Reti di Telecomunicazioni

Introduzione

Autori

Queste slides sono state scritte da

Michele Michelotto:

michele.michelotto@pd.infn.it

che ne detiene i diritti a tutti gli effetti

Copyright Notice

Bibliografia

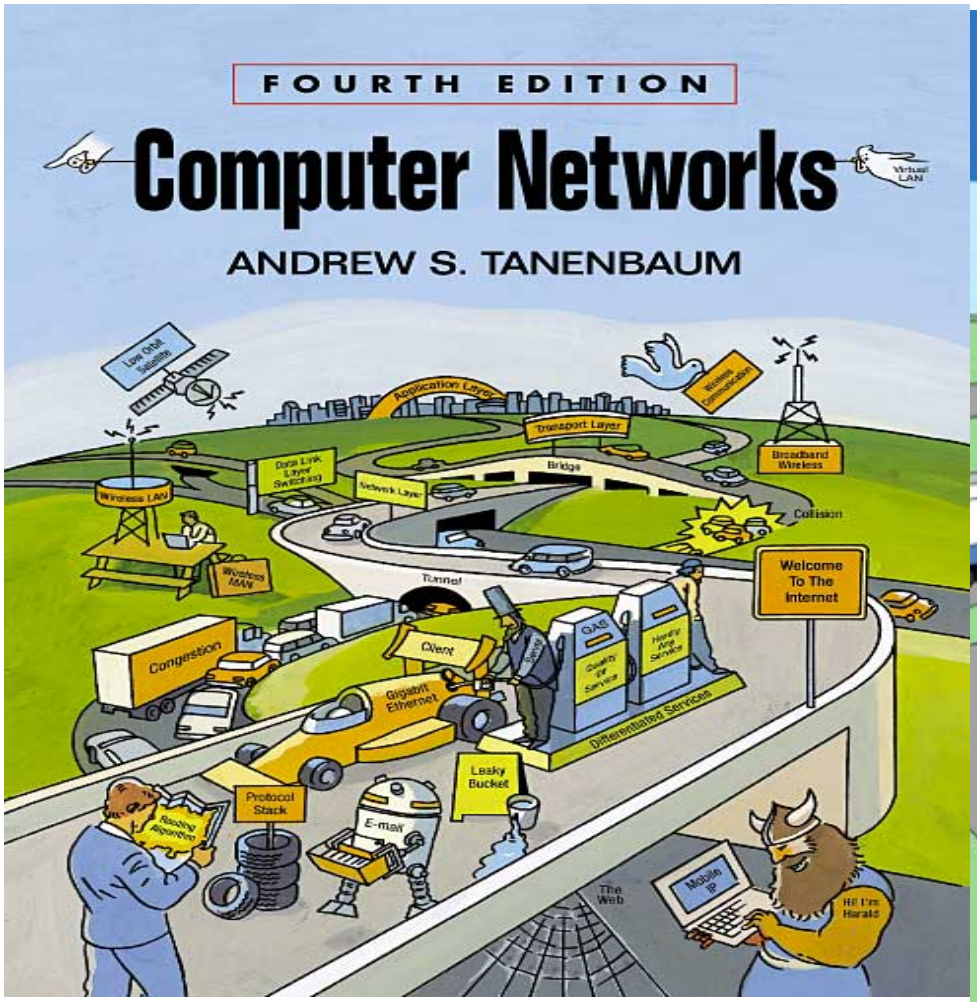
- **Computer Networks** – Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall
  - Quinta edizione 2011 , Prentice Hall
  - Esiste anche una versione in italiano
- **Reti di Calcolatori** – Quinta Edizione 49,00 Euro
  - E una versione ridotta
- **Fondamenti di Reti di Calcolatori** 29,00 Euro

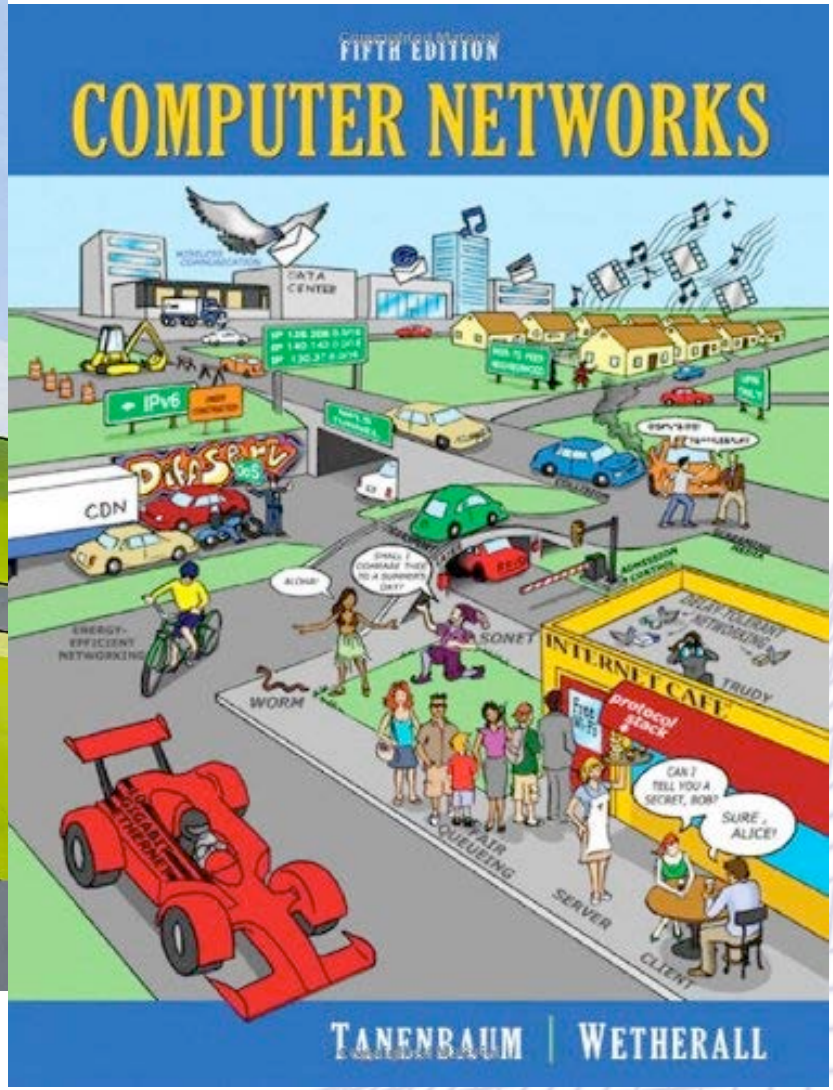
Bibliografia complementare

- **Networking e Internet** – Fred Halsall
  - Quinta Edizione 2006, Pearson

- **Reti di calcolatori e Internet** – Behrouz A. Forouzan, 2007 McGraw-Hill
  - Prima Edizione 2008, traduzione della quarta edizione in lingua inglese

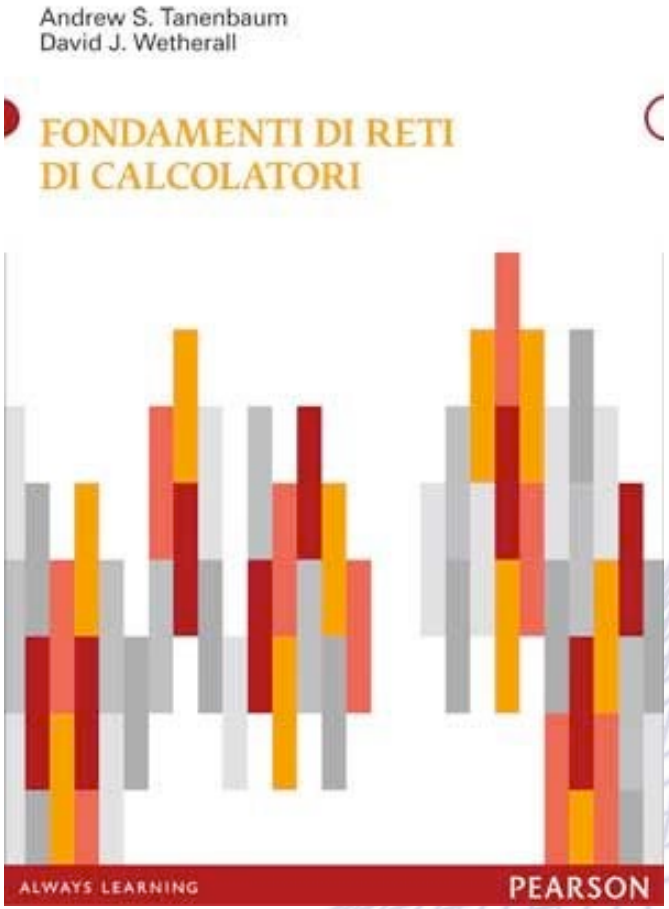
- NB le slides seguono per gran parte il Tanembaum


FOURTH EDITION
Computer Networks
ANDREW S. TANENBAUM
Application Layer
Transport Layer
Network Layer
Data Link Layer Switching
Bridge
Broadband Wireless
Wireless LAN
Wireless MAN
Collision
Tunnel
Welcome To The Internet
Congestion
Client
Gigabit Ethernet
QoS
Quality of Service
Hourly Avg Service
Differentiated Services
Protocol Stack
Leaky Bucket
E-mail
The Web
Mobile IP
Hi! I'm Harald

