



Università degli Studi dell'Insubria
Dipartimento di Scienze Teoriche e Applicate

Programmazione Concorrente e Distribuita Reti e protocolli

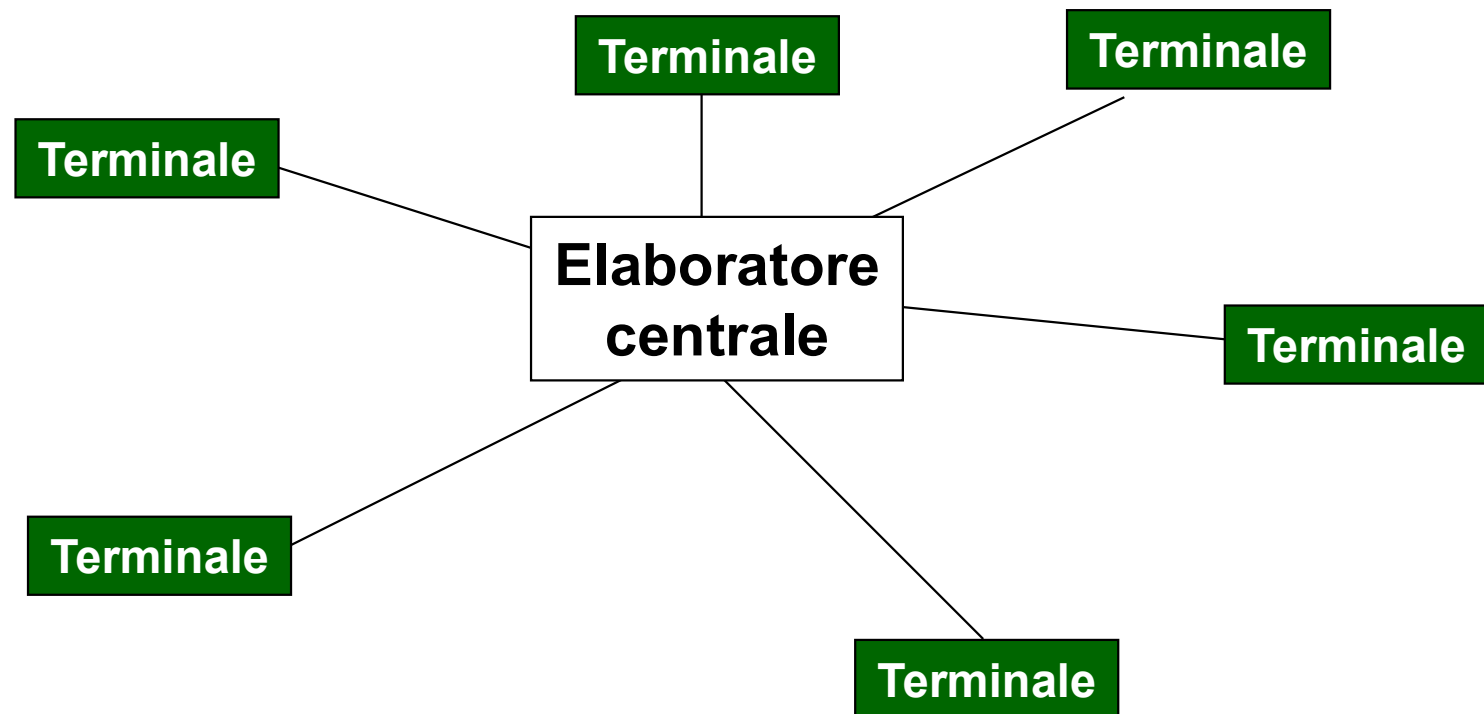
Luigi Lavazza
Dipartimento di Scienze Teoriche e Applicate
luigi.lavazza@uninsubria.it

Il concetto di rete di calcolatori

- Una “rete di calcolatori” è un sistema informatico costituito da due o più calcolatori collegati attraverso un sistema di comunicazione
- Una “applicazione distribuita” è una applicazione composta da più programmi cooperanti posti in esecuzione su macchine diverse all’interno di una rete di calcolatori
 - ▶ Su ogni macchina c'è almeno un processo che comunica con processi che risiedono su macchine diverse

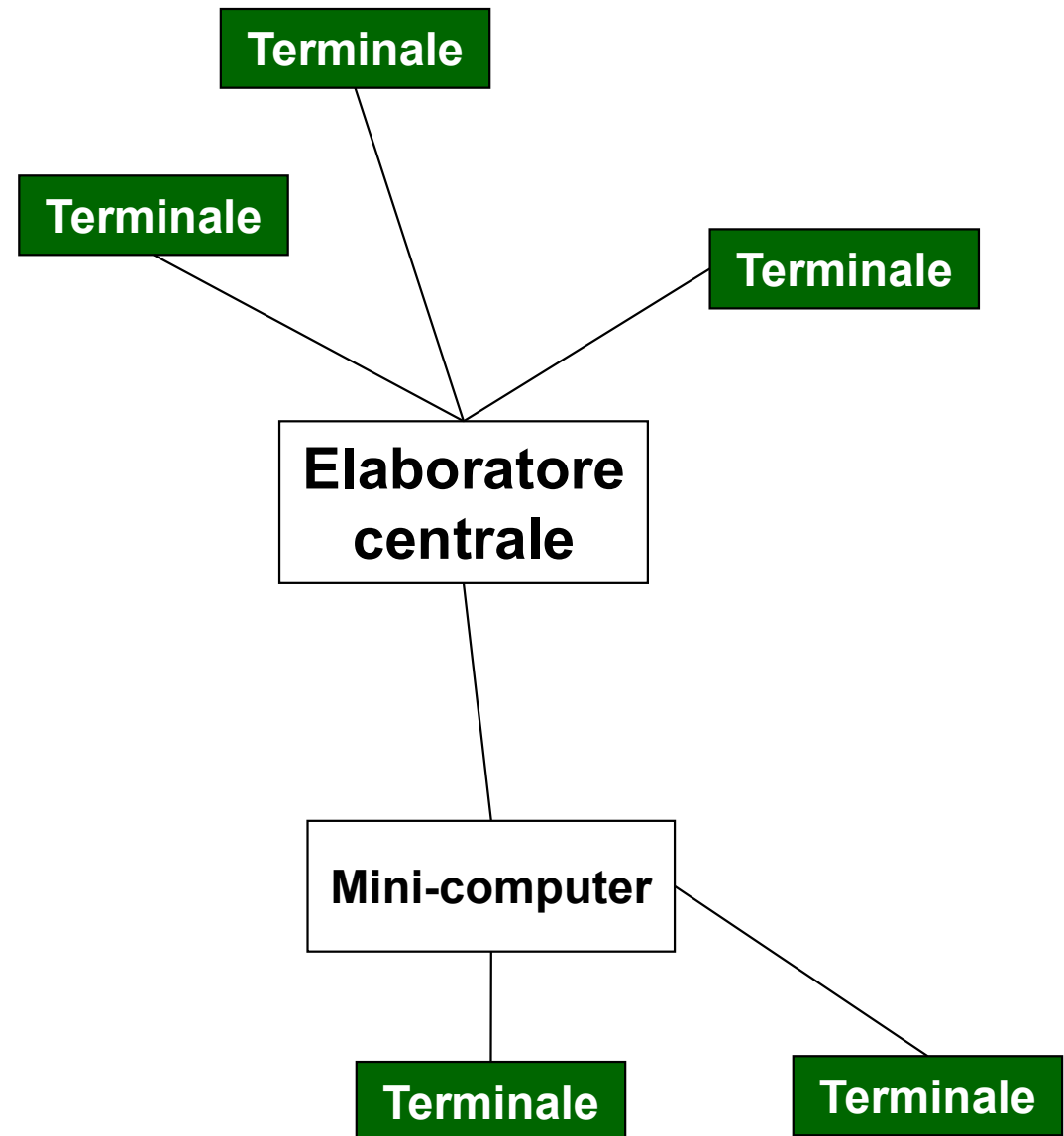
Il quadro storico - Anni '60

- Costo degli elaboratori troppo alto per permettere un uso individuale
- Esigenze dei singoli utenti basse permettono la condivisione della potenza di calcolo fornita da un singolo elaboratore centrale
- Sviluppo di reti composte da un elaboratore centrale e più terminali remoti connessi attraverso linee telefoniche in una architettura a stella
 - ▶ I terminali sono “stupidi”, fanno solo I/O, non elaborazione



Il quadro storico - Anni '70

- Il costo dell'hardware diminuisce velocemente
- Vengono prodotti «mini-computer»
 - ▶ Il più famoso è il Digital PDP11
- Certe elaborazioni avvengono in locale
- Il computer centrale è connesso (sempre attraverso linea telefonica) con terminali o minicomputer.

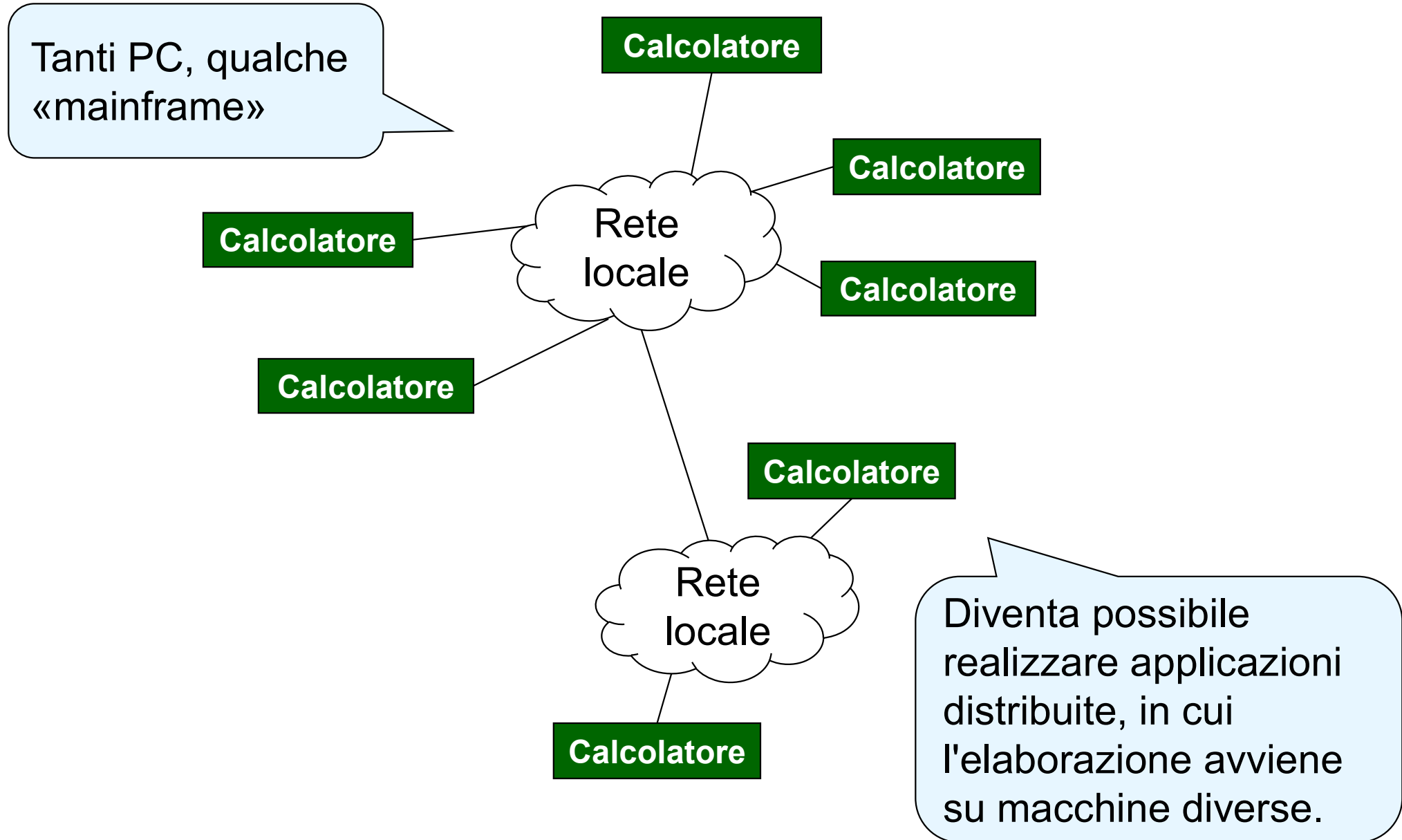




Il quadro storico - Anni '80

- Il costo dell'hardware continua a scendere
- Si diffondono i personal computer
- Diventa sempre più importante condividere applicazioni e dati
- Nascono le reti locali e geografiche di micro e personal computer

