

**Corsi di Laurea in Ingegneria Informatica
Ingegneria delle Telecomunicazioni
Ingegneria dell'Automazione
Corso di Reti di Calcolatori**



**Simon Pietro Romano (spromano@unina.it)
Antonio Pescapè (pescapè@unina.it)
Giorgio Ventre (giorgio@unina.it)**

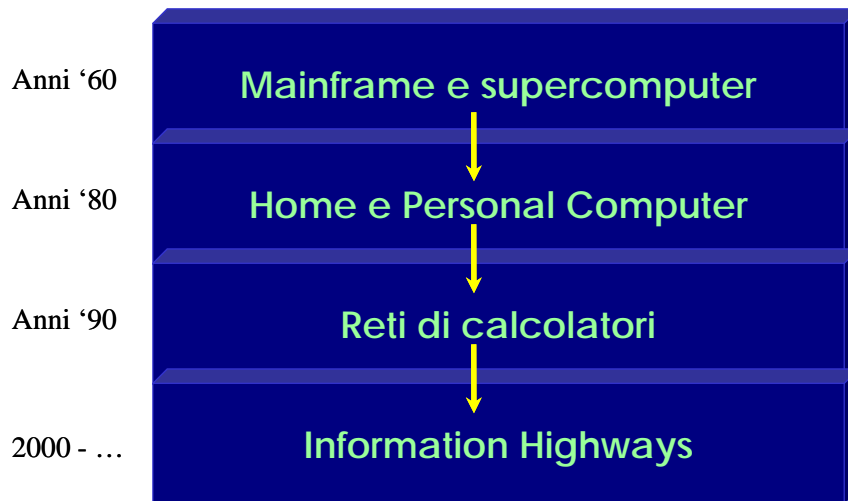
Introduzione alle Reti di Calcolatori

Nota di Copyright



Quest'insieme di trasparenze è stato realizzato dai ricercatori del Gruppo di Ricerca COMICS del Dipartimento di Informatica e Sistemistica dell'Università di Napoli. Esse possono essere impiegate liberamente per fini didattici esclusivamente senza fini di lucro, a meno di un esplicito consenso scritto degli Autori. Nell'uso dovrà essere esplicitamente riportata la fonte e gli Autori. Gli Autori non sono responsabili per eventuali imprecisioni contenute in tali trasparenze né per eventuali problemi, danni o malfunzionamenti derivanti dal loro uso o applicazione.

L'evoluzione

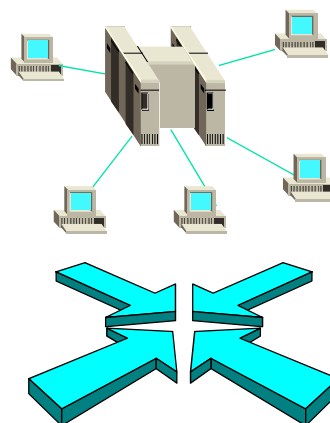


3

L'evoluzione: dal "computing centralizzato"...



- Sistemi fortemente centralizzati
- Grandi capacità di calcolo
- Rete complessa ma... *omogenea*
- Ambiente periferico:
terminali e stampanti

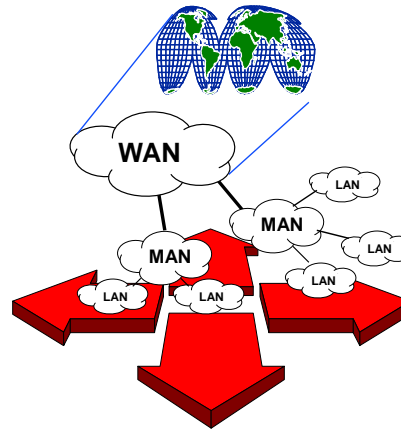


4

L'evoluzione: ...al “computing distribuito”



- Avvento del PC
- Nascita e boom delle reti locali
- Evoluzione verso sistemi *aperti*
- Periferia eterogenea ed intelligente
- Nascita degli standard per:
 - Cablaggi strutturati
 - Protocolli di Comunicazione



5

Le reti di calcolatori: scopi



- **Condivisione dell'informazione**
- **Condivisione delle risorse**
- **Accesso a risorse remote**
- **Convenienza economica**
- **Crescita graduale**
- **Affidabilità**

6

Elementi costitutivi delle reti di calcolatori (1)



- Alle estremità della rete si trovano gli **end-system** o **host**

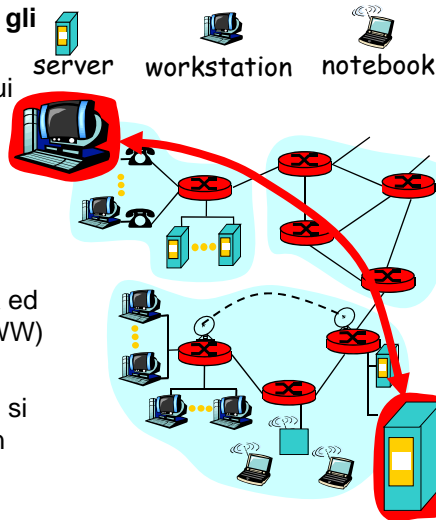
- sono calcolatori di vario tipo su cui girano i programmi applicativi
- i programmi applicativi possono essere progettati secondo due modelli:

- **Client-Server**

- Il client invia una richiesta ed il server risponde (es. WWW)

- **Peer-to-peer**

- Le due entità comunicanti si scambiano informazioni in modo paritetico (es. eMule, Skype)



7

Elementi costitutivi delle reti di calcolatori (2)



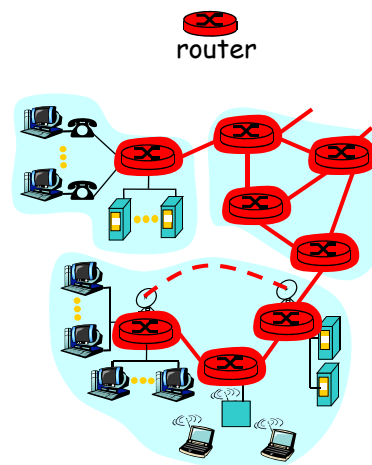
- L'infrastruttura della rete è fatta di:

- **apparati** tra loro interconnessi

- hub, switch, bridge
- modem
- access point
- router
- ...

- **supporti trasmissivi** che realizzano le interconnessioni

- doppini in rame
- cavi coassiali
- fibre ottiche
- collegamenti radio punto-punto
- collegamenti satellitari
- ...



