

Reti di Calcolatori AA 2009/2010



LINIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

<http://disi.unitn.it/locigno/index.php/teaching-duties/computer-networks>

Renato Lo Cigno

e

Claudio Covelli



Organizzazione

- Teoria (dominante)
- Esercizi (servono a capire la teoria) e qualche laboratorio
- Sul sito del corso si trova il dettaglio delle lezioni svolte
 - Lucidi
 - Giorni di lezione / esercitazione
 - Informazioni varie, contatti, la bacheca del corso, le date di esame, ...



Organizzazione

- Introduzione e definizioni generali
- modelli a strati (OSI e TCP/IP)
- prospettiva storica
- Livello applicativo (http, ftp, telnet, ...)
- Livello di trasporto (UDP/TCP)
- Livello rete (IP)
- Livello Data Link (Ethernet)
- Livello Fisico (mezzi trasmissivi e trasmissione di segnali digitali e analogici)



Modalità d'esame

- Scritto, basato su esercizi come quelli svolti in classe
 - Contiene domande sulla parte teorica
- Orale, come integrazione dello scritto, in particolare se:
 - Scritto vicino alla sufficienza
 - Richiesto dallo studente
 - Ci sono dubbi sullo scritto
 - In ogni caso una domandina orale in sede di registrazione verrà fatta sempre



Libri di testo

- *J. Kurose, K. Ross, "Computer Networking: A Top Down Approach," 4th edition, Addison-Wesley*
- Altri testi consigliati
 - A. Tanenbaum, "Reti di Calcolatori," Pearson, Prentice Hall
 - D. Comer, "Internetworking with TCP/IP" vol. 1
- Materiale supplementare è disponibile in sul sito del corso insieme alle slides delle lezioni



Scopo del corso

- Fornire le basi concettuali e tecnologiche per le “Reti di Calcolatori” e in generale per i sistemi distribuiti.
 - ad es. Local Area Network, Internet, ...
- Ci occuperemo di:
 - protocolli di comunicazione
 - architetture dei diversi elementi che compongono una rete
- Approccio “top-down”
 - partiamo da concetti e principi generali (con Internet come riferimento)
 - passiamo al livello applicativo
 - trasmissione di messaggi
 - poi sempre più “dentro” la rete fino al livello fisico
 - trasmissione di pacchetti, bit, segnali



Copyright

Quest'opera è protetta dalla licenza:

Creative Commons

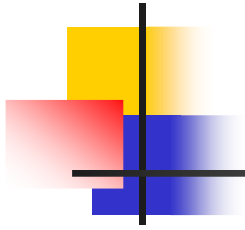
Attribuzione-Non commerciale-Non opere derivate

2.5 Italia License

Per i dettagli, consultare

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/it/>





Servizi e funzioni nelle reti di telecomunicazione





ITU ed IETF

- La International Telecommunication Union (ITU) è un ente di standardizzazione legalmente riconosciuto (ONU) che regola il funzionamento delle reti di telecomunicazione
 - Molte delle definizioni date sono riprese da standard ITU
 - Gli standard ITU si chiamano "recommendation"
- La Internet Engineering Task Force (IETF) è un ente di standardizzazione di fatto (non legalmente riconosciuto) che definisce il funzionamento dei protocolli che regolano il funzionamento di Internet
 - La maggior parte di questo corso è legato agli standard di Internet, chiamati RFC (Request For Comment)



Definizioni

- Comunicazione: trasferimento di informazioni secondo convenzioni prestabilite
- Telecomunicazione: qualsiasi trasmissione e ricezione di segnali che rappresentano segni, scrittura immagini e suono, informazioni di qualsiasi natura, attraverso cavi, radio o altri sistemi ottici e elettromagnetici

Esempio 1

- Gli apparecchi telefonici sono terminali di utente collegati a una rete che fornisce servizi di telecomunicazione



Esempio 2: Internet



PC



server



Portatile



Telefono
cellulare



Punti di
accesso

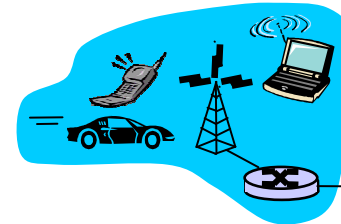
Collegam.
cablato



router

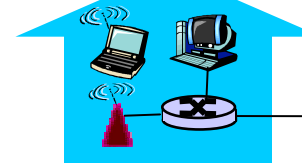
- Milioni di dispositivi collegati: **host = sistema terminale**
- **applicazioni di rete**
- **collegamenti**
 - rame, fibra ottica, onde elettromagnetiche, satellite
- **router**: instrada i pacchetti verso la loro destinazione finale

Rete mobile



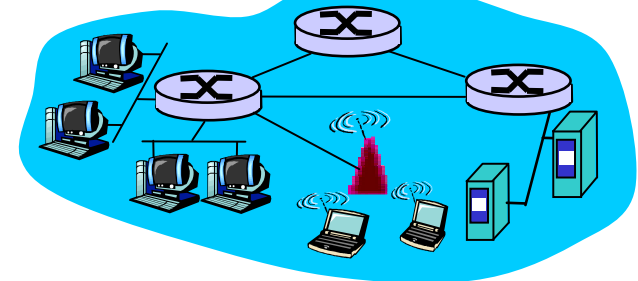
ISP nazionale
o internazionale

Rete domestica



ISP distrettuale

Rete aziendale



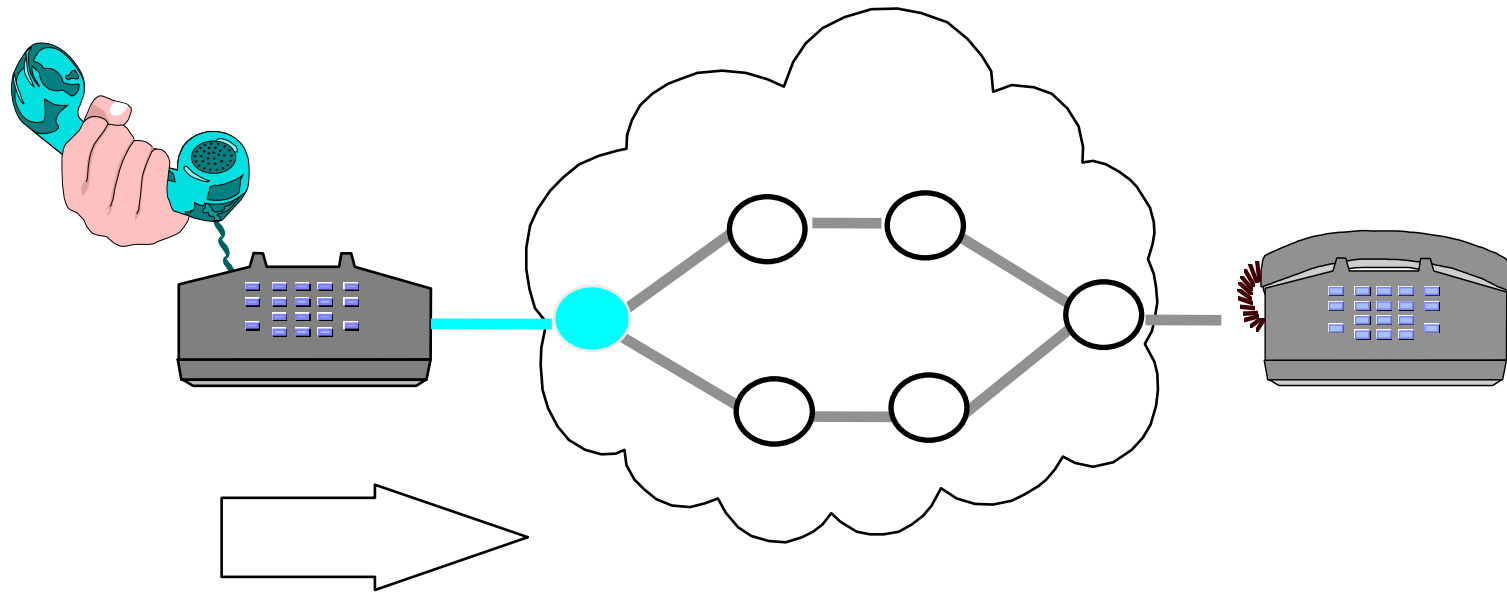


Definizioni

- Servizio di telecomunicazione: ciò che viene offerto da un gestore pubblico o privato ai propri clienti al fine di soddisfare una specifica esigenza di telecomunicazione
- Funzioni in una rete di telecomunicazioni: operazioni svolte all'interno della rete al fine di offrire i servizi

Funzioni: esempio

- Sollevando il microtelefono (o schiacciando il tasto invio/verde sul cellulare!!) si indica alla rete l'inizio di una procedura di chiamata





Definizioni

- Trasmissione: il trasferimento di segnali da un punto a uno o più altri punti
- Commutazione: il processo di interconnessione di unità funzionali, canali di trasmissione o circuiti di telecomunicazione per il tempo necessario per il trasferimento di segnali
- Segnalazione: lo scambio di informazioni che riguardano l'apertura, il controllo e la chiusura di connessioni e la gestione di una rete di telecomunicazione



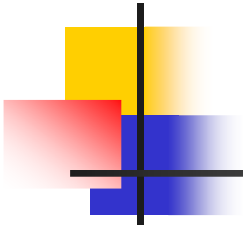
Banda, capacità, velocità (1)

- **Teoria dei segnali:**
 - **Banda=ampiezza spettrale di un segnale o di un canale**
- **Reti di telecomunicazione:**
 - **Banda=quantità di dati (bit) per unità di tempo (secondi)**
- **Capacità di un canale: massima velocità trasmissiva (bit/s) del canale**
 - **dipende dalla tecnologia con cui sono realizzati trasmettitore e ricevitore**
 - **è limitata superiormente dal limite di Shannon del canale**



Banda, capacità, velocità (2)

- **Traffico offerto:** quantità di dati per unità di tempo che una sorgente *cerca* di inviare in rete
- **Traffico smaltito (Throughput):** porzione di traffico offerto che riesce ad essere consegnata correttamente alla destinazione
- **Relazioni:**
 - **Throughput \leq capacità del canale**
 - **Throughput \leq traffico offerto**



Reti di telecomunicazione:

Canali

Modalità di comunicazione

Topologie



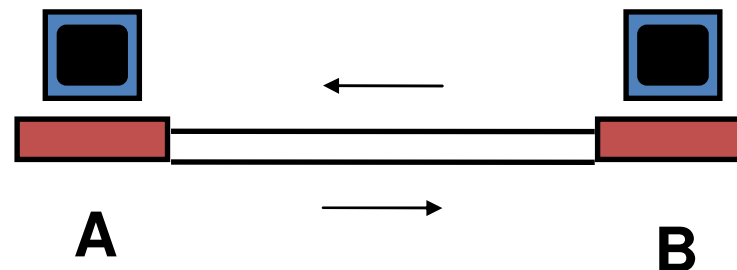


Rete di telecomunicazione

- **Definizione:**
 - un insieme di nodi e canali che fornisce un collegamento tra due o più punti per permettere la telecomunicazione tra essi
- Si chiama nodo un punto in cui avviene la commutazione
- Si chiama canale un mezzo di trasmissione
 - Il canale può essere
 - unidirezionale
 - bidirezionale

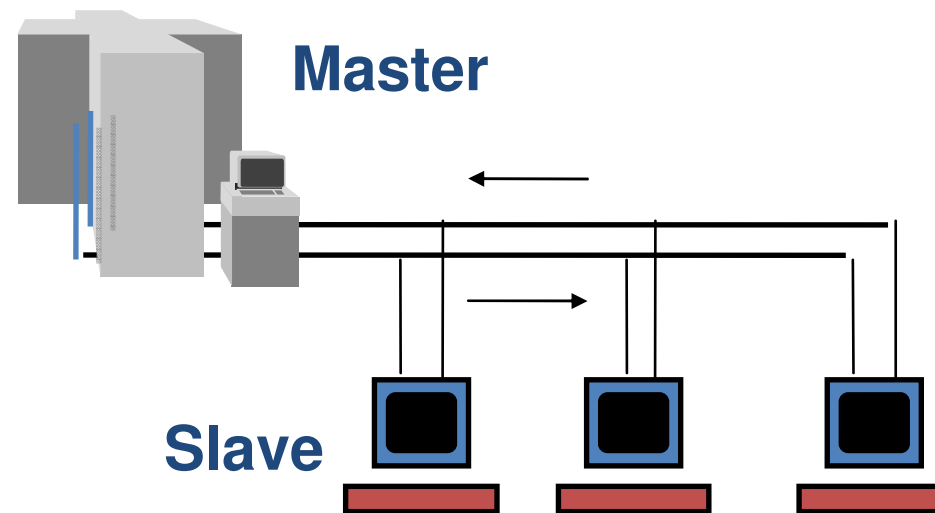
Tipi di canale

- **Canale Punto-Punto**
- **Due soli nodi collegati agli estremi del canale che viene utilizzato in modo paritetico**