Il quadro storico - Anni '80





Il quadro storico - Oggi

- Le reti sono molto veloci e affidabili
 - ▶ Consentono cooperazione stretta: applicazioni distribuite real-time
- I computer sono anche mobili
 - ▶ Connessi da reti wireless
- Anche gli oggetti sono connessi (IoT)



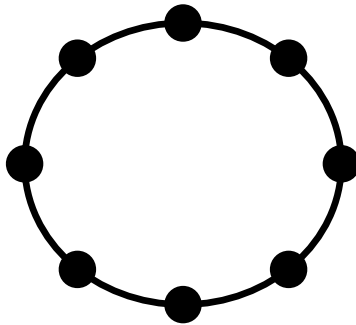
Topologia di rete

- Con il termine “topologia di rete” si indica la disposizione fisica dei componenti che realizzano la rete...
... la loro tipologia...
... e la modalità con la quale sono connessi

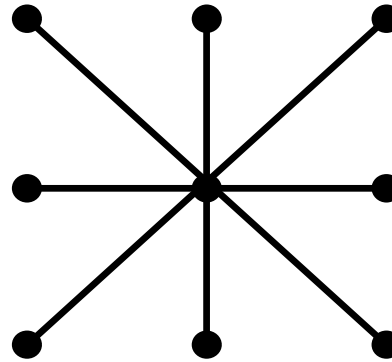
Topologie standard



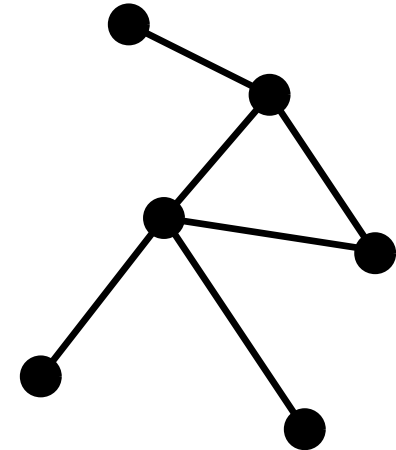
Rete a bus



Rete ad anello



Rete a stella



Topologia irregolare

Mezzi trasmissivi

- La comunicazione tra due nodi della rete avviene attraverso un mezzo trasmissivo, come ad es.:
 - ▶ doppino telefonico;
 - ▶ cavo coassiale;
 - ▶ fibra ottica;
 - ▶ onde elettromagnetiche;
 - ▶ porte a infrarossi;
 - ▶ o una loro combinazione.

Trasmissione

- La trasmissione tra due nodi della rete può essere
 - ▶ Simplex
 - Il senso di trasmissione è fisso (poco usata)
 - ▶ Half-duplex
 - La trasmissione è possibile, *alternativamente*, nei due sensi
 - ▶ Full-duplex
 - La trasmissione è possibile, *contemporaneamente*, nei due sensi



La tecnologia di rete

- È definita da un insieme di tipi di mezzi trasmissivi e di regole di connessione dei calcolatori e degli altri apparati di rete, dalle regole di interpretazione dei segnali trasmessi.
- I parametri della tecnologia di rete sono:
 - ▶ la distanza;
 - ▶ la velocità di trasmissione (bit al secondo);
 - ▶ il costo.



Commutazione

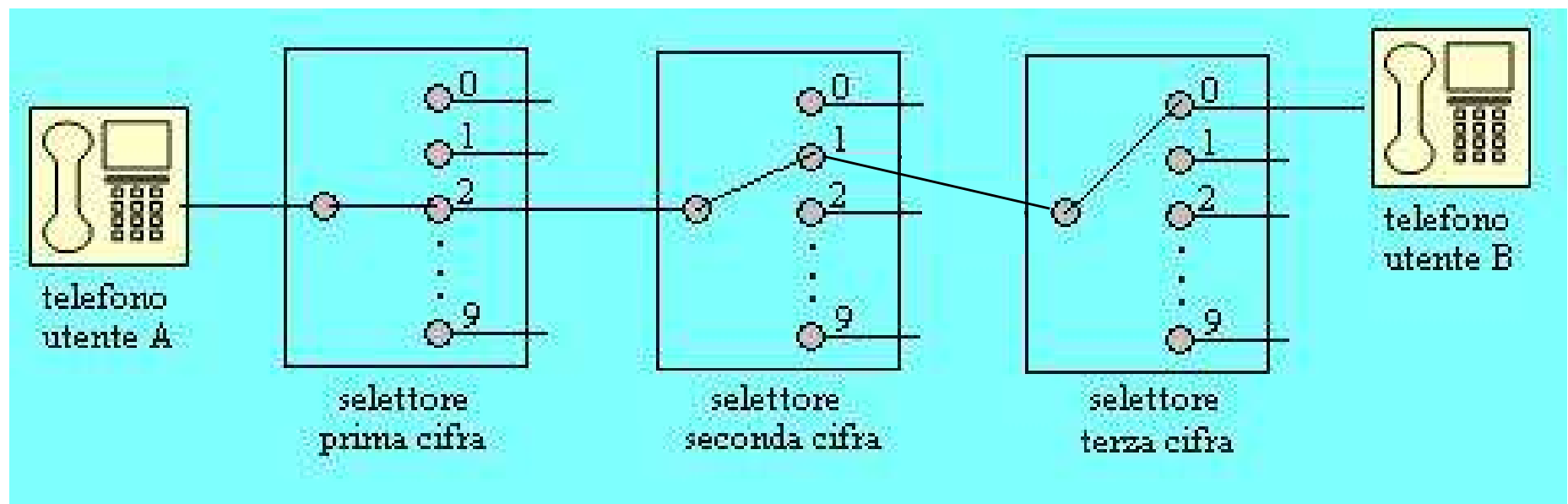
- In generale in una rete non c'è comunicazione diretta fra tutti i nodi
- Per collegare due nodi occorre stabilire un collegamento tra questi
- Commutazione di circuito
 - ▶ il collegamento è “fisico”
- Commutazione di pacchetto
 - ▶ il collegamento è “virtuale”



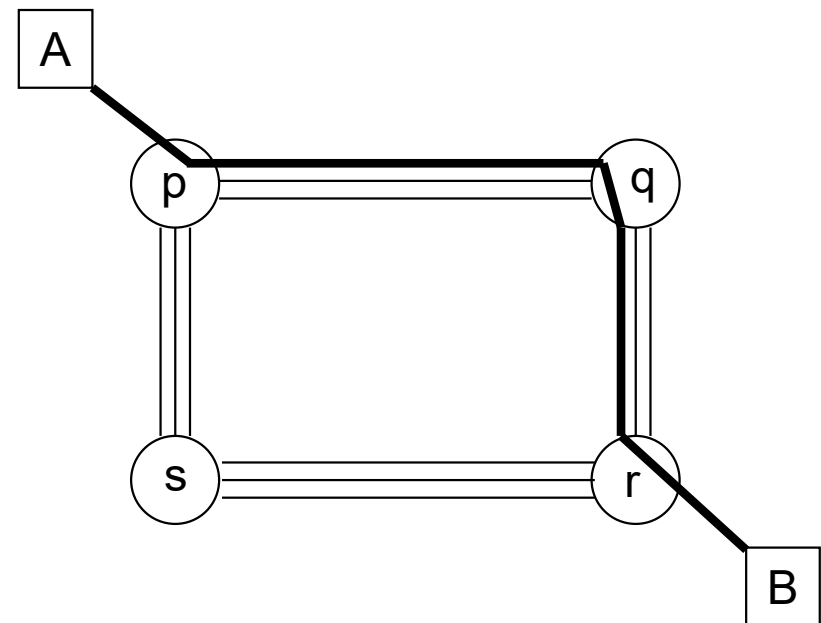
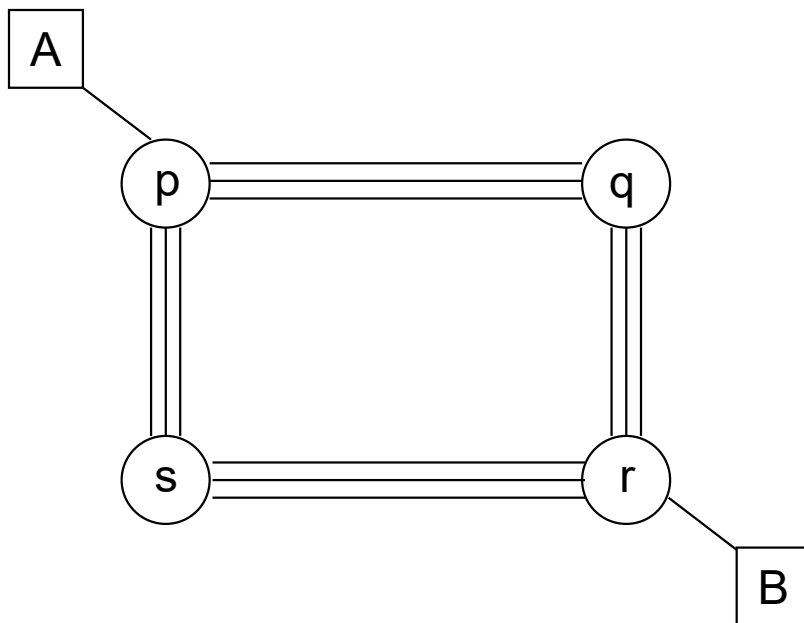
Connessione a commutazione di circuito

- È una connessione diretta, punto a punto;
- Garantisce una banda (ad es. 64 kbps);
- Tipica per le comunicazioni telefoniche («antiche», oggi si fa VOIP);
- Lo sfruttamento della banda non è generalmente continuo:
(ad es. occupo la linea senza sfruttarne la banda quando leggo una pagina Web che ho appena scaricato in locale);
- Comporta costi elevati.

Commutazione di circuito



Commutazione di circuito



A seguito della richiesta di connessione,
viene creato un circuito fisico da A a B.

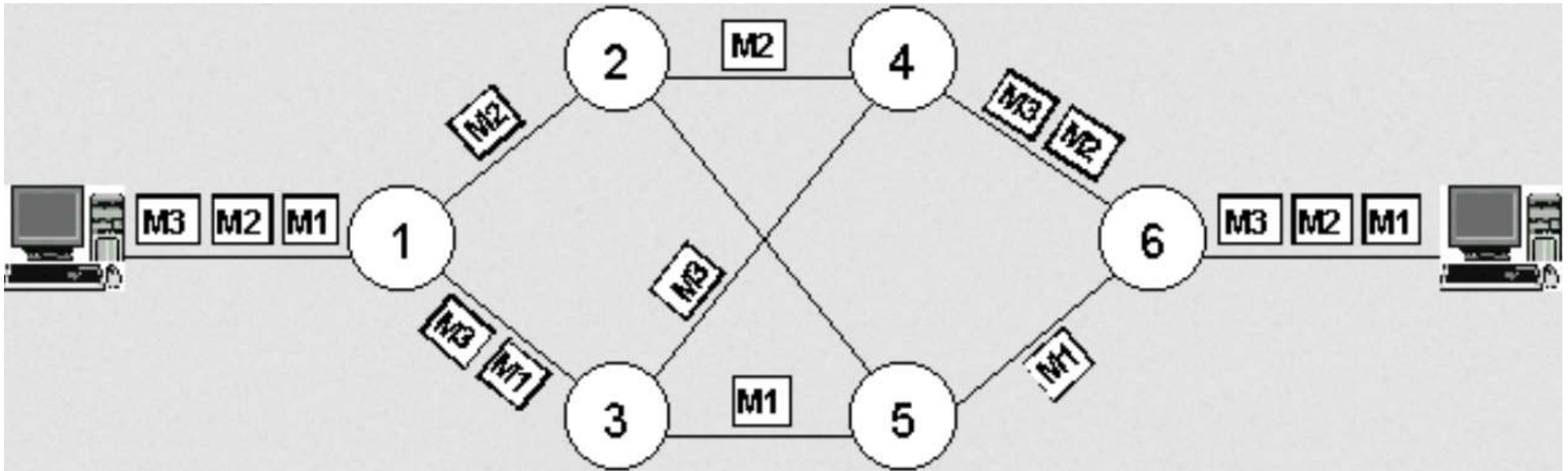


Connessione a commutazione di pacchetto

- Il traffico è diviso in piccoli messaggi (pacchetti) di poche centinaia di byte;
 - ▶ quando un calcolatore collegato in rete non utilizza la banda, questa può essere utilizzata da altri calcolatori, consentendo più comunicazioni simultanee;
 - ▶ non è garantito il percorso effettuato (pacchetti diversi possono percorrere strade diverse);
 - ▶ presenta lo svantaggio di comunicazione frammentata.

