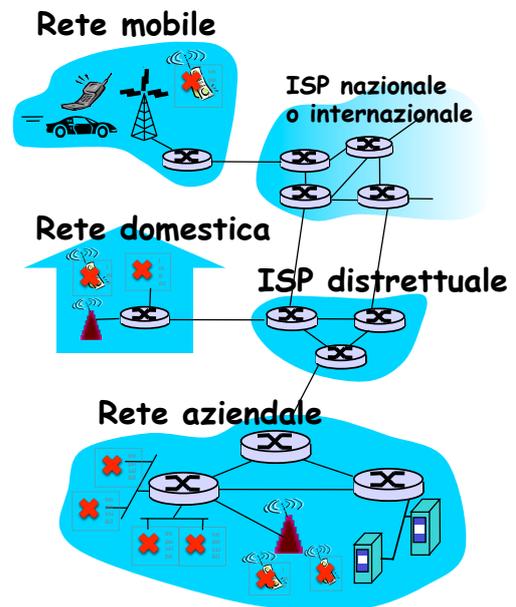


- ❑ Milioni di dispositivi collegati:
host = sistema terminale
- ❑ **applicazioni di rete**
- ❑ **collegamenti**
 - ❖ rame, fibra ottica, onde elettromagnetiche, satellite
 - ❖ Frequenza di trasmissione = **ampiezza di banda**
- ❑ **router**: instrada i pacchetti verso la loro destinazione finale



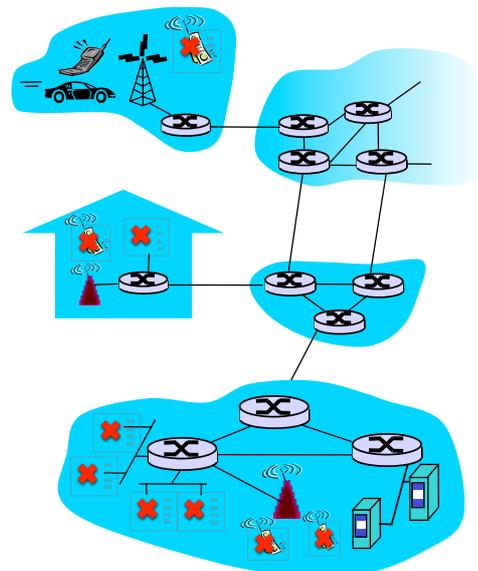
Che cos'è Internet

- Un **protocollo** definisce il formato e l'ordine dei messaggi scambiati fra due o più entità in comunicazione
 - ❖ es.: TCP, IP, HTTP, Skype, Ethernet
- **Internet: "rete delle reti"**
 - ❖ struttura gerarchica
 - ❖ Internet pubblica e intranet private
- **Standard Internet**
 - ❖ RFC: Request for comments
 - ❖ IETF: Internet Engineering Task Force



Cos'è Internet

- **Infrastruttura di comunicazione** per applicazioni distribuite:
 - ❖ Web, VoIP, e-mail, giochi, e-commerce, condivisione di file
- **Servizi forniti alle applicazioni:**
 - ❖ servizio affidabile dalla sorgente alla destinazione
 - ❖ Servizio "best effort" (non affidabile) senza connessione



Cos'è un protocollo?

Protocolli umani:

- ❑ "Che ore sono?"
- ❑ "Ho una domanda"
- ❑ Presentazioni

... invio di specifici messaggi

... quando il messaggio è ricevuto, vengono intraprese specifiche azioni, o si verificano altri eventi

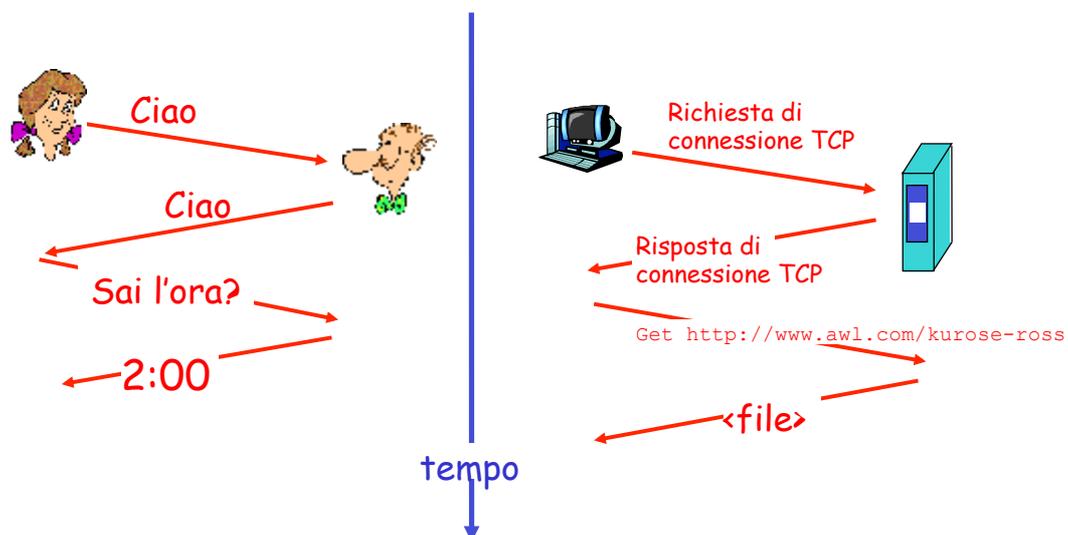
Protocolli di rete:

- ❑ Dispositivi hardware e software, non umani
- ❑ Tutta l'attività di comunicazione in Internet è governata dai protocolli

Un protocollo definisce il formato e l'ordine dei messaggi scambiati tra due o più entità in comunicazione, così come le azioni intraprese in fase di trasmissione e/o ricezione di un messaggio o di un altro evento

Cos'è un protocollo?

Protocollo umano e protocollo di rete



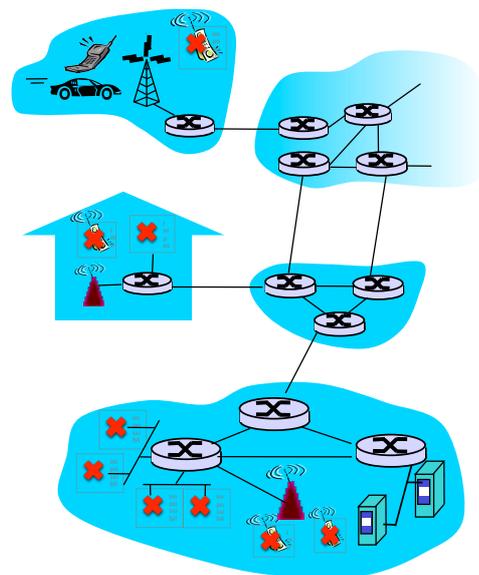
D: Conoscete altri protocolli umani?

Indice degli argomenti

- ❑ Cos'è Internet?
- ❑ **Ai confini della rete**
 - ❖ sistemi terminali, reti di accesso
- ❑ Il nucleo della rete
 - ❖ commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete
- ❑ Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto
- ❑ Reti sotto attacco: la sicurezza
- ❑ Storia di Internet

Uno sguardo da vicino alla struttura di rete

- ❑ **ai confini della rete:**
applicazioni e sistemi terminali
- ❑ **reti, dispositivi fisici:**
collegamenti cablati e wireless
- ❑ **al centro della rete:**
 - ❖ router interconnessi
 - ❖ la rete delle reti



Ai confini della rete

□ sistemi terminali (host):

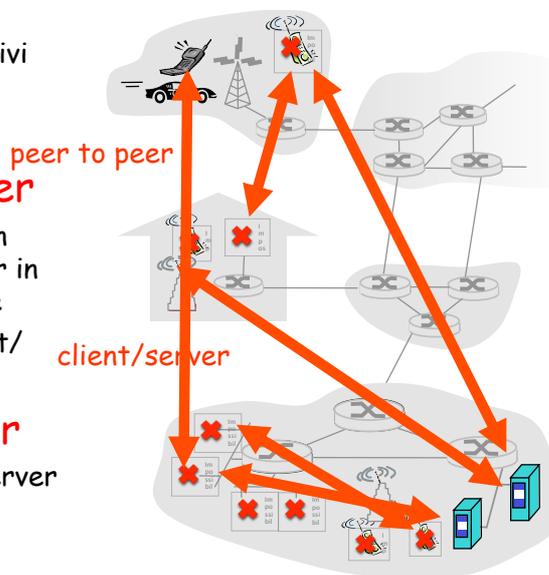
- ❖ fanno girare programmi applicativi
- ❖ es.: Web, e-mail
- ❖ situati all'estremità di Internet

□ architettura client/server

- ❖ L'host client richiede e riceve un servizio da un programma server in esecuzione su un altro terminale
- ❖ es.: browser/server Web ; client/server e-mail

□ architettura peer to peer

- ❖ uso limitato (o inesistente) di server dedicati
- ❖ es.: Skype, Bit Torrent



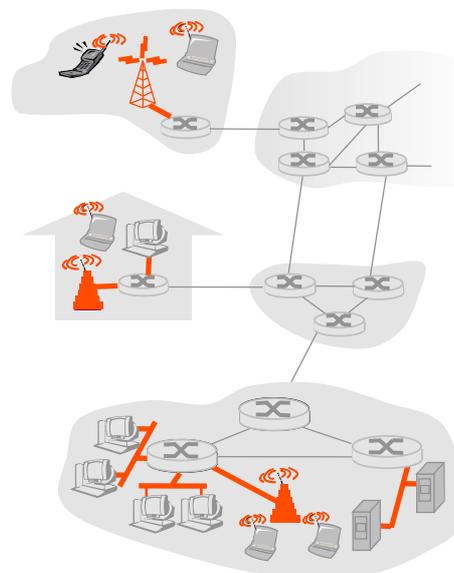
Reti d'accesso e mezzi fisici

D: Come collegare sistemi terminali e router esterni?

- reti di accesso residenziale
- reti di accesso aziendale (università, istituzioni, aziende)...
- reti di accesso mobile

Ricordate:

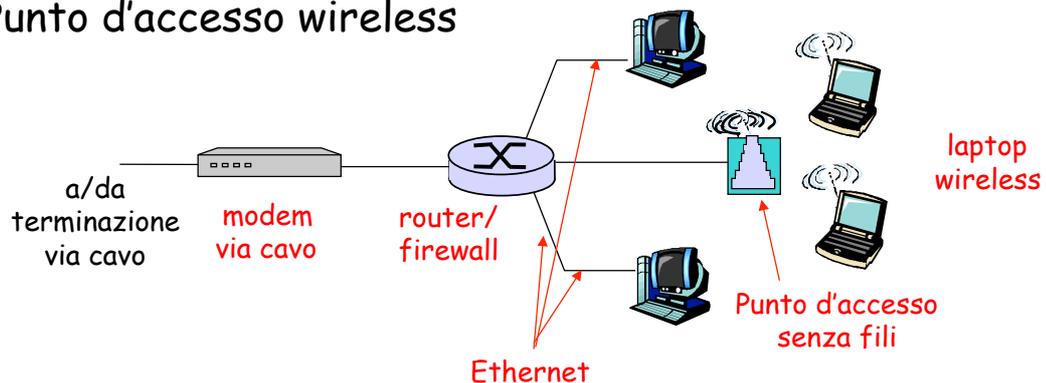
- ampiezza di banda (bit al secondo)?
- condivise o dedicate?