Tipi di canale

- **Canale Multi-Punto**
- **Più nodi collegati ad un unico canale:
un nodo master e numerosi slave**





Tipi di canale

- **Canale Broadcast**
- **Un unico canale di comunicazione, condiviso da tutti i nodi**
- **L'informazione inviata da un nodo è ricevuta da tutti gli altri**
- **I dati trasmessi devono contenere l'indirizzo del nodo destinazione**



Topologie delle reti

- **La disposizione di nodi e canali definisce la topologia della rete di telecomunicazione**
- **Una topologia di rete è definita da un grafo $G=(V,A)$**
 - **V = insieme dei vertici
(raffigurati da cerchi - nodi)**
 - **A = insieme degli archi
(raffigurati da segmenti - canali)**

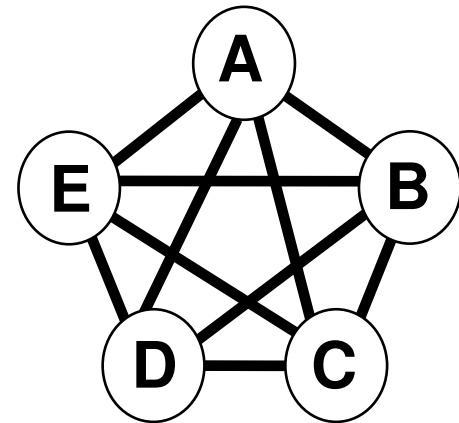


Topologie delle reti

- **Gli archi possono essere:**
 - **diretti**
(segmenti orientati - canali unidirezionali)
 - **non diretti**
(segmenti non orientati - canali bidirezionali)
- **Definiamo:**
 - **$N = |V|$**
 - **$C = |A|$**

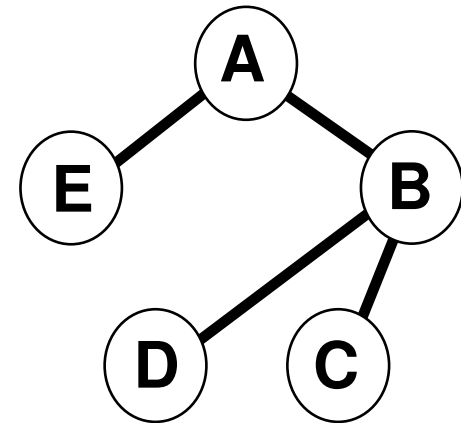
Topologie a maglia completa

- $C = N(N-1)/2$
- Vantaggio: tolleranza ai guasti (molti percorsi tra due nodi)
- Svantaggio: elevato numero di canali
- Esistono molti percorsi alternativi, ma un solo percorso diretto (1 solo canale)
- Esiste una scelta ovvia di percorso a minima distanza
- È usata solo quando i nodi sono pochi oppure nelle reti logiche dove il "canale" non implica l'uso di risorse fisiche (es. P2P)



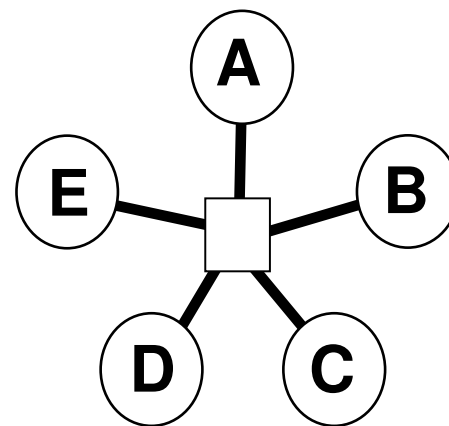
Topologia ad albero

- $C = N - 1$
- Svantaggio: vulnerabilità ai guasti (solo un percorso tra due nodi)
- Vantaggio: basso numero di canali
- È usata per ridurre i costi e semplificare la stesura dei canali
- Esiste una sola scelta di percorso tra ogni coppia di nodi



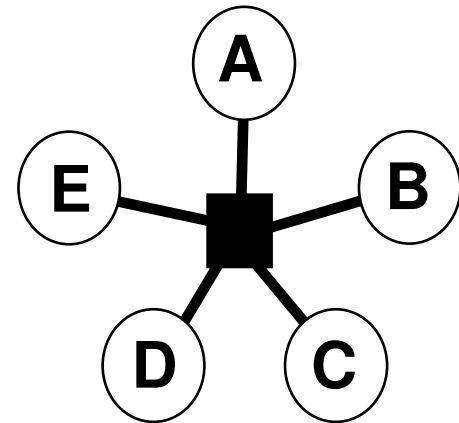
Topologia a stella (attiva)

- $C = N$ (centro stella non è nodo)
- Svantaggio: vulnerabilità ai guasti del centro stella
- Vantaggio: basso numero di canali
- E' usata per ridurre i costi e semplificare la stesura dei canali
- Ogni nodo ha un'unica scelta di percorso possibile
- Tutta la complessità nella scelta dei percorsi è demandata al centro stella
- Usata nelle reti locali, nelle reti via satellite, nelle reti radio cellulari



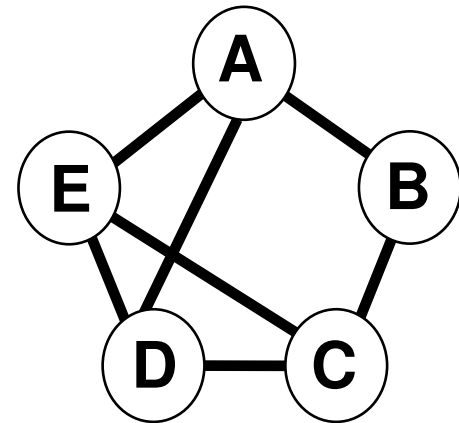
Topologia a stella (passiva)

- $C = 1$ (anche se ci sono N fili)
- Svantaggio: potenzialmente vulnerabile ai guasti del centro stella
- Vantaggio: basso numero di canali
- È usata per ridurre i costi e semplificare la stesura dei canali
- Ogni nodo ha un'unica scelta di percorso possibile
- Esiste nella rete un unico canale (broadcast)
- Usata nelle reti locali (cablate e wireless), nelle reti ottiche,



Topologia a maglia (mesh)

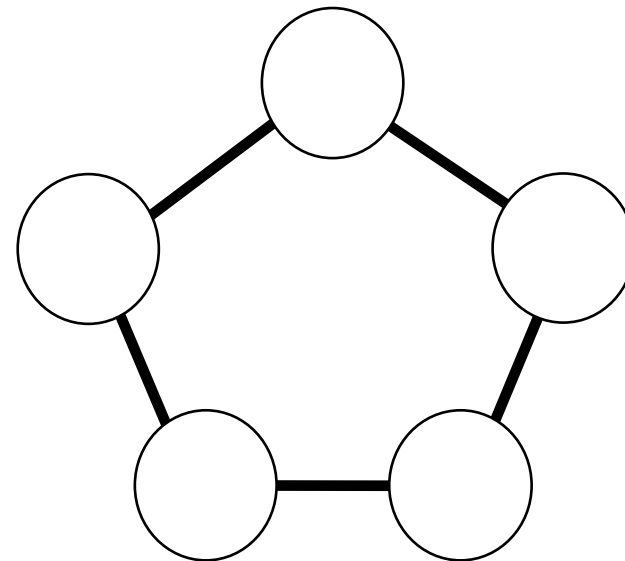
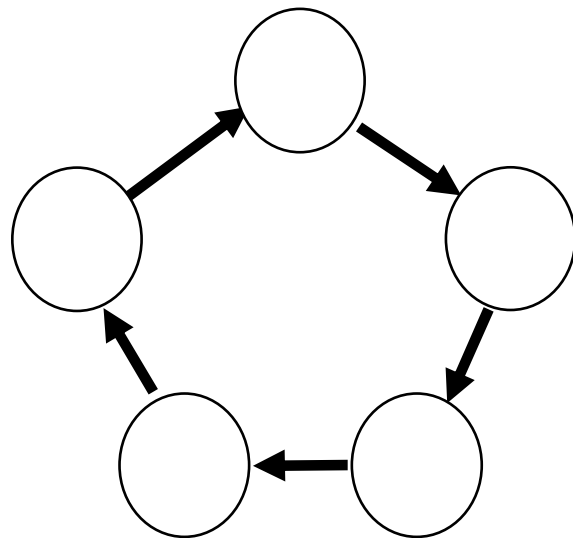
- $N-1 < C < N(N-1)/2$
- Svantaggio: topologia non regolare
- Vantaggio: tolleranza ai guasti e numero di canali selezionabile a piacere
- Instradamento complesso: esiste un elevato numero di percorsi alternativi
- È la più usata (Internet, telefonia)





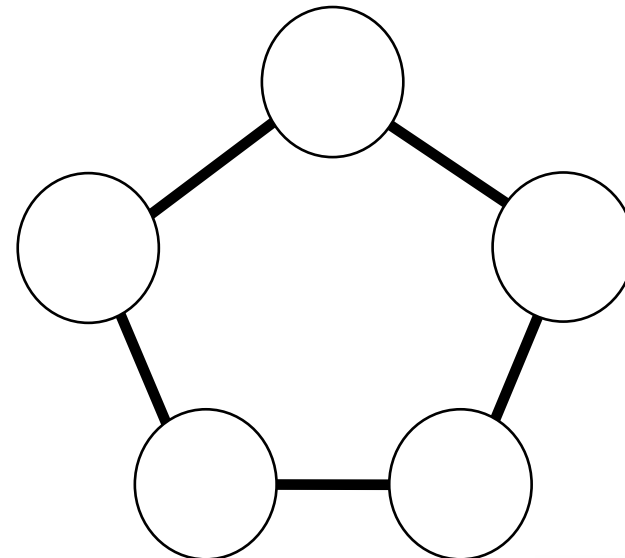
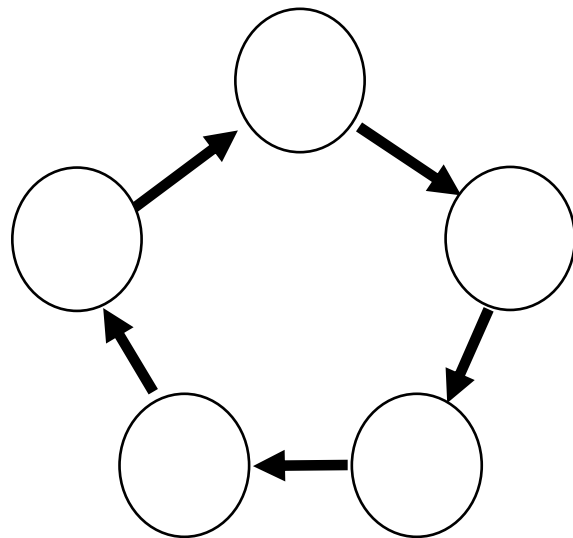
Topologia ad anello

- **Può essere unidirezionale o bidirezionale**



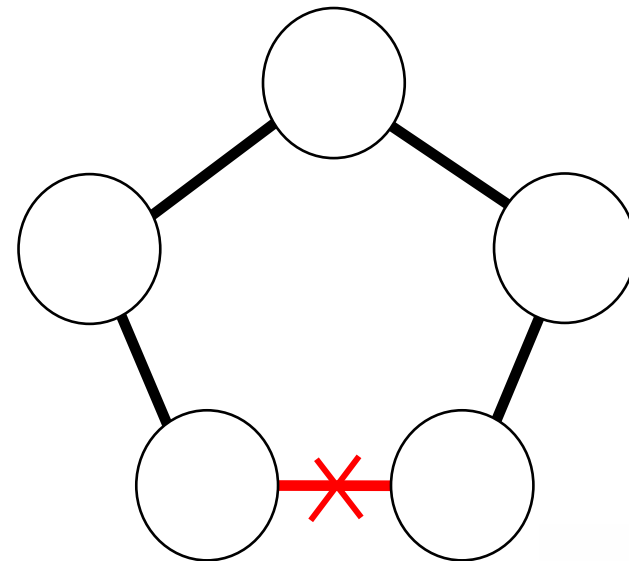
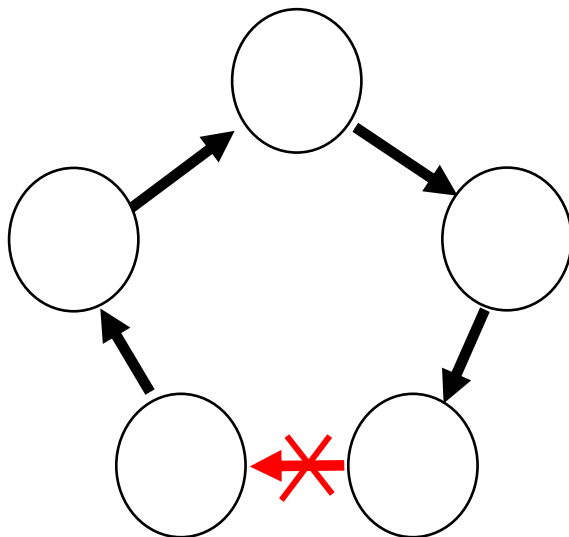
Topologia ad anello