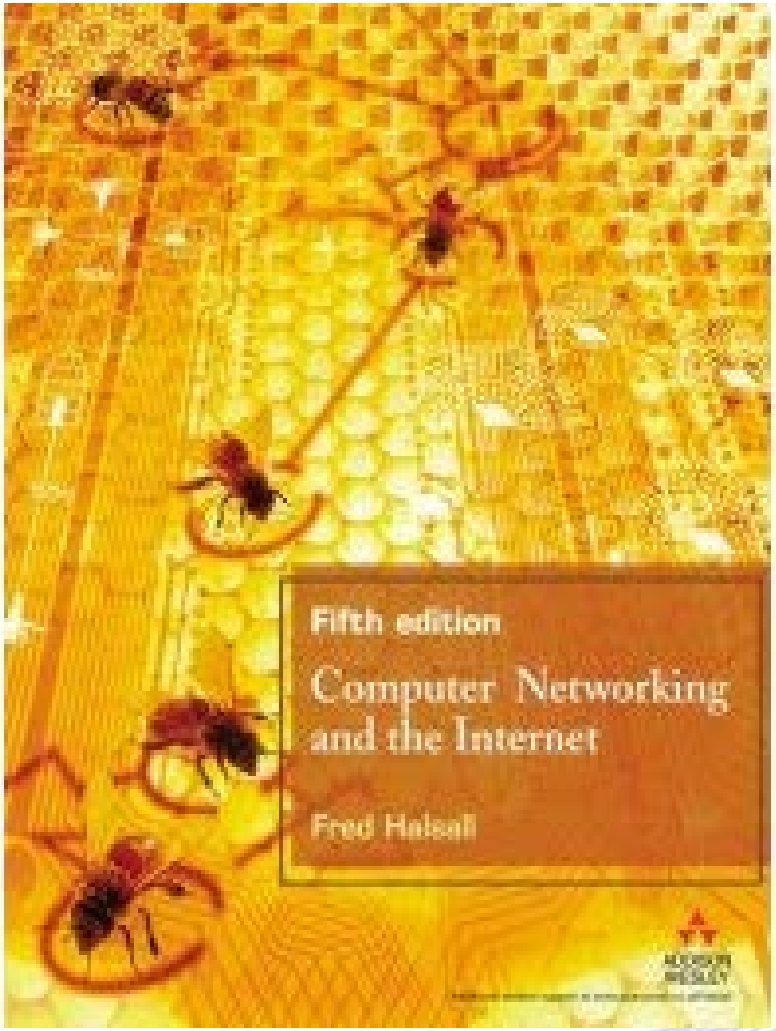

FIFTH EDITION
COMPUTER NETWORKS
DATA CENTER
IPv6
CDN
DiffServ
SONET
WORM
INTERNET CAFE
protocol stack
CAN I TELL YOU A SECRET, BOB?
SURE, ALICE!
FAIR QUEUEING
SERVER
CLIENT
TRUDY
TANENBAUM | WETHERALL

Halsall


Andrew S. Tanenbaum
David J. Wetherall
RETI DI CALCOLATORI
Quinta edizione
ALWAYS LEARNING
PEARSON


Andrew S. Tanenbaum
David J. Wetherall
FONDAMENTI DI RETI
DI CALCOLATORI
ALWAYS LEARNING
PEARSON

Halsall



Introduzione

Introduzione
Modello OSI e TCP/IP
Physics Layer
Data Link Layer
MAC sublayer
Network Layer
Transport Layer
Application Layer

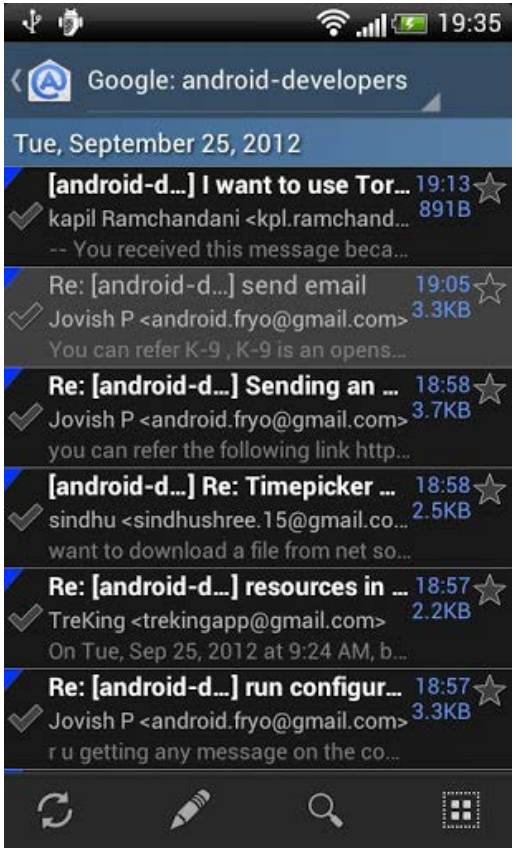
Comunicazione

- Mezzo di comunicazione
  - Collaborare remotamente a progetti comuni, scambio di informazioni → Internet, e-commerce, e-government, e-learning, dematerializzazione documentale, voip, social network)

Mezzo di comunicazione

- E-mail – comunicazione quotidiana.
- Groupware, Social Network
- Audio / Video Conferenza, chat, Voip
- B2B – Business to business (ordini, supply chain, real time inventory, fatturazione elettronica)
- B2C – Business to consumer, E-commerce

Smartphone



Tablet and iPad

Perché un corso di reti?

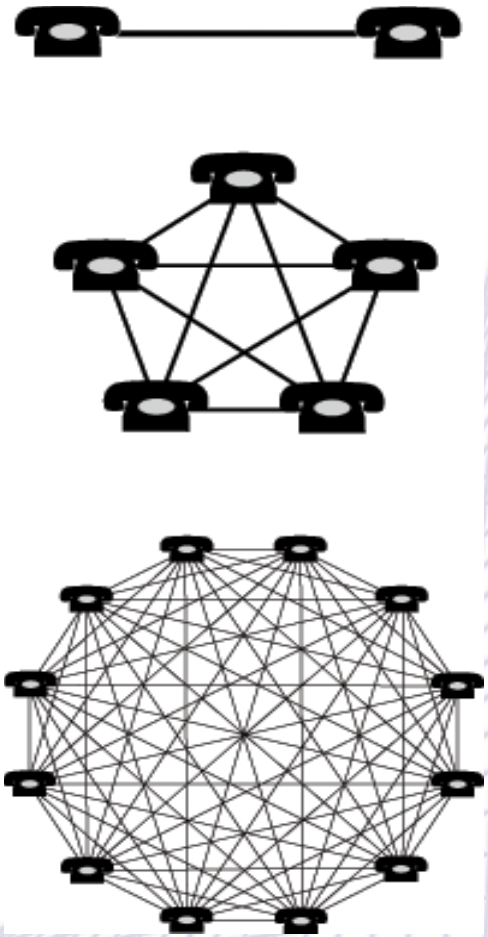
- Cosa vi spinge a seguire un corso di reti?

Perché un corso di reti

- Le reti di telecomunicazioni non interessano solo gli informatici ma tutti i campi della scienza, della conoscenza, dell'informazione ma anche della società
- Nelle computer science, conoscere il funzionamento del networking è fondamentale anche per chi segue indirizzi di tipo Database o Multimediale

Valore della rete

- Legge di Metcalf
  - Il valore della rete cresce con il quadrato del numero dei nodi ***n(n-1)/2***
  - Se ho 4 PC ognuno parla con altri 3; il valore è 6
  - Se aggiungo un altro PC in rete il valore sale a 10, e poi 15, 21…
  - Alcuni, Odlvzko e Tilly, sostengono che non tutti i nodi hanno lo stesso valore e dicono che il valore della rete sale solo come ***n* * log*n***
  - Altri come Reed dicono il contrario, il valore della rete non è dato solo dalla rete nelle sua interezza ma anche da tutti i sottoinsiemi di nodi che si possono creare all'interno della rete stessa



Classificazione delle reti

- Modi d’uso
- Tecnologia trasmissiva
- Dimensioni
- Aspetti software

Modi di uso

Wireless	Mobile	Applicazione
No	No	PC in ufficio, edifici cablati
No	Si	Notebook in albergo, es via modem o via cavo
Si	No	Notebook in ufficio o casa, edifici non cablati
Si	Si	Tablet, SmartPhone, schede GPRS, UMTS

Aspetti hardware

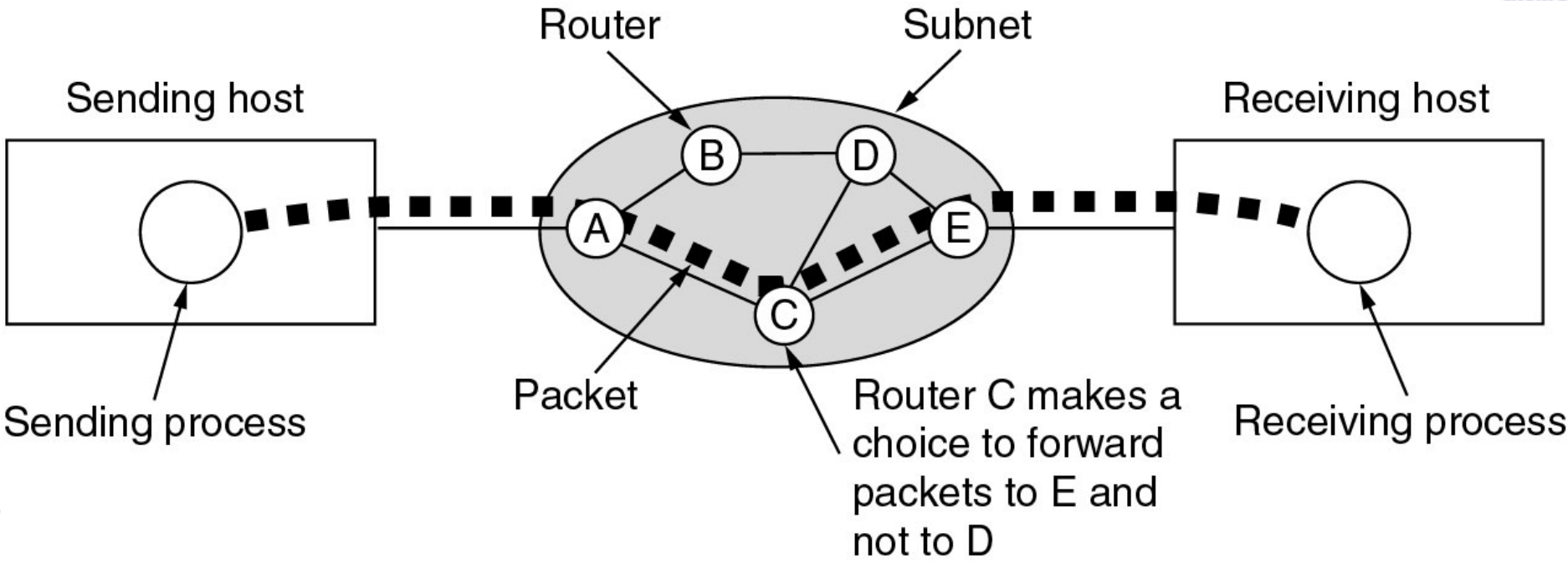
- Tecnologia trasmissiva
  - Reti broadcast
  - Reti punto a punto
- Scala
  - PAN, LAN, MAN, WAN, Internet
- Topologia
  - Mesh, Stella, Bus, Anello, Ibrida

Broadcasting

- Broadcasting
  - Il canale di comunicazione è condiviso da tutte le macchine della rete.
  - Piccoli messaggi (packets) sono mandati da una macchina a tutte le altre ma con un indirizzo del destinatario.(Es.”Signor Rossi venga qua!”, “I passeggeri del volo 712 al gate 6”)
  - Alcuni sistemi broadcast possono mandare un pacchetto ad un sottoinsieme delle macchine: **multicasting**