Reti di accesso residenziale (domestiche)

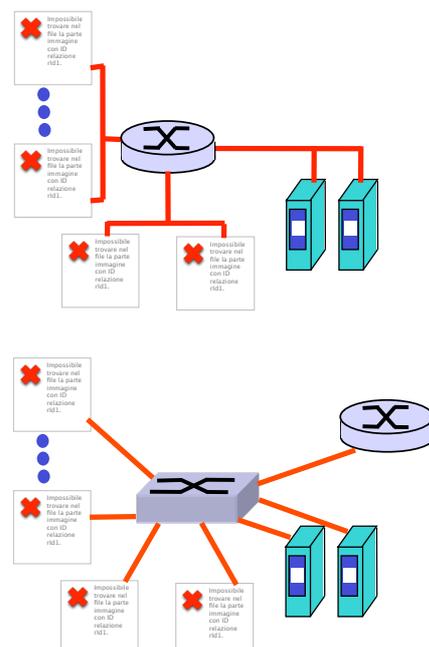
Componenti di una tipica rete da abitazione:

- ❑ DSL o modem via cavo
- ❑ router/firewall/NAT
- ❑ Ethernet
- ❑ Punto d'accesso wireless



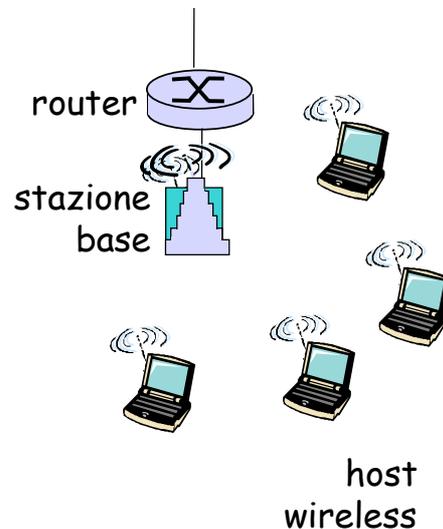
Accesso aziendale: reti locali (LAN)

- ❑ Una LAN collega i sistemi terminali di aziende e università all'edge router
- ❑ **Ethernet:**
 - ❖ 10 Mb, 100 Mb, 1 Giga, 10 Giga
 - ❖ Moderna configurazione: sistemi terminali collegati mediante uno switch Ethernet
- ❑ Le LAN: Capitolo 5



Accesso wireless

- Una rete condivisa d'accesso *wireless* collega i sistemi terminali al router
 - ❖ attraverso la stazione base, detta anche "access point"
- LAN wireless:
 - ❖ 802.11b/g (WiFi): 11 o 54Mbps
- rete d'accesso wireless geografica
 - ❖ gestita da un provider di telecomunicazioni
 - ❖ ~ 1 Mbps per i sistemi cellulari (EVDO, HSDPA)...
 - ❖ E poi (?): WiMax per aree più grandi

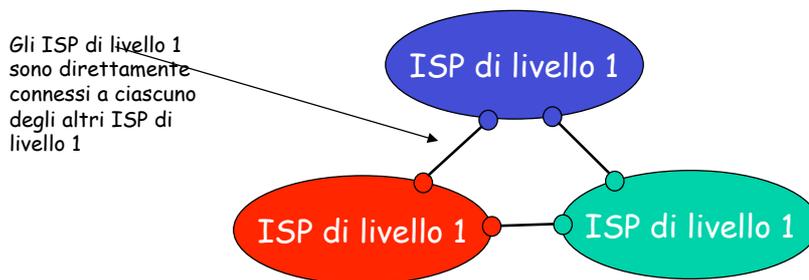


Indice degli argomenti

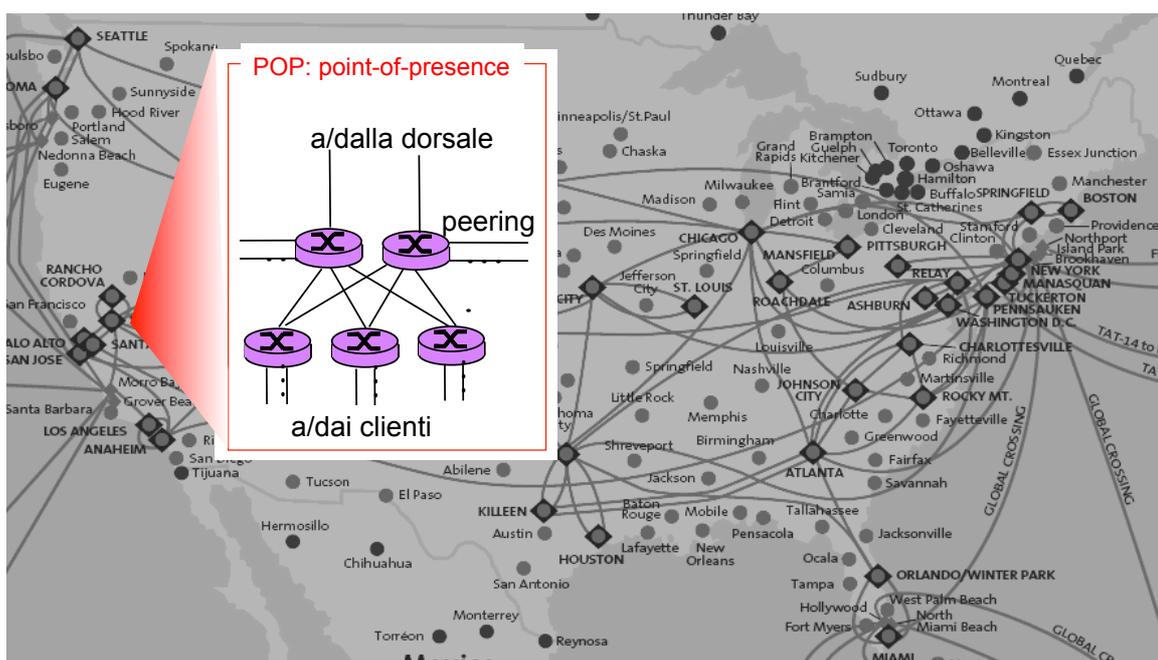
- Cos'è Internet?
- Ai confini della rete
 - ❖ sistemi terminali, reti di accesso
- Il nucleo della rete
 - ❖ commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete
- Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto
- Reti sotto attacco: la sicurezza
- Storia di Internet

In nucleo della rete: la rete delle reti

- ❑ Struttura di Internet: fondamentalmente gerarchica
- ❑ **al centro: "ISP di livello 1"** (es.: Verizon, Sprint, AT&T, Cable&Wireless), copertura nazionale/ internazionale
 - ❖ Comunicano tra di loro come "pari"



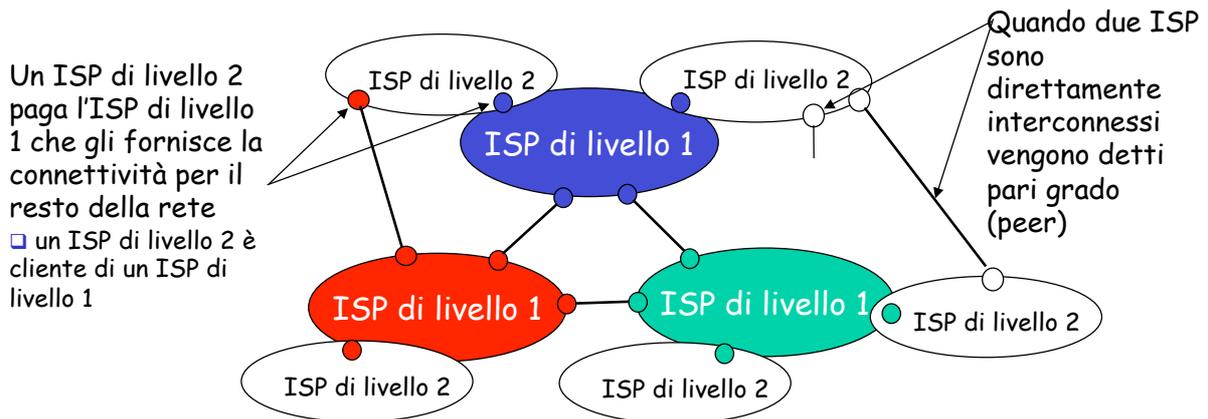
ISP di livello 1 - Un esempio: Sprint



Struttura di Internet: la rete delle reti

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

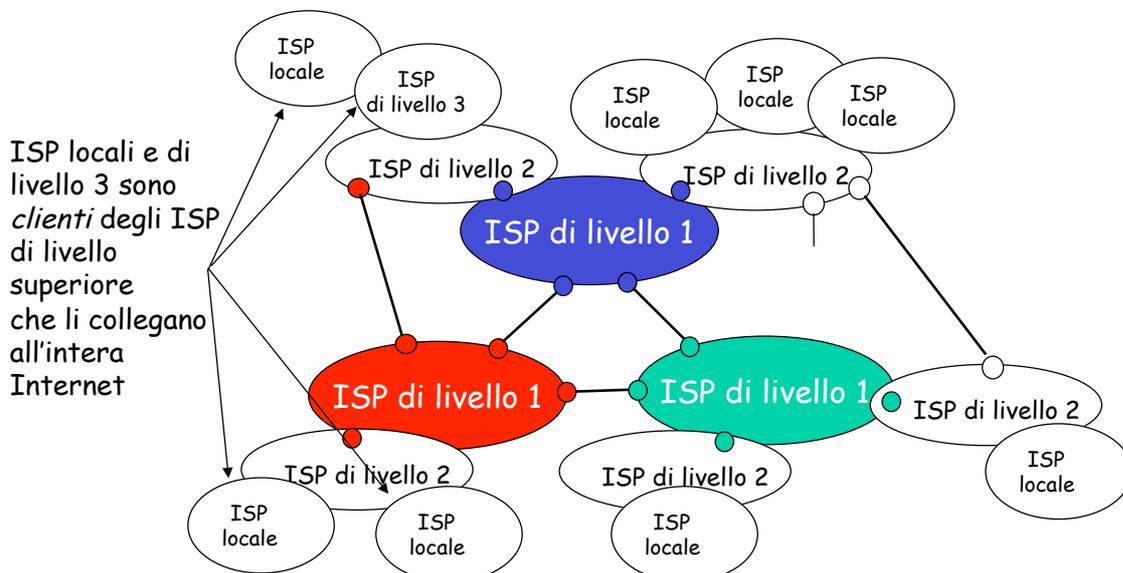
- ❖ Si può connettere solo ad alcuni ISP di livello 1, e possibilmente ad altri ISP di livello 2