- $C=N/2$ per l'anello unidirezionale
- $C=N$ per l'anello bidirezionale
- È molto usata in reti locali e metropolitane e per costruire topologie magliate (SDH)
- Esistono uno o due percorsi possibili per ogni coppia di nodi



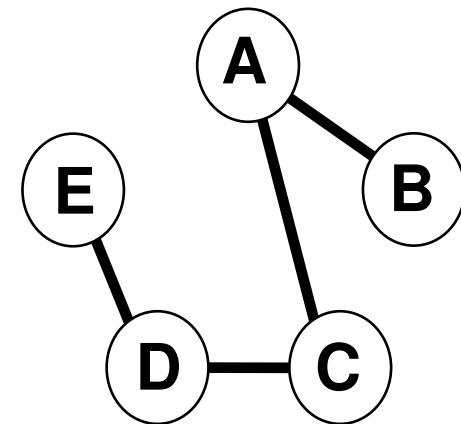
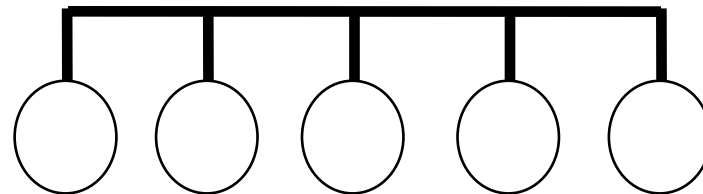
Topologia ad anello

- In caso di guasto l'anello bidirezionale assicura la sopravvivenza della rete (a capacità dimezzata): l'anello bidirezionale è la più semplice topologia che consente un instradamento alternativo in caso di guasto.



Topologia a bus

- $C=N-1$ per il bus attivo (caso particolare di albero)
- $C=1$ per il bus passivo
- Esiste una sola scelta possibile di percorso tra ogni coppia di nodi
- Usata in reti locali e metropolitane

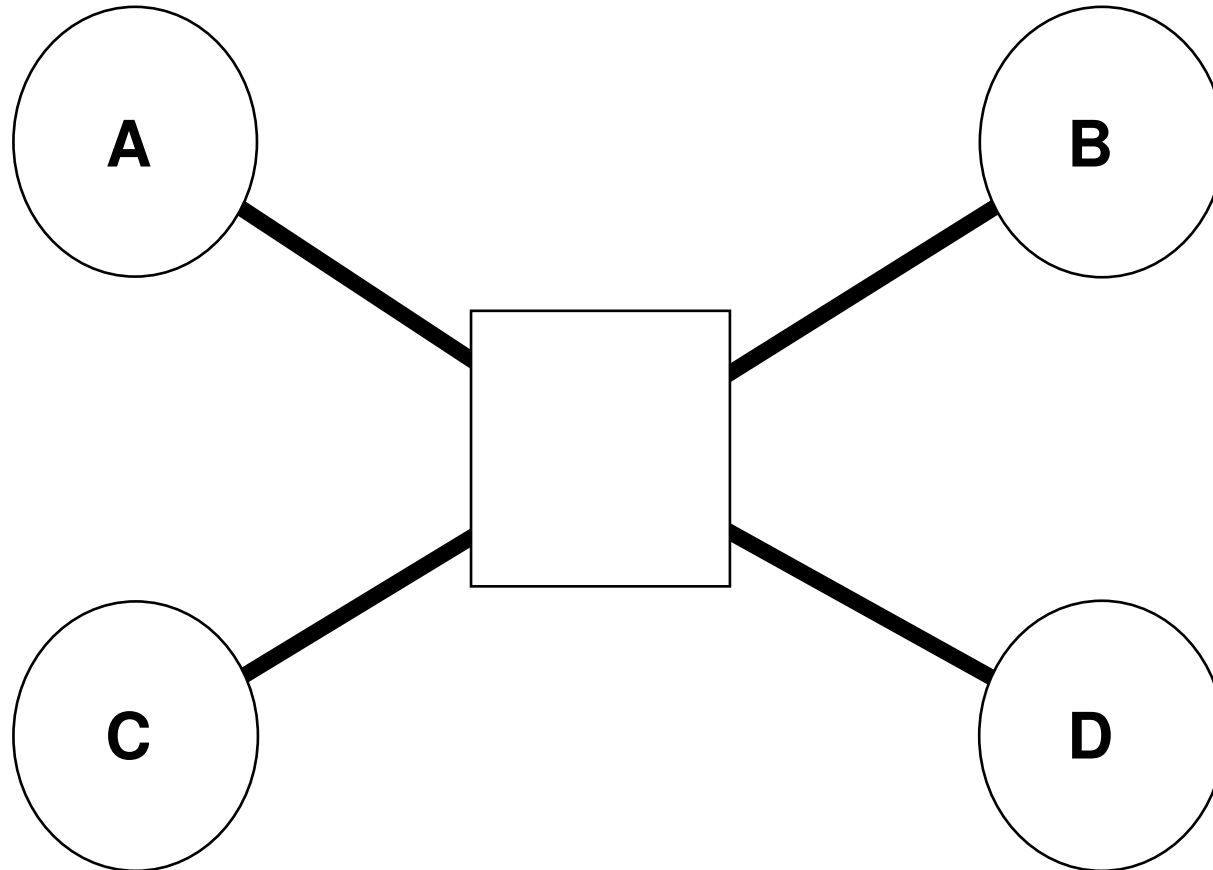


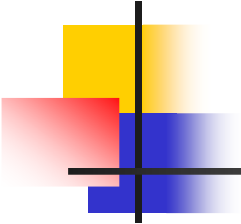


Topologia fisica e logica

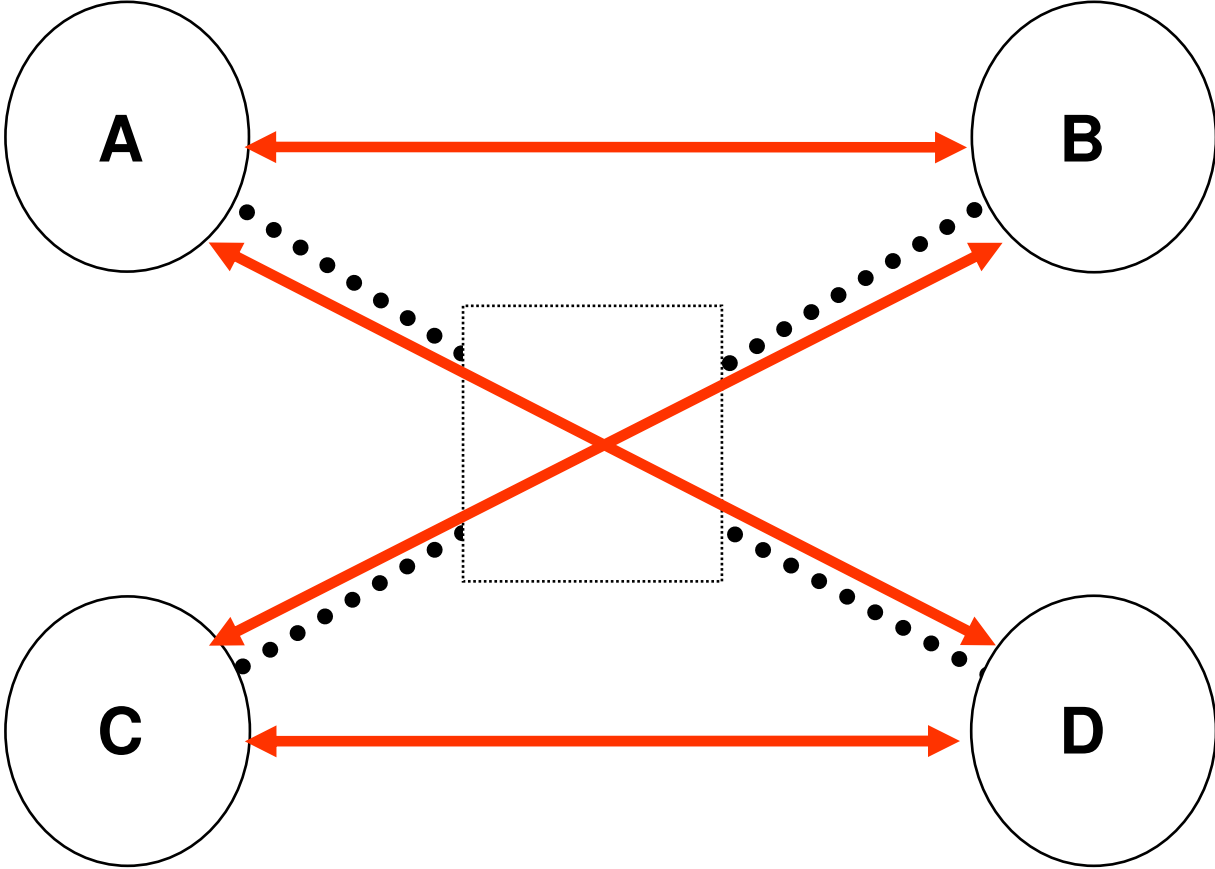
- Bisogna distinguere:
 - **topologia fisica:** tiene conto del percorso dei mezzi trasmissivi
 - **topologia logica:** definisce l'interconnessione tra nodi mediante canali
 - Un canale è l'insieme di più mezzi trasmissivi

Topologia fisica





Topologia logica





Topologia e prestazioni

- La scelta della topologia ha ricadute sulle prestazioni di una rete
- La quantità di traffico smaltibile da una rete dipende, a pari capacità disponibile sui canali, in modo **inversamente proporzionale dalla media della distanza** tra ogni coppia di nodi della rete pesata dalla quantità di traffico scambiata tra i due nodi.

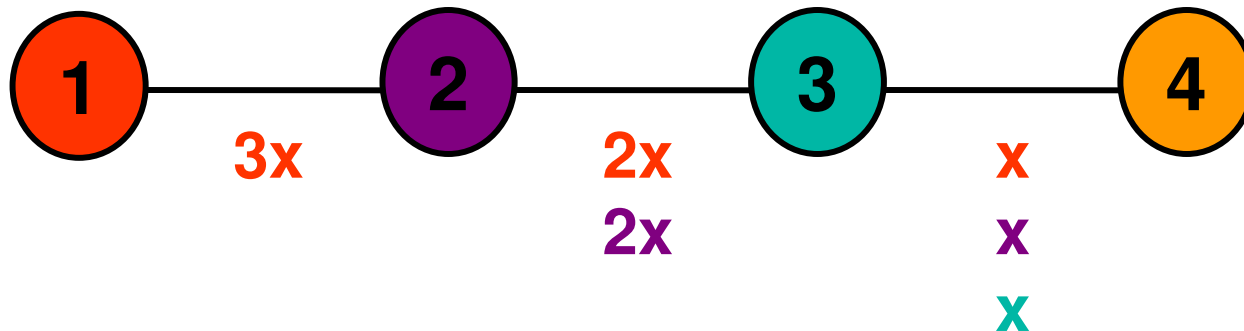


Topologie e prestazioni

- **Confronto tra alcune topologie, a pari numero di nodi (4) e (quasi) a pari numero di canali**
- **Traffico uniforme.**
- **Ogni coppia di nodi si scambia x bit/s. Traffico totale generato (offerto) $12x$.**
- **Ogni canale unidirezionale ha capacità B bit/s.**
- **Si calcoli: distanza media, capacità rete, carico massimo su canale, carico massimo su nodo**

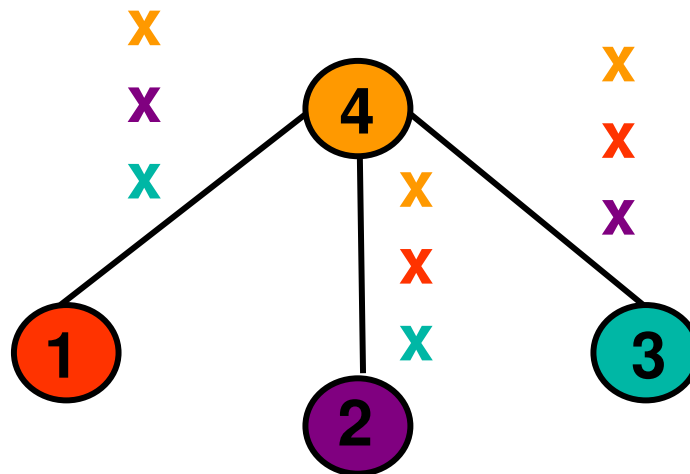
Topologie e prestazioni

- Capacità: $3x2B=6B$
- Distanza media
(somma distanze tra ogni coppia / # coppie): $20/12=1.66$
- Considerando solo il traffico da sinistra verso destra il carico massimo su un canale vale $4x$; quindi $x \leq B/4$.
- Il nodo 3 (o 2) deve gestire fino a $7B/4$ di traffico.