Commutazione di pacchetto

- A seguito della richiesta di connessione, la rete non crea nessun collegamento.



- Percorso pacchetto M1:
Origine, nodo 1, nodo 3, nodo 5, nodo 6, destinazione
- Percorso pacchetto M2:
Origine, nodo 1, nodo 2, nodo 4, nodo 6, destinazione
- Percorso pacchetto M3:
Origine, nodo 1, nodo 3, nodo 4, nodo 6, destinazione

Reti a commutazione di pacchetto: servizi forniti

- Le reti a commutazione di pacchetto forniscono due tipi di servizi
 - ▶ Servizi a datagramma
 - Non viene creato alcun circuito tra mittente e destinatario
 - Il singolo messaggio viene gestito indipendentemente dai precedenti e dai successivi
 - ▶ Servizi a circuito virtuale
 - Viene stabilito un circuito virtuale tra mittente e destinatario
 - Il circuito è a commutazione di pacchetto, ma si comporta *come se* fosse a commutazione di circuito
 - Viene mantenuto l'ordinamento tra messaggi diversi inviati lungo il circuito virtuale
 - messaggi diversi inviati lungo lo stesso circuito virtuale possono comunque compiere strade diverse lungo la rete per raggiungere il destinatario

Il modello di interazione client-server

- Il modello client-server è il principale e più elementare modello di interazione utilizzato delle applicazioni di rete.
- Un server è un programma che offre un servizio
 - ▶ Nel nostro caso un server offre un servizio tramite la rete.
 - ▶ Un server si affaccia alla rete ad un indirizzo ben noto (e ad una porta ben nota) e rimane in attesa di richieste da parte dei client.
 - L'indirizzo serve a individuare la macchina nella rete
 - Il numero di porta serve a individuare il processo tra i tanti che girano sulla macchina
- Un client è un programma che vuole usufruire del servizio offerto dal server.



Il modello di interazione client-server

- NB: nulla vieta che un programma che si comporta da client nei confronti del server A si comporti da server nei confronti del client B.
- Nel caso in cui ci siano solo due programmi, uno che fa il client e uno che fa il server, si parla di *architettura* client-server.
- A noi interessa *l'interazione* client-server tra due programmi, indipendentemente dall'architettura complessiva.

Il modello di interazione client-server

- La prima cosa che un client deve fare per richiedere il servizio è **connettersi** al server
- Perché una connessione possa essere stabilita, bisogna che
 - ▶ il server si sia dichiarato disposto ad accettare richieste di connessione da parte di clienti (ha aperto la connessione in modo passivo).
 - Il server non conosce a priori l'identità dei suoi clienti.
 - ▶ un client chieda in modo attivo l'apertura della connessione con il server.
 - Il client deve conoscere l'identità (l'indirizzo) del server per aprire la connessione.
- La connessione è un'operazione asimmetrica!
- La vita di un server si prolunga normalmente oltre il tempo dell'interazione con il singolo client.

Protocollo di comunicazione

- Con il termine “protocollo di comunicazione” si indica l’insieme di regole di comunicazione che debbono essere seguite da due interlocutori affinché essi possano comprendersi
- Esempio: il protocollo alla base della comunicazione tra docente e allievi durante una lezione
 - ▶ il docente parla in una lingua comprensibile agli allievi
 - ▶ gli allievi ascoltano (si spera)
 - ▶ quando vogliono intervenire gli allievi alzano la mano ed attendono il permesso del docente per iniziare a parlare
 - ▶ durante l’intervento degli allievi il docente ascolta
 - ▶ al termine dell’intervento il docente risponde
 - ▶ ...

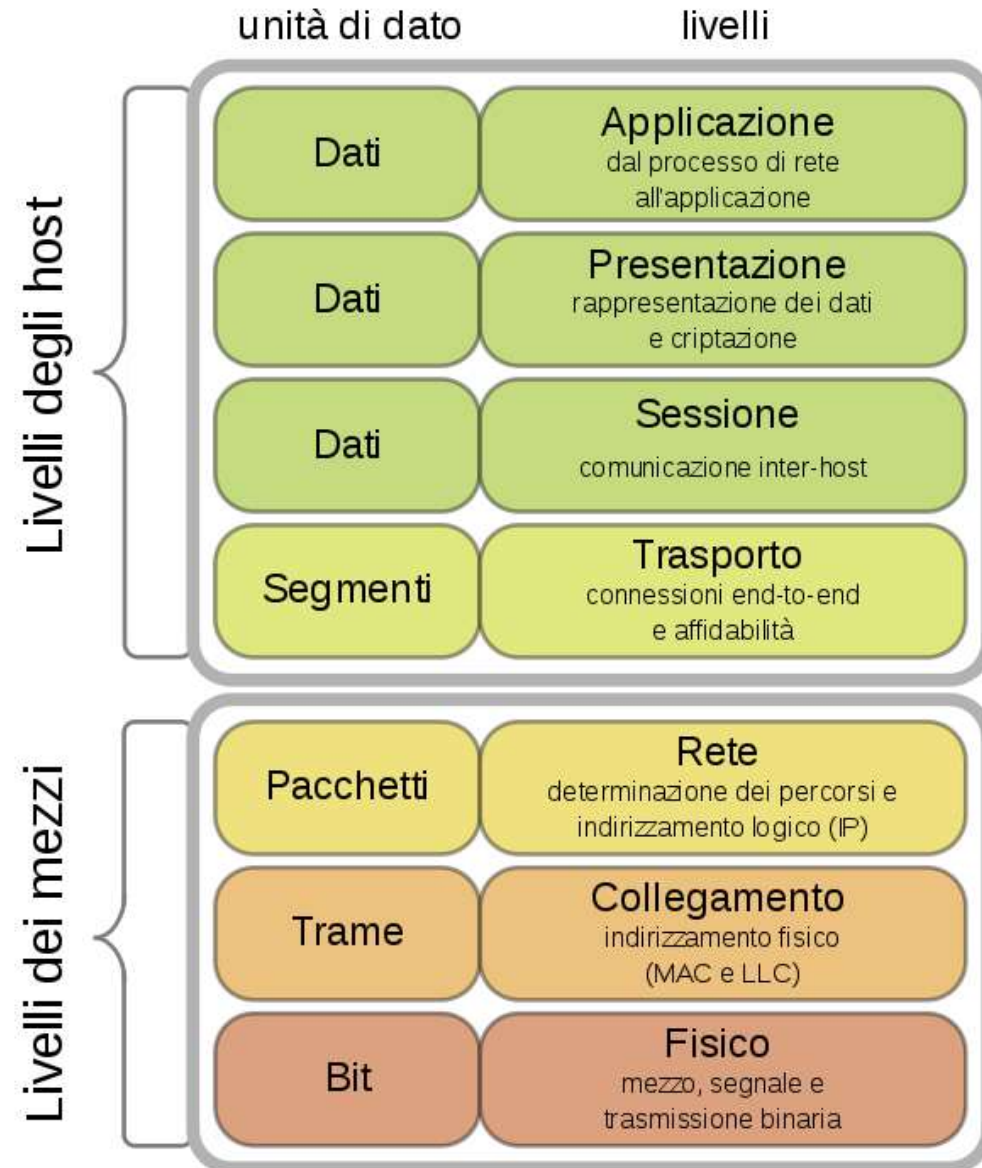


Organizzazione a pila dei protocolli

- I protocolli per le reti di calcolatori sono organizzati secondo una gerarchia (pila di protocolli)
- Salendo nella gerarchia, cresce il livello di astrazione dei servizi offerti da un protocollo
- Ogni protocollo si appoggia ai protocolli di più basso livello per fornire un servizio di qualità superiore

Il modello ISO/OSI

- L'Open Systems Interconnection (meglio conosciuto come modello o stack ISO/OSI) è uno standard de iure per reti di calcolatori stabilito nel 1978 dall'International Organization for Standardization (ISO)
- Il modello stabilisce per l'architettura logica di rete una struttura a strati composta da una pila di protocolli di comunicazione di rete suddivisa in 7 livelli, i quali insieme eseguono tutte le funzionalità della rete, seguendo un modello logico-gerarchico.

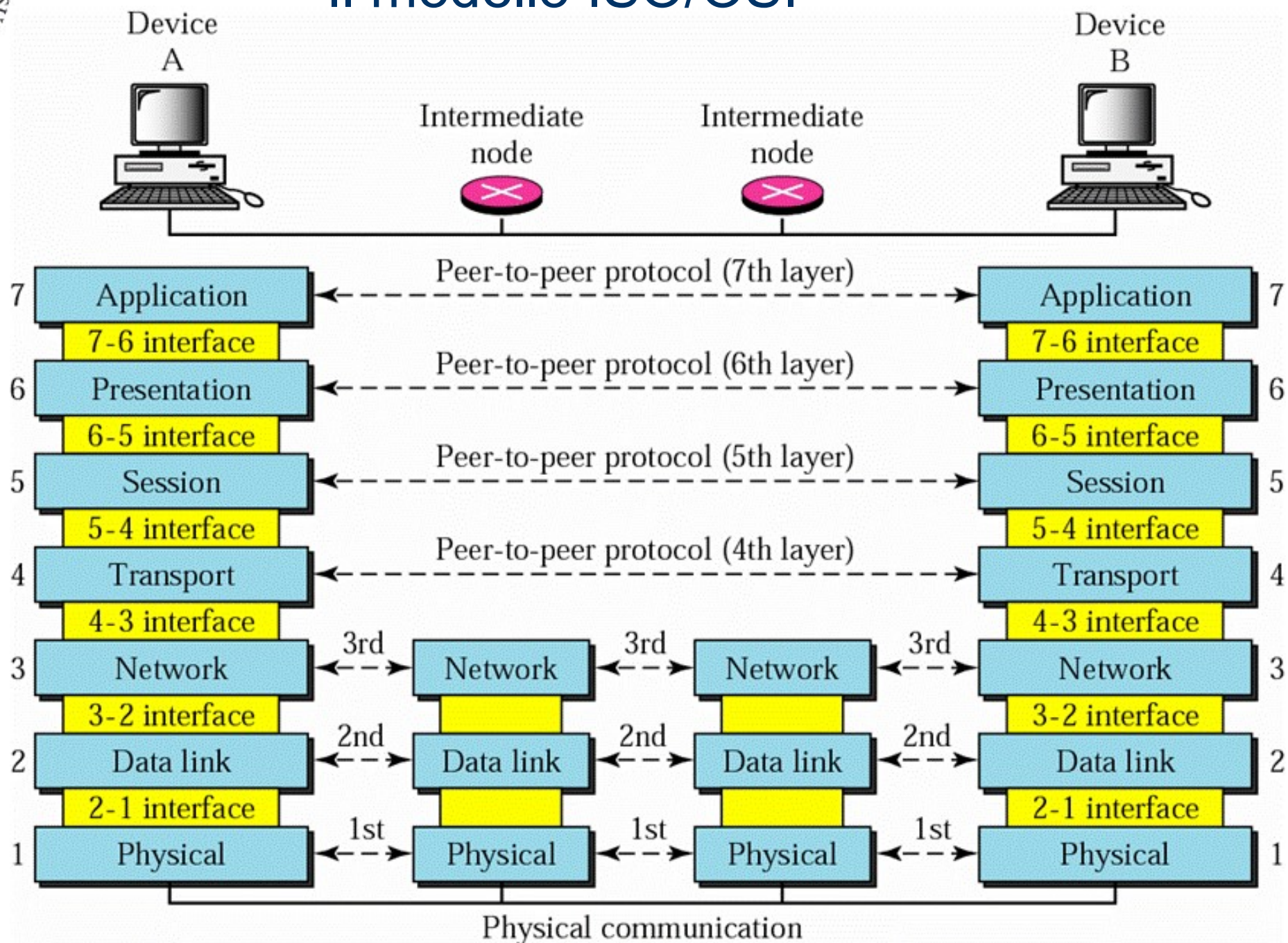




Il modello ISO/OSI

- Per ogni layer sono definiti un insieme di protocolli di comunicazione adatti al livello del layer considerato
- Dati due nodi A e B, il livello n del nodo A può scambiare informazioni col livello n del nodo B, ma non con gli altri.