Unicast

- Reti punto a punto
  - Diverse connessioni solo tra coppie di macchine.
  - Per andare dal mittente al destinatario il pacchetto puó passare per macchine intermedie e seguire diversi percorsi



Dimensioni

- Dimensioni della rete
  - Rete interne (multicomputer, matrici di switch, Infiniband, Myrinet)
  - **PAN** Personal Area Network (pochi metri intorno alla persona, bluetooth)
  - **LAN** da 10 m a 1 km (stanza, edificio, campus)
  - **MAN** 10 km (città)
  - **WAN** da 10 km a 10.000 km (regione, stato,intercontinentale)
  - **Internet** (pianeta)
- Regola generale
  - le reti piccole e localizzate tendono ad essere di tipo broadcast
  - reti geograficamente disperse tendono ad essere punto a punto
  - ma ci sono moltissime eccezioni

Classificazione - distanza

Interprocessor distance	Processors located in same	Example
1 m	Square meter	Personal area network
10 m	Room	Local area network
100 m	Building	
1 km	Campus	
10 km	City	Metropolitan area network
100 km	Country	Wide area network
1000 km	Continent	
10,000 km	Planet	The Internet

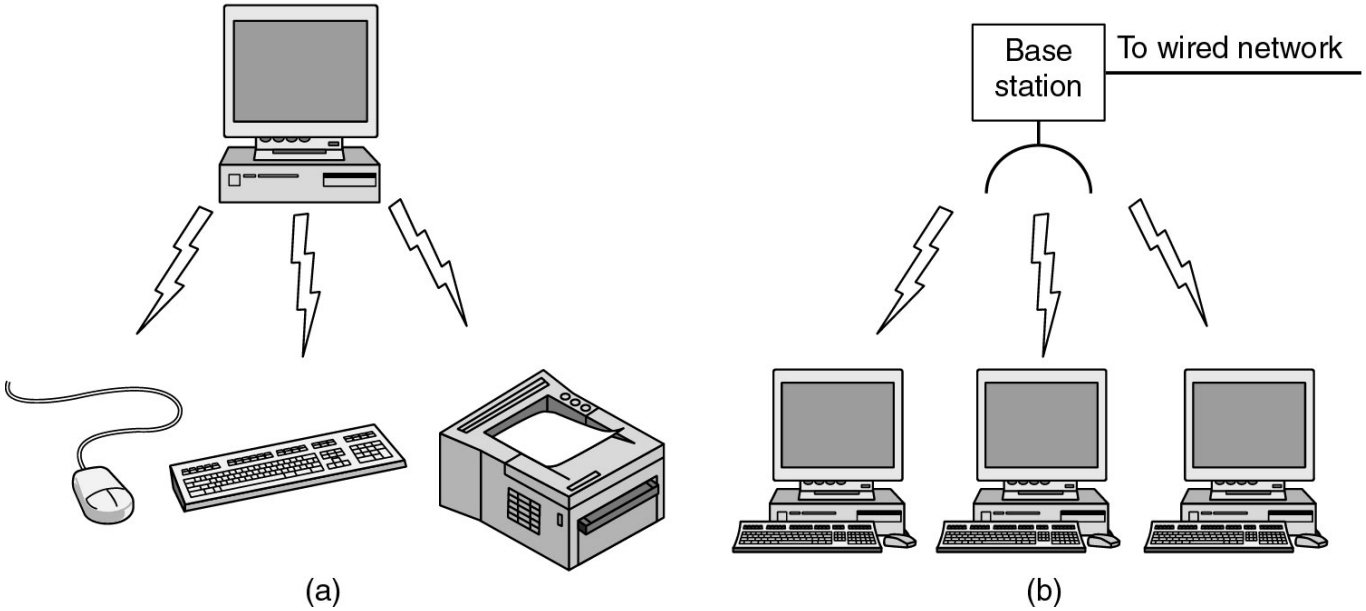
WAN

- Collega a lunga distanze macchine chiamate **hosts** oppure **LAN** su cui stanno gli host
- Sono connessi da una subnet di comunicazione che si divide in
  - Linee di trasmissione (rame, fibra, radio)
  - Elementi di commutazione (switching) spesso chiamati router
- Se due router non condividono una linea di trasmissione devono servirsi di router intermedi (store and forward o packet switched)

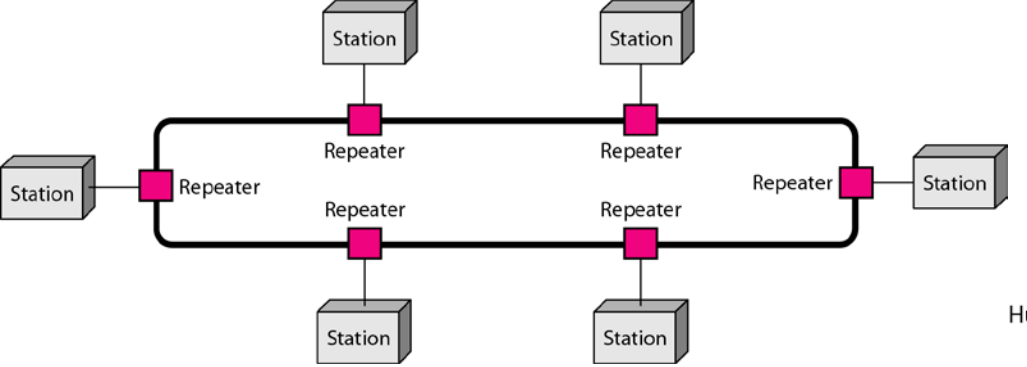
MAN

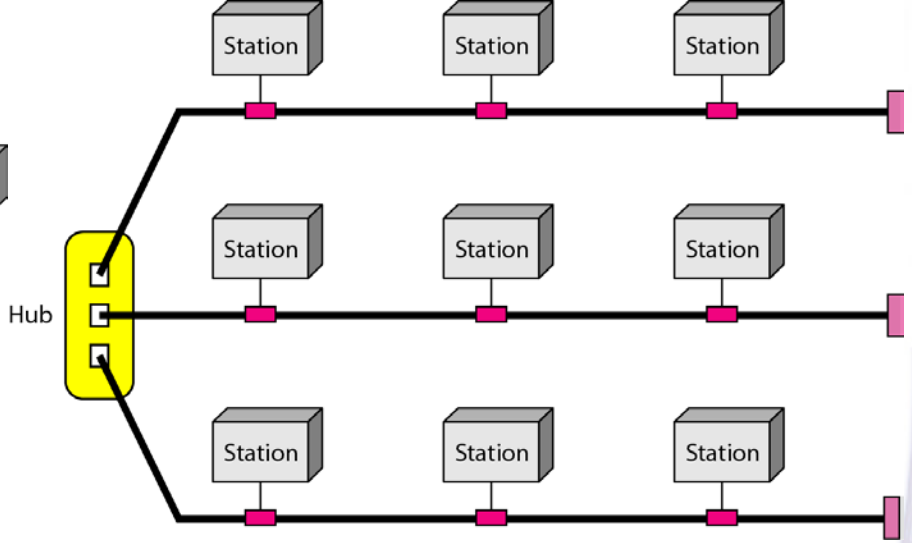
- Metropolitan Area Network
  - Sta tra la LAN e la WAN, copre una città o una parte di essa
  - Connette utenti fisicamente localizzati con altre reti (tipicamente internet)
  - Es. La parte della rete telefonica che unisce le connessioni DSL
  - Es. Collegamenti in fibra per unire ad alta banda tutte le LAN di una università cittadina ed altri enti

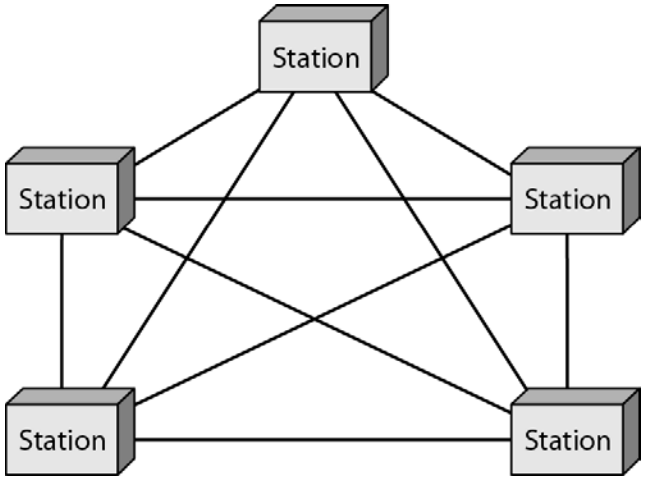
Tipi di rete Wireless

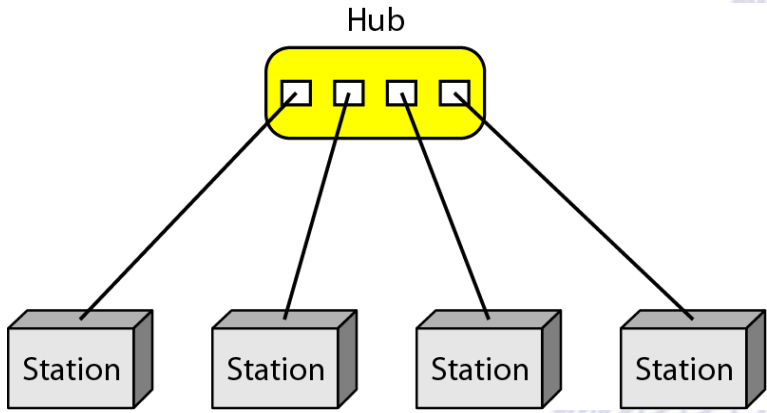


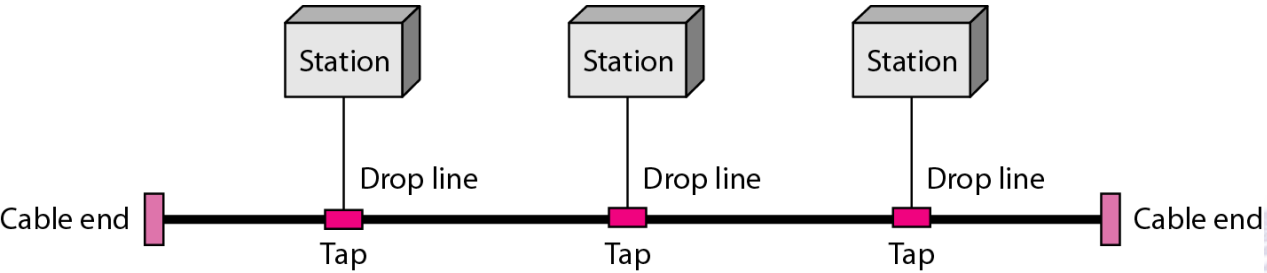
- Interconnessioni tra dispositivi: Bluetooth, infrarosso, radio per tastiere, cellulari, palmari, stampanti, mouse, cuffie
- Wireless LAN: WiFi (802.11)
- Wireless WAN: e.g. Ethernet su Laser, Microonde, Radio, Satellite, UMTS, GPRS, GSM, WiMax (802.16)