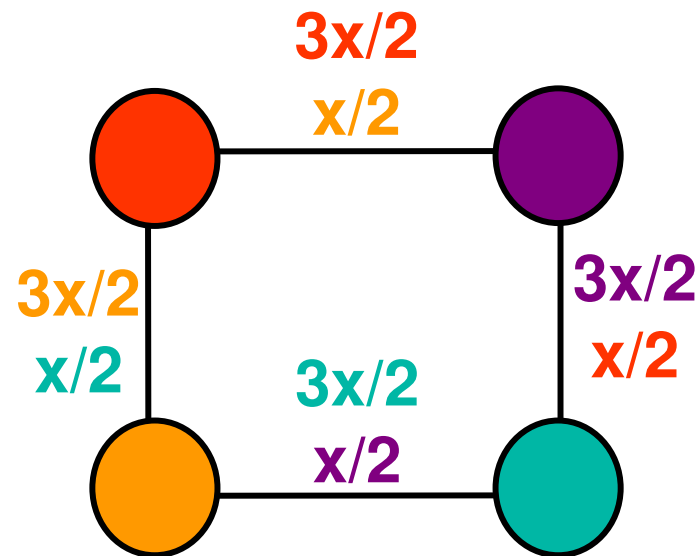
Topologie e prestazioni

- Capacità: $3x2B=6B$
- Distanza media: 1.5
- Per il traffico in uscita dal nodo centrale il carico massimo su un canale vale $3x$; quindi $x \leq B/3$.
- Il nodo centrale deve gestire fino a $3B$ di traffico.

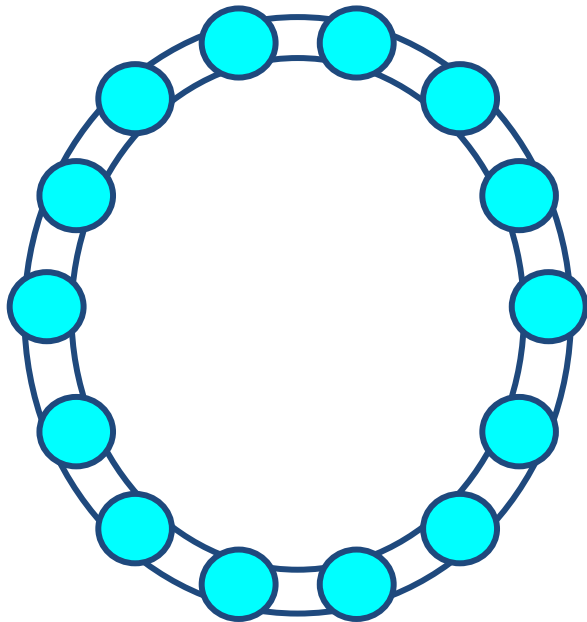


Topologie e prestazioni

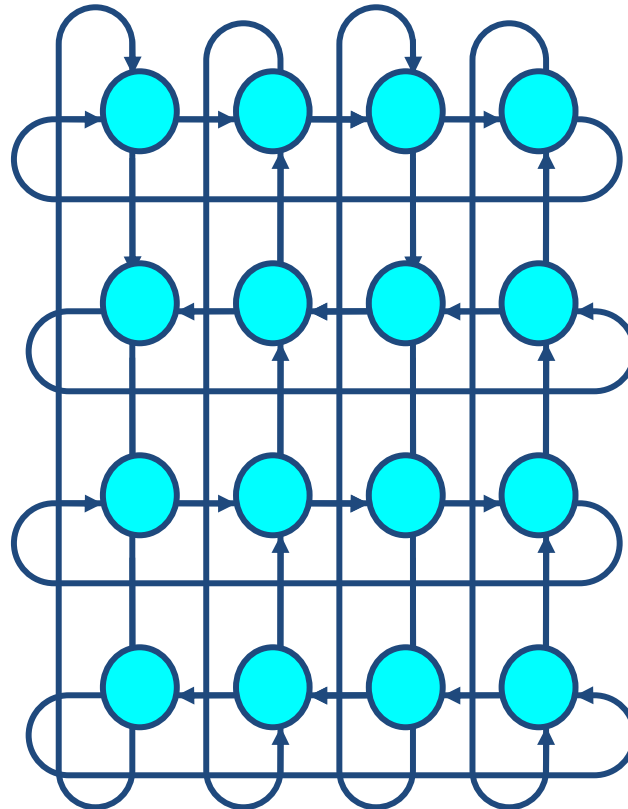
- Capacità: $4x2B=8B$
- Distanza media: 1.33
- Per il traffico senso orario il carico massimo su un canale vale $2x$; quindi $x \leq B/2$.
- Ogni nodo deve gestire fino a $2B$ di traffico.



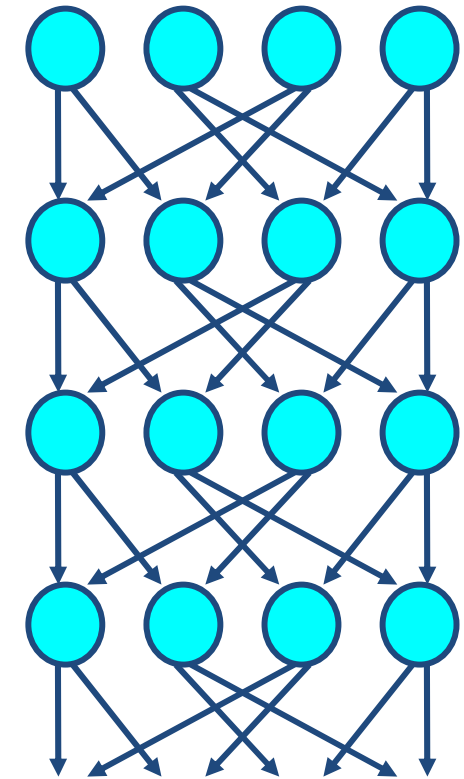
Topologie notevoli e distanza media



Anello
 $E[d_1] = O(N)$

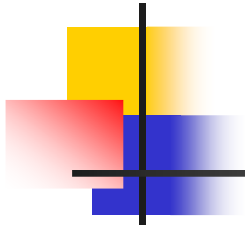


Manhattan
 $E[d_2] = O(\sqrt{N})$



Shuffle
 $E[d_3] = O(\log N)$

$$E[d_1] > E[d_2] > E[d_3]$$



Internet: una panoramica contestualizzata



Che cos'è Internet?



PC



server



Portatile



Telefono cellulare



Punti di accesso

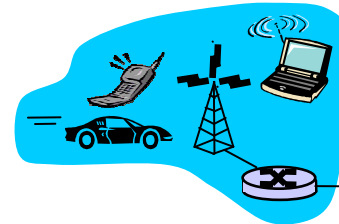
Collegam. cablato



router

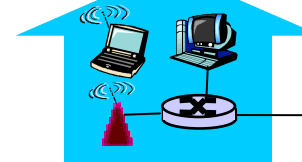
- Milioni di dispositivi collegati: **host = sistema terminale**
- **applicazioni di rete**
- **collegamenti**
 - rame, fibra ottica, onde elettromagnetiche, satellite
 - Frequenza di trasmissione = **ampiezza di banda**
- **router**: instrada i pacchetti verso la loro destinazione finale

Rete mobile



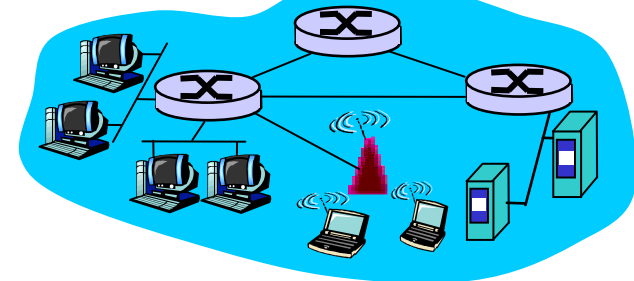
ISP nazionale o internazionale

Rete domestica



ISP distrettuale

Rete aziendale



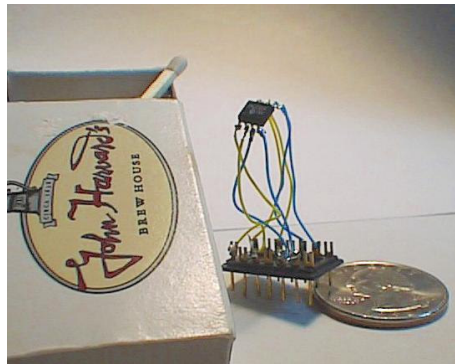
Oggi Internet è anche...



Cornice IP
<http://www.ceiva.com/>



Tostapane Web +
previsioni del tempo



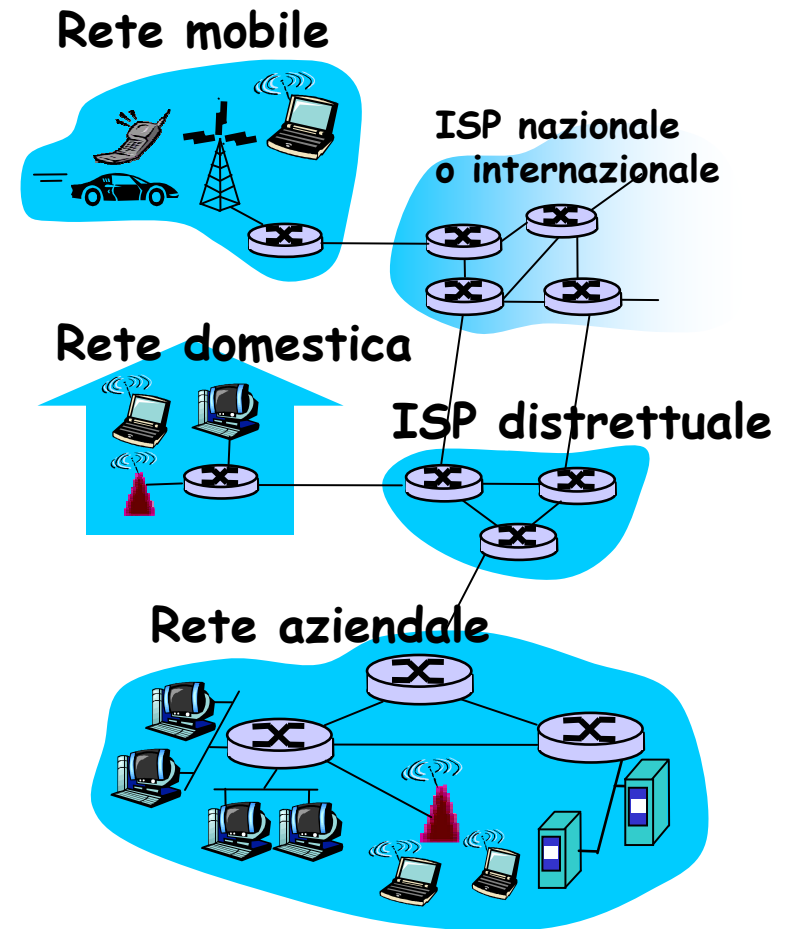
Il web server più piccolo del mondo
<http://www-ccs.cs.umass.edu/~shri/iPic.html>