Il modello ISO/OSI



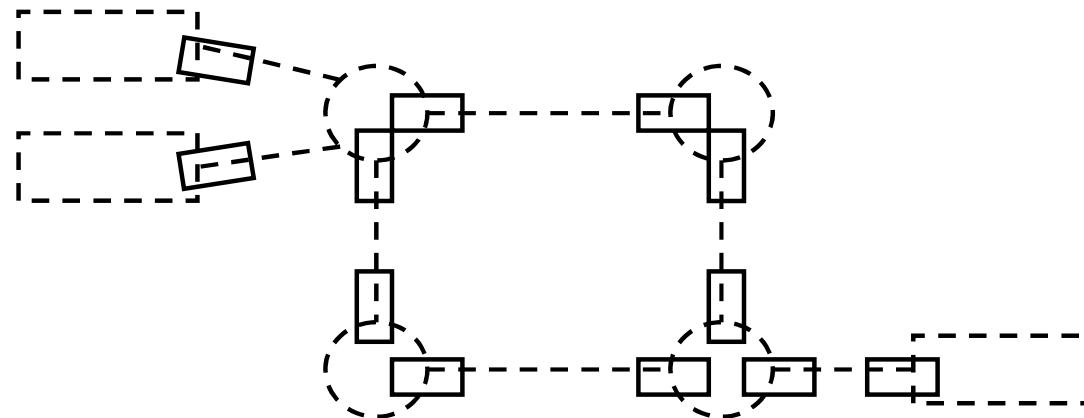


Problemi gestiti dai vari protocolli

- Malfunzionamenti hardware (host o gateway);
- Congestione della rete;
- Ritardo o perdita di pacchetti: il software deve riconoscere ed adattarsi a ritardi lunghi e di durata variabile;
- Alterazione dei dati dovuta a possibili errori di trasmissione;
- Duplicazione dei dati o errore nella sequenza di trasmissione, ad es. dovuti a reti che offrono più percorsi alternativi.

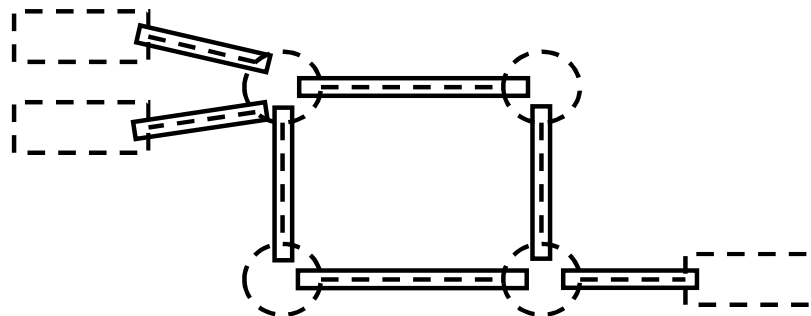
Il livello fisico

- Si occupa della gestione fisica (meccanica ed elettrica) dell'interfaccia con il mezzo fisico usato per il collegamento
- A livello fisico il protocollo definisce le regole per l'interpretazione dei segnali scambiati attraverso il mezzo trasmissivo (segnalazione in banda base/modulazione, voltaggi, ecc.)



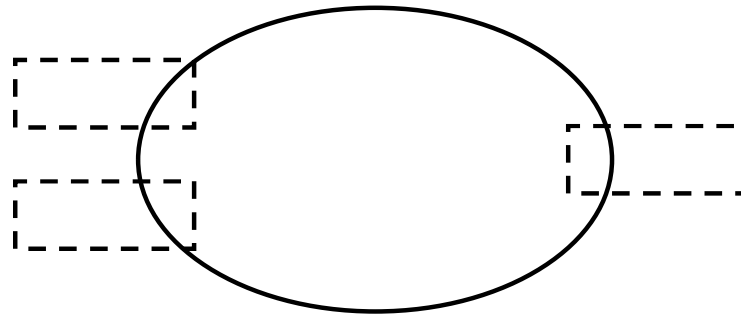
Il livello di collegamento (data-link)

- Si occupa dello spostamento, con un certo livello di affidabilità, di una stringa di bit da un nodo all'altro
- Svolge tre funzioni:
 - ▶ distingue il segnale dal rumore
 - ▶ riconosce certi tipi di errori (codici di correzione)...
 - ▶ ... e li corregge



Il livello di rete

- Si occupa dell'indirizzamento dei messaggi lungo la rete...
- ... implementando gli opportuni meccanismi di commutazione
- Il servizio fornito è, a livello funzionale, indipendente dal particolare tipo di rete adottata



Il livello di trasporto

- Il livello di rete
 - ▶ Permette di stabilire connessioni fra due nodi (host) della rete
 - ▶ Rende *funzionalmente* indistinguibili reti di tipo diverso
- Il livello di trasporto
 - ▶ Permette di stabilire connessioni fra applicazioni diverse su host diversi
 - ▶ Si occupa di estendere l'indistinguibilità anche a livello di prestazioni (affidabilità inclusa)
 - Fornisce connessioni con una qualità di servizio richiesta
 - Gestisce la correttezza delle informazioni trasmesse ed il loro ordinamento

Il modello ISO/OSI

| OSI model | | |
|-----------|--------------------|--------------------------------------|
| Layer | Name | Example protocols |
| 7 | Application Layer | HTTP, FTP, DNS, SNMP, Telnet |
| 6 | Presentation Layer | SSL, TLS |
| 5 | Session Layer | NetBIOS, PPTP |
| 4 | Transport Layer | TCP, UDP |
| 3 | Network Layer | IP, ARP, ICMP, IPSec |
| 2 | Data Link Layer | PPP, ATM, Ethernet |
| 1 | Physical Layer | Ethernet, USB, Bluetooth, IEEE802.11 |



Reti standard

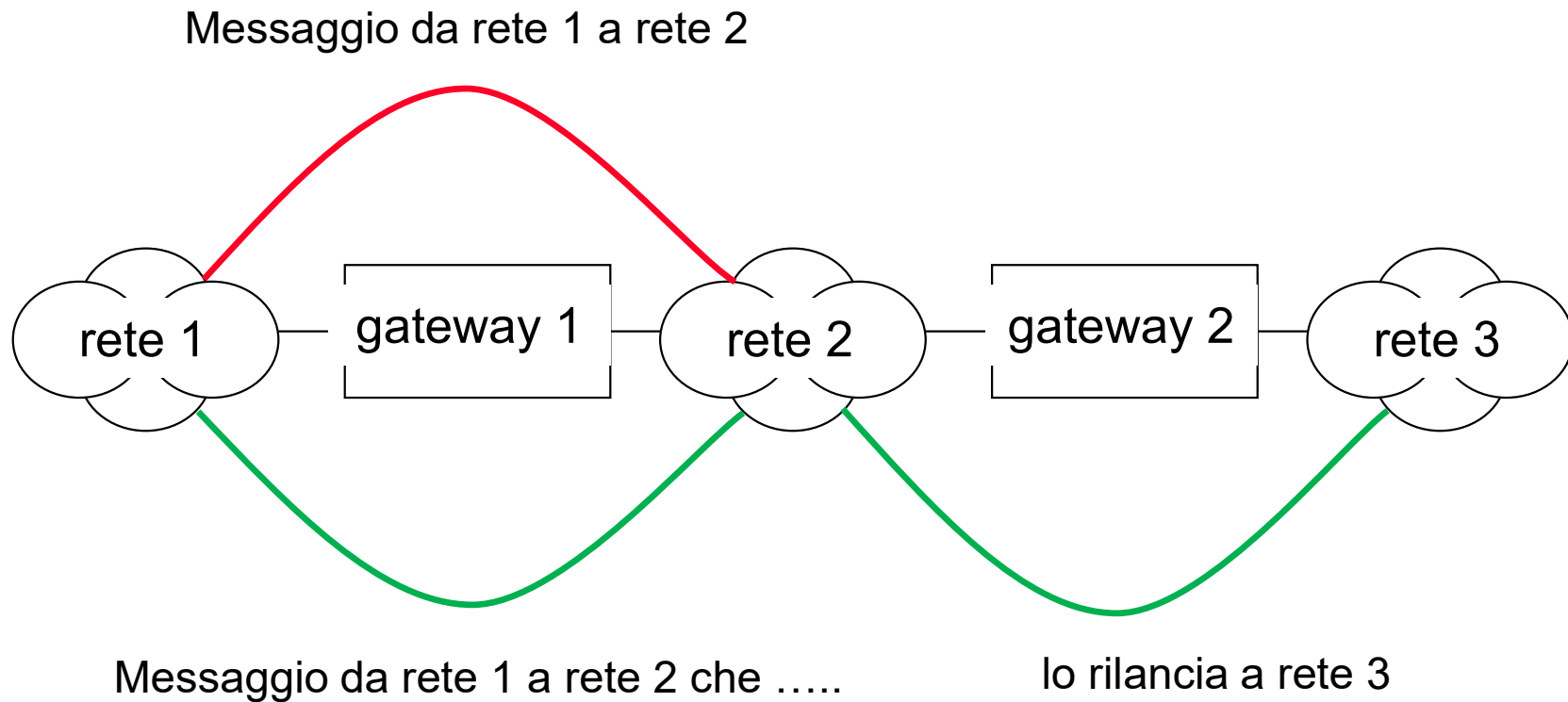
- La maggior parte delle reti è basata sui seguenti standard (data-link):
 - ▶ IEEE 802.3 (Ethernet): di tipo LAN;
 - ▶ Fast Ethernet: di tipo LAN;
 - ▶ Token-Ring (IBM): di tipo LAN.
- La comunicazione tra calcolatori deve essere possibile anche fra reti differenti. L'utente vuole vedere tutto come una **unica** rete.



internet

- Una rete di reti è detta internet (con la i minuscola).
- Una internet è definita fornendo i protocolli per trasferire le informazioni tra le varie reti.