8

Struttura delle reti di calcolatori (1)



• L'infrastruttura di rete si può dividere grossolanamente in:

• **Reti di accesso**

• Forniscono la connettività agli end-system

• Utilizzano svariate tecnologie:

- Rete telefonica tradizionale
- Ethernet
- ATM
- X.25
- Frame Relay
- WLAN
- Bluetooth
- GPRS
- UMTS

Tecnologie "Wired"

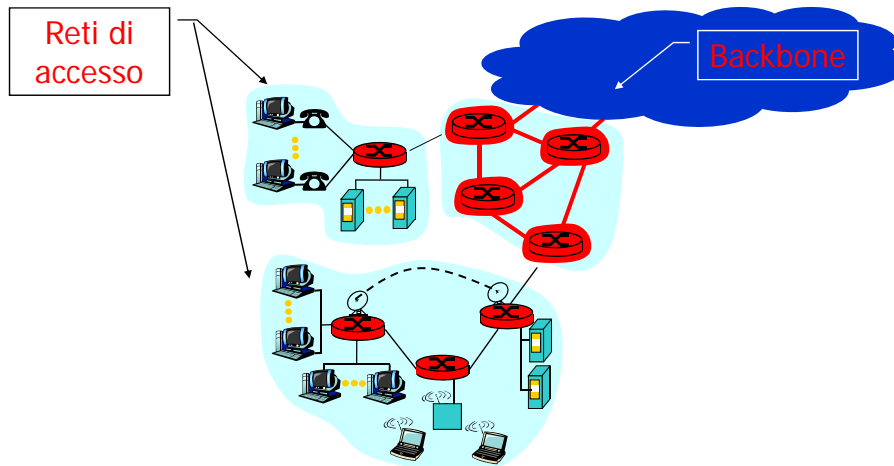
Tecnologie "Wireless"

• **Reti di backbone**

- Costituiscono la dorsale della rete vera e propria
- Sono strutturate in sottoreti tra loro interconnesse
- Si collegano alle reti di accesso

9

Struttura delle reti di calcolatori (2)

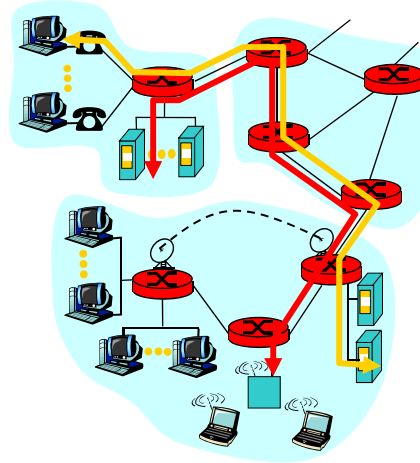


10

Commutazione di circuito



- Nelle reti a **commutazione di circuito**, la capacità trasmissiva all'interno della rete è assegnata per ciascuna "chiamata"
 - E' definita una porzione di capacità trasmissiva che è allocata in modo esclusivo per servire ciascuna comunicazione
 - È il modello dell'attuale rete telefonica

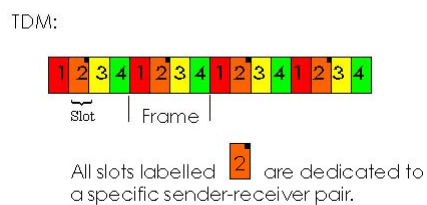
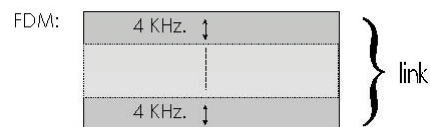


11

Commutazione di circuito



- Nella telefonia tradizionale, due coppie di conduttori venivano impegnate per ciascuna conversazione
- Successivamente, le coppie "fisiche" sono state sostituite da:
 - "porzioni di banda" (moltiplicazione a divisione di frequenza, **FDM**)
 - "porzioni di tempo" (moltiplicazione a divisione di tempo, **TDM**)



12

Commutazione di Pacchetto



- La natura discontinua della trasmissione di dati digitali può essere sfruttata per far sì che flussi di dati differenti possano condividere la stessa connessione, a patto di poterli distinguere
- Questo principio è alla base della tecnica detta “**commutazione di pacchetto**” (*packet switching*)

13

Commutazione di Pacchetto (2)



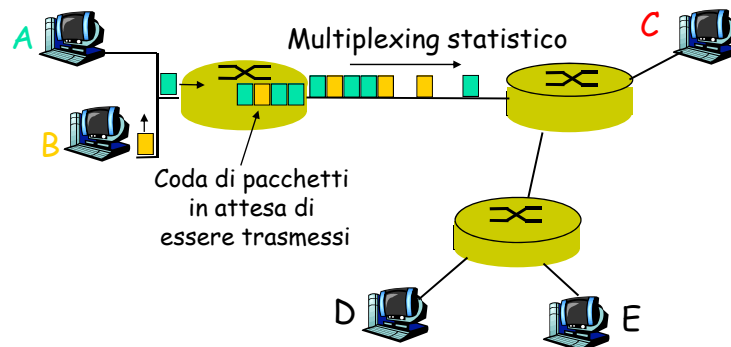
- Nel *Packet Switching* ciascun flusso di dati è diviso in pacchetti, cioè in entità composte da:
 - un'intestazione (*header*), utilizzata ai fini dell'identificazione e gestione,
 - i dati veri e propri (*payload*)



- Una rete a commutazione di pacchetto è composta da:
 - sistemi terminali (*End System* o *host*): producono o ricevono dati
 - apparati che si occupano dell'**instradamento** dei pacchetti tra sorgente e destinazione, detti nodi della rete (*Network Nodes*)
- Ogni nodo memorizza i pacchetti in ingresso, per poi instradarli verso il nodo successivo (*store & forward*)
- I collegamenti fisici tra i nodi sono detti *link*

14

Commutazione di Pacchetto (3)



15

Commutazione di Pacchetto (4)



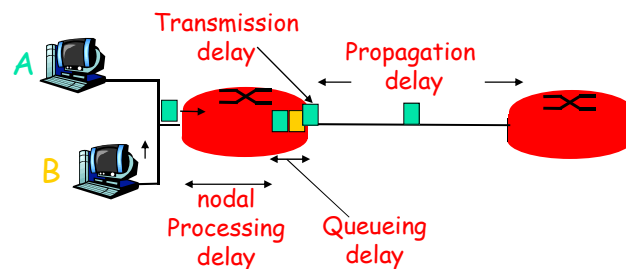
- La Qualità del Servizio di una rete a commutazione di pacchetto è misurata da una molteplicità di "indici di prestazione"
- I più importanti sono:
 - **Ritardo** nella consegna dei pacchetti [s]
 - **Throughput**: quantità di bit al secondo che la rete è in grado di trasferire tra due terminali [b/s]
 - **Loss-Rate**: probabilità che un pacchetto non venga consegnato a destinazione
 - **Jitter**: variazione temporale del ritardo