Telefonia Internet

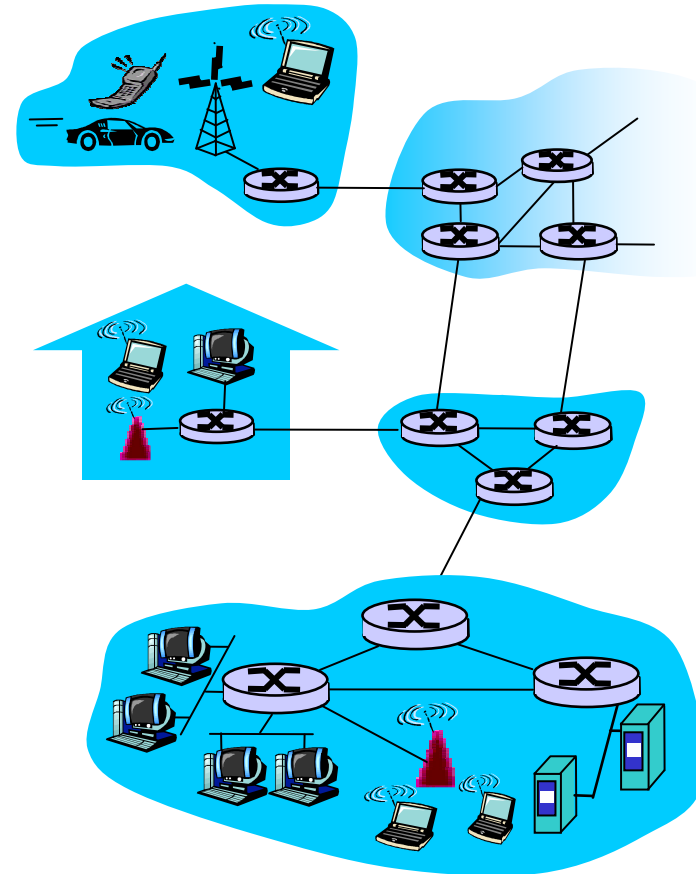
Che cos'è Internet

- 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

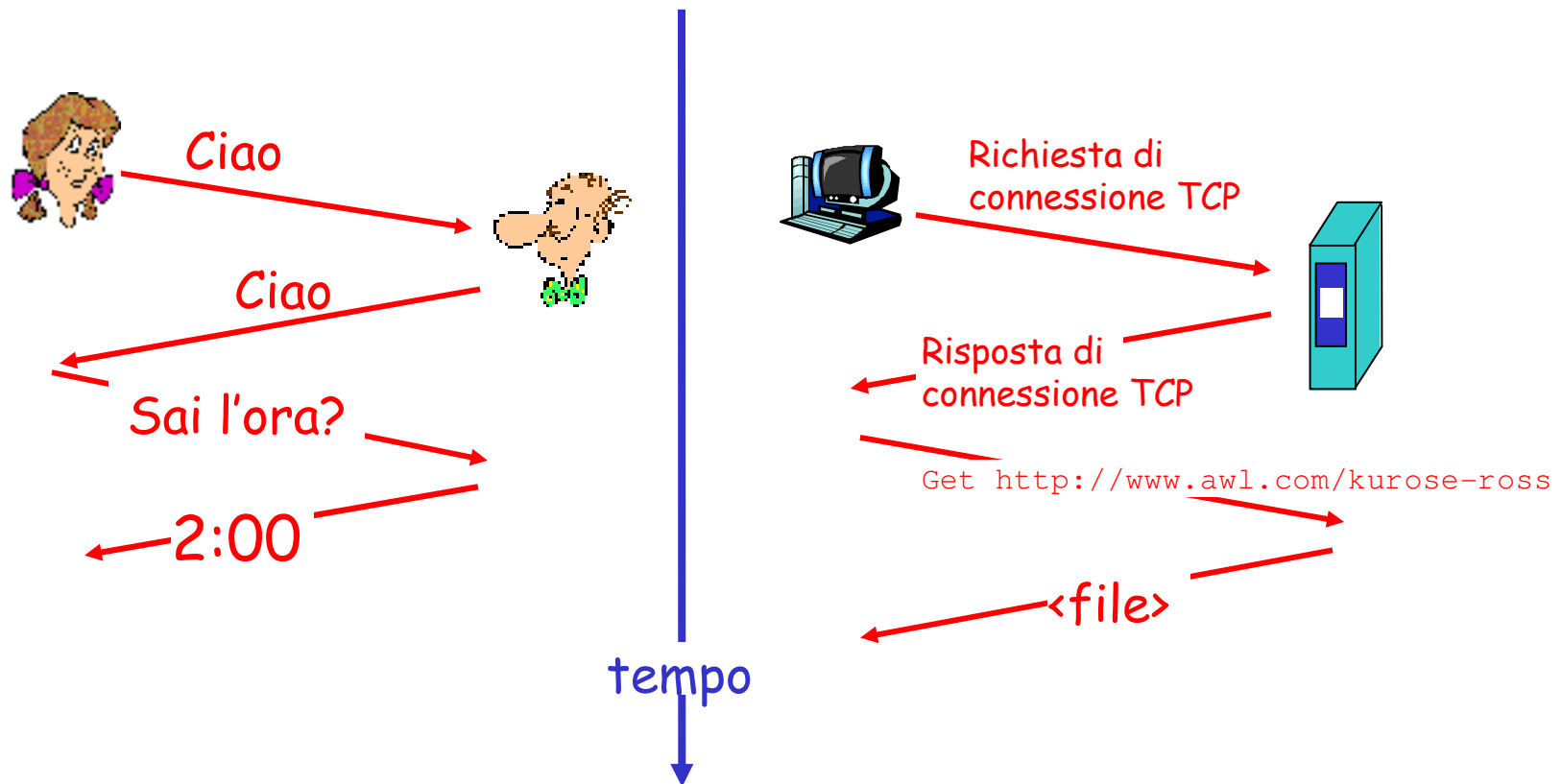
Protocolli di rete:

- 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





Componenti di un protocollo

- Sintassi
 - Insieme dei formati (intestazioni, tag, ...) che consentono il riconoscimento di un messaggio
 - A livello fisico si tratta di segnali, correnti, tensioni, ...
 - A livelli più alti di numero di bit/byte, significato di campi, tag (es. html)
- Semantica
 - Algoritmi che definiscono il funzionamento di un protocollo, es. se un pacchetto viene perso allora bisogna ritrasmetterlo
- Temporizzazione
 - Logica temporale di funzionamento di un protocollo, timeout (es. per ritrasmettere un pacchetto in mancanza di ACK), eventi, ...



Introduzione ...

Cos'è Internet?

Ai confini della rete

- sistemi terminali, reti di accesso, collegamenti

Il nucleo della rete

- commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete

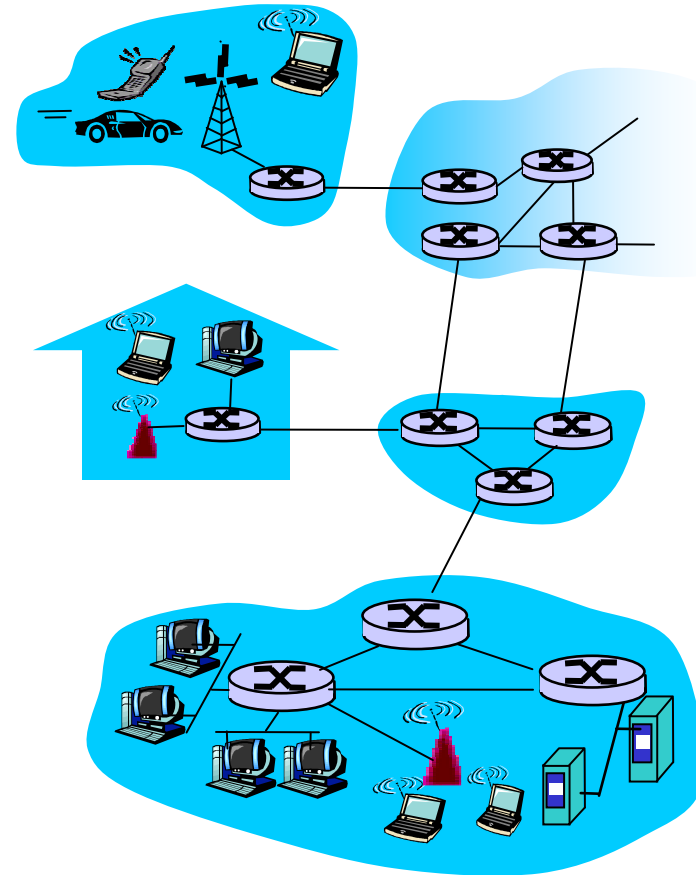
Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto

Livelli di protocollo e loro modelli di servizio

Reti sotto attacco: la sicurezza

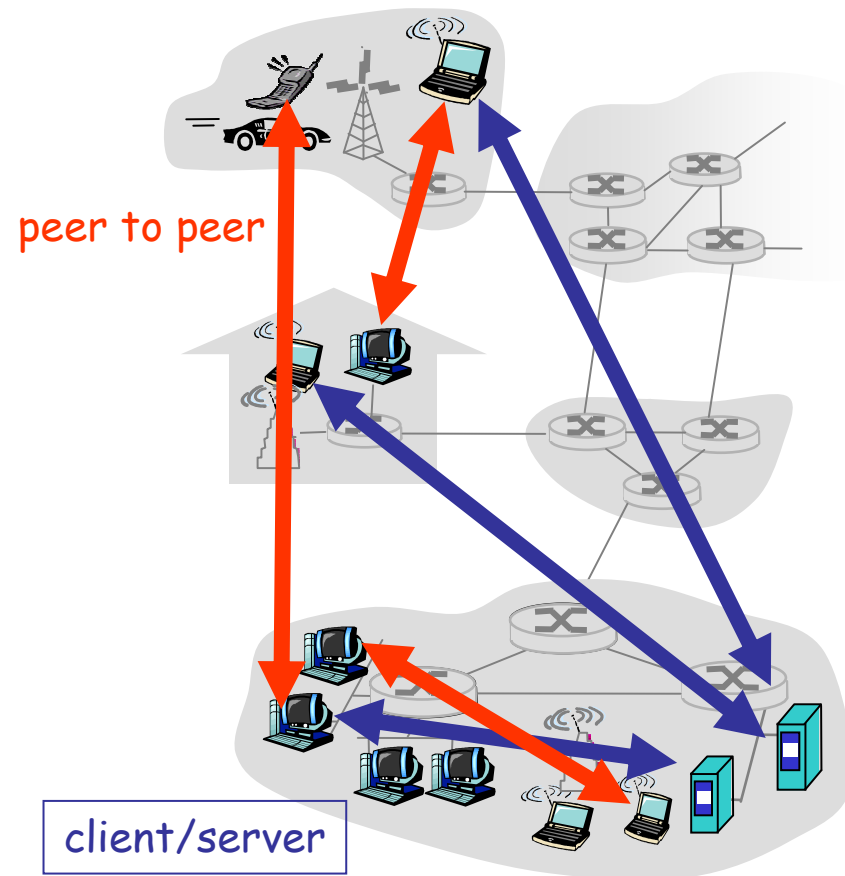
La struttura della rete

- **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



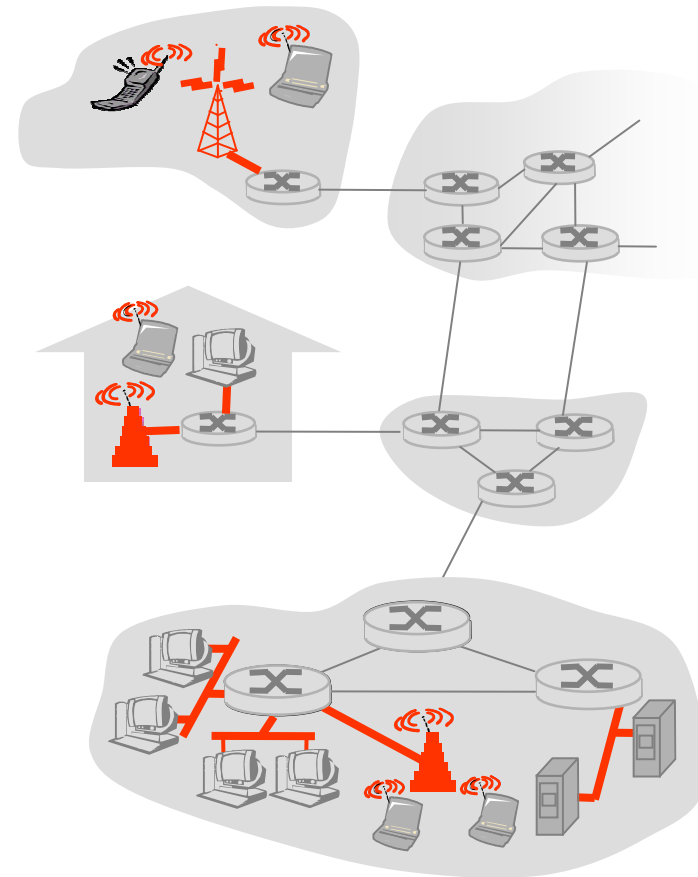
Reti d'accesso e mezzi fisici

D: Come collegare sistemi terminali e router esterni?