Station
Station
Repeater
Repeater
Station
Repeater
Repeater
Repeater
Station
Repeater
Repeater
Station
Station


Station
Station
Station
Hub
Station
Station
Station
Station
Station
Station

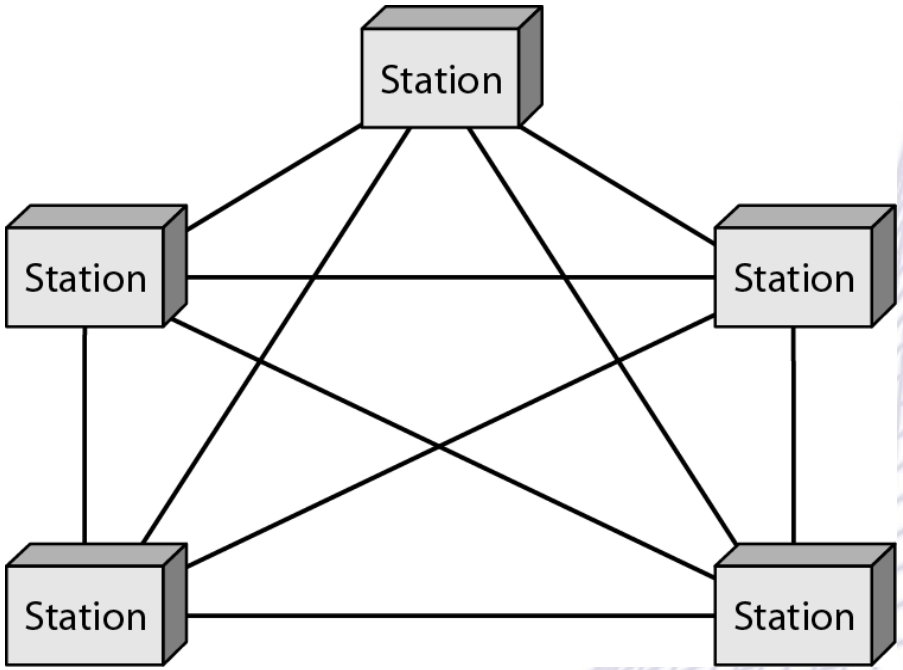

Station
Station
Station
Station
Station


Hub
Station
Station
Station
Station


Station
Station
Station
Drop line
Drop line
Drop line
Cable end
Cable end
Tap
Tap
Tap

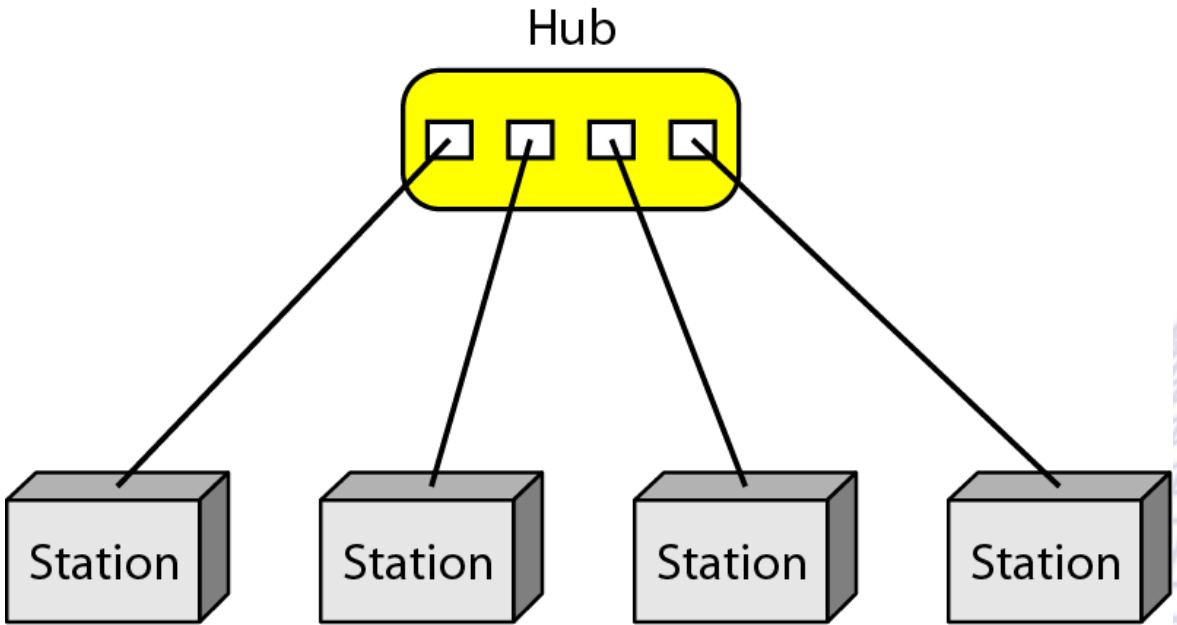
Mesh

- Magliata
  - I collegamenti necessari sono **n * (n-1)** quindi aumentano con il quadrato dei nodi
  - Svantaggio economico (costo di link e di porte di I/O)
  - Vantaggio: affidabile, sicura, permette di isolare parti guaste (nodi, link)
  - Usata soprattutto per connettere centrali telefoniche o POP di reti IP



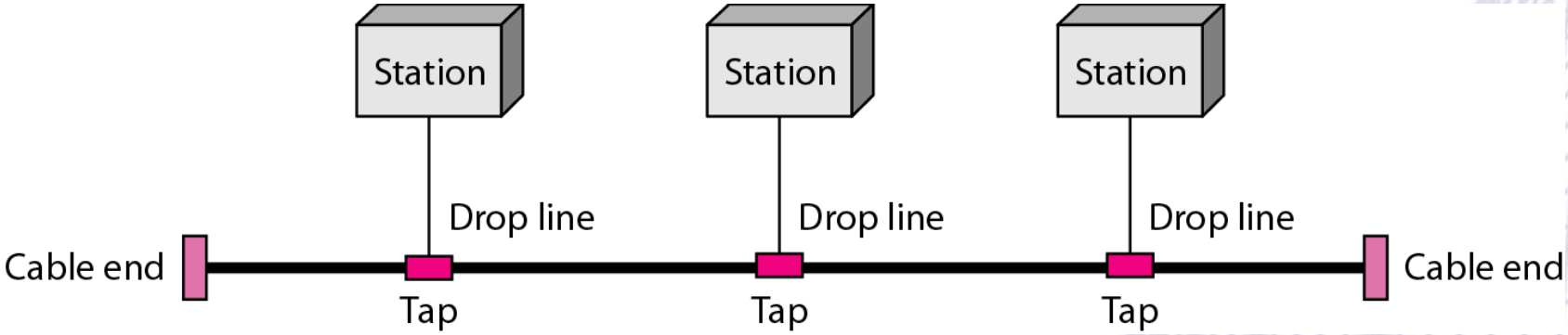
Star

- Stella
  - Connessa ad un Hub centrale
  - Il traffico ora non può andare diretto da un nodo all'altro ma deve passare per l'hub.
  - Molto semplice ed economico, un solo collegamento per nodo
  - Svantaggio. Se l'hub si rompe nulla funziona



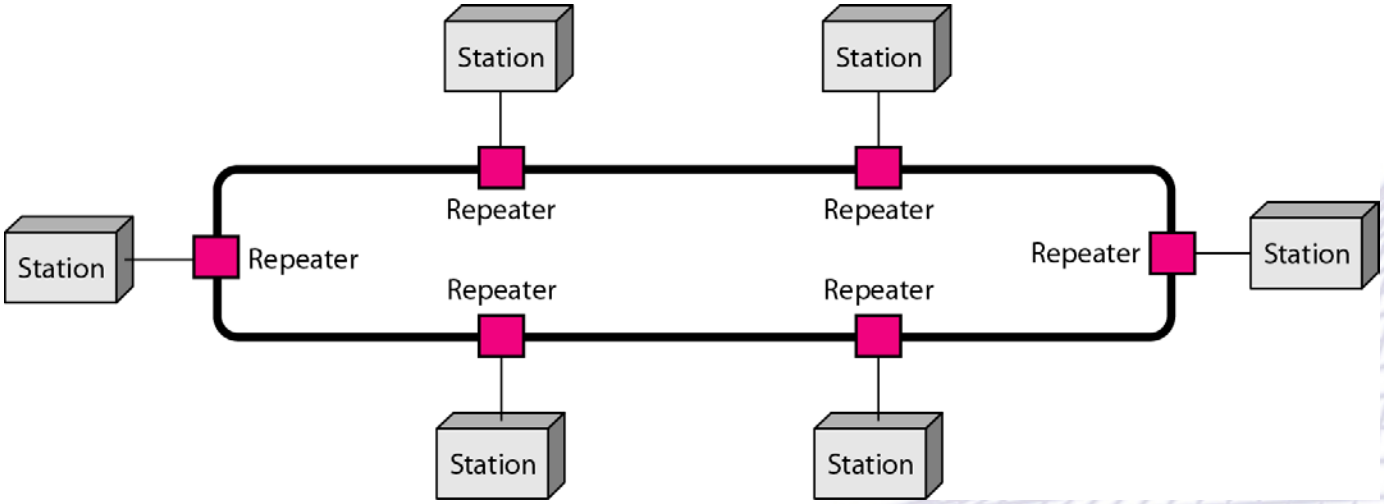
Bus

- Utilizza un collegamento multipunto (il bus) che collega tutti i nodi
- Ogni nodo è fisicamente collegato al bus, quindi quando un segnale passa lo sente ma il segnale diminuisce di intensità attraversando il bus. Questo limita il numero di nodi
- Facile inserire nuovi nodi, basta attaccare un nuovo connettore sul bus
- Svantaggi: Difficile risolvere problemi relativi al bus, es se i connettori non sono distanziati correttamente o se uno provoca rumore.