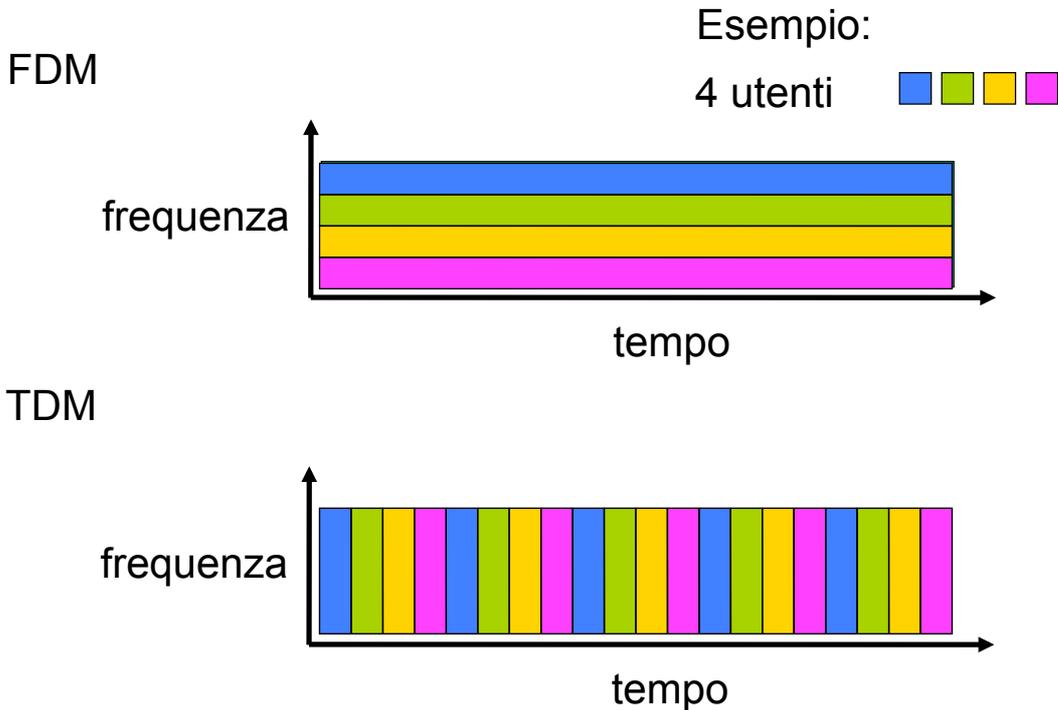
Struttura di Internet: la rete delle reti

□ ISP di livello 3 e ISP locali (ISP di accesso)

- ❖ Reti "ultimo salto" (*last hop network*), le più vicine ai sistemi terminali



Commutazione di circuito: FDM e TDM



Il nucleo della rete: commutazione di pacchetto

Il flusso di dati punto-punto viene suddiviso in pacchetti

- I pacchetti degli utenti A e B condividono le risorse di rete
- Ciascun pacchetto utilizza completamente il canale
- Le risorse vengono usate a seconda delle necessità

Contesa per le risorse

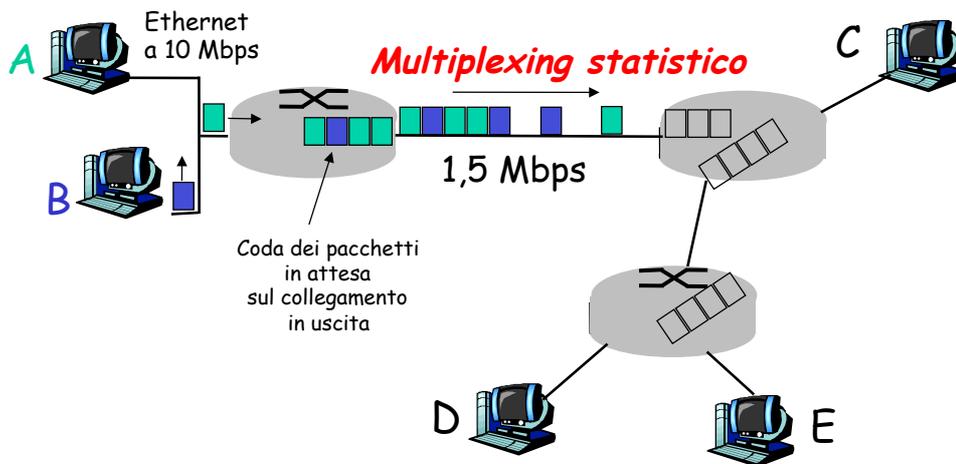
- La richiesta di risorse può eccedere il quantitativo disponibile
- **congestione**: accodamento dei pacchetti, attesa per l'utilizzo del collegamento
- **store and forward**: il commutatore deve ricevere l'intero pacchetto prima di poter cominciare a trasmettere sul collegamento in uscita

Larghezza di banda suddivisa in pezzi"

Allocazione dedicata

Risorse riservate

Commutazione di pacchetto: multiplexing statistico

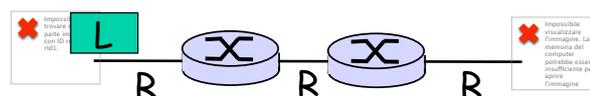


La sequenza dei pacchetti A e B non segue uno schema prefissato

Condivisione di risorse su richiesta ➔ **multiplexing statistico**.

TDM: ciascun host ottiene uno slot di tempo dedicato unicamente a quella connessione.

Commutazione di pacchetto: store-and-forward



- ❑ Occorrono L/R secondi per trasmettere (push out) un pacchetto di L bit su un collegamento in uscita da R bps

- ❑ **store and forward**: l'intero pacchetto deve arrivare al router prima che questo lo trasmetta sul link successivo

- ❑ ritardo = $3L/R$ (supponendo che il ritardo di propagazione sia zero)

Esempio:

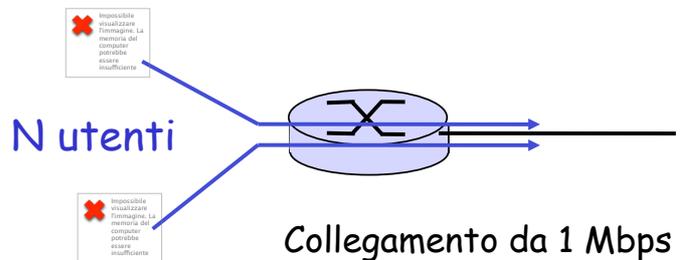
- ❑ $L = 7,5$ Mbits
- ❑ $R = 1,5$ Mbps
- ❑ ritardo = 15 sec

} approfondiremo tra breve il ritardo ...

Confronto tra commutazione di pacchetto e commutazione di circuito

La commutazione di pacchetto consente a più utenti di usare la rete!

- ❑ 1 collegamento da 1 Mbps
- ❑ Ciascun utente:
 - ❖ 100 kpbs quando è "attivo"
 - ❖ attivo per il 10% del tempo
- ❑ commutazione di circuito:
 - ❖ 10 utenti
- ❑ commutazione di pacchetto:
 - ❖ con 35 utenti, la probabilità di averne > 10 attivi è inferiore allo 0,0004



D: come è stato ottenuto il valore 0,0004?

Confronto tra commutazione di pacchetto e commutazione di circuito

La commutazione di pacchetto è la "scelta vincente?"

- ❑ **Ottima per i dati a raffica**
 - ❖ Condivisione delle risorse
 - ❖ Più semplice, non necessita l'impostazione della chiamata
- ❑ **Eccessiva congestione:** ritardo e perdita di pacchetti
 - ❖ Sono necessari protocolli per il trasferimento affidabile dei dati e per il controllo della congestione
- ❑ **D: Come ottenere un comportamento circuit-like?**
 - ❖ è necessario fornire garanzie di larghezza di banda per le applicazioni audio/video
 - ❖ è ancora un problema irrisolto (cfr Capitolo 7)

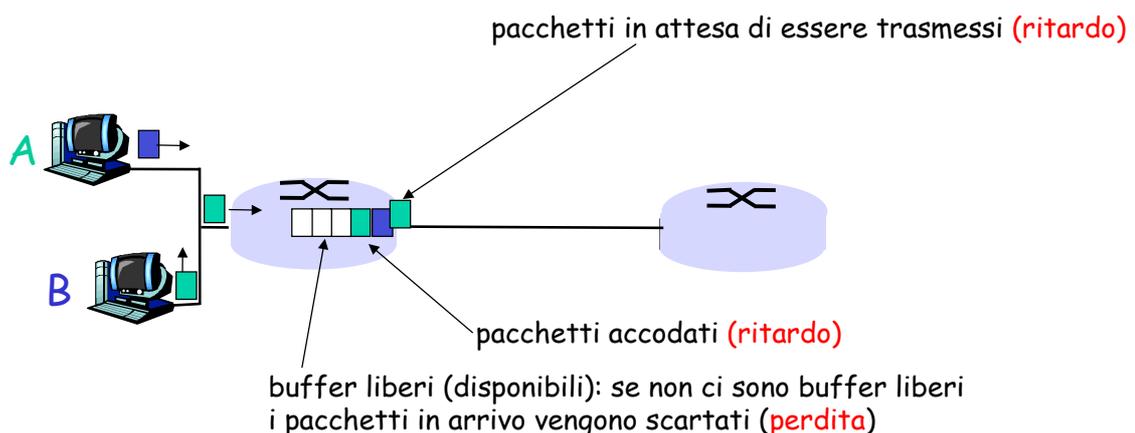
Indice degli argomenti

- ❑ Cos'è Internet?
- ❑ Ai confini della rete
 - ❖ sistemi terminali, reti di accesso
- ❑ Il nucleo della rete
 - ❖ commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete
- ❑ Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto
- ❑ Reti sotto attacco: la sicurezza
- ❑ Storia di Internet

Come si verificano ritardi e perdite?