Interconnessione tra reti

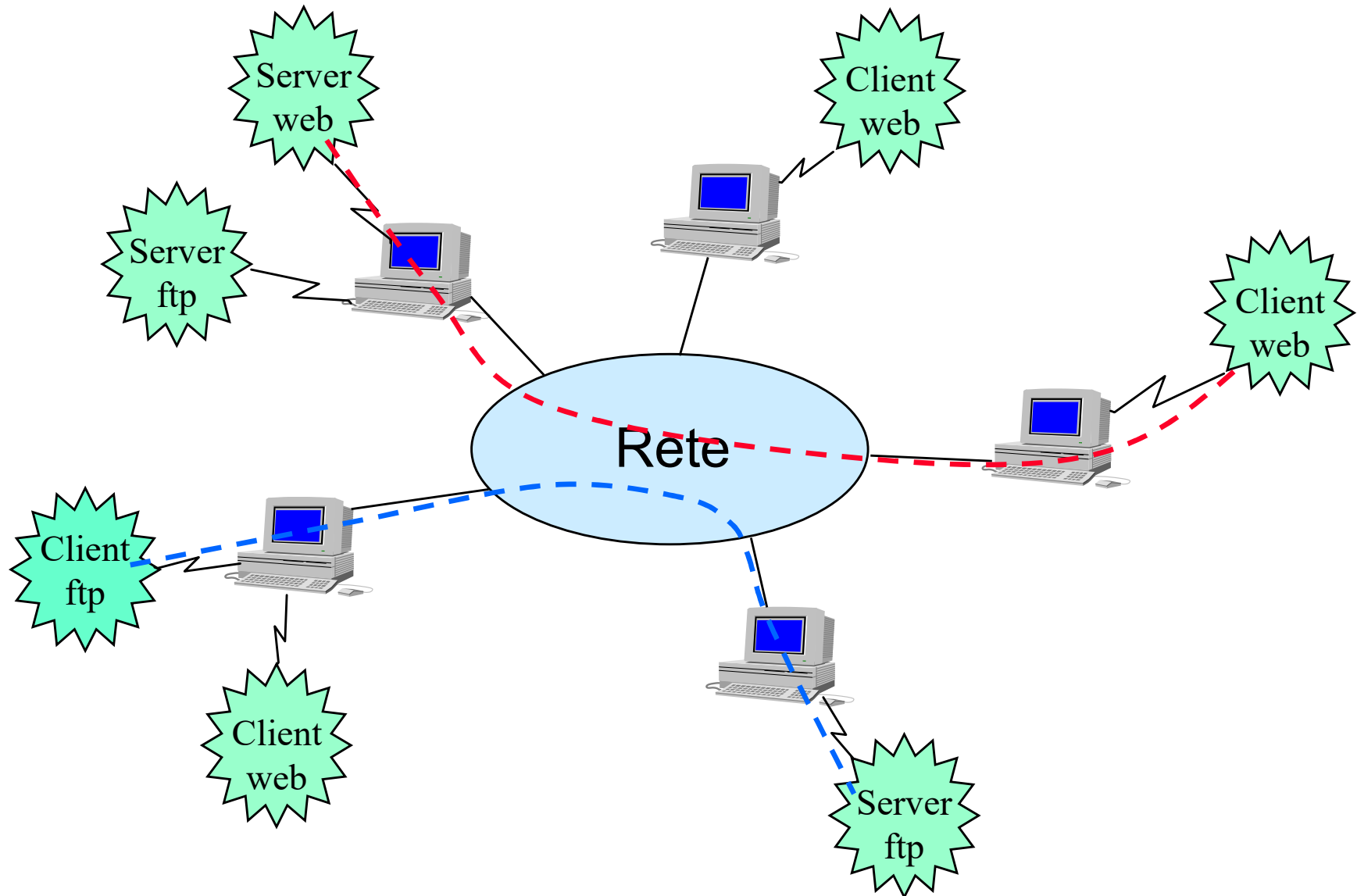




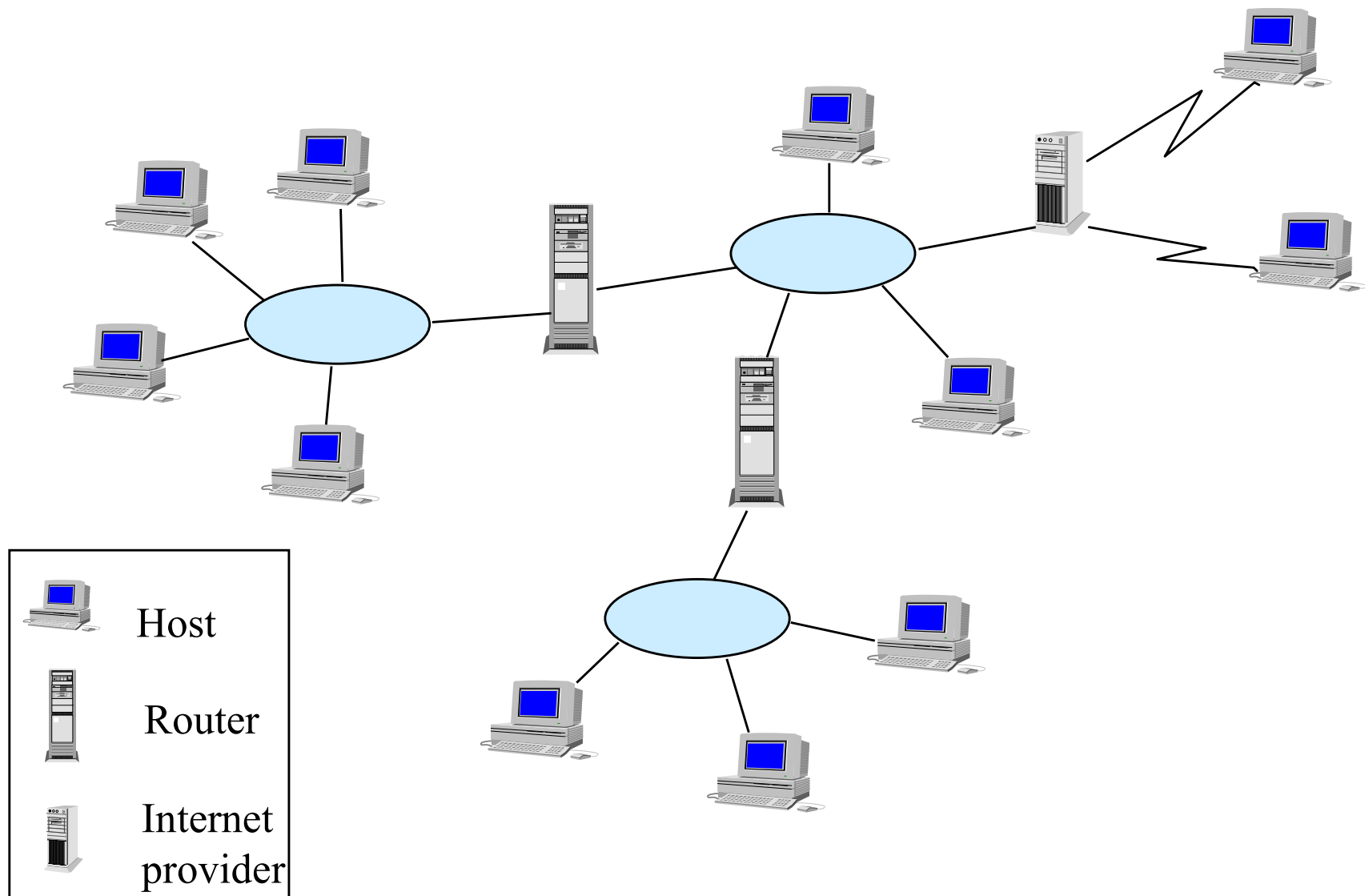
Terminologia

- internet: una rete di reti;
- Internet (INTERconnected NETwork): la più diffusa internet del mondo.
- TCP/IP: il più diffuso protocollo per creare internet, ed usato da Internet.
- intranet: una rete privata basata sulle stesse tecnologie di Internet.

Internet: architettura logica



Internet: architettura fisica





Storia di Internet

- Fine anni '60:
 - ▶ la Defence Advanced Research Project Agency (DARPA) sviluppa ARPANET che connette laboratori di ricerca, università e reti governative
- Fine anni '70:
 - ▶ DARPA finanzia lo sviluppo di protocolli a commutazione di pacchetto
 - ▶ Nasce TCP/IP
 - ▶ Nel 1980 ARPANET si “converte” a TCP/IP

Storia di Internet

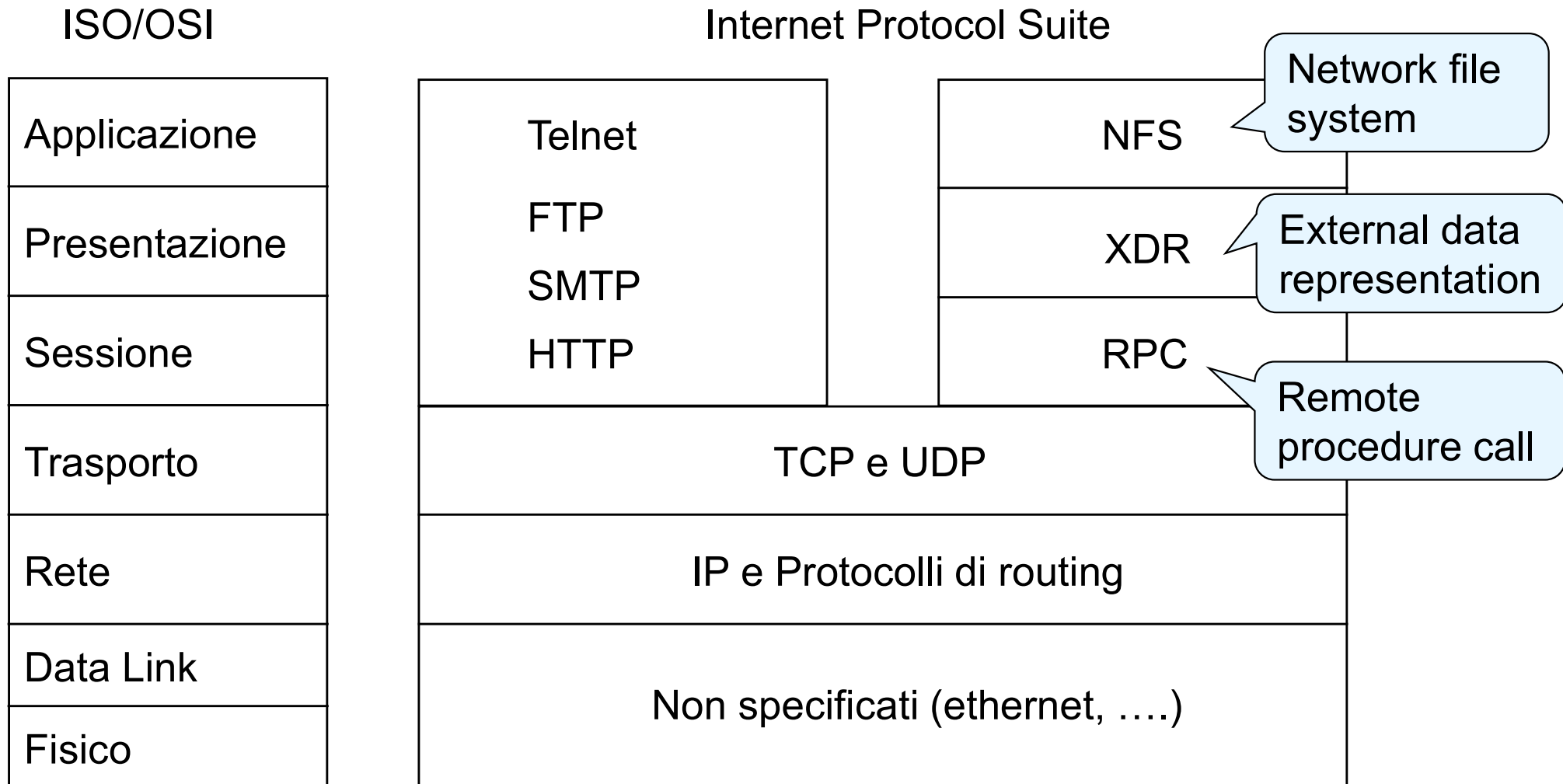
- Anni '80
 - ▶ Nel 1983 la conversione a TCP/IP è completa, l'ufficio del Segretario della Difesa US ordina che tutti i computer connessi a reti a lunga distanza usino TCP/IP
 - ▶ MILNET (rete governativa e militare) si separa da ARPANET (1983)
 - ▶ DARPA finanzia lo sviluppo di Berkeley UNIX (implementazione di TCP/IP che introduce l'astrazione dei socket)
 - ▶ ARPANET diventa un sottoinsieme di Internet
 - ▶ La National Science Foundation (NSF) realizza una rete di supercomputer (NSFNET) che agisce come backbone di Internet (1985)
 - ▶ Nel 1986 si stima che Internet connettesse circa 20.000 computer
- Anni '90:
 - ▶ Internet esplode e cresce con ritmi velocissimi (dimensioni e traffico)



Internet vs. Intranet

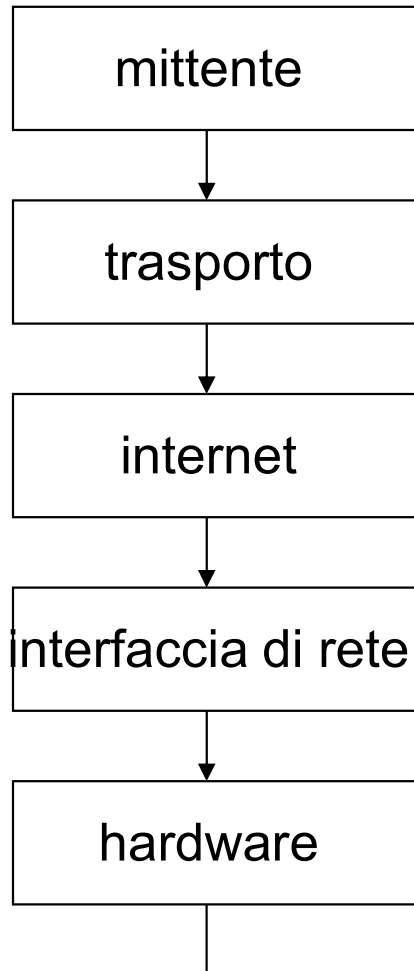
- Internet: rete globale caratterizzata dall'uso dei protocolli TCP/IP
- Intranet: rete locale caratterizzata dall'uso dei medesimi protocolli di Internet
- Il boom di Internet ha favorito lo sviluppo di centinaia di applicazioni distribuite basate su TCP/IP
- Ciò ha reso conveniente l'uso dei protocolli TCP/IP anche in ambito locale
- Attualmente la maggior parte delle reti locali sfrutta TCP/IP come protocollo base
- NB: si può usare TCP/IP anche per far comunicare processi che girano sulla medesima macchina.