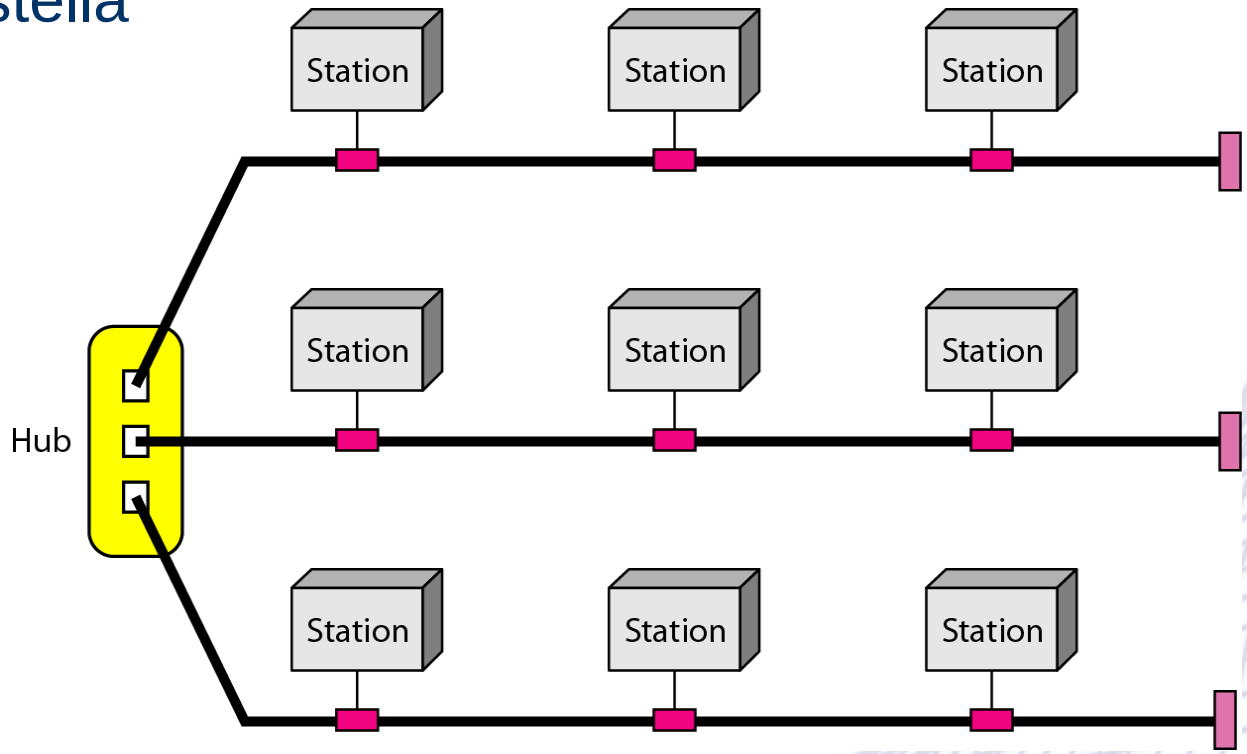
Ring

- Anello
- Ogni nodo si collega punto punto con altri due nodi
- I dati viaggiano in una direzione e i nodi si passano il messaggio da uno all'altro fino alla destinazione
- Facile da installare (due collegamenti da cambiare per ogni inserimento o rimozione)
- Svantaggi: i dati devono fare percorsi lunghi e se un nodo non funziona interrompe l'anello



Ibride

- Un mix delle topologie indicate
  - Es. un hub centrale unisce tre reti con topologia a bus, anello e stella



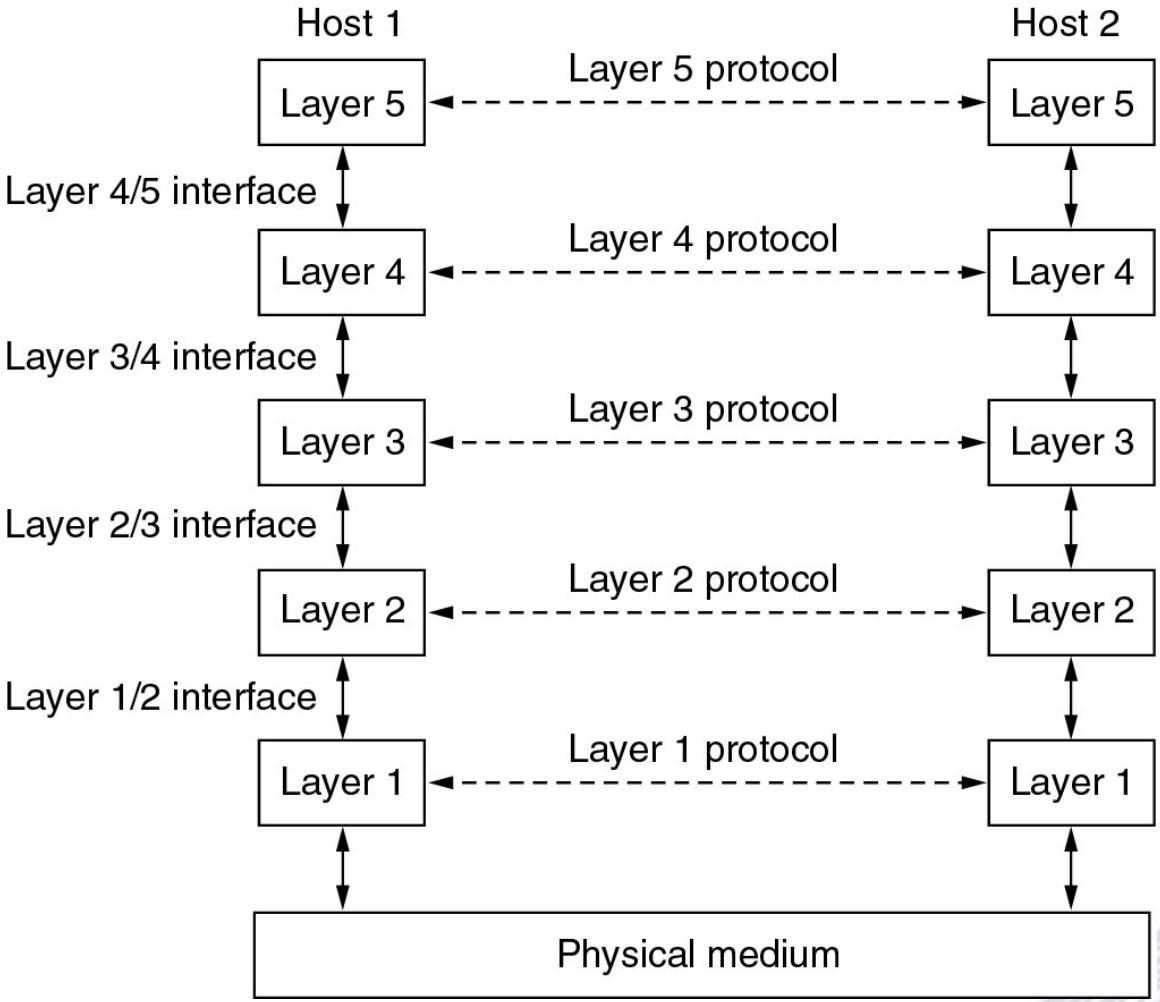
Aspetti software

- Dal punto di vista software le reti sono organizzate a **layer** o **livelli**, costruiti uno sopra l'altro.
- Il numero di livelli e le funzioni di un livello cambiano da rete a rete
- Un layer è come una macchina virtuale che offre servizi al layer superiore

Aspetti software

- Ogni livello fornisce servizi ai livelli superiori schermando questi livelli dai dettagli su **come** i servizi sono in pratica implementati
- Tipico concetto della computer science: information hiding, abstract data types, data encapsulation, oo programming

Layer di protocolli



Aspetti software

- Il livello **N** di una macchina parla con il livello **N** di un'altra macchina. Le regole e le convenzioni usata in questa conversazione sono dette **protocollo** di livello **N**
- È un **accordo** su come procedere nella **comunicazione**
- Cfr: protocolli "sociali". Ci sono regole diverse: come si fa un baciamano ad una principessa, come si stringe la mano ad un avvocato.

Protocollo tra persone

Locazione A Messaggio in Russo

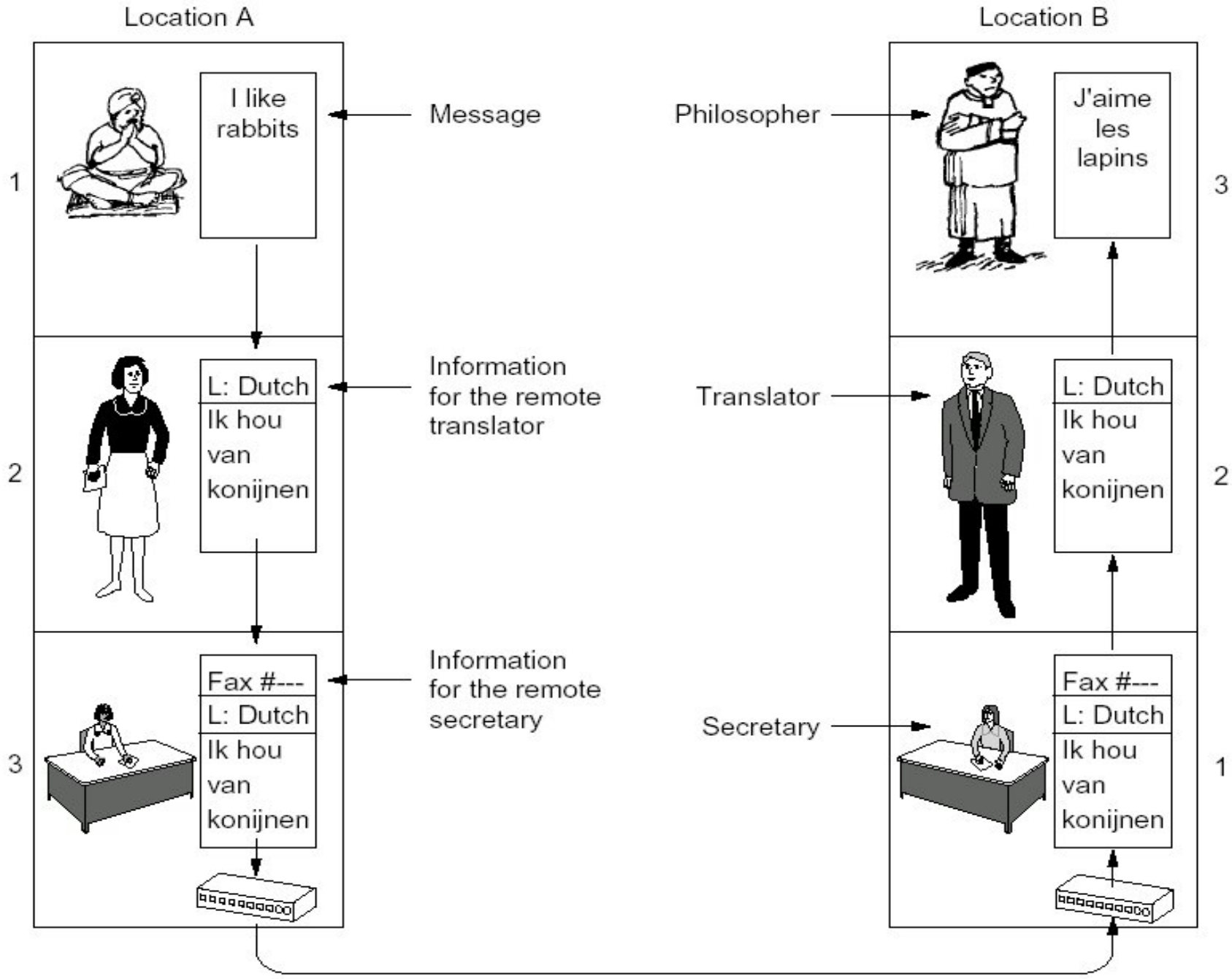
Locazione A tradotto dal Russo in Inglese