I pacchetti *si accodano* nei buffer dei router

- ❑ il tasso di arrivo dei pacchetti sul collegamento eccede la capacità del collegamento di evaderli
- ❑ i pacchetti si accodano, in attesa del proprio turno



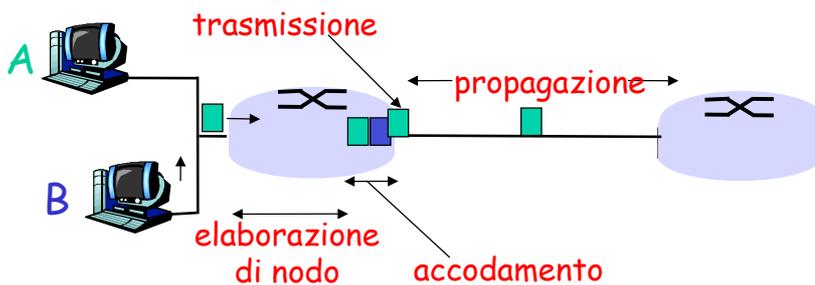
Quattro cause di ritardo per i pacchetti

1. Ritardo di elaborazione del nodo:

- ❖ controllo errori sui bit
- ❖ determinazione del canale di uscita

2. Ritardo di accodamento

- ❖ attesa di trasmissione
- ❖ livello di congestione del router



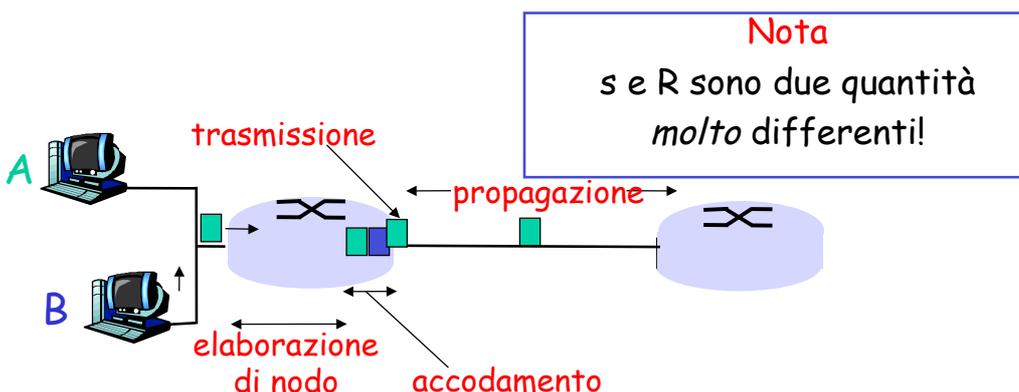
Ritardo nelle reti a commutazione di pacchetto

3. Ritardo di trasmissione (L/R):

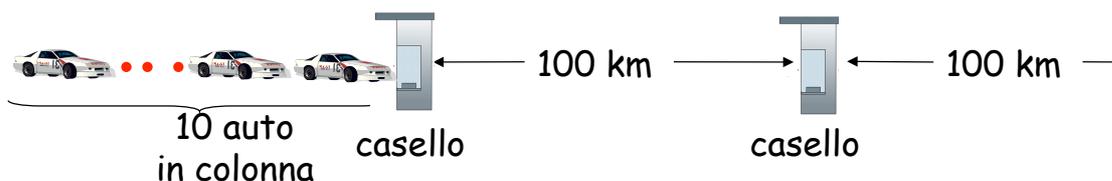
- ❑ R = frequenza di trasmissione del collegamento (in bps)
- ❑ L = lunghezza del pacchetto (in bit)
- ❑ Ritardo di trasmissione = L/R

4. Ritardo di propagazione (d/s)

- ❑ d = lunghezza del collegamento fisico
- ❑ s = velocità di propagazione del collegamento ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- ❑ Ritardo di propagazione = d/s

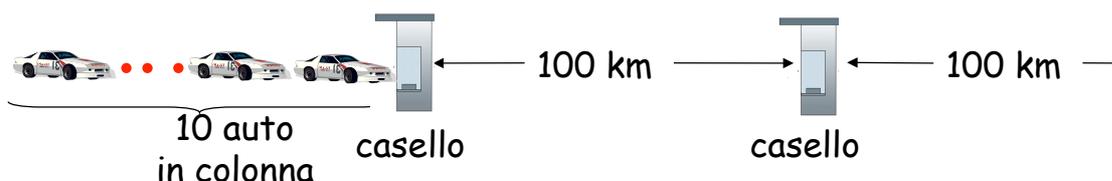


L'analogia del casello autostradale



- Le automobili viaggiano (ossia "si propagano") alla velocità di 100 km/h
- Il casello serve (ossia "trasmette") un'auto ogni 12 secondi
- auto~bit; colonna ~ pacchetto
- **D: quanto tempo occorre perché le 10 auto in carovana si trovino di fronte al secondo casello?**
- Tempo richiesto al casello per trasmettere l'intera colonna sull'autostrada = $12 \cdot 10 = 120$ sec
- Tempo richiesto a un'auto per viaggiare dall'uscita di un casello fino al casello successivo: $100 \text{ km} / (100 \text{ km/h}) = 1$ hr
- **R: 62 minuti**

L'analogia del casello autostradale



- Le auto ora "si propagano" alla velocità di 1000 km/h
- Al casello adesso occorre 1 min per servire ciascuna auto
- **D: le prime auto arriveranno al secondo casello prima che le ultime auto della colonna lascino il primo?**
- **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!
 - ❖ Si veda l'applet sul sito web

Ritardo di nodo

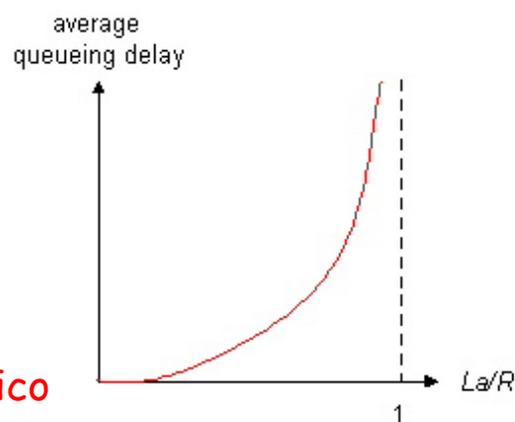
$$d_{\text{nodal}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

- d_{proc} = ritardo di elaborazione (*processing delay*)
 - ❖ in genere pochi microsecondi, o anche meno
- d_{queue} = ritardo di accodamento (*queuing delay*)
 - ❖ dipende dalla congestione
- d_{trans} = ritardo di trasmissione (*transmission delay*)
 - ❖ $= L/R$, significativo sui collegamenti a bassa velocità
- d_{prop} = ritardo di propagazione (*propagation delay*)
 - ❖ da pochi microsecondi a centinaia di millisecondi

Ritardo di accodamento

- R = frequenza di trasmissione (bps)
- L = lunghezza del pacchetto (bit)
- a = tasso medio di arrivo dei pacchetti

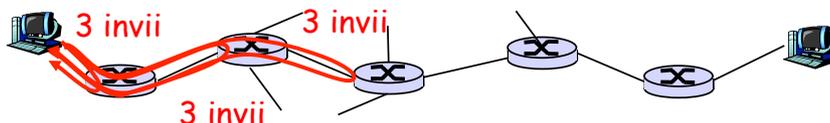
La/R = intensità di traffico



- $La/R \sim 0$: poco ritardo
- $La/R \rightarrow 1$: il ritardo si fa consistente
- $La/R > 1$: più "lavoro" in arrivo di quanto possa essere effettivamente svolto, ritardo medio infinito!

Ritardi e percorsi in Internet

- Ma cosa significano 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.
 - ❖ 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



Ritardi e percorsi in Internet

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

Tre misure di ritardo da gaia.cs.umass.edu a cs-gw.umass.edu

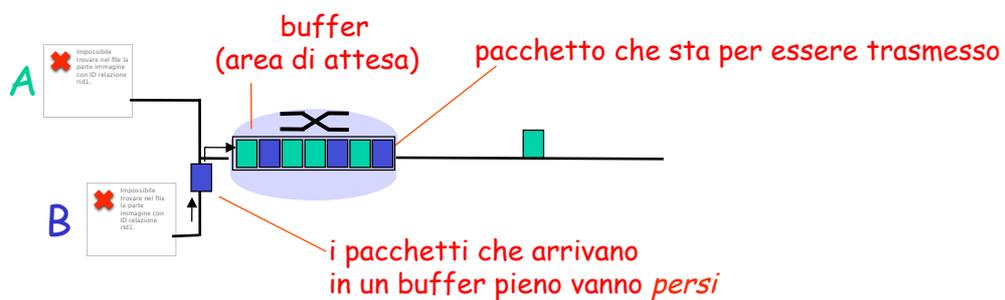
1	cs-gw (128.119.240.254)	1 ms	1 ms	2 ms
2	border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145)	1 ms	1 ms	2 ms
3	cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130)	6 ms	5 ms	5 ms
4	jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129)	16 ms	11 ms	13 ms
5	jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136)	21 ms	18 ms	18 ms
6	abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9)	22 ms	18 ms	22 ms
7	nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46)	22 ms	22 ms	22 ms
8	62.40.103.253 (62.40.103.253)	104 ms	109 ms	106 ms
9	de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129)	109 ms	102 ms	104 ms
10	de.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50)	113 ms	121 ms	114 ms
11	renater-gw.fr1.fr.geant.net (62.40.103.54)	112 ms	114 ms	112 ms
12	nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13)	111 ms	114 ms	116 ms
13	nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102)	123 ms	125 ms	124 ms
14	r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110)	126 ms	126 ms	124 ms
15	eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54)	135 ms	128 ms	133 ms
16	194.214.211.25 (194.214.211.25)	126 ms	128 ms	126 ms
17	***			
18	***			
19	fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142)	132 ms	128 ms	136 ms

collegamento transoceanico

* significa nessuna risposta (risposta persa, il router non risponde)

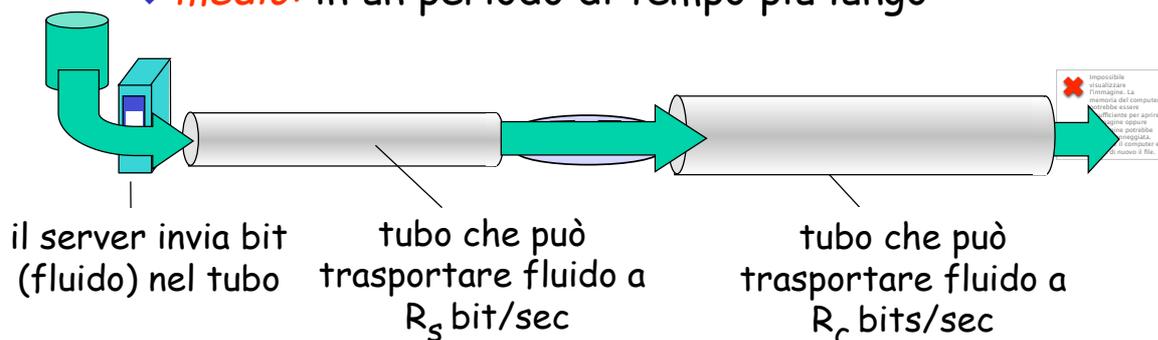
Perdita di pacchetti

- una coda (detta anche buffer) ha capacità finita
- quando il pacchetto trova la coda piena, viene scartato (e quindi va perso)
- il pacchetto perso può essere ritrasmesso dal nodo precedente, dal sistema terminale che lo ha generato, o non essere ritrasmesso affatto