16

Ritardo nelle reti a commutazione di pacchetto



- Il ritardo nella consegna di un pacchetto alla destinazione è determinato da:
 - **Tempo di elaborazione** nel nodo:
 - controllo di errori, determinazione link di uscita, ...
 - **Tempo di attesa nelle code dei router** (variabile)
 - **Tempo di trasmissione** su ciascun link = Lunghezza in bit / velocità in bps
 - **Tempo di propagazione** sulle linee = lunghezza della linea / velocità del segnale

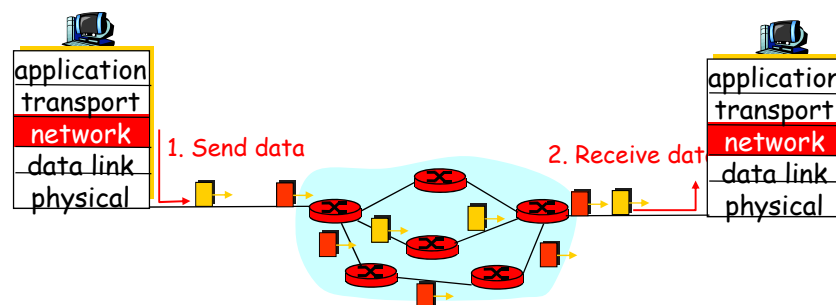


17

Packet switching: reti a datagrammi



- Ogni nodo che riceve un pacchetto decide in maniera **indipendente** a quale altro nodo inoltrarlo, sulla base dell'indirizzo destinazione contenuto nel pacchetto
 - **Indipendente** rispetto agli altri nodi
 - **Indipendente** rispetto agli altri pacchetti passanti per lo stesso nodo
- Pacchetti tra la stessa coppia sorgente-destinazione possono seguire percorsi differenti

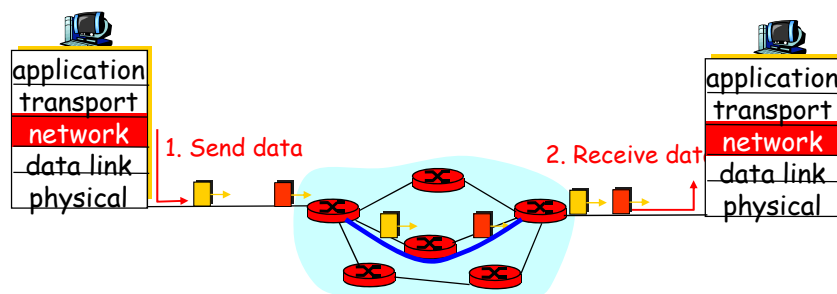


18

Packet switching: reti a circuiti virtuali



- Ogni pacchetto contiene il numero del circuito virtuale
- Il circuito virtuale è stabilito prima della trasmissione dei dati
- I nodi devono conservare informazioni sui circuiti virtuali che li attraversano



19

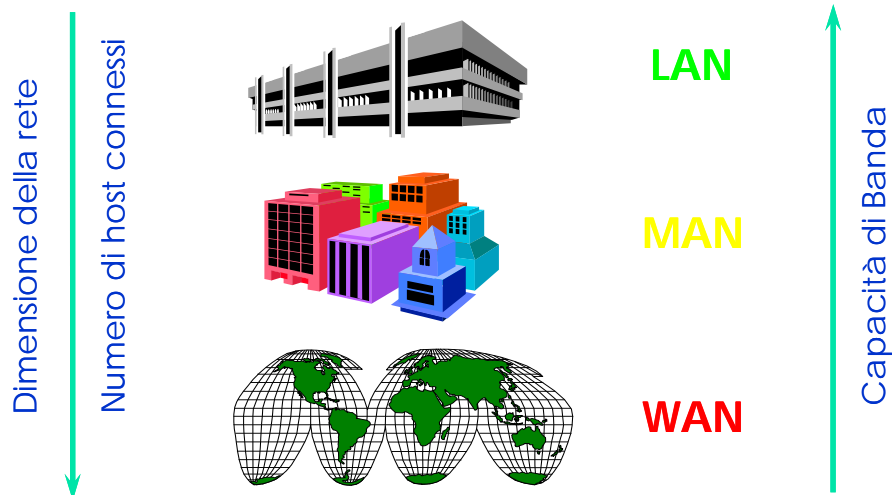
Datagrammi vs circuiti virtuali



Proprietà	datagrammi	circuiti virtuali
Creazione del circuito	Non richiesta ☺	Richiesta ☹
Indirizzamento	Ogni pacchetto contiene l'intero indirizzo della sorgente e della destinazione ☹	Ogni pacchetto contiene un numero di VC ☺
Informazioni sullo stato	I nodi di rete non mantengono informazioni sullo stato ☺	Ogni VC richiede uno spazio di memoria sui nodi ☹
Instradamento	Ogni pacchetto è instradato indipendentemente ☹	Percorso pre-calcolato: ogni pacchetto segue questo percorso ☺
Effetti di guasti ai nodi	Nessuno (solo i pacchetti persi durante il guasto) ☺	Tutti i VC che attraversano quel nodo sono chiusi ☹
Controllo di congestione	Complicato ☹	Semplice se possiamo allocare spazio sufficiente per ogni VC ☺

20

Le reti di calcolatori



21

Caratteristiche LAN



- Non attraversano suolo pubblico
- Velocità trasmissiva "V" molto elevata ($V > 10 \text{ Mb/s}$)
- Distanze D ridotte ($D < \text{qualche chilometro}$)
- Conformità:
 - conformi a standard emessi da ISO/IEEE/ANSI
 - non conformi agli standard CCITT

22

Caratteristiche MAN



- Installazioni in ambito urbano
- Velocità trasmissiva “V” elevata
 - $2 \text{ Mb/s} < V < 140 \text{ Mb/s}$
- Conformità:
 - conformi sia standard CCITT sia ISO/IEEE
- Mezzo trasmissivo tipico: fibra ottica