Locazione A mandato via fax

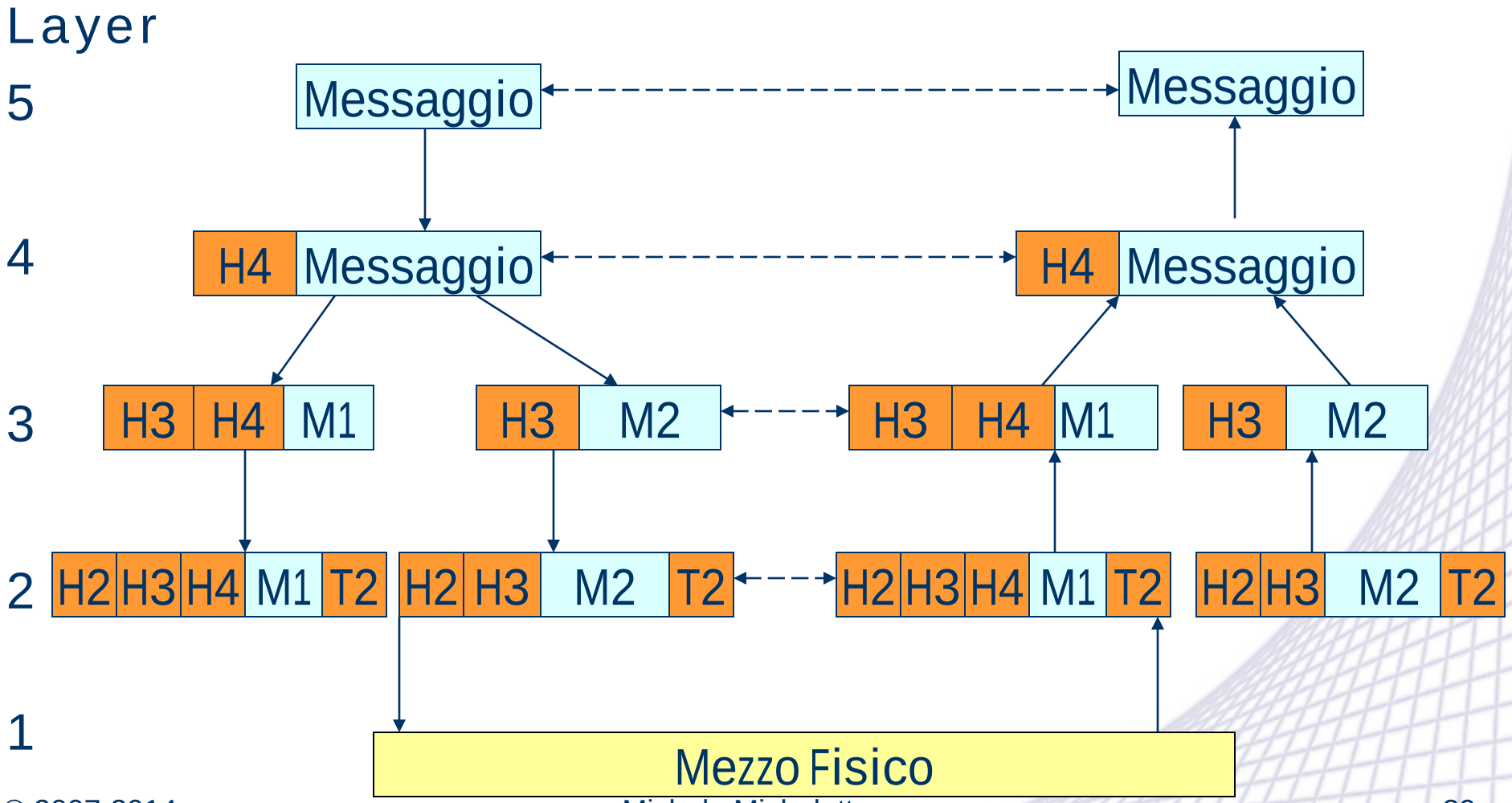
Locazione B ricevuto via fax

Locazione B tradotto dall'Inglese in Italiano

Locazione B Messaggio in Italiano


Location A
Location B
I like rabbits
Message
Philosopher
J'aime les lapins
1
3
L: Dutch
Ik hou van konijnen
Information for the remote translator
Translator
2
Fax #---
Information for the remote secretary
Secretary

Protocollo tra computer



Protocollo tra computer

- La comunicazione a livello **logico** avviene tra pari (**PEER**) allo stesso layer – linee tratteggiate
- A livello **reale** la comunicazione avviene solo al livello inferiore. (linee continue)
- L'astrazione dei processi PEER permette di **separare un problema molto difficile** (il progetto dell'intera rete) **in problemi semplici** (il progetto di un layer)

Interfaccia

- Tra ogni coppia di layer adiacenti è definita una interfaccia
- L'interfaccia definisce quali operazioni "primitive" e quali servizi il livello inferiore fornisce al superiore

Elementi chiave

- Le reti comunicano utilizzando le caratteristiche fisiche della rete per spedire sequenze di bit
- Le sequenze di bit devono avere lo stesso significato per entrambi i nodi per cui servono delle regole di:
- **SINTASSI**: Il formato dei dati, l'ordine con cui gli elementi devono essere presentati
  - Es. Primi 8bit source address, 8 bit destination address poi i dati
- **SEMANTICA**: Il significato della sequenza di bit
  - Come interpretare una sequenza di bit, che azione eseguire in risposta
- **SINCRONIZZAZIONE**: quando i dati devono essere spediti e a quele velocità
  - Una sorgente a 100 Mbps ma un ricevente a 1 Mbps

Progetto di un protocollo

- Quanti layer devo mettere?
- Cosa deve fare ogni layer?
- Come avere una interfaccia semplice?
  - Ogni layer deve fare un insieme ben definito di funzioni
  - Una interfaccia semplice minimizza le informazioni da passare tra i layer
  - Permette facilmente di rimpiazzare un layer con una implementazione completamente diversa.

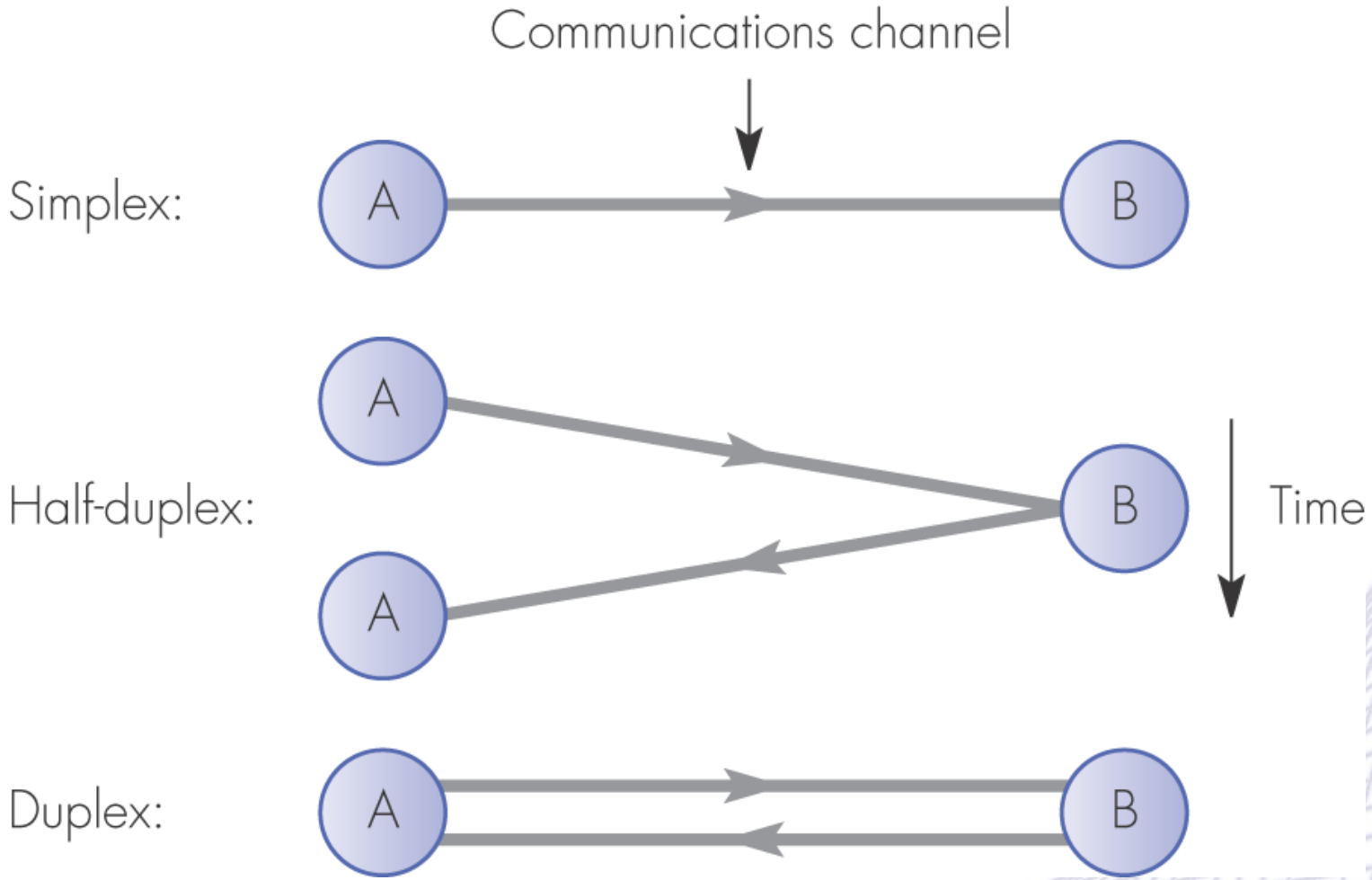
Indirizzamento

- Addressing:
  - Ogni layer deve identificare mittente e ricevente
  - Ogni rete ha diversi computer ognuno con molti processi. Un processo in una macchina deve sapere come specificare con quale vuole parlare dell'altra macchina
  - Serve quindi una forma di indirizzamento per specificare una specifica destinazione