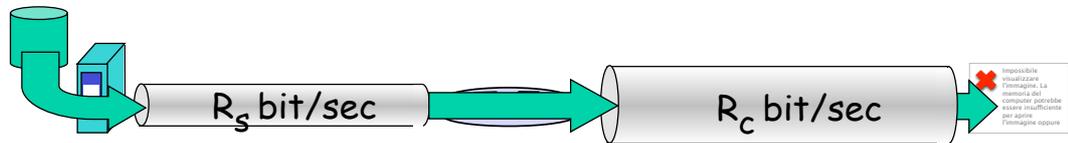
Throughput

- **throughput**: frequenza (bit/unità di tempo) alla quale i bit sono trasferiti tra mittente e ricevente
 - ❖ **istantaneo**: in un determinato istante
 - ❖ **medio**: in un periodo di tempo più lungo

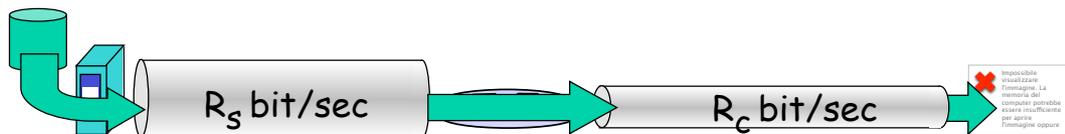


Throughput (segue)

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



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

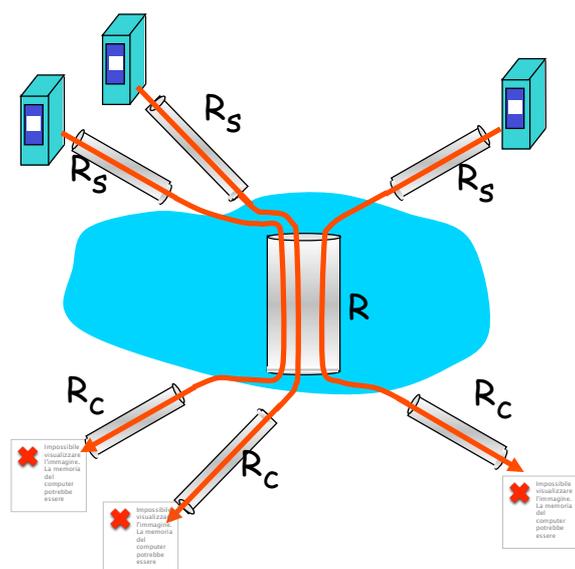


Collo di bottiglia

Collegamento su un percorso punto-punto che vincola un throughput end to end

Throughput: scenario Internet

- throughput end to end per ciascuna connessione:
 $\min(R_c, R_s, R/10)$
- in pratica: R_c o R_s è spesso nel collo di bottiglia



10 collegamenti (equamente) condivisi
collegamento collo di bottiglia R bit/sec

Indice degli argomenti

- ❑ Cos'è Internet?
- ❑ Ai confini della rete
 - ❖ sistemi terminali, reti di accesso
- ❑ Il nucleo della rete
 - ❖ commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete
- ❑ Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto
- ❑ Reti sotto attacco: la sicurezza
- ❑ Storia di Internet

Sicurezza di rete

- ❑ Il campo della sicurezza di rete si occupa di:
 - ❖ malintenzionati che attaccano le reti di calcolatori
 - ❖ come difendere le reti dagli attacchi
 - ❖ come progettare architetture immuni da attacchi
- ❑ Internet non fu inizialmente progettato per la sicurezza
 - ❖ *Visione originaria*: "un gruppo di utenti che si fidavano l'uno dell'altro collegati a una rete trasparente" 😊
 - ❖ I progettisti del protocollo Internet stanno recuperando
 - ❖ Un occhio alla sicurezza in tutti i livelli

I malintenzionati installano malware negli host attraverso Internet

- ❑ Il malware può raggiungere gli host attraverso virus, worm, o cavalli di Troia.
- ❑ Malware di spionaggio può registrare quanto viene digitato, i siti visitati e informazioni di upload.
- ❑ Gli host infettati possono essere "arruolati" in botnet, e usati per lo spamming e per gli attacchi di DDoS.
- ❑ Il malware è spesso auto-replicante: da un host infettato può passare ad altri host

I malintenzionati installano malware negli host attraverso Internet

❑ Cavalli di Troia

- ❖ Parte nascosta di un software utile
- ❖ Oggi si trova spesso su alcune pagine web (Active-X, plugin)...

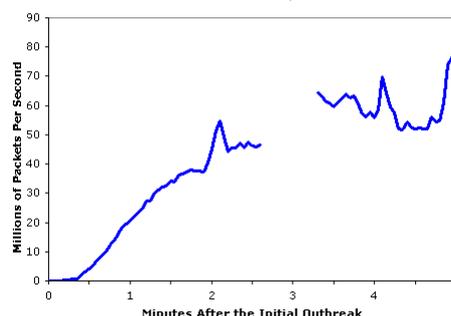
❑ Virus

- ❖ L'infezione proviene da un oggetto ricevuto (attachment di e-mail), e mandato in esecuzione
- ❖ Auto-replicante: si propaga da solo ad altri host e utenti

❑ Worm:

- ❖ L'infezione proviene da un oggetto passivamente ricevuto che si auto-esegue
- ❖ Auto-replicante: si propaga da solo ad altri host e utenti

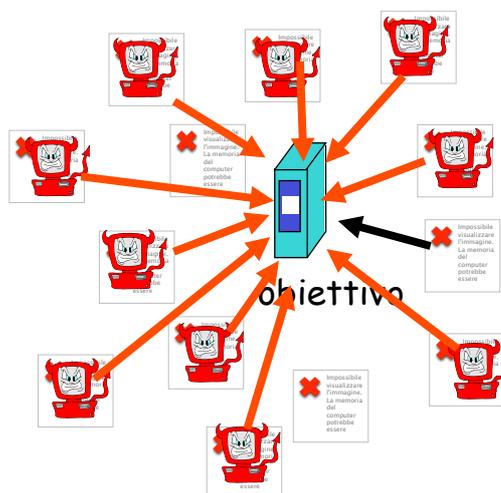
Worm Sapphire : scans/sec aggregati nei primi 5 minuti di diffusione (CAIDA, UWisc data)



I malintenzionati attaccano server e infrastrutture di rete

- Negazione di servizio (DoS): gli attaccanti fanno sì che le risorse (server, ampiezza di banda) non siano più disponibili al traffico legittimo sovraccaricandole di traffico artefatto

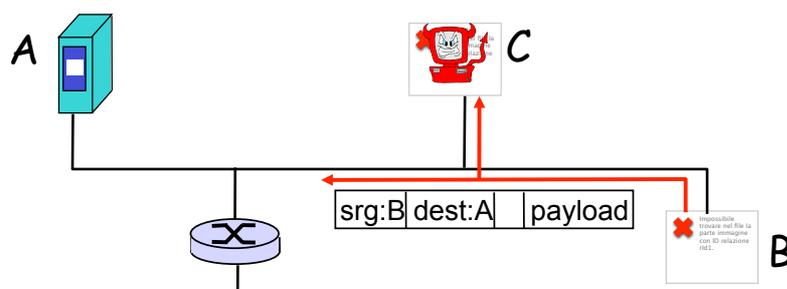
1. Selezione dell'obiettivo
1. Irruzione negli host attraverso la rete
1. Invio di pacchetti verso un obiettivo da parte degli host compromessi



I malintenzionati analizzano i pacchetti

Analisi dei pacchetti (packet sniffing):

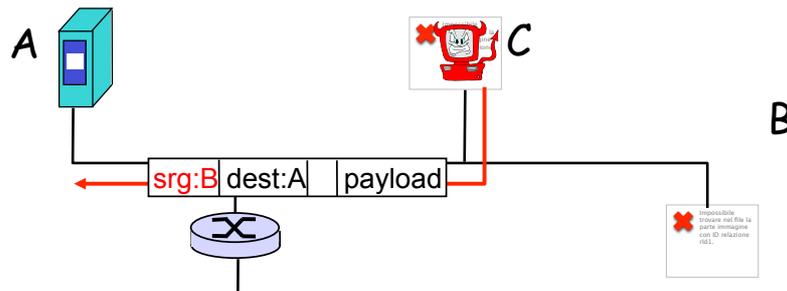
- ❖ media broadcast (Ethernet condivisa, wireless)
- ❖ un'interfaccia di rete legge/registra tutti i pacchetti (password comprese!) che l'attraversano



- ❖ Il software usato per il Laboratorio alla fine di questo capitolo è un packet-sniffer (gratis!)

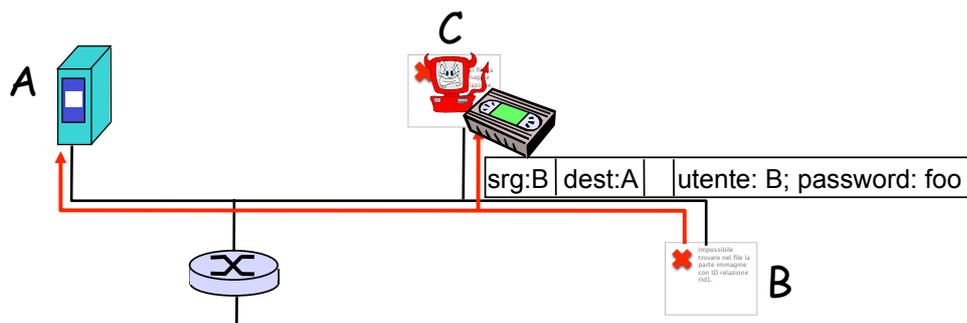
I malintenzionati usano indirizzi sorgente falsi

- **IP spoofing:** invio di pacchetti con un indirizzo sorgente falso



I malintenzionati registrano e riproducono

- **record-and-playback:** "sniffano" dati sensibili (password, ad esempio), per poi utilizzarli in un secondo tempo



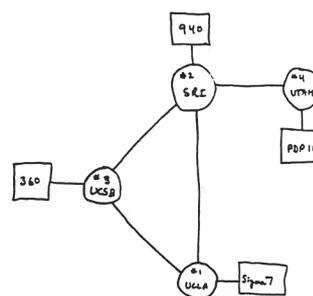
Indice degli argomenti

- ❑ Cos'è Internet?
- ❑ Ai confini della rete
 - ❖ sistemi terminali, reti di accesso
- ❑ Il nucleo della rete
 - ❖ commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete
- ❑ Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto
- ❑ Reti sotto attacco: la sicurezza
- ❑ **Storia di Internet**