23

Caratteristiche WAN



- Installazioni in ambito interurbano
- Velocità trasmissiva “V” medio-bassa
 - $33.6 \text{ kb/s} < V < 10 \text{ Mb/s}$
- Conformità:
 - conformi standard CCITT
- Mezzi trasmissivi:
 - spesso gli stessi usati per la telefonia convenzionale

24

Reti eterogenee



- Gli esempi presentati non sono mutuamente esclusivi
- Nella maggior parte dei casi, soluzioni architetture differenti coesistono in un singolo sistema distribuito complesso
- L'esempio per eccellenza: **Internet**

25

Le reti di calcolatori: gestire la complessità



- La comunicazione tra computer richiede soluzioni tecniche complesse riguardanti una serie di problemi:
 - Ricezione e Trasmissione fisica
 - Controllo degli errori
 - Controllo di flusso
 - Conversione dei dati
 - Crittografia e sicurezza
 - Sincronizzazione
- Un approccio logico è quello di analizzare tali problematiche singolarmente:
“Divide et Impera”
- Nelle reti di calcolatori questo ha condotto a modelli “a strati”

26

Modelli a strati: perché



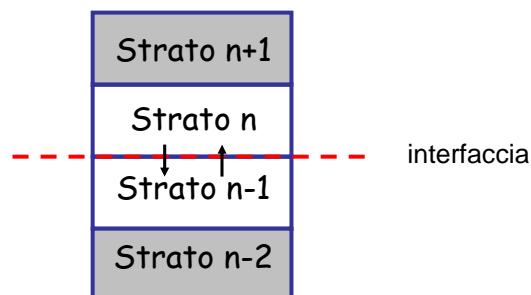
- Come vedremo, la suddivisione delle funzionalità secondo un modello a strati agevola la gestione della complessità
- Ciascuno **strato** (o **livello**):
 - è responsabile di un sottoinsieme definito e limitato di compiti
 - funziona in maniera lascamente accoppiata con gli altri
 - interagisce solo con lo strato immediatamente superiore ed inferiore
 - fa affidamento sui "servizi" forniti dallo strato immediatamente inferiore
 - fornisce "servizi" allo strato immediatamente superiore
- Alcuni strati sono realizzati in software altri in hardware
- Vantaggi:
 - l'indipendenza tra gli strati consente la sostituzione di uno strato con un altro di pari livello che offra i medesimi servizi allo strato superiore
 - limitare le funzionalità di uno strato ne semplifica la realizzazione
- Svantaggi:
 - L'eccessivo numero di strati può portare ad inefficienze

27

Modelli a strati: interfacce



- All'interno di ciascun dispositivo di rete, lo scambio di informazioni tra due strati adiacenti avviene attraverso una interfaccia, che definisce i servizi offerti dallo strato inferiore allo strato superiore

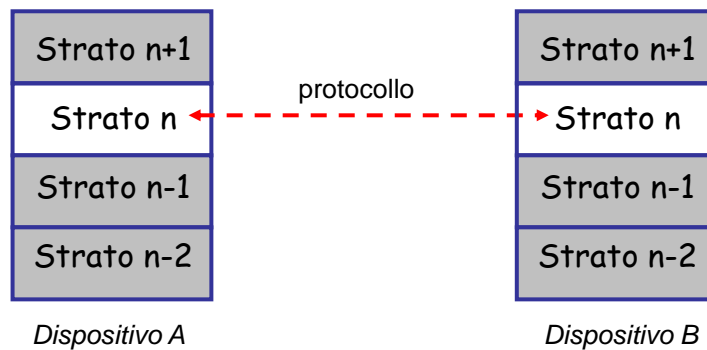


28

Modelli a strati: protocolli



- Lo strato n-esimo di un dispositivo comunica con lo strato n-esimo di un'altra entità secondo un protocollo assegnato



29

Protocolli di comunicazione



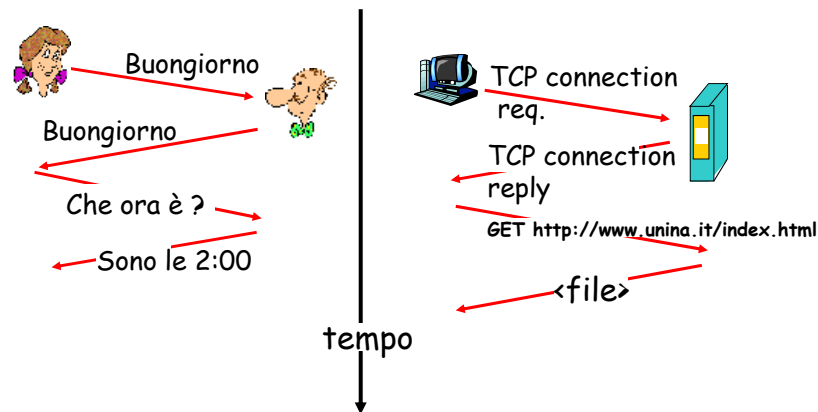
- Per *protocollo di comunicazione* si intende un insieme di regole che permette la corretta instaurazione, mantenimento e terminazione di una comunicazione di qualsiasi tipo tra due o più entità
- Un protocollo di comunicazione definisce il formato e l'ordine dello scambio di messaggi tra le entità comunicanti
- Nelle reti di calcolatori, un protocollo regola la comunicazione tra entità di pari livello esistenti in due dispositivi della rete tra loro comunicanti
- Nell'ambito delle reti di computer un notevole sforzo è stato compiuto per definire protocolli standard, allo scopo di consentire l'integrazione di reti differenti

30

Protocolli: un esempio



Un confronto tra un protocollo tra persone ed un protocollo per la comunicazione tra computer

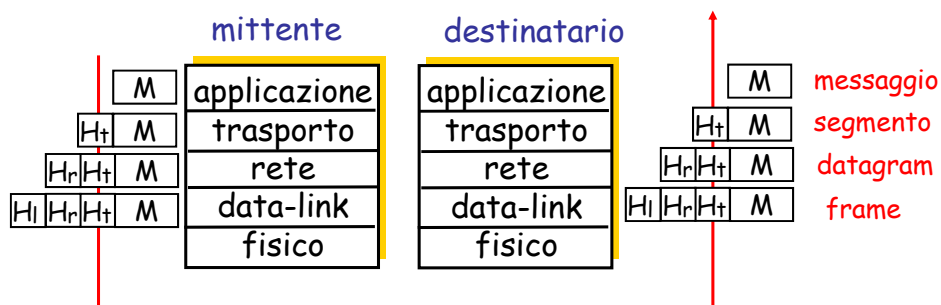


31

“Imbustamento” dei messaggi



- In trasmissione, ogni strato antepone una intestazione (*header*) al messaggio ricevuto dallo strato soprastante
 - Paragone con la busta di una lettera
- L'insieme messaggio+header viene passato allo strato sottostante
- A destinazione il messaggio risale la pila
- In ricezione, ad ogni strato l'header viene rimosso