Internet Protocol Suite

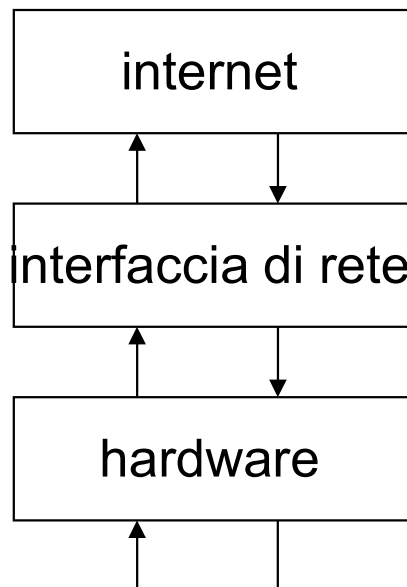


Comunicazione tra due host

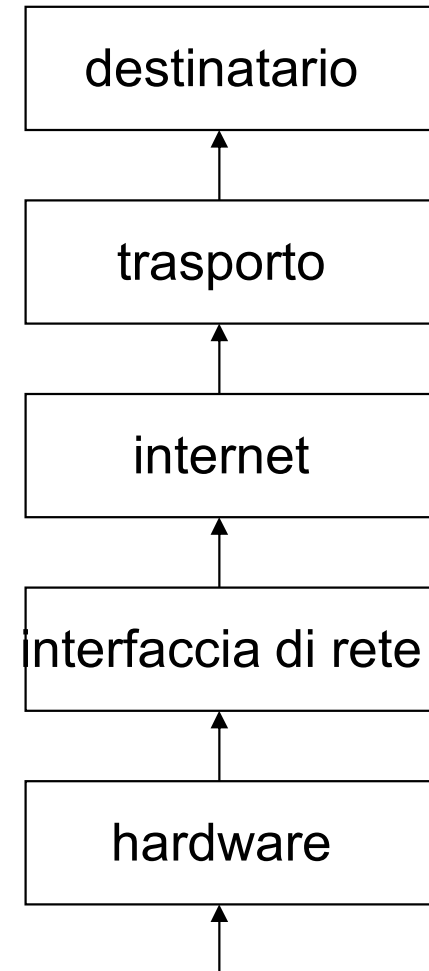
131.175.141.30



131.175.57.254
(con tabelle di routing)



131.175.21.1





Indirizzo IP

- Ogni host collegato ad una internet ha un suo proprio indirizzo (detto indirizzo IP):
 - ▶ univoco: non esistono cioè due macchine di una stessa internet che abbiano indirizzo IP uguale;
 - ▶ composto da netid e hostid, per un totale di 32 bit;
 - ▶ tutte le macchine di una rete hanno lo stesso netid.
- Gli indirizzi IP si scrivono come quattro interi separati da punti
 - ▶ Esempio: 131.175.5.25



Il protocollo IP

- Il servizio realizzato da IP è la consegna del datagramma.
- Il datagramma è un pacchetto di bit contenente:
 - ▶ i dati;
 - ▶ le informazioni ausiliare quali ad es:
 - indirizzo del mittente;
 - indirizzo del destinatario.

Il protocollo IP

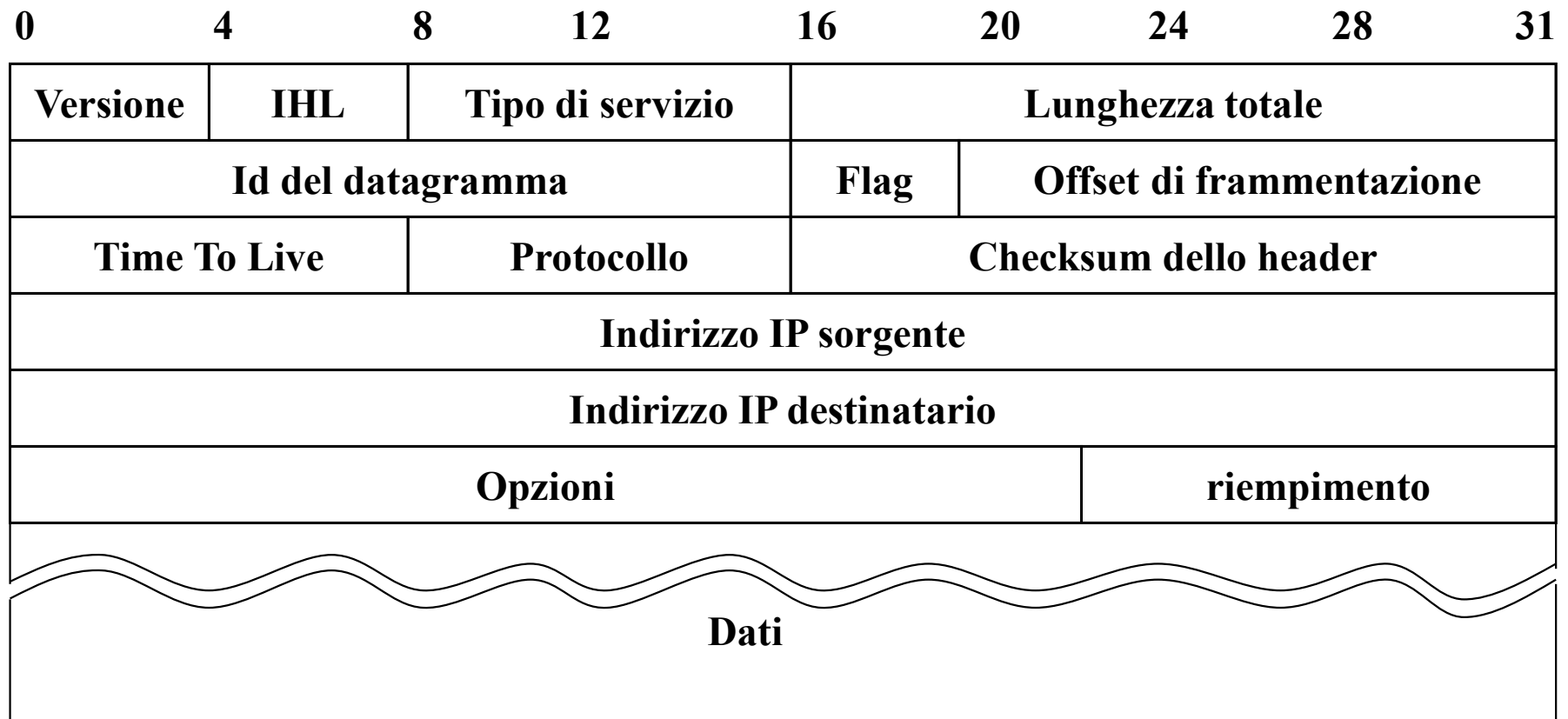
- Il protocollo IP fornisce un servizio *senza connessione* di trasmissione *non affidabile* di datagrammi (pacchetti)
- Non si assicura:
 - ▶ la consegna,
 - ▶ l'integrità,
 - ▶ la non-duplicazione
 - ▶ l'ordine di consegna
- IP si può appoggiare ad una varietà di protocolli di più basso livello, quali Ethernet, PPP, X.25, Frame Relay, ATM, ...

Il protocollo IP

- Fornisce:
 - ▶ formato esatto di tutti i dati;
 - ▶ funzioni di instradamento (routing), realizzato proprio in base all'indirizzo IP;
 - ▶ ogni gateway dispone di opportune tabelle (di routing) per l'instradamento;
 - ▶ insieme di regole che inglobano l'idea di consegna non affidabile.



Pacchetto IP - 1





Pacchetto IP - 2

- Versione (4 bit): valore corrente 4
- IHL (Internet Header Length, 4 bit): dimensioni dello header in parole di 32 bit
- Tipo servizio (8 bit): specifica una priorità e il tipo di qualità del servizio (delay ridotto, alte prestazioni, o affidabilità).
- Lunghezza totale (16 bit): dimensione complessiva del pacchetto in byte
 - ▶ Un pacchetto IP non può essere più lungo di 64k
- Id (16 bit): identificatore unico del pacchetto

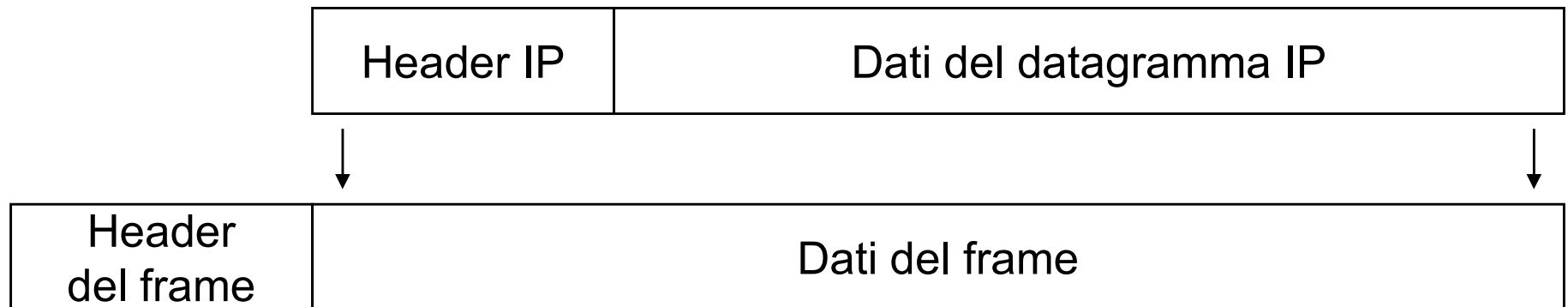


Pacchetto IP - 3

- Flag (3 bit) e offset (13 bit): gestiscono il processo di frammentazione
- TTL (8 bit): specifica il numero massimo di “hop” del pacchetto prima che venga considerato “perso”
- Protocollo (8 bit): specifica il protocollo incapsulato nella parte dati del pacchetto (ad es. TCP)
- Checksum dello header (16 bit): protegge da errori nella trasmissione
- Indirizzi (32+32 bit): indirizzi IP sorgente e destinazione
- Opzioni: Possono avere lunghezza variabile



Incapsulamento IP



User Datagram Protocol

- IP non consente di distinguere più destinazioni di datagrammi all'interno della stessa macchina (vede solo l'indirizzo IP).
- Questo è un problema, perché in una macchina ci sono tanti processi e noi vogliamo
 - ▶ Che ciascun processo possa partecipare a una connessione
 - ▶ Che diversi processi possano connettersi contemporaneamente a diversi altri processi remoti.
- Per superare questo limite è stato definito il protocollo User Datagram Protocol.

Il protocollo UDP

- Caratteristiche:
 - ▶ Si appoggia sul protocollo IP
 - ▶ Fornisce un servizio connectionless di trasmissione non affidabile di pacchetti
 - Fornisce un servizio di correzione d'errore
 - Non assicura la consegna né, tantomeno, l'ordine di invio (unreliable, best-effort protocol)
- Aggiunge l'astrazione di porta che permette di distinguere più sorgenti/destinazioni dei messaggi per uno stesso indirizzo IP

Pacchetto UDP - 1

| | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---|----|--------------------|----|----|----|----|
| 0 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 31 |
| Porta sorgente | | | | Porta destinazione | | | | |
| Lunghezza del messaggio | | | | Checksum | | | | |
| Dati | | | | | | | | |

- Domanda: perchè manca l'indirizzo IP nel datagramma UDP?

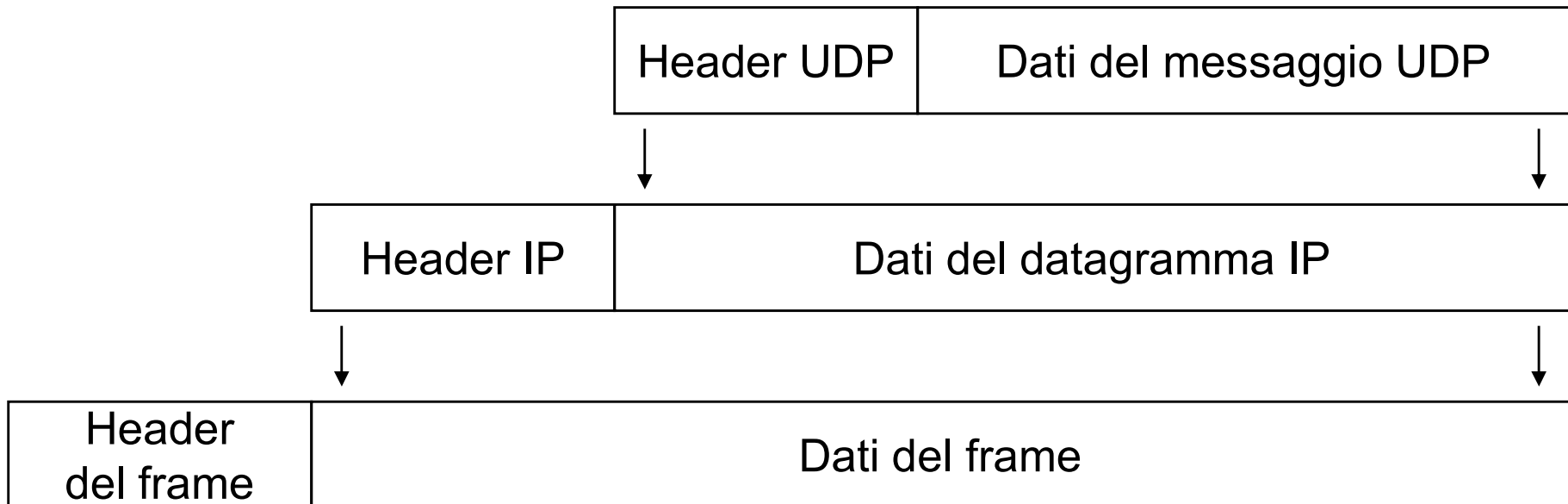


Pacchetto UDP - 2

- Porta sorgente e destinazione (16+16 bit): specificano una particolare destinazione del pacchetto
- Lunghezza del messaggio (16 bit): numero di byte del pacchetto UDP. Un pacchetto può avere dimensione massima di 64k
- Checksum (16 bit): protegge da errori nella trasmissione (facoltativa)