Storia di Internet

1961-1972: sviluppo della commutazione di pacchetto

- ❑ **1961:** Kleinrock - la teoria delle code dimostra l'efficacia dell'approccio a commutazione di pacchetto
- ❑ **1964:** Baran - uso della commutazione di pacchetto nelle reti militari
- ❑ **1967:** il progetto ARPAnet viene concepito dall'Advanced Research Projects Agency
- ❑ **1969:** primo nodo operativo ARPAnet
- ❑ **1972:**
 - ❖ dimostrazione pubblica di ARPAnet
 - ❖ NCP (Network Control Protocol), primo protocollo tra nodi
 - ❖ Primo programma di posta elettronica
 - ❖ ARPAnet ha 15 nodi



THE ARPA NETWORK

Storia di Internet

1972-1980: Internetworking e reti proprietarie

- ❑ 1970: rete satellitare ALOHAnet che collega le università delle Hawaii
- ❑ 1974: Cerf e Kahn - architettura per l'interconnessione delle reti
- ❑ 1976: Ethernet allo Xerox PARC
- ❑ Fine anni '70: architetture proprietarie: DECnet, SNA, XNA
- ❑ Fine anni '70: commutazione di pacchetti: ATM ante-litteram
- ❑ 1979: ARPAnet ha 200 nodi

Le linee guida di Cerf e Kahn sull'internetworking:

- ❖ minimalismo, autonomia - per collegare le varie reti non occorrono cambiamenti interni
 - ❖ modello di servizio best effort
 - ❖ router stateless
 - ❖ controllo decentralizzato
- definiscono l'attuale architettura di Internet*

Storia di Internet

1980-1990: nuovi protocolli, proliferazione delle reti

- ❑ 1983: rilascio di TCP/IP
- ❑ 1982: definizione del protocollo smtp per la posta elettronica
- ❑ 1983: definizione del DNS per la traduzione degli indirizzi IP
- ❑ 1985: definizione del protocollo ftp
- ❑ 1988: controllo della congestione TCP
- ❑ nuove reti nazionali: Cernet, BITnet, NSFnet, Minitel
- ❑ 100.000 host collegati

Storia di Internet

1990-2000: commercializzazione, Web, nuove applicazioni

- ❑ Primi anni '90: ARPAnet viene dismessa
 - ❑ 1991: NSF lascia decadere le restrizioni sull'uso commerciale di NSFnet
 - ❑ Primi anni '90: il Web
 - ❖ ipertestualità [Bush 1945, Nelson 1960's]
 - ❖ HTML, HTTP: Berners-Lee
 - ❖ 1994: Mosaic, poi Netscape
 - ❑ Fine '90 : commercializzazione del Web
- Fine anni '90 - 2007:
 - ❑ arrivano le "killer applications": messaggistica istantanea, condivisione di file P2P
 - ❑ sicurezza di rete
 - ❑ 50 milioni di host, oltre 100 milioni di utenti
 - ❑ velocità nelle dorsali dell'ordine di Gbps

Storia di Internet

2008:

- ❑ ~ 500 milioni di host
- ❑ Voice, Video over IP
- ❑ Applicazioni P2P: BitTorrent (condivisione di file) Skype (VoIP), PPLive (video)...
- ❑ Più applicazioni: YouTube, gaming
- ❑ wireless, mobilità

Reti di Calcolatori



Modello a strati

Università degli Studi di Verona
Dipartimento di Informatica

Docente: [Damiano Carra](#)

Modello di comunicazione

- Quando un sistema vuole scambiare informazioni con un altro sistema, nasce il problema della **comunicazione**
- La comunicazione tra sistemi racchiude in sé due sotto-problemi:
 1. il linguaggio utilizzato
 2. la modalità di scambio (trasmissione) delle informazioni
- Il primo passo per affrontare la questione è creare un **modello** che ne descriva le caratteristiche
- In tale modello, chiameremo:
 - linguaggio: **comunicazione logica**
 - modalità di scambio: **comunicazione fisica**



Esempio



□ l'informazione è stata scambiata

- a livello logico da una persona ad un'altra
- a livello fisico attraversando diversi sistemi

□ da notare che, a seconda del mezzo utilizzato, ho caratteristiche di comunicazione fisica differenti, mentre la comunicazione logica rimane inalterata

□ Altro esempio: diplomatico alle nazioni unite

- a livello logico, il diplomatico pensa di parlare ai suoi colleghi
- a livello fisico egli parla solo con il suo interprete



3

Alcune problematiche associate alla comunicazione

□ Logica

- linguaggio utilizzato
 - significato dei messaggi
- regole per lo scambio di informazione
 - modalità instaurazione connessioni
 - algoritmi per instradamento
- modalità di trasferimento (simplex, half duplex, ...)
- ...

□ Fisica

- indirizzamento
- controllo degli errori
- affidabilità
- sequenzialità
- segmentazione
- multiplexazione
- controllo di flusso
- modalità di trasmissione del segnale
- ...



4

Approccio a livelli

□ Approccio “*divide et impera*”

- il problema della comunicazione (logica e fisica) viene suddiviso in sotto-problemi
- ciascun sotto-problema viene trattato separatamente

□ L’informazione passa attraverso una “catena di montaggio” in cui essa viene trasformata in modo da poter essere spedita

- ogni passo della catena assolve ad una funzione specifica
 - confezione del prodotto, imballaggio, decisione della destinazione, ...

□ Dall’altra parte ci sarà una catena di montaggio *inversa* che restituisce l’informazione

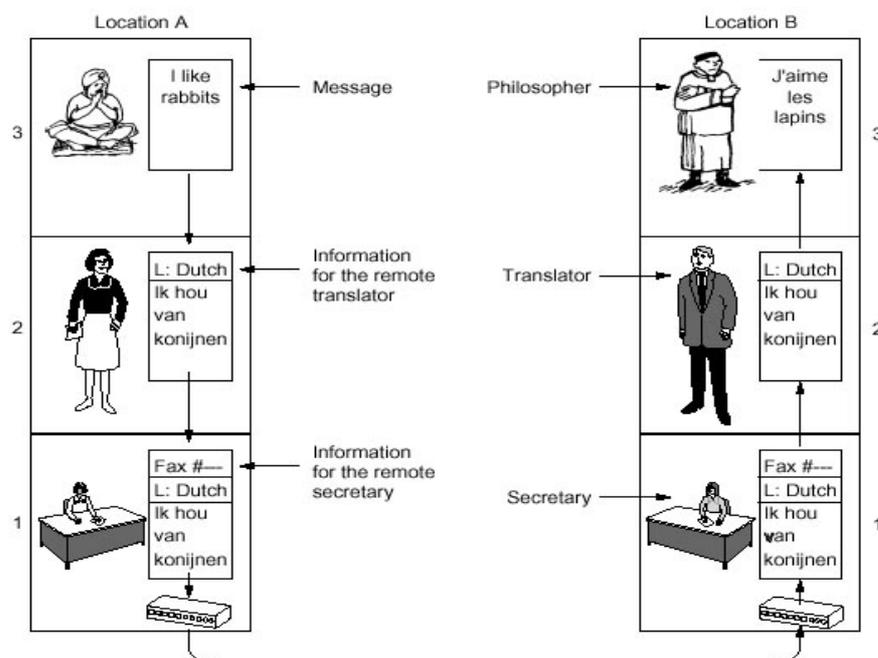
□ Tradizionalmente questa catena di montaggio viene rappresentata “in verticale”, come una serie di *livelli* (o *layer*, strati)

- ogni livello assolve ad un compito ben preciso e svolge una serie di funzioni specifiche



5

Esempio



6



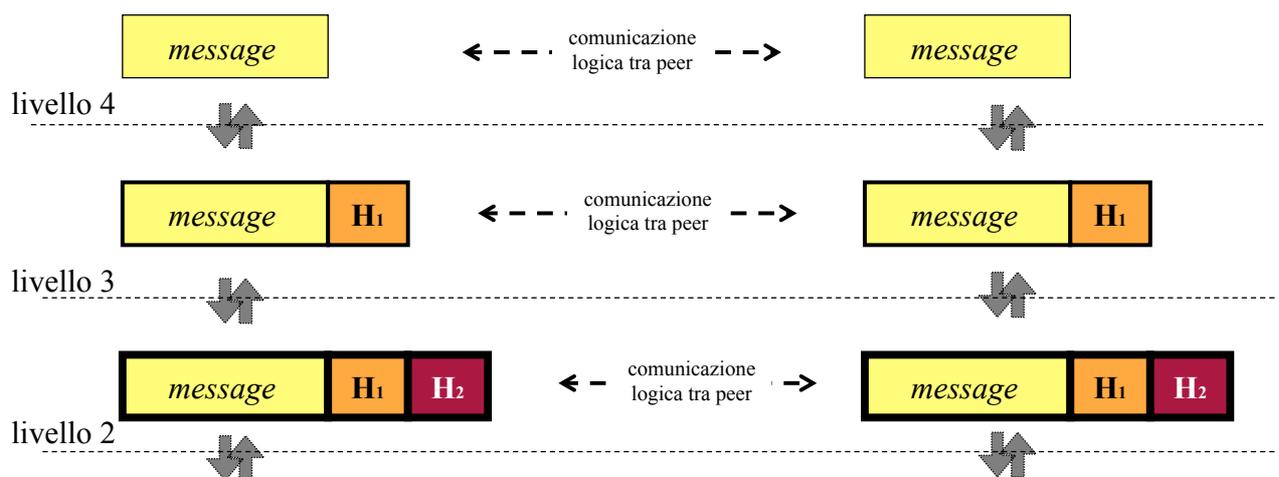
Modello a strati

- ❑ Ogni livello interagisce solo con i due adiacenti (*comunicazione fisica*):
 - riceve il messaggio dal livello superiore (o inferiore)
 - lo elabora
 - lo passa al livello inferiore (o superiore)
- ❑ In genere, nell'elaborazione del messaggio, viene aggiunta dell'informazione
 - l'informazione aggiunta non e' altro che il risultato della funzioni svolte da quel livello
- ❑ Il livello N colloquia con il suo omologo (*peer*) di un'altra macchina (*comunicazione logica*)



7

Esempio



livello 1

8



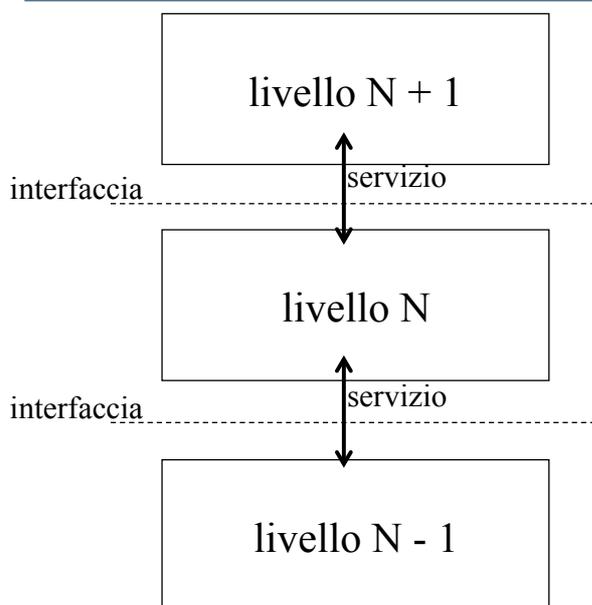
Perché il modello a strati?