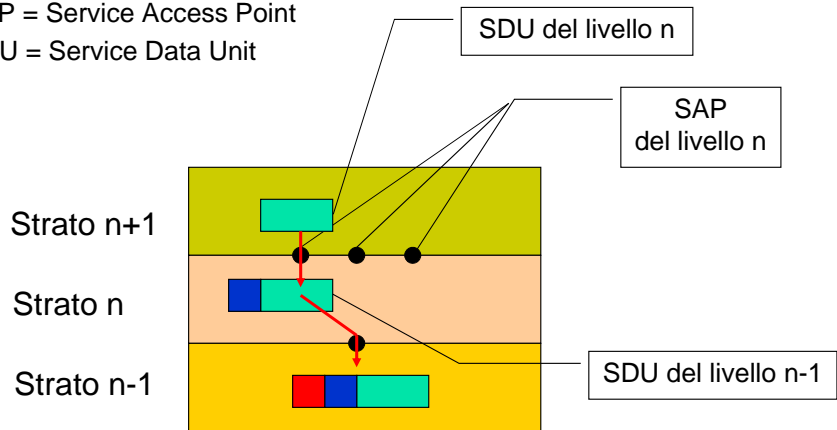


32

SDU e SAP



- SAP = Service Access Point
- SDU = Service Data Unit

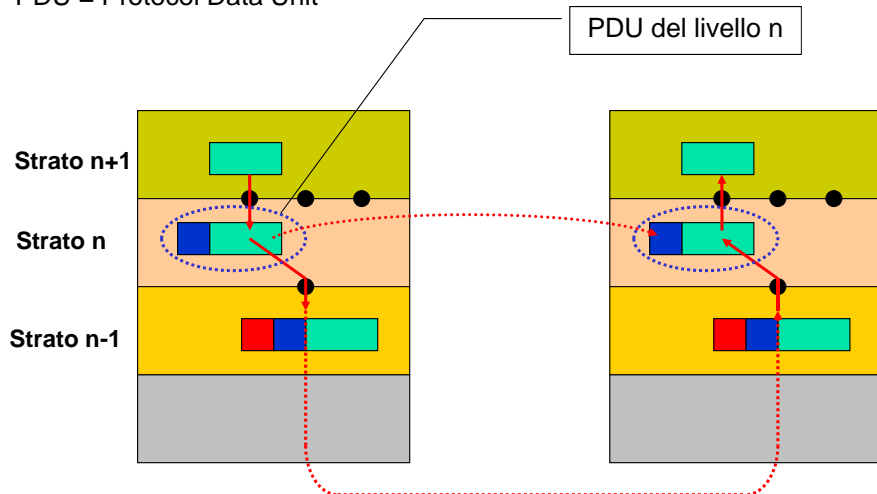


33

PDU



- PDU = Protocol Data Unit



34

Il modello OSI (1)



- Negli anni '80 l' *ISO, International Standards Organization*, ha definito un modello di riferimento per reti di calcolatori a commutazione di pacchetto: il modello *OSI, Open System Interconnection*
- Il modello OSI è un modello a strati su 7 livelli:
 - Applicazione
 - Presentazione
 - Sessione
 - Trasporto
 - Rete
 - Data link
 - Fisico
- Il modello OSI non è risultato vincente, a causa della sua eccessiva complessità

35

Il modello OSI (2)



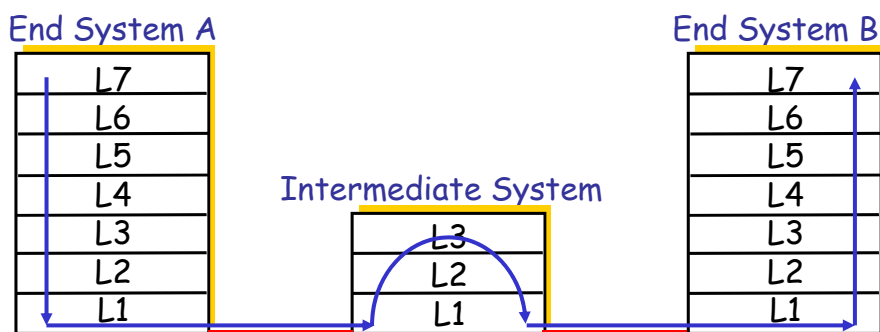
OSI: Open Systems Interconnection

36

Dispositivi di rete e livelli

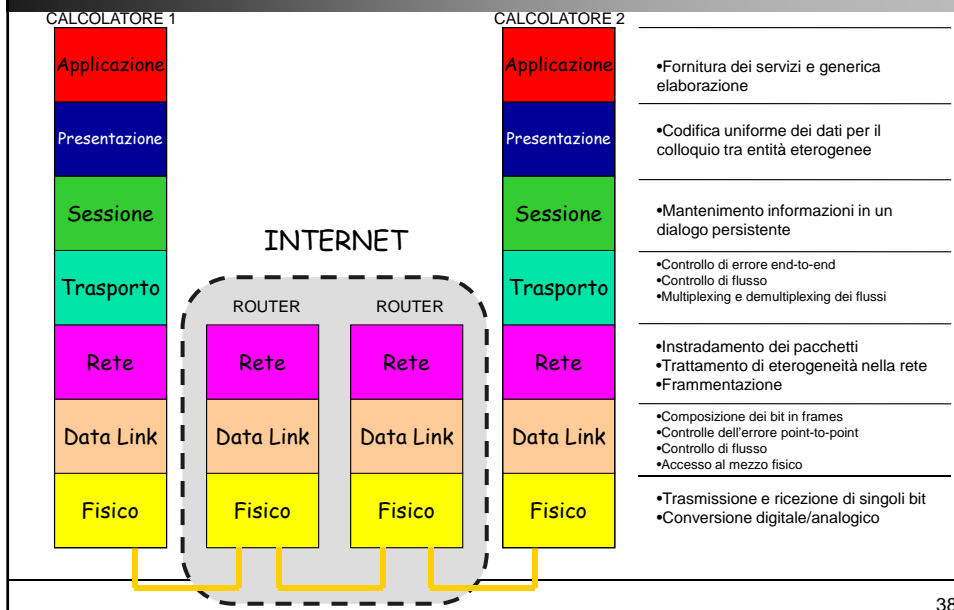


- L'intera pila di livelli è realizzata tipicamente negli end system
- I dispositivi di rete si differenziano per il numero di livelli fino a cui operano
 - Fino a L1 operano i **ripetitori**
 - Fino a L2 operano i **bridge / switch** di rete locale
 - Fino a L3 operano i **router**