Data Transfer

- Direzione dei dati (slide seguente)
  - **Simplex**: I dati vanno in una unica direzione
  - **Half Duplex**: I dati vanno in entrambe le direzioni ma non contemporaneamente
  - **Full Duplex**: I dati viaggiano in entrambi le direzioni allo stesso istante
- Quanti canali logici sullo stesso canale fisico
  - Spesso ci sono almeno due canali, uno per i dati normali e uno per i dati urgenti (o per la gestione dei dati)

Modi di comunicazione



Error control

- Controllo degli errori
  - I circuiti di comunicazione non sono perfetti
  - Ci sono diversi metodi di **error correction** e **error detection** ma entrambe le parti devono concordare quale usare e poi serve un modo per dire al mittente cosa non è arrivato bene

Data order

- Ordine dei messaggi
  - Se il canale non garantisce l'ordine dei messaggi il protocollo deve assegnare un numero sequenziale per permettere il riassemblaggio
  - Poi resta da decidere cosa fare dei messaggi fuori sequenza

Flow control

- Flow Control
  - Come evitare che un trasmittente veloce intasi un ricevente lento
  - Qualche forma di feedback (implicito o esplicito) sulla situazione del ricevente
  - Contrattazione tra i due di un transmission rate adeguato

Lunghezza messaggi

- A vari layer si deve decidere la lunghezza dei messaggi da elaborare
  - Spesso serve un metodo per disassemblare, trasmettere e riassemblare messaggi
  - Al contrario potrebbe essere inefficiente mandare messaggi troppo corti: serve allora un meccanismo per raggrupparli, spedirli alla comune destinazione e dividere di nuovo i messaggi alla fine.

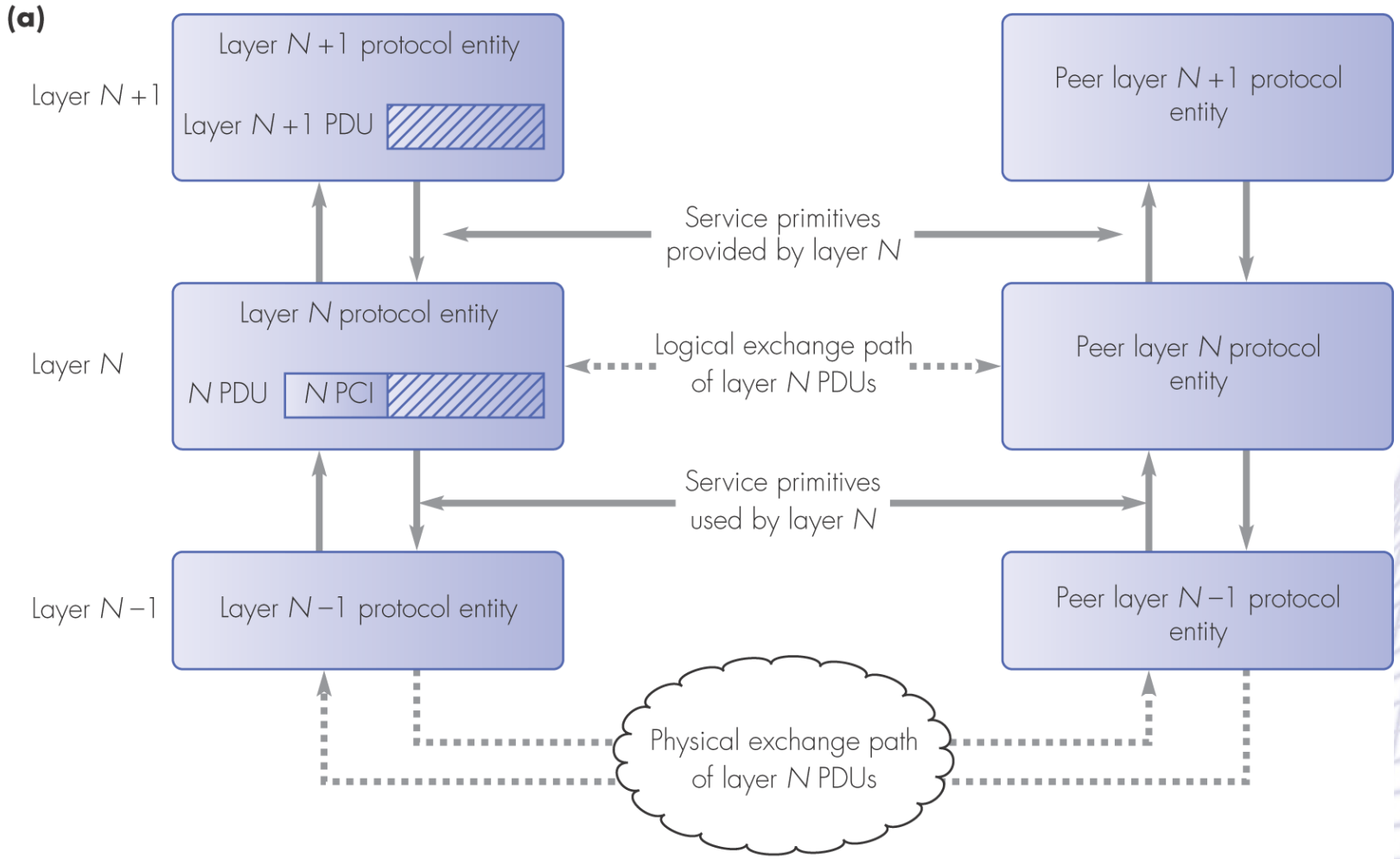
Mux - DeMux

- Multiplex – Demultiplex:
  - Quando non conviene stabilire una connessione separata per ogni coppia di processi.
  - Il layer inferiore decide di usare la stessa connessione per conversazioni non correlate
  - A qualsiasi layer basta che sia trasparente al layer superiore.
  - Necessario a livello fisico

Interfacce e Servizi

- Gli elementi attivi di un layer si chiamano **entities**
  - Possono essere software (processi) o hardware (un chip di I/O intelligente)
- Entities di livello **n** implementano un servizio per il livello **n+1**
  - Livello **n** → **Service provider**
  - Livello **n+1** → **Service user**
- I servizi sono disponibili ai SAP (Service Access Points).
  - I SAP del livello n sono i posti in cui il livello n+1 accede ai servizi offerti. Ogni SAP ha un indirizzo che lo identifica

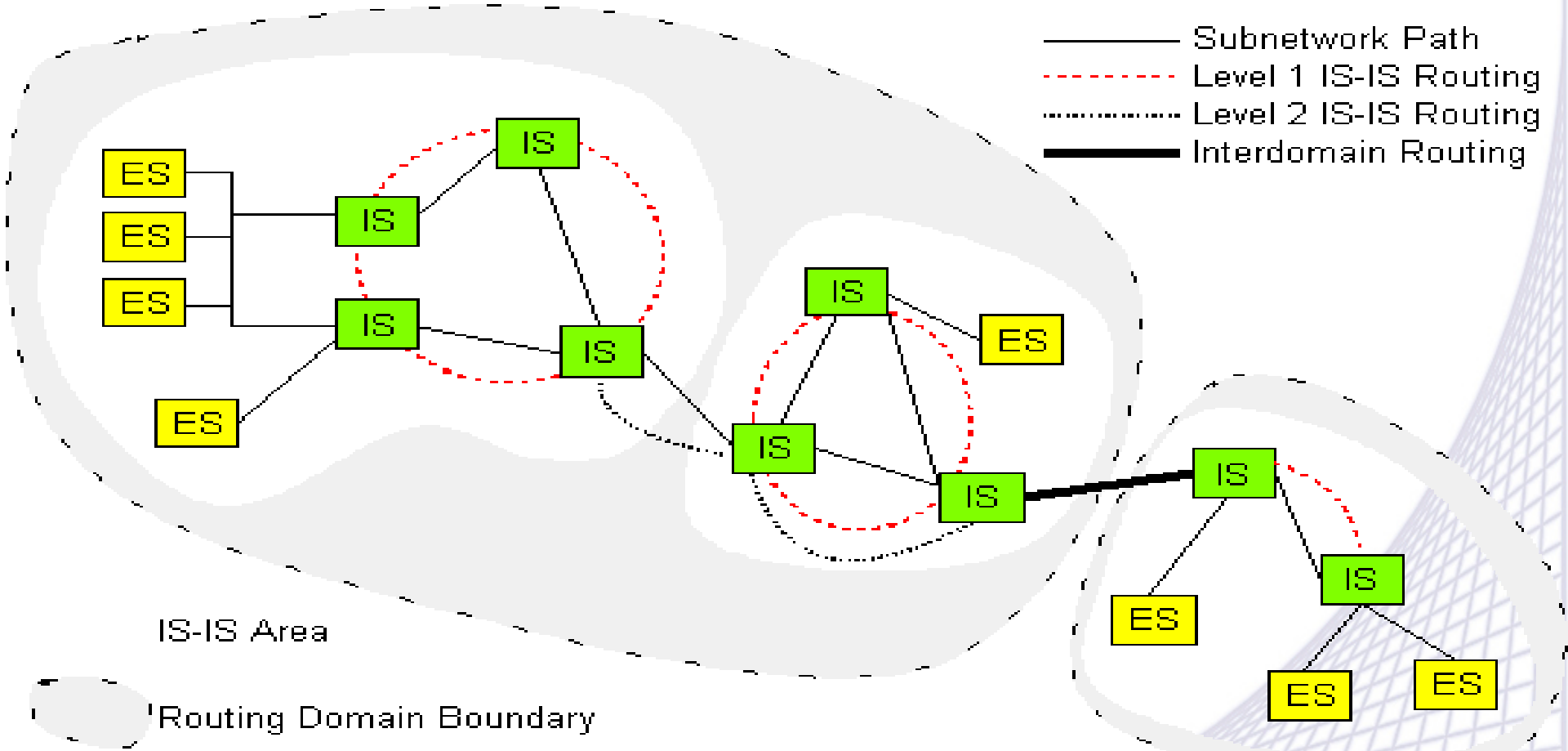
Livelli e servizi



Routing

- Se ci sono diversi cammini tra mittente e destinatario se ne deve scegliere uno
  - A volte una decisione viene presa a livello alto e cambiata a livelli inferiori basandosi p.e. sulle condizioni di traffico