- ❑ Per ogni livello vengono definiti
 - i servizi che esso deve offrire
 - le funzioni che deve svolgere
 - le primitive che deve mettere a disposizione
- ❑ **NON** viene definito il **MODO** in cui implementare i servizi / funzioni
 - modularità
 - intercambiabilità
- ❑ Rientra nella concezione di “divide et impera” / catena di montaggio
 - esempio: confezionamento di un prodotto
 - alla postazione N della catena, il prodotto viene confezionato (la postazione offre un servizio di confezionamento; la funzione da svolgere sono controllo del riempimento, suddivisione del prodotto in più confezioni, ...)
 - non ha importanza se il confezionamento viene fatto da una macchina o da una persona



9

Definizioni



- ❑ Tra ogni coppia di livelli adiacenti esiste un’**interfaccia**
- ❑ L’interfaccia definisce i **servizi** offerti dal livello sottostante a quello superiore
- ❑ Ogni livello può offrire più di un servizio al livello superiore
- ❑ Per espletare il servizio, ogni livello compie una serie di **funzioni**
- ❑ I servizi vengono fruiti attraverso **primitive**



10

Servizi, funzioni e primitive

- ❑ Gli elementi attivi in ogni livello del sistema vengono detti **entità**
- ❑ Un **servizio** è una prestazione fornita dall'entità di livello inferiore ad una entità di livello superiore
- ❑ Le **funzioni** sono un'insieme di attività (elaborazione, analisi, aggiunte) che nell'insieme creano il servizio
 - Per poter espletare un servizio, l'entità svolge una serie di funzioni
- ❑ Le **primitive** sono delle comunicazioni tra entità per poter usufruire del servizio offerto (richiesta del servizio e ricezione di informazioni sul servizio)
 - sono caratterizzate da parametri tra cui: informazione da trasferire, indicazione del destinatario, caratteristiche del servizio richiesto, ...
- ❑ In definitiva:
 - attraverso le primitive, un livello richiede al livello sottostante un servizio; il servizio viene soddisfatto attraverso lo svolgimento di funzioni

11



Esempio: il servizio di spedizione merci

- ❑ Il prodotto confezionato deve essere spedito al negoziante
- ❑ Il reparto confezionamento usufruisce del servizio spedizioni del reparto spedizioni
- ❑ Il prodotto viene passato da un reparto all'altro con una richiesta di utilizzo del servizio (primitiva)
- ❑ Il servizio di spedizioni svolge le seguenti funzioni:
 - controlla la correttezza del destinatario
 - se il pacco da spedire è troppo piccolo per giustificare un viaggio, aspetta che arrivino altri pacchi per quella destinazione
 - in alternativa, se sono già presenti dei pacchi tali da caricare un camion, fa partire il camion
 - ...
- ❑ In definitiva:
 - il reparto confezionamento
 - richiede il recapito del prodotto dal cliente (primitiva)
 - vedrà recapitato il prodotto dal cliente (servizio)
 - il recapito è avvenuto grazie ad una serie di **funzioni** svolte dal reparto spedizioni

12



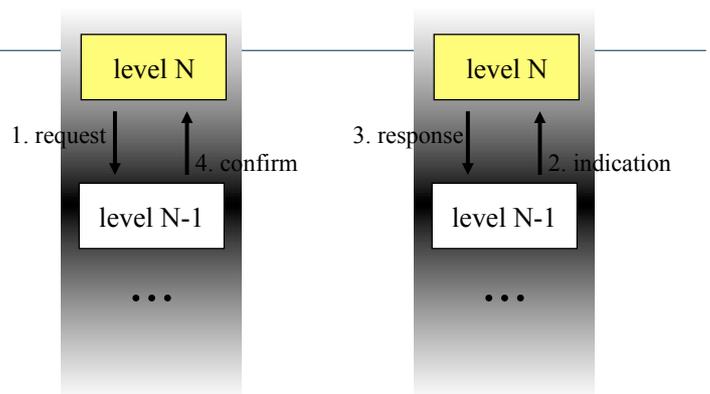
Primitive

Request: richiesta di un servizio

Indication: indicazione di evento

Response: risposta all'indicazione

Confirm: conferma della richiesta



❑ Non bisogna dimenticare che la finalità di una richiesta di un servizio è sempre quella della comunicazione, ovvero se un'entità fa una richiesta di servizio è perché vuole comunicare con la sua entità pari

❑ Da questo segue che, per ogni Request, esiste un'Indication all'entità pari

❑ Inoltre, se viene richiesto il riscontro, ad una coppia Request - Indication corrisponde una coppia Response - Confirm

Nota: le primitive hanno carattere locale ed è il linguaggio utilizzato dai diversi livelli per comunicare tra loro

13



Servizi

❑ Esistono due categorie di servizi

- connection oriented
 - in questa categoria ricadono servizi che “simulano” una connessione punto-punto
 - garantiscono la consegna sequenziale
- connectionless
 - in questa categoria ricadono i servizi che non si preoccupano di instaurare una connessione, ma prevedono il semplice “passaggio” dell'informazione
 - su modello del sistema postale

❑ Per ciascuna categoria è possibile inoltre associare una “qualità del servizio” (Quality of Service, QoS)

- affidabile
 - non ci sono perdite perché il ricevente informa sempre l'avvenuta ricezione
- non affidabile
 - sono possibili perdite di dati

14

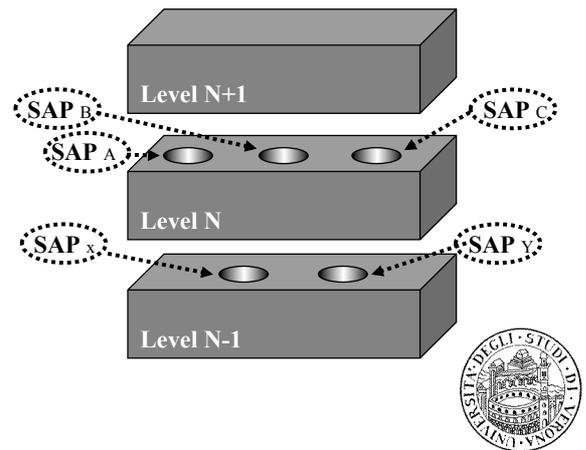


Servizi

- ❑ Attenzione: ogni livello può offrire al livello superiore una serie di servizi
- ❑ I servizi offerti possono rientrare nelle due categorie e possono essere affidabili e non.
- ❑ La scelta di uno o l'altro servizio viene fatta accedendo al livello attraverso un punto particolare a seconda del servizio richiesto → **SAP** (Service Access Point)

❑ Esempio:

- servizio A: connection oriented affidabile
- servizio B: connection oriented non affidabile
- servizio C: connectionless non affidabile
- servizio X: connection oriented affidabile
- servizio Y: connectionless affidabile



15

Funzioni

- ❑ Per espletare il proprio servizio, all'interno ogni livello svolge una serie di funzioni
- ❑ Alcuni tipi di funzioni possono essere:
 - Instaurazione/terminazione delle connessioni
 - Controllo d'errore e controllo di flusso
 - Riordino trame
 - se i pacchetti ricevuti sono fuori sequenza, li riordina prima di consegnarli a livello superiore
 - Multiplazione
 - se più sorgenti vogliono comunicare con la stessa destinazione, unisce i messaggi
 - Segmentazione
 - se il messaggio è troppo grande per il livello inferiore, lo segmenta in più parti; dall'altra parte avverrà il processo inverso, ovvero il riassemblaggio
 - Instradamento
 - sulla base delle informazioni contenute nel messaggio, decide attraverso quale SAP passare l'informazione al livello inferiore
 - Indirizzamento
 - sulla base delle informazioni contenute nel messaggio, decide attraverso quale SAP passare l'informazione al livello superiore

16



Definizioni

- ❑ Finora è stata fatta una panoramica dell'interazione tra livelli
→ **comunicazione fisica**
- ❑ Ricordiamo che lo scopo finale è la comunicazione tra entità pari, ovvero dello stesso livello su due macchine differenti →
comunicazione logica
- ❑ Le problematiche associate alla **comunicazione fisica** vengono risolte con il modello a strati, definendo le primitive, i servizi e le funzioni di ciascun livello
- ❑ Le problematiche associate alla **comunicazione logica** vengono risolte attraverso la definizione di **protocolli**

17



Definizioni

Protocollo

insieme di regole che sovrintendono al colloquio tra entità dello stesso livello

- formato dei messaggi, informazioni di servizio, algoritmi di trasferimento, etc.
- ogni livello ha il suo protocollo specifico che è comprensibile solo dalle entità dello stesso livello
- le entità di livello diverso trattano il contenuto come fosse una scatola chiusa

Stack protocollare

insieme dei protocolli di ciascun livello

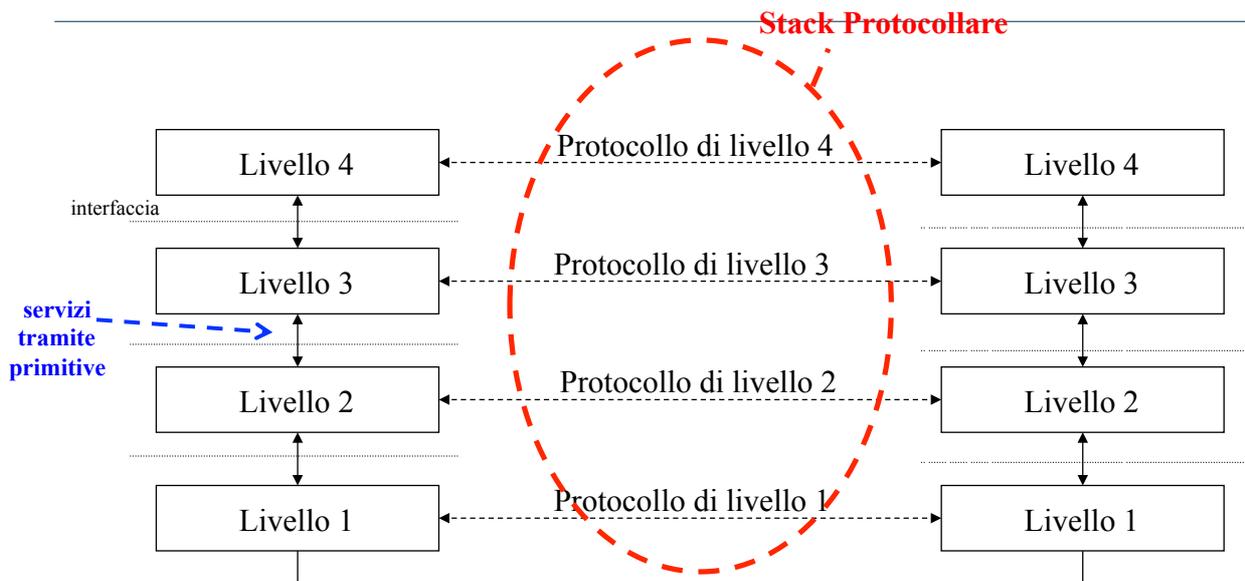
Architettura di rete

l'insieme dei livelli e dei rispettivi protocolli

18



Esempio: architettura di rete



Nota: la comunicazione tra livelli avviene tramite primitive mentre la comunicazione tra entità pari (dello stesso livello) di sistemi diversi avviene tramite protocolli