37

Un approccio a livelli per la risoluzione dei problemi



38

Livello 1: Fisico



- Si occupa di trasmettere sequenze binarie sul canale di comunicazione
- A questo livello si specificano:
 - Caratteristiche elettriche dei segnali
 - Tecniche di codifica/decodifica
 - Caratteristiche dei mezzi trasmissivi
 - Tipi di connettori
- Il livello fisico è nel dominio dell'ingegneria elettronica: descrizione elettrico/meccanica dell'interfaccia

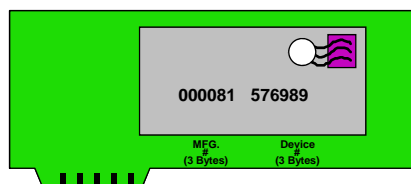
0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0

39

Livello 2: Data Link



- Ha come scopo la trasmissione affidabile di pacchetti di dati (*frame*)
 - Affidabile nel senso di "garanzia di inoltrò"
- Accetta come input i *frame* (tipicamente poche centinaia di byte) e li trasmette sequenzialmente
- Verifica la presenza di errori di trasmissione aggiungendo delle informazioni aggiuntive di controllo
 - *Frame Control Sequence*, FCS
- Può gestire meccanismi di correzione di errori tramite ritrasmissione

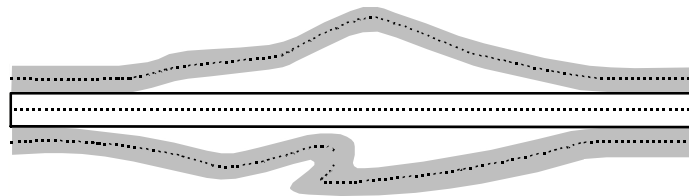


40

Livello 3: Rete



- Questo livello gestisce l'instradamento dei messaggi
- Determina quali sistemi intermedi devono essere attraversati da un messaggio per giungere a destinazione
- Il livello 3 gestisce, quindi, delle tabelle di instradamento per ottimizzare il traffico sulla rete



41

Livello 4: Trasporto



- Fornisce servizi per il trasferimento dei dati da terminale a terminale (ovvero *end-to-end*), indipendentemente dalla rete sottostante
- In particolare il livello 4 può:
 - frammentare i pacchetti in modo che abbiano dimensioni idonee al livello 3
 - rilevare/correggere gli errori
 - controllare il flusso
 - controllare le congestioni



42

Livello 5: Sessione



- Il livello 5 è responsabile dell'organizzazione del dialogo e della sincronizzazione tra due programmi applicativi e del conseguente scambio di dati
- Si occupa cioè di stabilire la **sessione**



43

Livello 6: Presentazione



- Il livello di presentazione gestisce la sintassi dell'informazione da trasferire
- L'informazione è infatti rappresentata in modi diversi su elaboratori diversi (es. ASCII o EBCDIC)



44

Livello 7: Applicazione



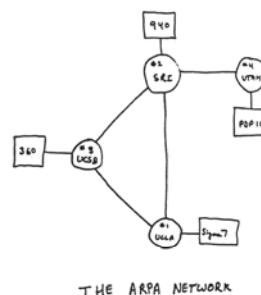
- È il livello dei programmi applicativi, cioè di quei programmi appartenenti al sistema operativo o scritti dagli utenti, attraverso i quali l'utente finale utilizza la rete
- Esempi di applicazioni previste dall'OSI sono:
 - VT: Virtual Terminal, connessione interattiva ad un elaboratore remoto
 - FTAM: File Transfer and Access Management
 - X.400: Posta Elettronica
 - X.500: Directory Service
 - ...
- Nel mondo Internet, le applicazioni sono:
 - WWW (World Wide Web)
 - Mail
 - News
 - FTP (File Transfer Protocol)
 - IRC (Internet Relay Chat)
 - NTP (Network Time Protocol)
 - Telnet
 - X-terminal (non standard)
 - Terminal Server (non standard)
 - SNMP (Simple Network Management Protocol)
 - ...

45

Internet: Origini ed Evoluzione

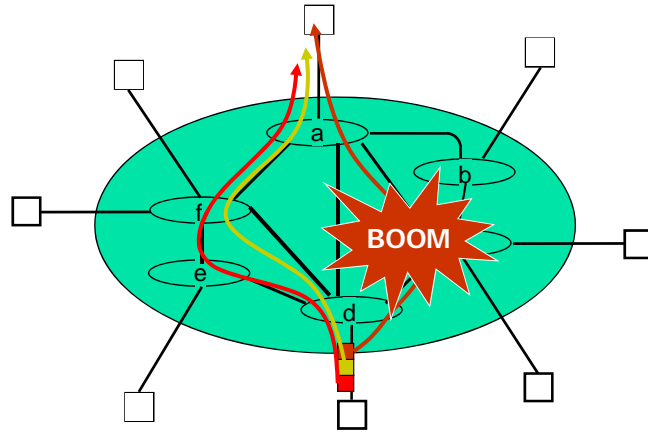


- Internet nasce come interconnessione di diverse reti di carattere sperimentale
- Kleinrock attraverso la teoria delle code mostra la fattibilità delle reti a commutazione di pacchetto (1961)
- Prime attività di rilievo come sperimentazione di reti a commutazione di pacchetto finanziate per scopi militari (Department of Defence – DoD, tramite Defence Advanced Research Projects Agency – DARPA) (1964)
- ARPANET: Rete sperimentale basata su Interface Message Processors (IMP) con meccanismi Store-and-Forward (1967/1969)
- Approccio Datagram per garantire la sopravvivenza in caso di eliminazione di nodi e linee



46

Approccio Datagram



Internet: Origini ed Evoluzione



- **Un primo gruppo di Università crea un nucleo di rete per sperimentare applicazioni (1969-72)**
 - Collegamenti da 56 kbps
- **Le sperimentazioni mostrano l'inadeguatezza dei protocolli ARPANET per differenti architetture**
 - Esigenza di protocolli per "internetworks"
- **V. Cerf e R. Kahn progettano la suite TCP-IP (1974)**
- **BBN e UCB vengono finanziate per inserire TCP-IP in Unix BSD**
- **Quattro fattori di successo: PDP/Vax, LAN, TCP-IP, Unix**