Incapsulamento UDP





Il protocollo TCP

- Caratteristiche:
 - ▶ protocollo connection-oriented (indirizzo IP + porta TCP)
 - ▶ fornisce un servizio full-duplex, con acknowledge e correzione d'errore
- Due host connessi su Internet possono scambiarsi messaggi attraverso canali TCP
- TCP costituisce l'infrastruttura di comunicazione della maggior parte dei sistemi basati su scambio messaggi su Internet

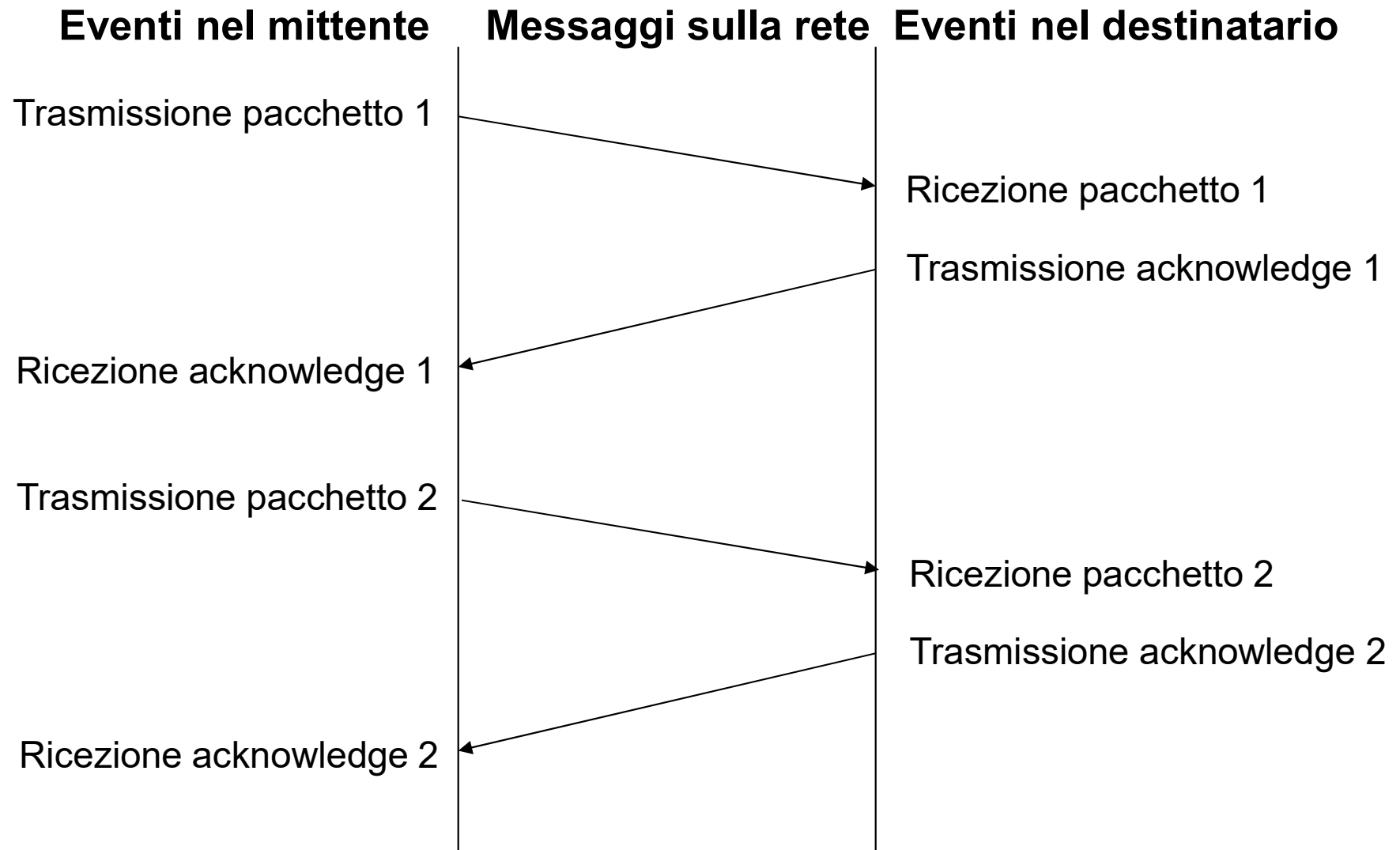


L'affidabilità di TCP/IP

- È una caratteristica imprescindibile.
- È basata sul riscontro positivo di ricezione (PAR - Positive Acknowledge with Retransmission).
- Il destinatario informa il mittente della ricezione del messaggio.
- Il mittente se non ottiene riscontro dal destinatario entro un certo tempo (time-out), arguisce la perdita del pacchetto.



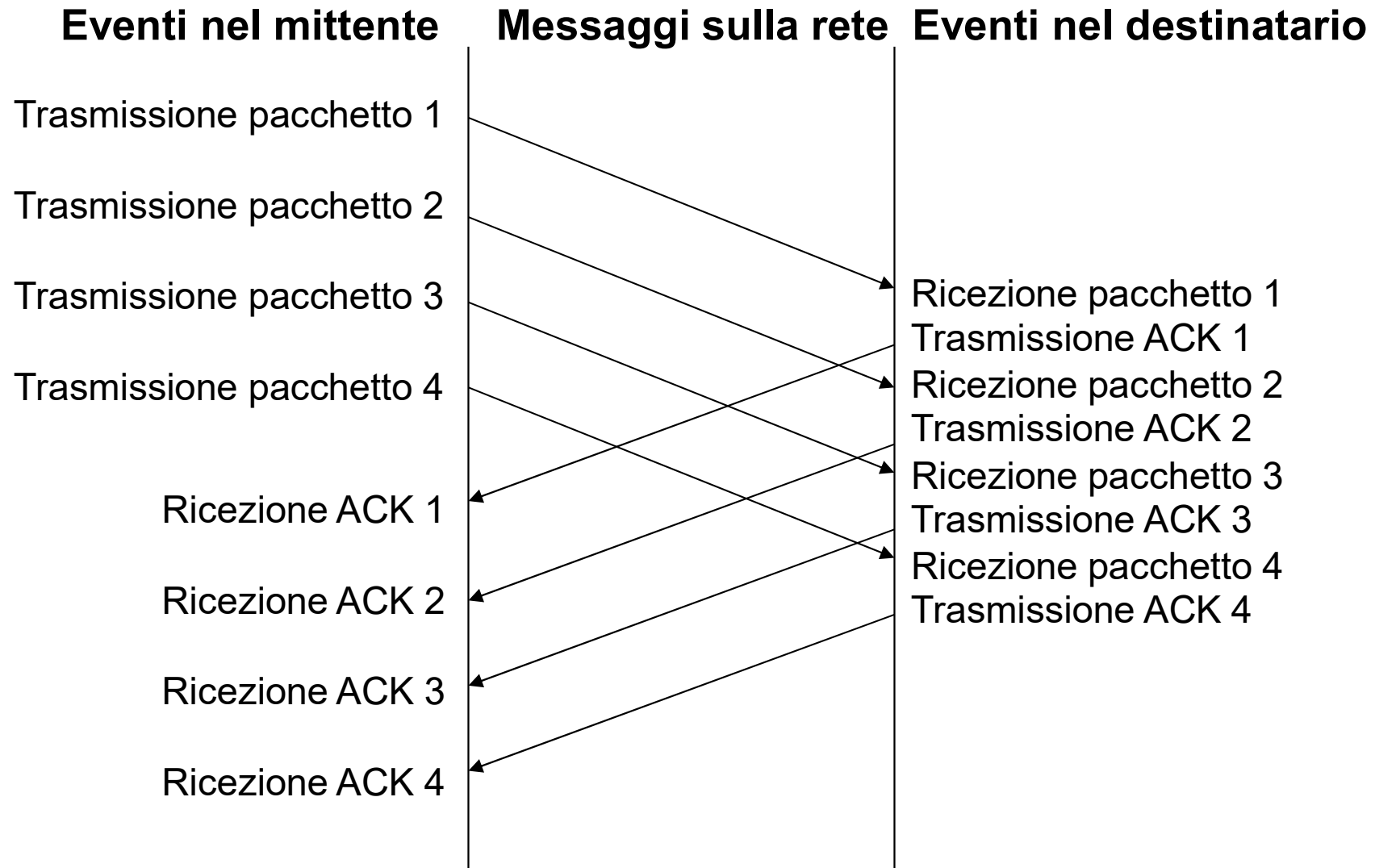
Protocollo con riscontro positivo di ricezione



Trasmissione con perdita di pacchetto



Trasmissione contemporanea di più pacchetti





Controllo di flusso

- Ogni riscontro dal ricevente indica anche il numero di byte che il ricevente è in grado di accettare.
- In tal modo il ricevente può indicare al trasmittente se si ha congestione sulla linea e addirittura annullare la trasmissione di altri pacchetti indicando di essere disposto a ricevere 0 byte.



Il datagramma TCP

- Il datagramma TCP descrive il formato dei pacchetti.
- Esso prevede:
 - ▶ una parte intestazione, di lunghezza fissa pari a 6 blocchi da 32 bit ciascuno (quindi 192 bit);
 - ▶ una parte dati, di lunghezza variabile.



Pacchetto TCP - 1

| | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|------|----|-------------------------|----|-------------|----|----|
| 0 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 31 |
| Porta sorgente | | | | Porta di destinazione | | | | |
| Numero di sequenza | | | | | | | | |
| Numero di acknowledgment (se ACK) | | | | | | | | |
| HLEN | Riservati | Flag | | Window | | | | |
| Checksum | | | | Urgent pointer (se URG) | | | | |
| Opzioni | | | | | | riempimento | | |
| Dati | | | | | | | | |

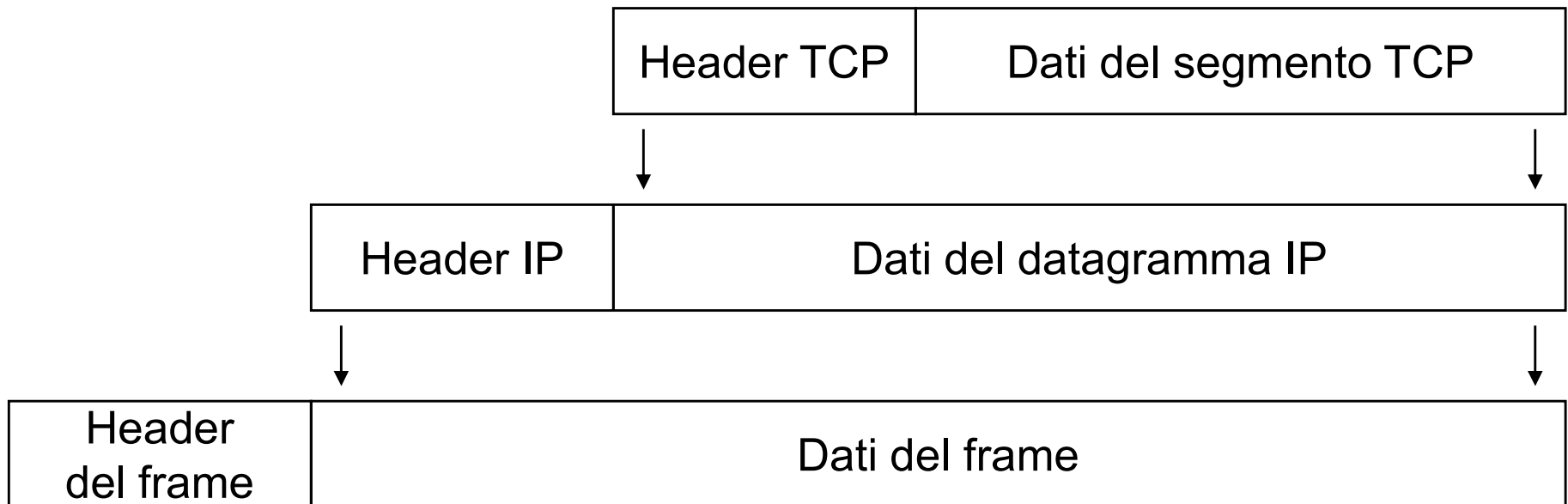
Pacchetto TCP - 2

- Porta del mittente e del destinatario (16 + 16 bit):
 - ▶ La quaterna formata dagli indirizzi IP del pacchetto IP e dalle porte del pacchetto TCP specifica univocamente il circuito virtuale a cui il pacchetto appartiene
 - ▶ Le porte inferiori alla 1024 sono considerate privilegiate e sono riservate a servizi standard (telnet, ftp, http, ...)
- HLEN (4 bit): lunghezza dello header in parole di 32 bit
- Bit riservati per usi futuri (6 bit)
- Flag (6 bit): usati per gestire l'apertura e la chiusura delle connessioni (SYN, ACK, FIN, ...) e altro
- Window (16 bit): specifica il numero di window size units che il mittente del segment desidera ricevere
- Checksum (16 bit): viene calcolata su header e dati per proteggere da errori di trasmissione
- Opzioni: usate per contrattare la dimensione massima dei segmenti TCP per una sessione