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

Ricordate:

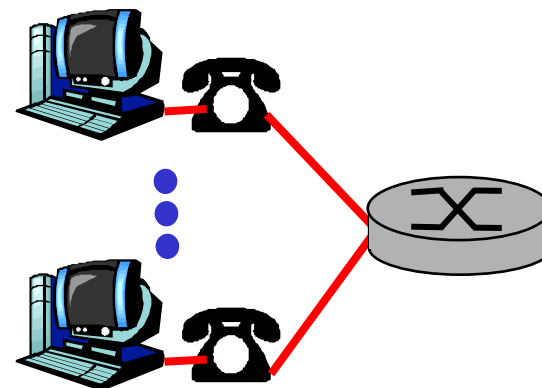
- ampiezza di banda (bit al secondo)?
- condivise o dedicate?



Accesso residenziale: punto-punto

■ Modem dial-up

- fino a 56 Kbps di accesso diretto al router (ma spesso è inferiore)
- non è possibile "navigare" e telefonare allo stesso momento



□ DSL: digital subscriber line

- ❖ installazione: in genere da una società telefonica
- ❖ fino a 1 Mbps in upstream (attualmente, in genere < 512 kbps)
- ❖ fino a 8 Mbps in downstream (attualmente, in genere < 2 Mbps)
- ❖ linea dedicata

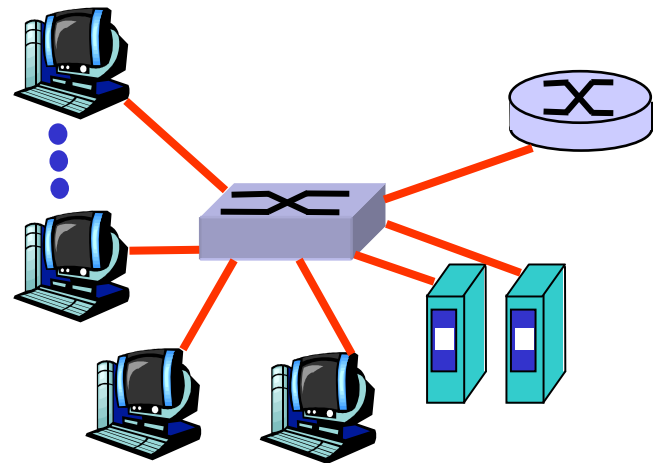
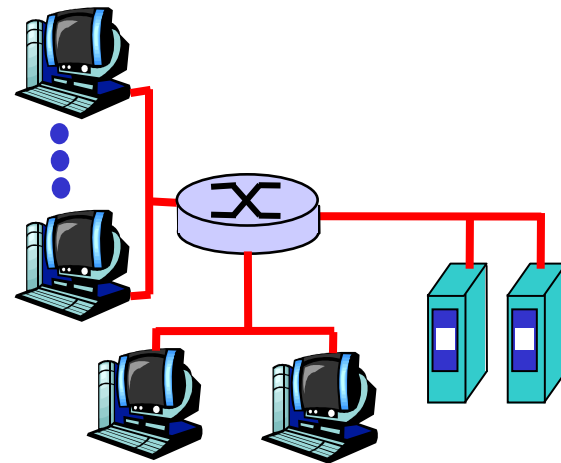


Accesso residenziale: altro

- **HFC: hybrid fiber coax**
 - asimmetrico: fino a 30 Mbps in downstream, 2 Mbps in upstream
- **rete** ibrida a fibra e cavo coassiale collega le case ai router degli ISP
 - l'utenza domestica condivide l'accesso al router
- Installazione: attivata dalle società di TV via cavo
- Reti WiFi e/o WiMax
 - Punto-multipunto wireless, da 5 a 155 (anche oltre) Mbit/s condivisi

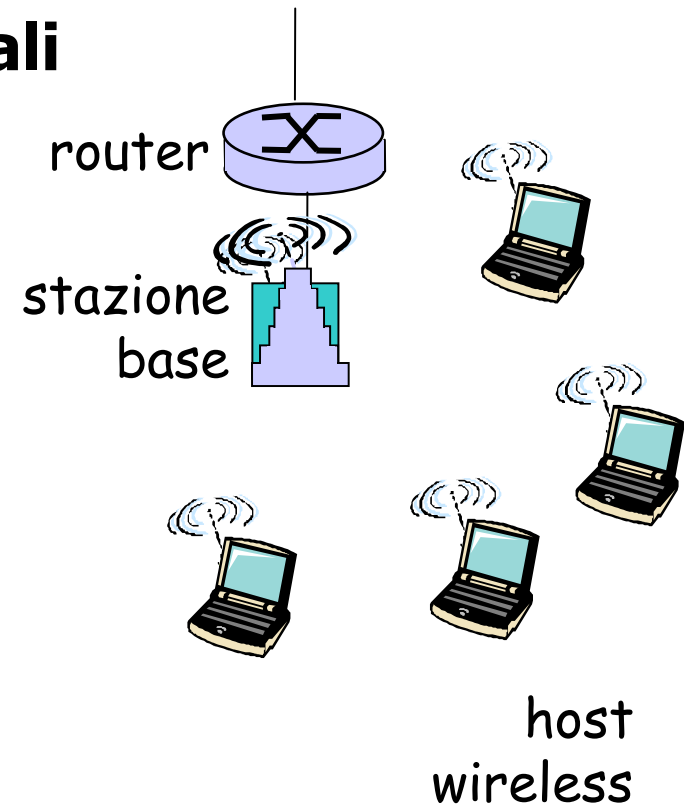
Accesso aziendale: reti locali (LAN)

- Una LAN collega i sistemi terminali di aziende e università (campus in generale, anche residenziale) all'edge router
- **Ethernet:**
 - 10 Mb, 100 Mb, 1 Giga, 10 Giga
 - Configurazione moderna: sistemi terminali collegati mediante uno switch Ethernet
- Le LAN: Capitolo 5



Accesso wireless

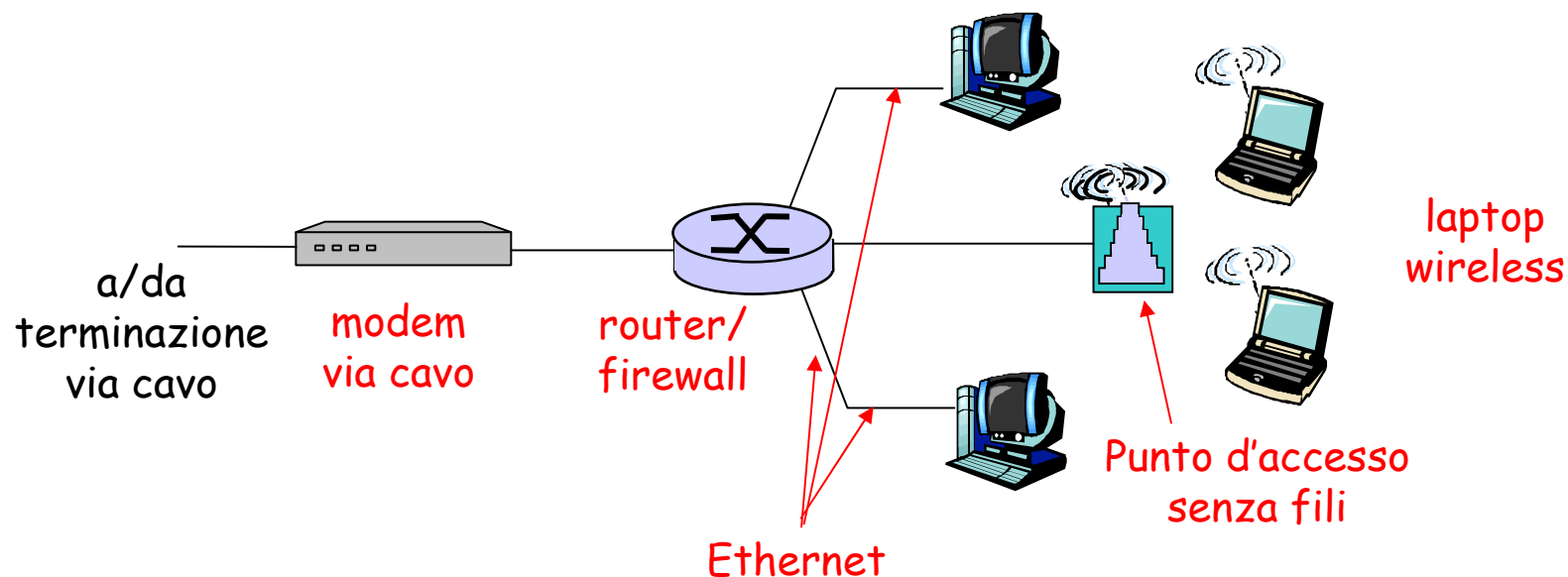
- **Una rete condivisa d'accesso wireless collega i sistemi terminali al router**
 - attraverso la stazione base,
- **LAN wireless:**
 - 802.11b/g (WiFi): 11 o 54Mbps
- **rete d'accesso wireless geografica**
 - gestita da un provider di telecomunicazioni
 - ~ 1 Mbps per i sistemi cellulari (EVDO, HSDPA)...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



Reti domestiche

Componenti di una tipica rete da abitazione:

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



Mezzi trasmissivi

- **Bit:** viaggia da un sistema terminale a un altro, passando per una serie di coppie trasmettente-ricevente
- **Mezzo fisico:** ciò che sta tra il trasmettente e il ricevente
- **Mezzi guidati:**
 - i segnali si propagano in un mezzo fisico: fibra ottica, filo di rame o cavo coassiale
- **Mezzi a onda libera:**
 - i segnali si propagano nell'atmosfera e nello spazio esterno

Doppino intrecciato (TP)

- due fili di rame distinti
 - Categoria 3: tradizionale cavo telefonico, 10 Mbps Ethernet
 - Categoria 5: 100 Mbps Ethernet
 - Categoria 6: 1 Gbps Ethernet



Mezzi trasmissivi: coassiale e fibra ottica

Cavo coassiale:

- due conduttori in rame concentrici
- bidirezionale
- banda base:
 - singolo canale sul cavo
 - legacy Ethernet
- banda larga:
 - più canali sul cavo
 - HFC



Fibra ottica:

- Mezzo sottile e flessibile che conduce impulsi di luce (ciascun impulso rappresenta un bit)
- Alta frequenze trasmissiva:
 - ❖ Elevata velocità di trasmissione punto-punto (da 10 a 100 Gps)
- Basso tasso di errore, ripetitori distanziati, immune all'interferenza elettromagnetica





Mezzi trasmissivi: canali radio

- trasportano segnali nello spettro elettromagnetico
- non richiedono l'installazione fisica di cavi
- bidirezionali
- effetti dell'ambiente di propagazione:
 - riflessione
 - ostruzione da parte di ostacoli
 - interferenza

Tipi di canali radio:

- **microonde terrestri**
 - ❖ es.: canali fino a 155 Mbps
- **LAN** (es.: Wifi)
 - ❖ 11 Mbps, 54 Mbps
- **wide-area** (es.: cellulari)
 - ❖ es.: 3G: ~ 1 Mbps
- **satellitari**
 - ❖ canali fino a 45 Mbps channel (o sottomultipli)
 - ❖ ritardo punto-punto di 270 msec
 - ❖ geostazionari/a bassa quota



Introduzione ...

Cos'è Internet?