Internet: Origini ed Evoluzione



- **1984: la parte militare di ARPANET si separa (MILNET)**
- **1986: La *National Science Foundation* (NSF) finanzia lo sviluppo di una rete basata su TCP-IP (NSFNET)**
 - NSFNET ha una struttura gerarchica: una dorsale ad alta velocità ed una serie di reti regionali
 - Collegamenti da 56 Kbps a T1 (1,544 Mbps)
- **1989: ARPANET è smantellata**
- **1990: NSF smette di finanziare la rete e cede la struttura ad una organizzazione non-profit**
 - Nasce *Advanced Network and Services* (ANS), una organizzazione fondata da Merit, IBM ed MCI
 - Collegamenti da T1 a T3 (45 Mbps)
- **1995: NSFNET è smantellata**
 - Nascono i *Network Access Point* (NAP) per interconnettere varie reti commerciali

49

Internet: architettura della rete



- **Una architettura completa, dai servizi alle applicazioni**
- **È di dominio pubblico e di diffusione enorme**
- **In evoluzione con i requisiti degli utenti**
- **Gestita da specifici organismi**
 - Internet Society (ISOC): IETF, IRTF
 - IANA/ICANN
- **I protocolli in uso sono standardizzati mediante documenti approvati dall'IETF: le "Request for Comments" (RFC):**
 - Informational e Standard Track
- **Opera su tecnologie di rete standard e non**
 - SLIP, PPP, Dialup
 - LAN 802.X, FDDI
 - X.25, FR, ATM, SMDS

50

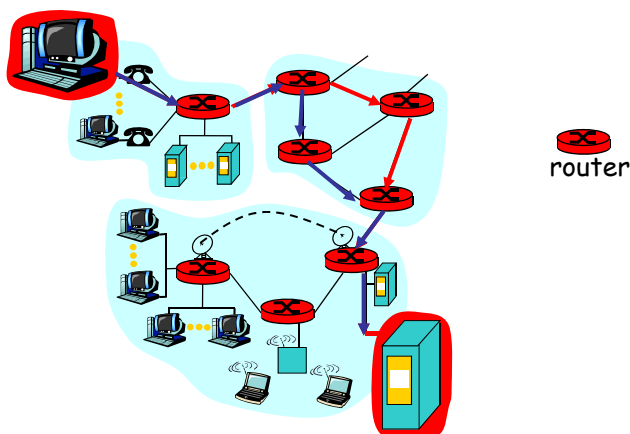
Internet: architettura della rete



- La rete è progettata secondo un modello a **datagram**
- L'informazione viaggia in pacchetti (*datagram*) che vengono trattati dalla rete indipendentemente l'uno dagli altri
- Ogni terminale è univocamente individuato da un indirizzo associato alla interfaccia che lo collega alla rete
- Ogni pacchetto contiene l'indirizzo del mittente e l'indirizzo del destinatario
- L'infrastruttura della rete è costituita dai **router** che hanno il compito di instradare i pacchetti e consegnarli a destinazione
- Non c'è garanzia che un pacchetto venga realmente consegnato a destinazione
 - I pacchetti possono andare persi nella rete
 - I pacchetti possono seguire percorsi diversi ed arrivare in un ordine diverso da quello con cui sono stati trasmessi

51

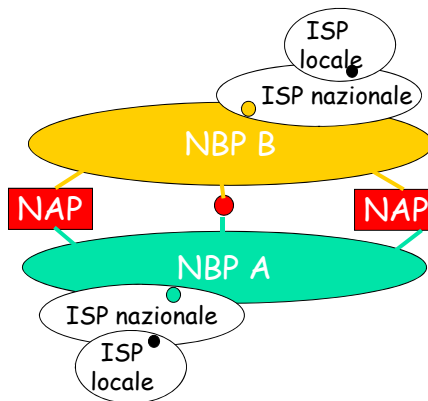
Internet: architettura della rete



52

Struttura di Internet

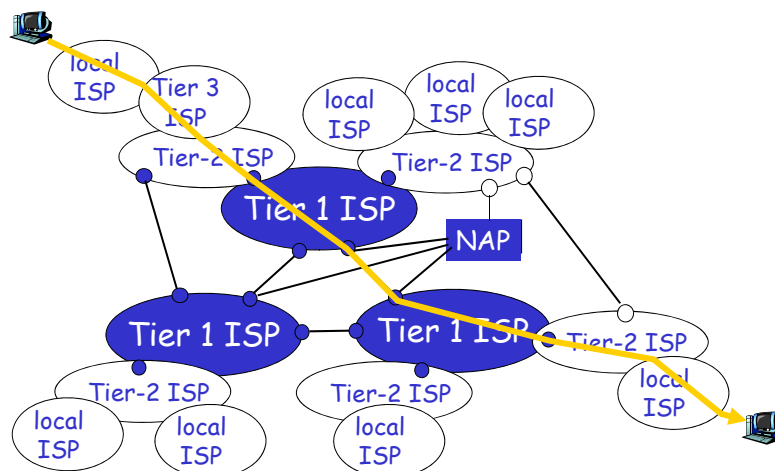
- L'accesso ad Internet avviene per mezzo di un fornitore di servizi o *Internet Service Provider*, ISP
- Gli ISP sono collegati tra loro secondo una struttura gerarchica
 - ISP locali
 - ISP nazionali
- Gli ISP nazionali si collegano a fornitori di connettività internazionali: i *Network Backbone Provider* (NBP)
 - BBN/GTE, Sprint, UUNet
- Gli NBP sono tra loro collegati in punti di interscambio detti NAP, *Network Access Point*



53

Struttura di Internet: rete di reti

- Dalla sorgente alla destinazione, un pacchetto attraversa diverse reti.