19

Esempio: architettura a 4 livelli

- ❑ Per ogni livello vengono definiti le funzionalità che deve svolgere, ovvero i servizi che deve offrire ai livelli adiacenti
- ❑ Per usufruire di tali servizi, vengono specificate delle primitive che hanno significato a livello locale, ovvero vengono comprese solo dai livelli adiacenti che le usano
- ❑ Infine, per ogni livello viene definito il protocollo che usa: tale protocollo (*insieme di regole che sovrintendono...*) risulta incomprensibile ai livelli adiacenti, ma comprensibile al livello corrispondente (comunicazione logica)
- ❑ esempio: invio di caratteri battuti da una tastiera ad una macchina remota
 - i due livelli applicativi sanno che l'informazione sono dei caratteri (ASCII)
 - al livello di trasporto viene richiesto di instaurare una connessione e trasferire i dati (questo tramite primitive); oltre a tale richiesta viene passato il messaggio
 - il livello di trasporto vede solo dei bit, ma non ne comprende il significato: deve solo trasportarli



20

Riassunto

- ❑ Finora abbiamo visto come modellizzare la comunicazione
 - fisica → livelli
 - logica → protocollo
- ❑ Abbiamo analizzato le componenti che dovrebbero formare il modello completo
- ❑ La questione che nasce ora è: com'è possibile progettare in modo completo un'architettura di rete (protocolli, livelli, servizi, ...)?
- ❑ esempio: regole di progettazione dei livelli
 - ogni livello deve prevedere un meccanismo per identificare univocamente mittente e destinatario.
 - i livelli devono essere scelti in modo da:
 - minimizzare l'informazione trasmessa
 - separare chiaramente le funzioni implementate in ogni livello
 - rendere possibile la sostituzione in modo trasparente

21



Esempio di architettura di rete: il modello di riferimento ISO-OSI

- ❑ È stato il primo passo nella definizione di un'architettura di rete completa e aperta (non proprietaria)
 - ISO: International Standard Organization
 - OSI: Open System Interconnection
 - modello per l'interconnessione dei sistemi aperti, ovvero dei sistemi che sono aperti alla comunicazione con altri sistemi.
- ❑ Essendo un primo passo nella definizione dell'architettura, è un modello che definisce **funzionalità** raggruppate in livelli, ma non ancora in modo formale protocolli e servizi da usare nei vari livelli
 - non è dunque un'architettura di rete vera e propria
- ❑ Standardizzato nel 1983
 - Modello teorico sviluppato troppo tardi
 - alla pubblicazione di OSI Internet era già una realtà
 - utilizzato come modello di riferimento

22



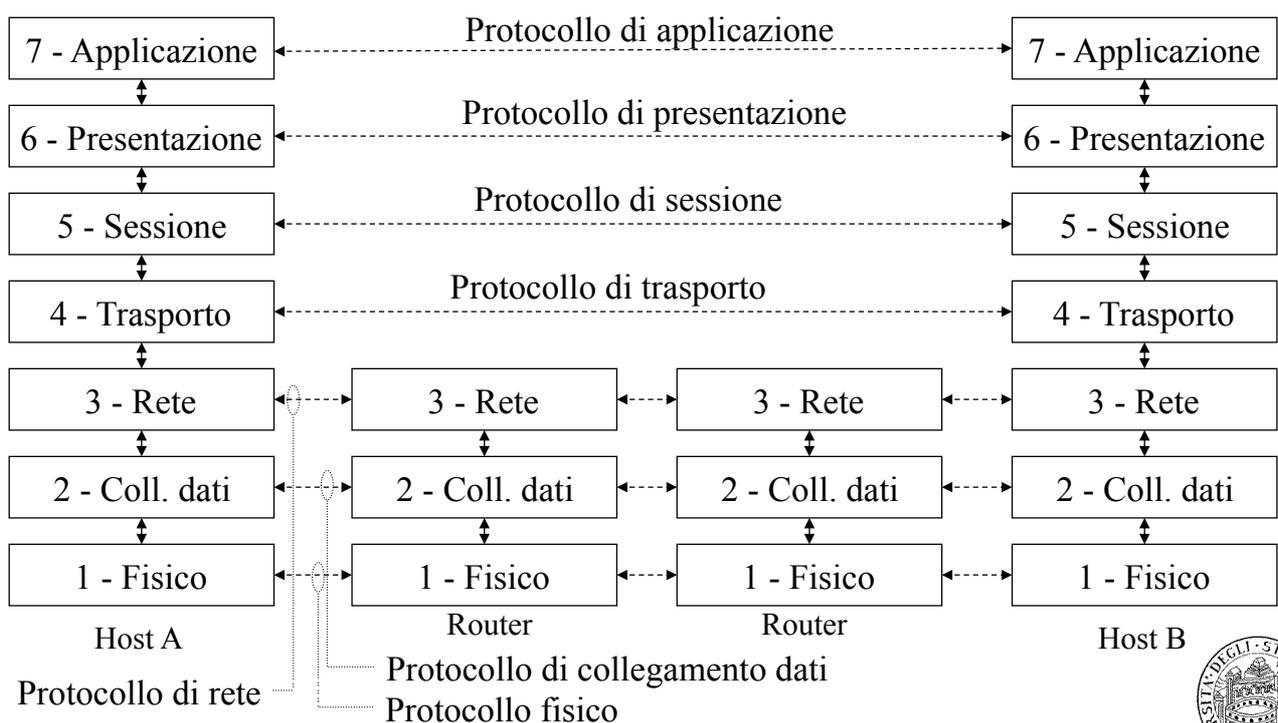
Modello OSI: principi

- ❑ Un livello deve essere creato per ogni grado di astrazione
- ❑ Ogni livello deve eseguire funzioni ben definite
- ❑ Le interfacce tra i livelli devono essere definite in modo da minimizzare l'informazione scambiata
- ❑ Il numero di livelli deve essere:
 - sufficientemente grande in modo che le stesse funzioni non siano separate in più livelli
 - sufficientemente piccolo in modo che l'architettura non risulti con funzionalità ridondate

23



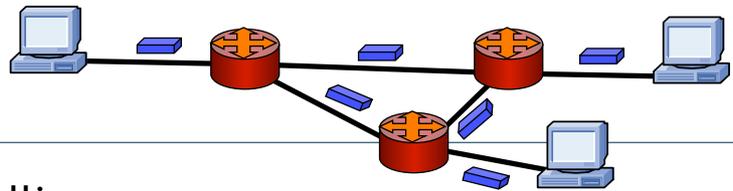
Stack OSI



24



Modello OSI



Strutturato in sette livelli

- primi tre dipendenti dalla rete
- ultimi tre dipendenti dall'applicazione
- quarto livello isola ambiente rete da ambiente applicazione

Sono stati definiti 2 sistemi distinti:

- end system (host): è l'end user coinvolto nella comunicazione
- intermediate system (router): è un elemento il cui compito è solo il trasporto del messaggio

Poiché le funzionalità del router sono quelle di trasporto indipendentemente dal contenuto del messaggio, non è necessario che siano implementati tutti i livelli

25



Livello delle applicazioni

Fornisce i servizi (applicazioni) all'utente

Fra queste:

- login remoto
- file transfer
- servizi WWW
- e-mail
- ...

26



Livello di presentazione

- ❑ Si occupa dei problemi relativi alla rappresentazione dei dati
 - sintassi dell'informazione
- ❑ Funzioni
 - conversione dei dati dal formato di trasmissione ad un formato utile all'applicazione
 - codifica e decodifica
 - compressione dei dati
 - crittografia
- ❑ Protocolli
 - definizione del formato dei pacchetti
 - definizione strutture dati complesse
 - definizione dei messaggi per lo scambio di informazioni
 - definizione degli algoritmi per codifica/decodifica, compressione, crittografia, ...

27



Livello di sessione

- ❑ Consente a due applicazioni di sincronizzarsi e gestire lo scambio dei dati
- ❑ Funzioni:
 - instaurazione e rilascio di una *connessione di sessione*
 - scambio di dati normali e di dati con priorità
 - gestione del dialogo tra entità comunicanti mediante token
 - sincronizzazione e strutturazione del dialogo
 - gestione delle eccezioni
- ❑ Protocolli
 - definizione del formato dei pacchetti
 - definizione dei messaggi per lo scambio di informazioni
 - definizione degli algoritmi per il controllo della sessione

28



Livello di trasporto

- Fornisce un canale di trasporto ideale e privo di errori tra due utenti, indipendentemente dalla rete
- Funzioni
 - recupero degli errori
 - moltiplicazione / demoltiplicazione
 - riordino dei pacchetti
 - controllo della congestione
- Protocolli
 - definizione del formato dei pacchetti
 - definizione dei messaggi per lo scambio di informazioni
 - definizione degli algoritmi per il controllo della congestione

29



Livello di rete

- E' responsabile del trasferimento di informazioni tra nodi, indipendentemente dal tipo di collegamento
- Funzioni:
 - instradamento
 - internetworking
- Protocolli
 - definizione del formato dei pacchetti
 - definizione dei messaggi per lo scambio di informazioni
 - definizione degli algoritmi per l'instradamento (shortest path, optimal routing)

30



Livello di data link

- ❑ Fornisce un canale numerico di comunicazione il più possibile affidabile
 - trasferimento di unità logiche di bit (trame) su un collegamento
- ❑ Funzioni:
 - gestione collegamento
 - framing (divisione delle trame)
 - controllo errori
 - controllo di flusso
- ❑ Protocolli
 - definiscono il formato della trama
 - definiscono i messaggi di feedback per il controllo di flusso
 - definiscono gli algoritmi per la gestione trasmissione

31



Livello fisico

- ❑ Gestisce la trasmissione del segnale su canale fisico
- ❑ Funzioni
 - trasferimento di un flusso seriale di bit
 - attivazione, disattivazione e controllo della connessione fisica
- ❑ Protocolli
 - specificano le caratteristiche elettriche, meccaniche e procedurali
 - ad esempio: trasmissione on-off o antipodale, significato dell'ordine dei bit, formato della flag, ...;

32



Stack OSI...

...e Stack TCP/IP