Ai confini della rete

- sistemi terminali, reti di accesso, collegamenti

Il nucleo della rete

- **commutazione di circuito e di pacchetto, struttura della rete**

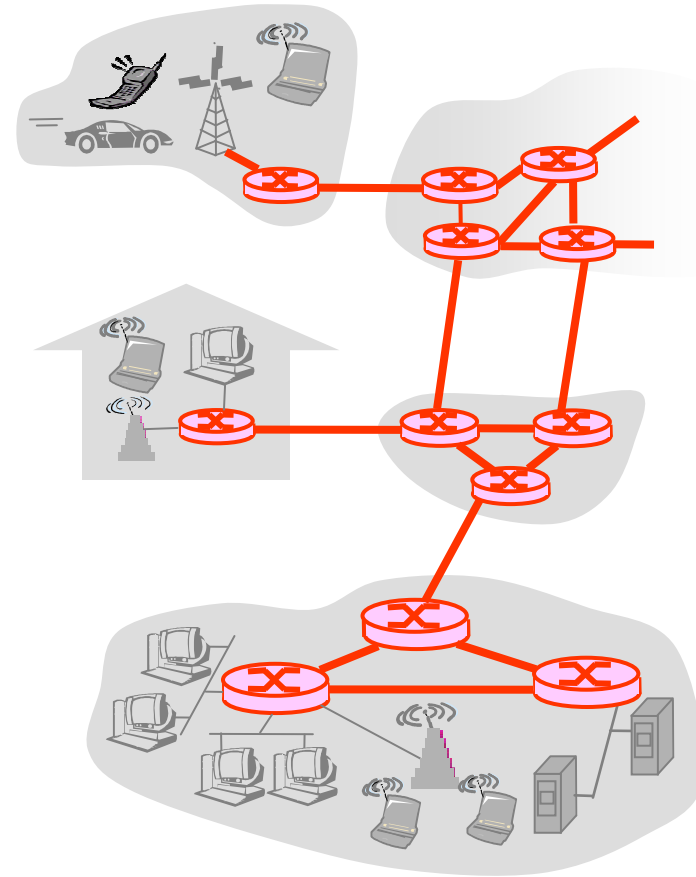
Ritardi, perdite e throughput nelle reti a commutazione di pacchetto

Livelli di protocollo e loro modelli di servizio

Reti sotto attacco: la sicurezza

Il nucleo della rete

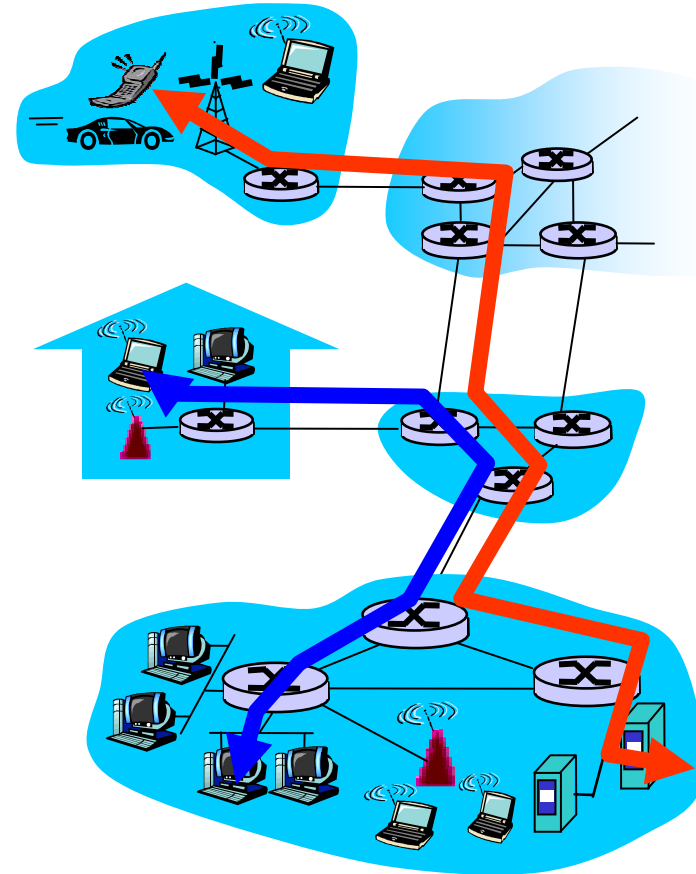
- Rete magliata di router che interconnettono i sistemi terminali
- **// quesito fondamentale:** come vengono trasferiti i dati attraverso la rete?
 - **commutazione di circuito:** circuito dedicato per l'intera durata della sessione (rete telefonica)
 - **commutazione di pacchetto:** i messaggi di una sessione utilizzano le risorse su richiesta, e di conseguenza potrebbero dover attendere per accedere a un collegamento



Commutazione di circuito

Risorse punto-punto riservate alla "chiamata"

- ampiezza di banda, capacità del commutatore
- risorse dedicate: non c'è condivisione
- prestazioni da circuito (garantite)
- necessaria l'impostazione della chiamata





Commutazione di circuito

Risorse di rete (ad es. ampiezza di banda, bandwidth) **suddivise in "pezzi"**

- ciascun "pezzo" viene allocato ai vari collegamenti
- le risorse rimangono **inattive** se non utilizzate (non c'è condivisione)

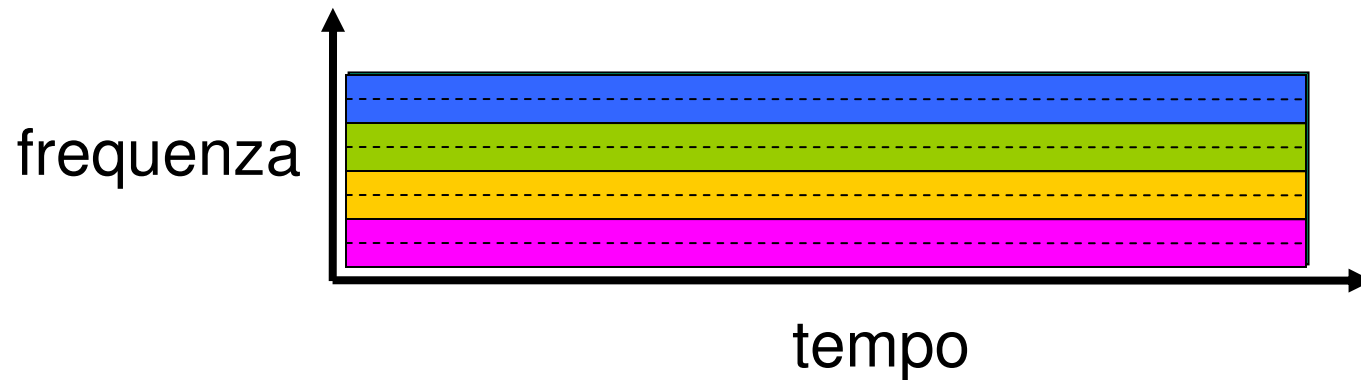
- suddivisione della banda in "pezzi"
 - ❖ divisione di frequenza
 - ❖ divisione di tempo
 - ❖ divisione di codice

Comm. di circuito: FDM e TDM

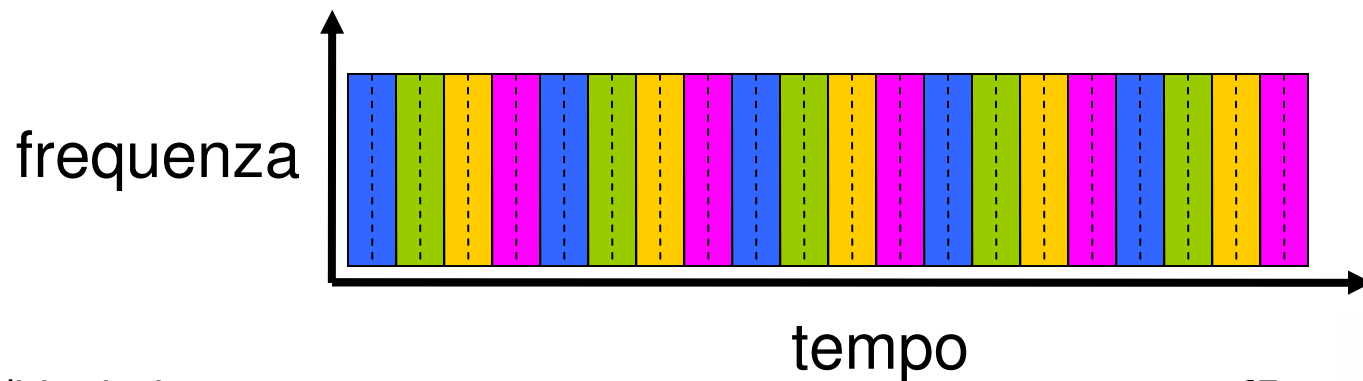
FDM

Esempio:

4 utenti 



TDM



Comm. di circuito: CDM

- Le risorse vengono divise tra gli utenti in base a **codici**
- I codici sono tra loro (pseudo)ortogonali
- CDM non “moltiplica” le risorse, non è intrinsecamente più efficiente di FDM o TDM
- Può presentare vantaggi in alcune condizioni particolari
- Consente una gestione più flessibile delle risorse
- Es.
 - 2 utenti U1 e U2 trasmettono i segnali S1 ed S2 sullo stesso canale
 - Usano i codici C1 e C2 tra loro ortogonali: $C1 \times C2 = 0$
 - Segnale sul canale $S = S1 \times C1 + S2 \times C2$
 - Segnale ricevuto da U1
 $R = S \times C1 = S1 \times C1 \times C1 + S2 \times C2 \times C2 = S1$



Un esempio numerico

- 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 presentano un bit rate di 1.536 Mbps
 - Ciascun collegamento utilizza TDM con 24 slot/sec
 - Si impiegano 500 ms per stabilire un circuito punto-punto

Provate a calcolarlo!



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*

Larghezza di banda suddivisa in pezzi"

Allocazione dedicata

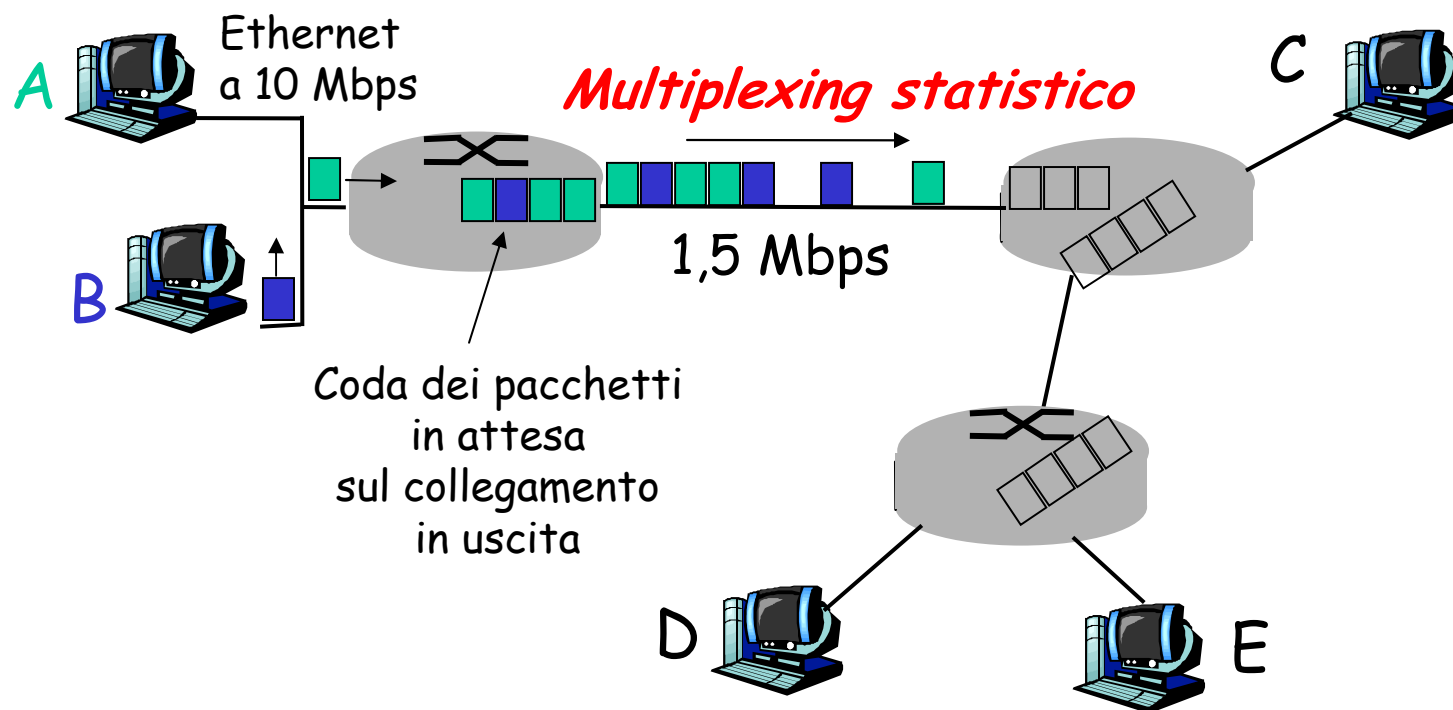
Risorse riservate



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

Comm. di pacchetto: multiplexing statistico



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

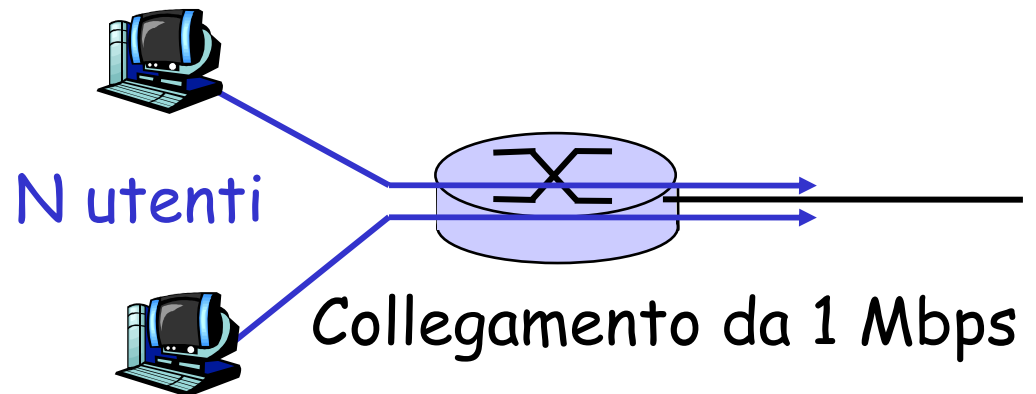
→ Condivisione di risorse su richiesta → *multiplexing statistico*

cfr. TDM: ciascun host dispone di uno slot di tempo dedicato unicamente a quella connessione → condivisione statica