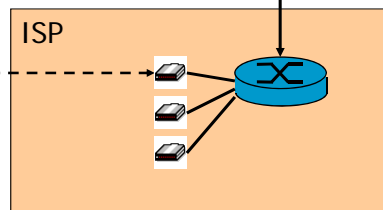


54

Accesso ad Internet residenziale



Personal Computer +
Modem



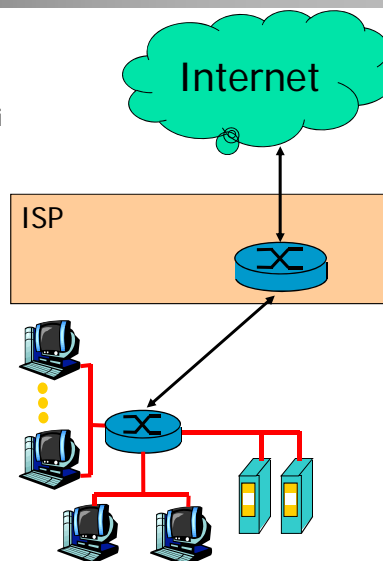
- Modem analogico
 - fino a 56Kbps
- ISDN (*Integrated Services Digital Network*)
 - fino a 128Kbps
- ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*)
 - fino ad 1 Mbps upstream e fino a 20 Mbps downstream

55

Collegamento ad Internet di LAN aziendali



- Collegamento mediante:
 - Modem analogico, ISDN, ADSL
 - Per reti aziendali di piccole dimensioni
 - Linea dedicata con collegamento permanente con l'ISP
 - Per reti aziendali di medie/grandi dimensioni



56

Internet in Italia



- Esistono degli *Internet Service Provider* commerciali che operano a livello nazionale fornendo la connessione ad Internet a privati ed aziende
 - Telecom Italia
 - Infostrada
 - FastWeb
 - Tele2
 - Tiscali
 - ...
- Esistono anche molti medi e piccoli ISP che operano su scala locale

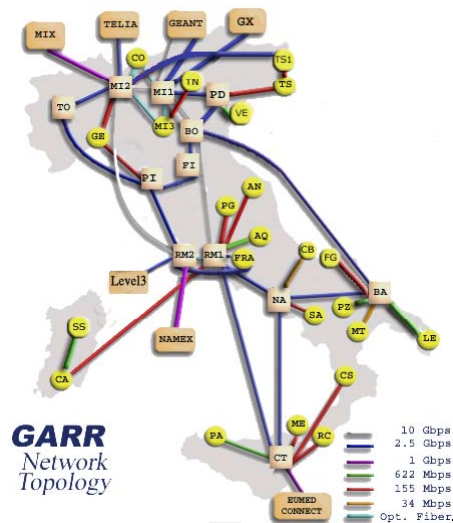
57

La rete GARR-B



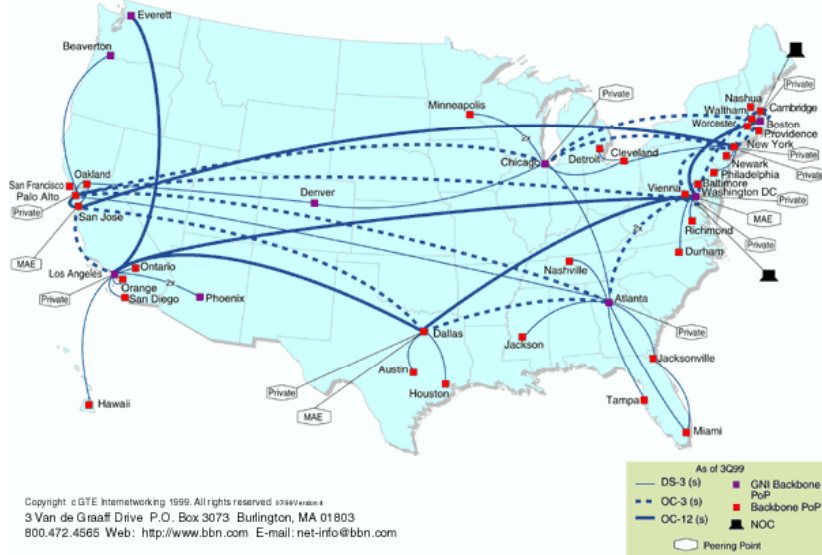
L'accesso ad Internet per le Università è gestito dal GARR

*Gruppo
Armonizzazione
Reti
di Ricerca*



58

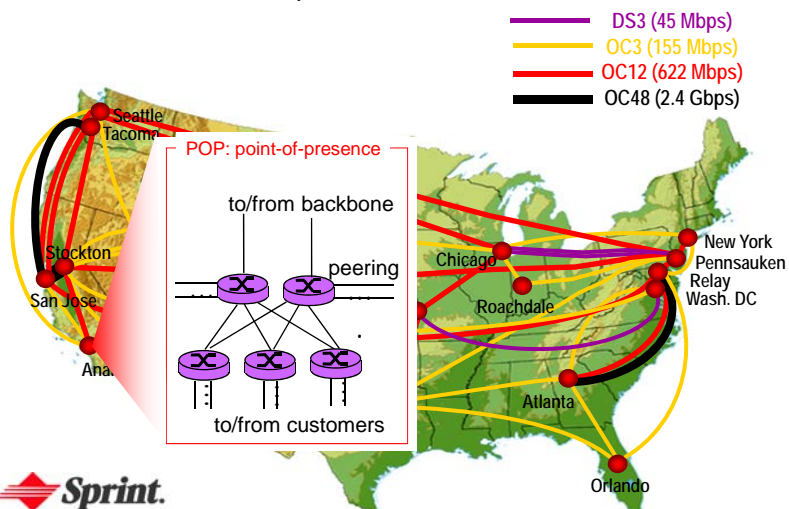
Una vista parziale su Internet negli USA



59

Tier-1 ISP: Sprint

• Rete di backbone di Sprint US



60

Chi regola Internet



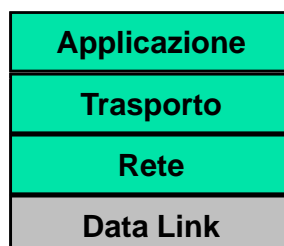
- La standardizzazione dei protocolli in uso su Internet è fatta dall'*Internet Engineering Task Force*, IETF
- L'assegnazione degli indirizzi e dei nomi di dominio è oggi supervisionata dall'*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*, ICANN, che ha preso il posto dell'*Internet Assigned Numbers Authority*, IANA, una authority federale degli USA

61

Lo stack TCP/IP



- Internet si basa su un modello definito da una collezione di protocolli standardizzati dall'IETF, il modello TCP/IP
- Siccome i protocolli sono organizzati secondo una struttura a pila (*stack*), si parla dello "stack TCP/IP"
- Il modello prende il nome da due protocolli fondamentali:
 - TCP, *Transmission Control Protocol*, di livello Trasporto
 - IP, *Internet Protocol*, di livello Rete



62