Pacchetto TCP - 2

- Sequence number (32 bits)
 - ▶ Se SYN flag è 1, indica il numero iniziale di sequenza. Il numero di sequenza del primo byte di dati e il corrispondente numero di ACK saranno uguali a questo numero incrementato di uno
 - ▶ Se il SYN flag è zero, è il numero di sequenza cumulato del segmento
- Acknowledgment number (32 bits)
 - ▶ Se ACK=1, indica il prossimo numero di sequenza che il mittente di un ACK si aspetta. Costituisce la ricevuta di tutti i byte precedenti. Il primo ack mandato dai partecipanti alla connessione è la ricevuta della sequenza iniziale dell'altro partecipante, senza dati
- Urgent pointer (16 bit)
 - ▶ Se il flag URG è uno, è un offset nella sequenza che indica l'ultimo byte di dati urgente

Incapsulamento





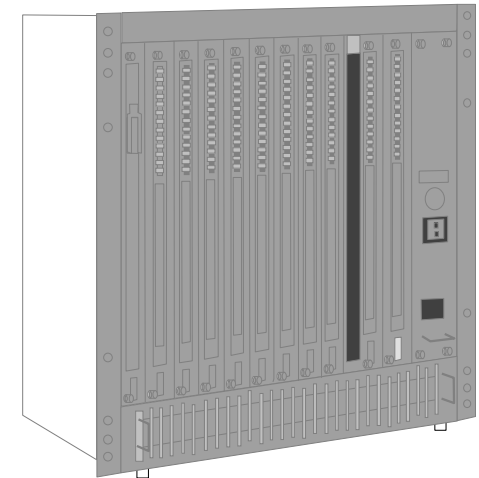
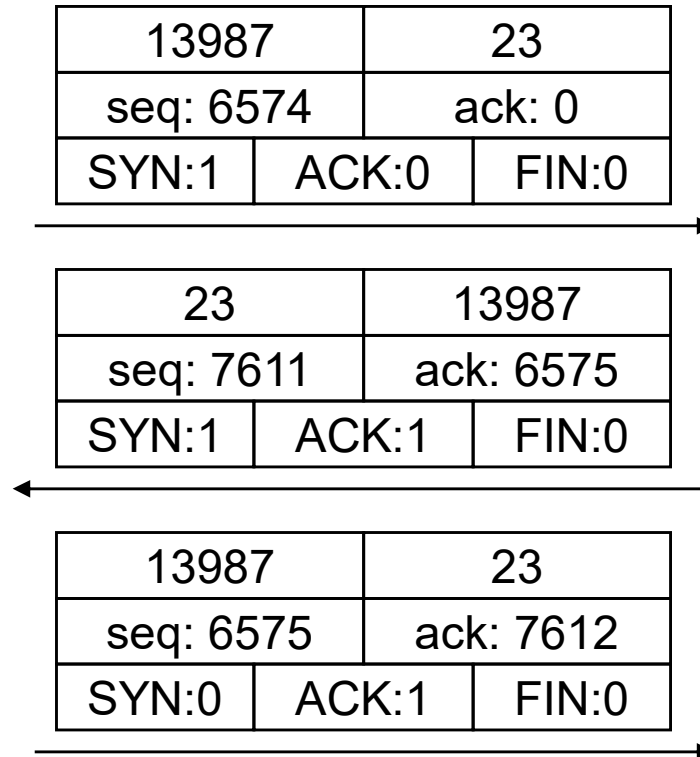
Sessione TCP: setup - 1

- Un server, in ascolto ad una determinata porta, riceve una richiesta di connessione da parte di un client
- Il segmento di richiesta è marcato con il bit di sincronismo SYN e contiene un numero casuale come numero di sequenza sc
- Il server risponde con un segmento marcato con il bit di sincronismo SYN e il bit di ACK
 - ▶ il numero di sequenza è un altro numero casuale ac
 - ▶ nel campo acknowledgment viene inserito il numero di sequenza del client incrementato di uno $sc + 1$
- Il client manda un segmento con il bit di ACK e contenente i numeri di sequenza e acknowledgment $sc + 1$ e $ac + 1$

Sessione TCP: setup - 2



Client



Server



Sessione TCP: scambio dati - 1

- Si instaura un circuito virtuale attraverso il quale avviene la comunicazione
- Il client (come il server) inserisce in ogni pacchetto l'acknowledgment del pacchetto precedente e il proprio numero di sequenza incrementato del numero di byte trasmessi
- Un partner accetta i segmenti dell'altro partner solo se questi indicano dei dati all'interno di una finestra di ricezione
- Il sistema a finestra serve ad evitare che uno dei due partner inondi l'altro di informazioni che questo non è in grado di gestire

Sessione TCP: scambio dati - 2

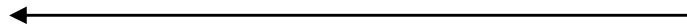


Client

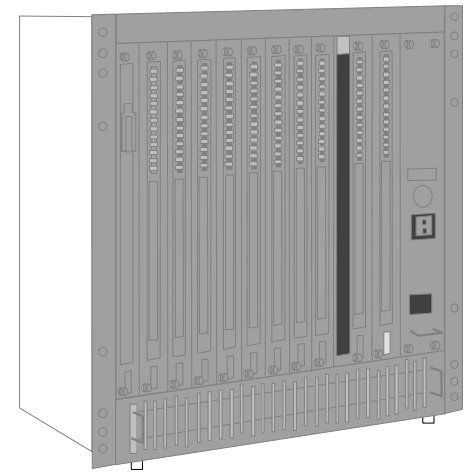
| | | | |
|-----------------|-------|----------|--|
| 13987 | | 23 | |
| seq: 6575 | | ack:7612 | |
| SYN:0 | ACK:1 | FIN:0 | |
| 25 byte di dati | | | |



| | | | |
|-----------------|-------|-----------|--|
| 23 | | 13987 | |
| seq: 7612 | | ack: 6600 | |
| SYN:0 | ACK:1 | FIN:0 | |
| 30 byte di dati | | | |



| | | | |
|-----------|-------|-----------|--|
| 13987 | | 23 | |
| seq: 6600 | | ack: 7642 | |
| SYN:0 | ACK:1 | FIN:0 | |



Server



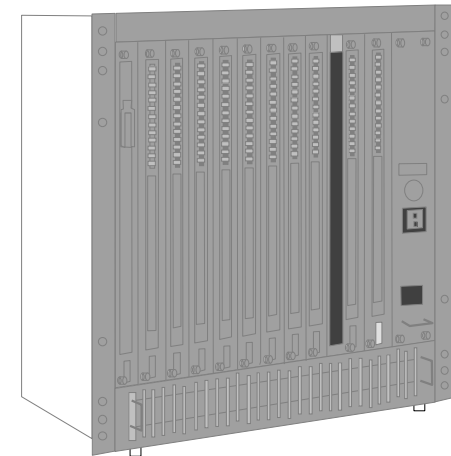
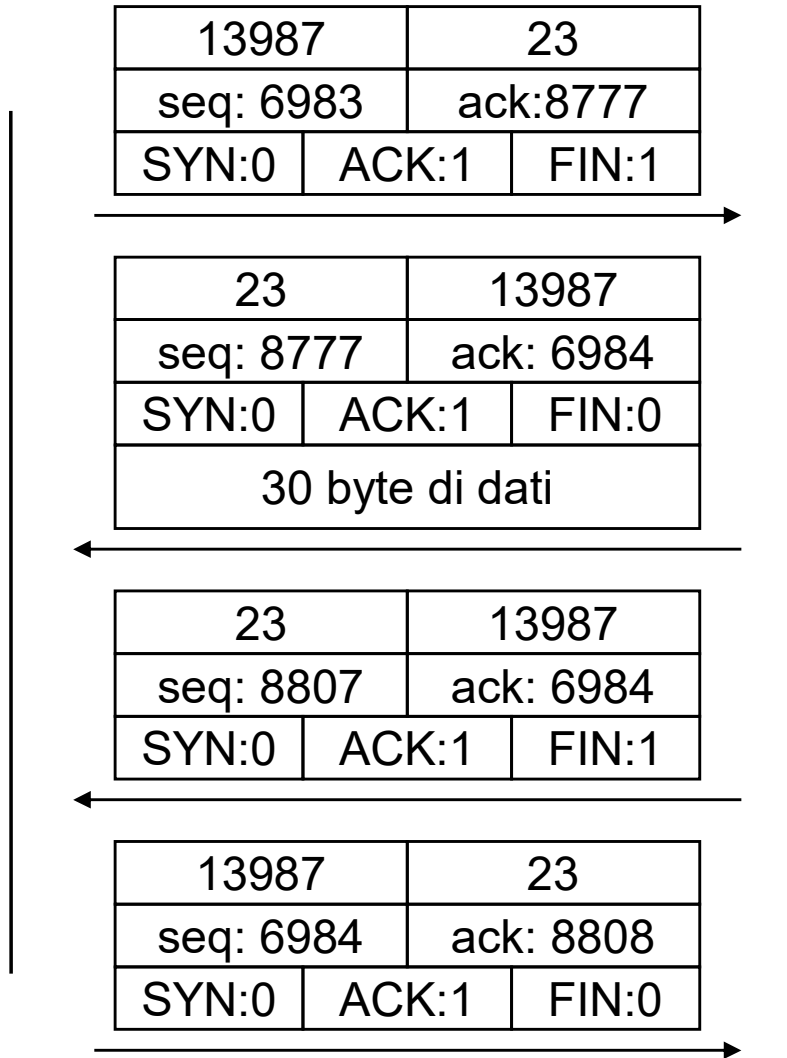
Sessione TCP: shutdown - 1

- Il client (o il server) possono indicare la fine della trasmissione con un pacchetto marcato dal bit di FIN
- Il server (o il client) risponderà con un segmento di acknowledgment
- Il server (o il client) prima o poi indicherà che anche lui ha finito di trasmettere e il circuito virtuale verrà interrotto

Sessione TCP: shutdown - 2



Client



Server



Alcune porte riservate

| num. | nome | descrizione |
|-------|-------------|---------------------------------|
| ----- | | |
| 11 | USERS | lista utenti attivi |
| 13 | DAYTIME | ora del giorno |
| 20 | FTP-DATA | connessione dati FTP |
| 21 | FTP-CONTROL | connessione di controllo FTP |
| 23 | TELNET | connessione di terminale remoto |
| 25 | SMTP | simple mail transfer protocol |
| 37 | TIME | tempo |
| 42 | NAMESERVER | server di nomi |
| 80 | WEBSERVER | web server |

Applicazioni distribuite

- Applicazione: un insieme di programmi coordinati per svolgere una data funzione.
- Un'applicazione è distribuita se prevede più programmi (processi) eseguiti su differenti calcolatori connessi tramite una rete.
 - ▶ Es: Web Browser (Firefox, IE, Chrome, Safari, Opera ...) e Web Server (Apache, ...)



Protocollo applicativo

- Le regole per la comunicazione in una applicazione distribuita sono dette protocollo applicativo.
 - ▶ Es. il protocollo applicativo della navigazione Web è detto HyperText Transfer Protocol - HTTP.
- Il protocollo applicativo deve essere definito opportunamente e comune a tutti i programmi dell'applicazione.
 - ▶ Es. ogni messaggio scambiato è terminato dalla stringa “\0 \0 \0”.



Interfacce e protocolli

- I programmi applicativi utilizzano opportune interfacce (API - application program interface), fornite dal sistema operativo e dal software di rete, per accedere ai servizi di comunicazione
 - ▶ Nascondono i dettagli dei livelli inferiori.
- Il protocollo applicativo rappresenta le regole di comunicazione, e considera il contenuto della comunicazione.
 - ▶ Realizzabile usando, attraverso API, i servizi disponibili

Interfacce e protocolli