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



Esercizio a casa: stabilire il procedimento per ottenere 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



Confronto tra commutazione di pacchetto e commutazione di circuito

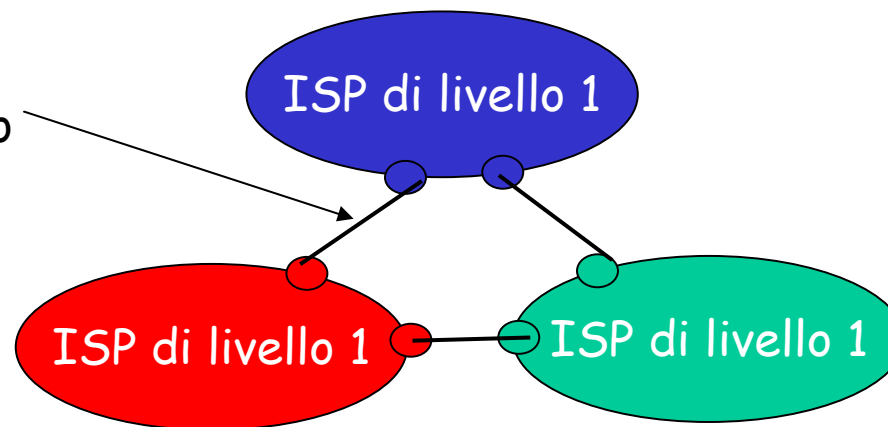
La commutazione di pacchetto è la "scelta vincente?"

- **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

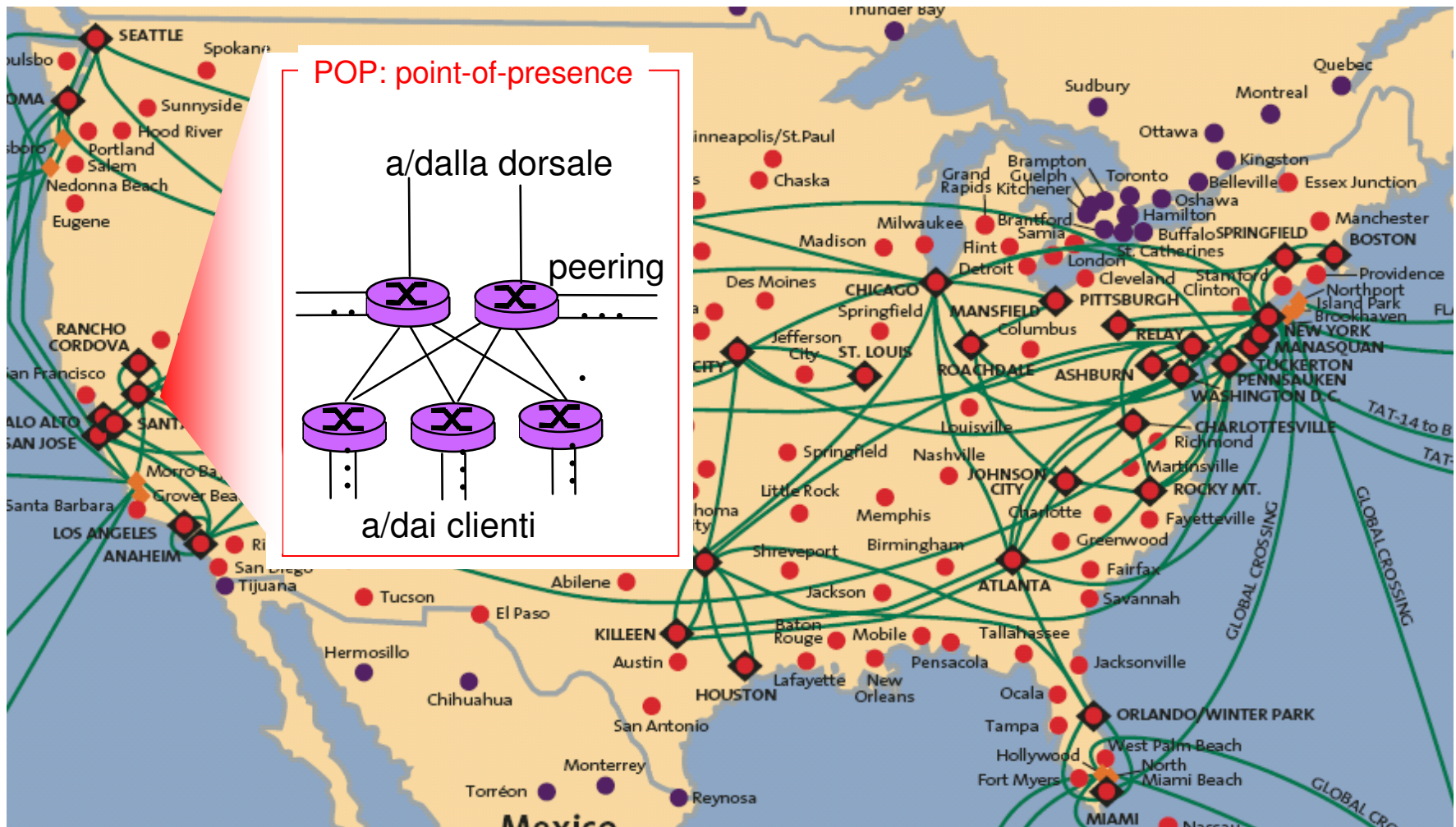
Struttura di Internet: la rete delle reti

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

Gli ISP di livello 1 sono direttamente connessi a ciascuno degli altri ISP di livello 1



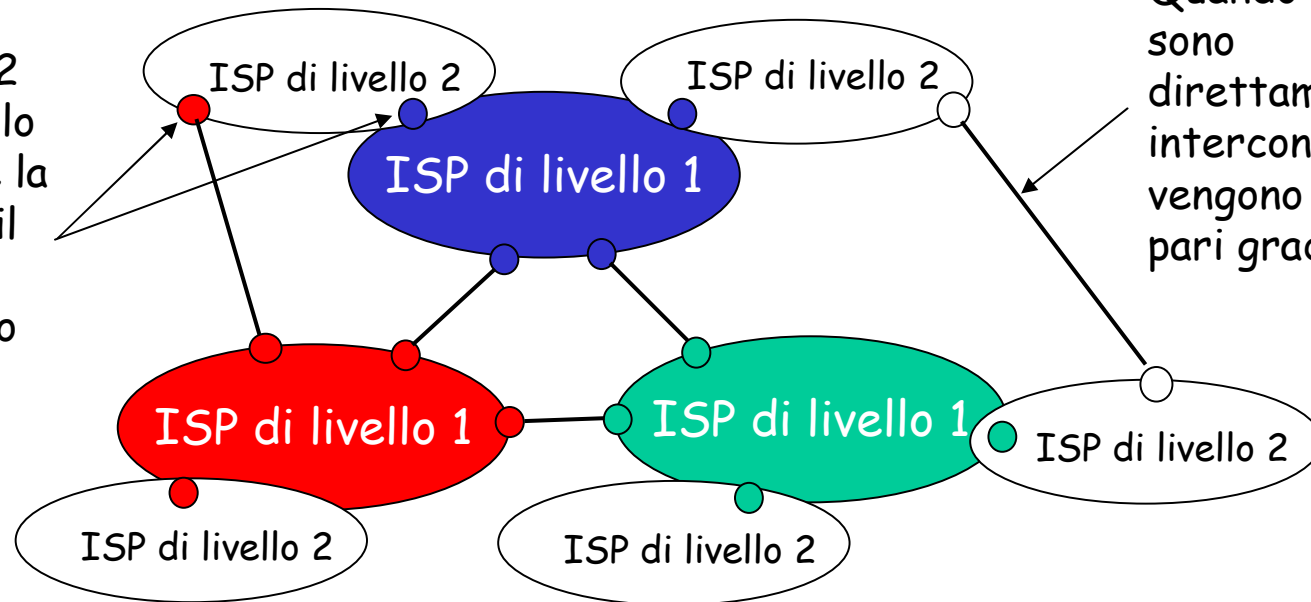
ISP di livello 1 - Un esempio: Sprint



Struttura di Internet: la rete delle reti

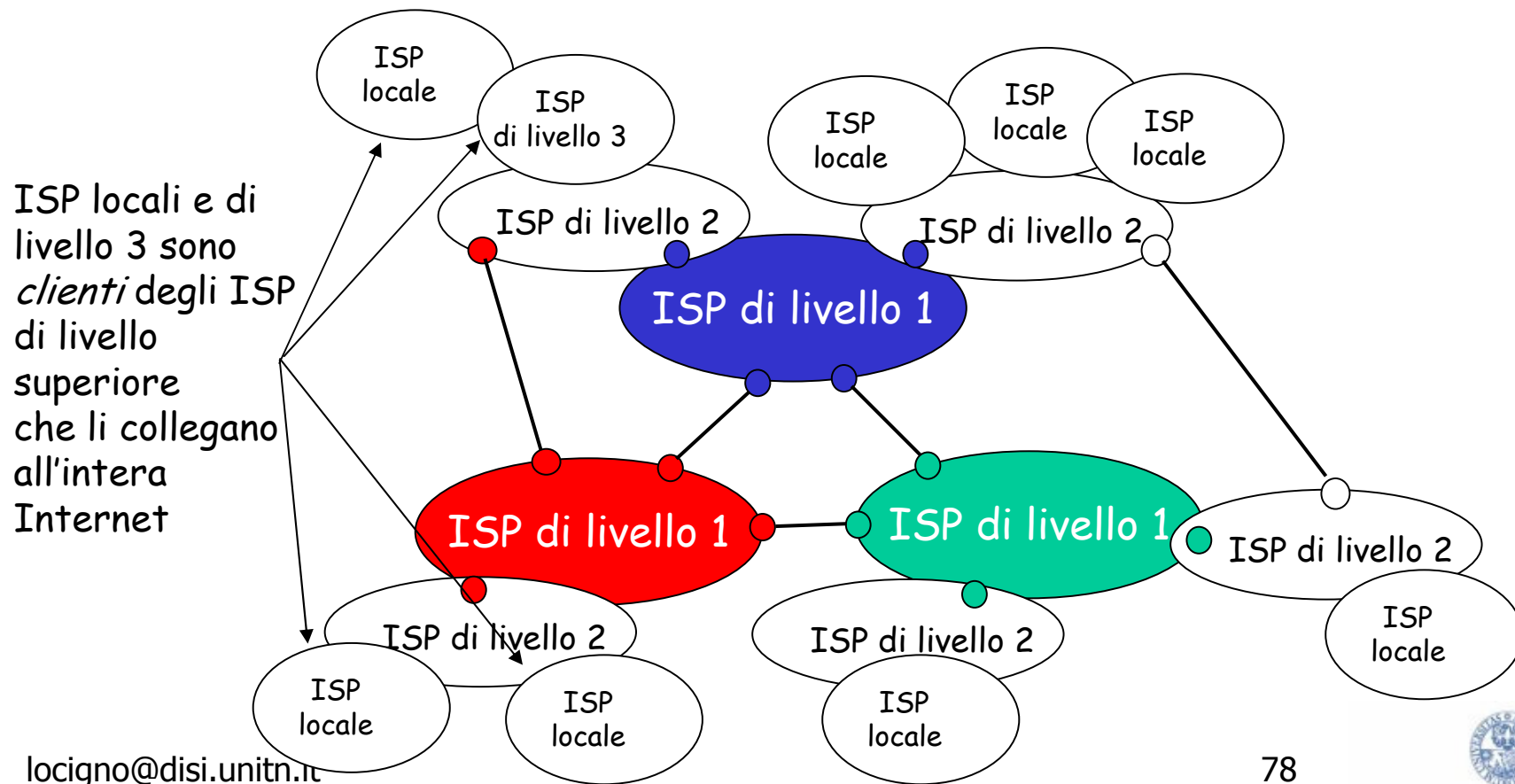
- **ISP di livello 2: ISP più piccoli (nazionali o distrettuali)**
 - Si può connettere solo ad alcuni ISP di livello 1, e possibilmente ad altri ISP di livello 2

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



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



Struttura di Internet: la rete delle reti

- un pacchetto passa attraverso un sacco di reti!