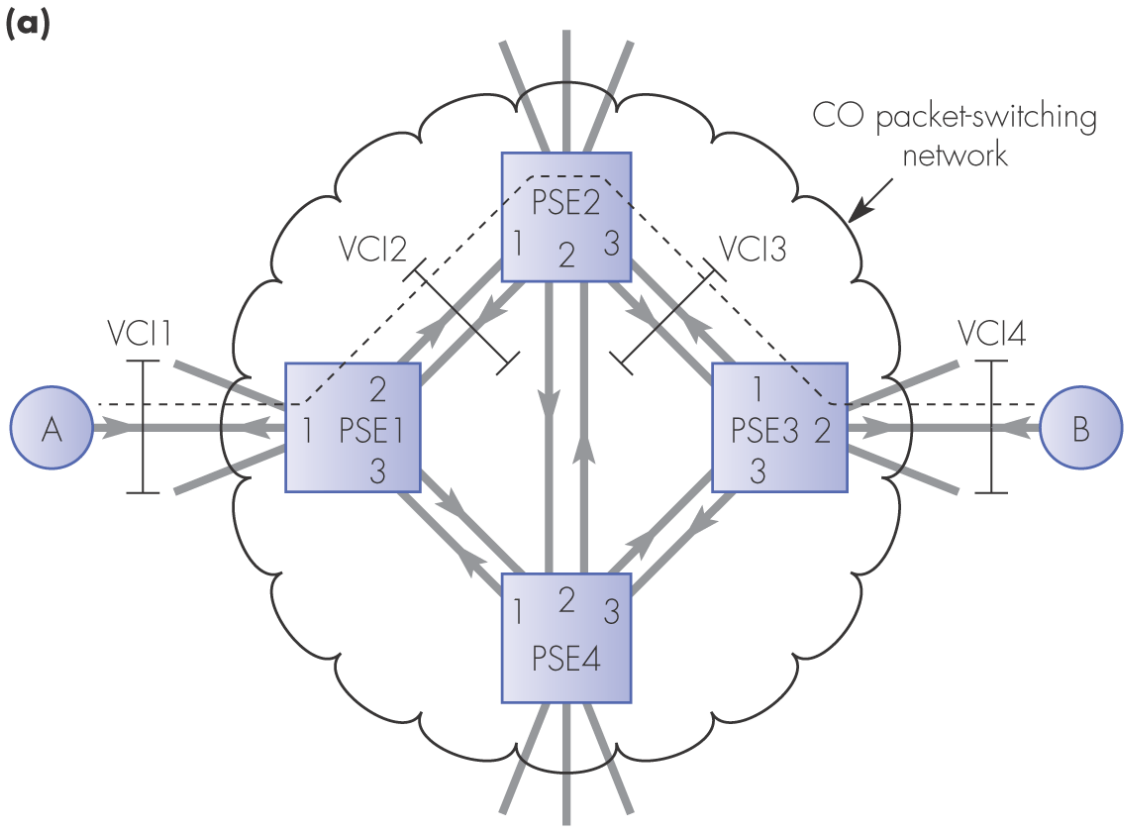
Routing


Subnetwork Path
Level 1 IS-IS Routing
Level 2 IS-IS Routing
Interdomain Routing
ES
ES
ES
ES
IS
IS
IS
IS
IS
IS
IS
IS
ES
ES
ES
ES
IS-IS Area
Routing Domain Boundary

Servizi e connessioni

- I layers possono offrire due tipi di servizi al layer superiore
- Servizi Connection-Oriented
  - Come il sistema telefonico: Alzi la cornetta, fai il numero, stabilisci la connessione, attacchi la cornetta. Funziona come un tubo. Si mandano gli oggetti (bits) nel tubo e solitamente gli oggetti escono in ordine all'altro lato
- Servizi Connectionless
  - Come il sistema postale: Ogni messaggio ha l'indirizzo completo del destinatario. Ogni messaggio viaggia per la sua strada. Di due messaggi allo stesso destinatario uno potrebbe non arrivare e o arrivare in gran ritardo

Connection Oriented



PSE1 routing table:

IN	OUT
VCI1/Link1	VCI2/Link2
VCI2/Link2	VCI1/Link1

PSE2 routing table:

VCI2/Link1	VCI3/Link3
VCI3/Link3	VCI2/Link1

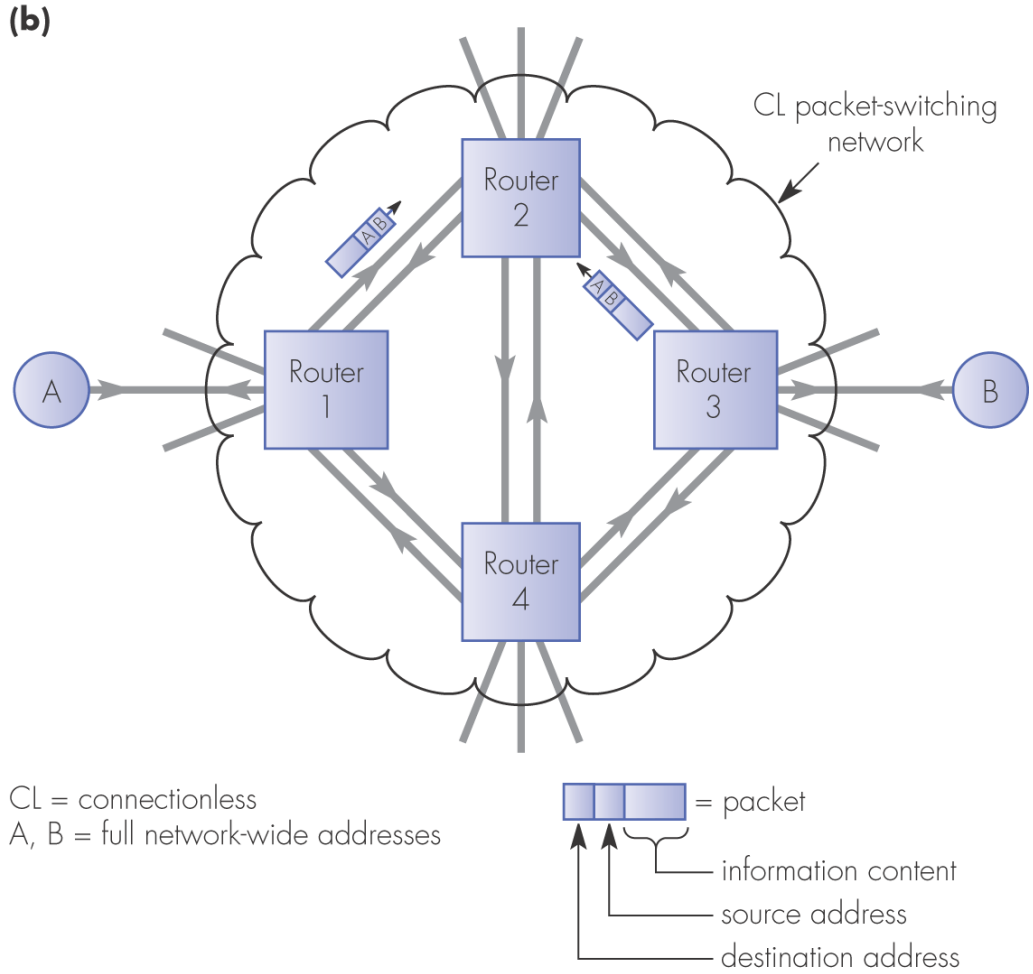
PSE3 routing table:

VCI3/Link1	VCI4/Link2
VCI4/Link2	VCI3/Link1

CO = connection-oriented
--- = virtual circuit

VCI = virtual circuit identifier
PSE = packet-switching exchange

Connectionless



Tipi di servizi

	Service	Example
Connection-oriented	Reliable message stream	Sequence of pages
	Reliable byte stream	Remote login
	Unreliable connection	Digitized voice
Connection-less	Unreliable datagram	Electronic junk mail
	Acknowledged datagram	Registered mail
	Request-reply	Database query

Conn. Oriented affidabile

- Servizi affidabili (reliable)
  - Nel senso che non perdono i dati
  - Si implementano obbligando il ricevente a dare una ricevuta (**acknowledgement**) per ogni messaggio ricevuto.
  - La gestione della ricevuta introduce **overhead** e ritardi (**delays**)
  - Usato nei File Transfer

Due varianti

- Message Sequences:
  - Le dimensioni dei messaggio sono preservate: due messaggi di 1K arrivano come due distinti messaggi da 1K e non come uno da 2K
- Byte Streams:
  - Non c'è modo di sapere se c'è una separazione nel flusso dei dati (es. Login in un server remoto)

Conn. Oriented non affidabile

- Connection Oriented senza ricevuta
  - Una telefonata via cellulare avviene dopo una connessione
  - Ma non richiedo ack per ogni pacchetto voce in uno dei due sensi
  - Il setup della connessione mi garantisce che ci sono le risorse per portare a buon fine la telefonata

Servizi connectionless

- Servizi connectionless “non affidabili” (datagram services)
  - Es.: Streaming Voce (non importa se sento rumori strani o manca mezza parola, ma non voglio ritardi) o video digitali (alcuni pixel sbagliati ok, ma non fermi immagine)
  - Come i Telegrammi e la posta ordinaria
  - Voglio mandare un messaggio con alta probabilità che sia consegnato ma non con la garanzia.
  - “Non affidabili” significa solo che non c’è la ricevuta

Servizi connectionless affidabili

- Servizi connectionless con ricevuta
  - A volte conviene non stabilire una connessione (per non perdere tempo) ma importa invece la affidabilità
  - Acknowledged Datagram service: come la Raccomanda con ricevuta alla risposta.

Request - reply

- Servizi Connectionless **Request – Reply**
  - Il mittente manda un datagram con una richiesta e il reply contiene la risposta.
  - Es Richiesta risoluzione indirizzo DNS

Chi vuole servizi unreliable?

- Chi potrebbe volere dei servizi non affidabili?
- Quando non sono disponibili servizi affidabili
  - La comunicazione affidabili potrebbe non essere possibile (es. Ethernet). I pacchetti potrebbero rovinarsi durante la trasmissione
  - I protocolli superiori eventualmente gestiranno il problema
- Quando i ritardi sarebbero non accettabili
  - Applicazioni real-time o multimediali.

Operazioni di accesso

- Un servizio è definito da un insieme di operazioni (primitives) disponibili ad un processo utente che vuole accedere al servizio
- Se lo stack del protocollo è in un sistema operativo le primitives sono chiamate di sistema (system calls)
- L'insieme di primitives è diverso per servizi connection oriented da servizi connection-less

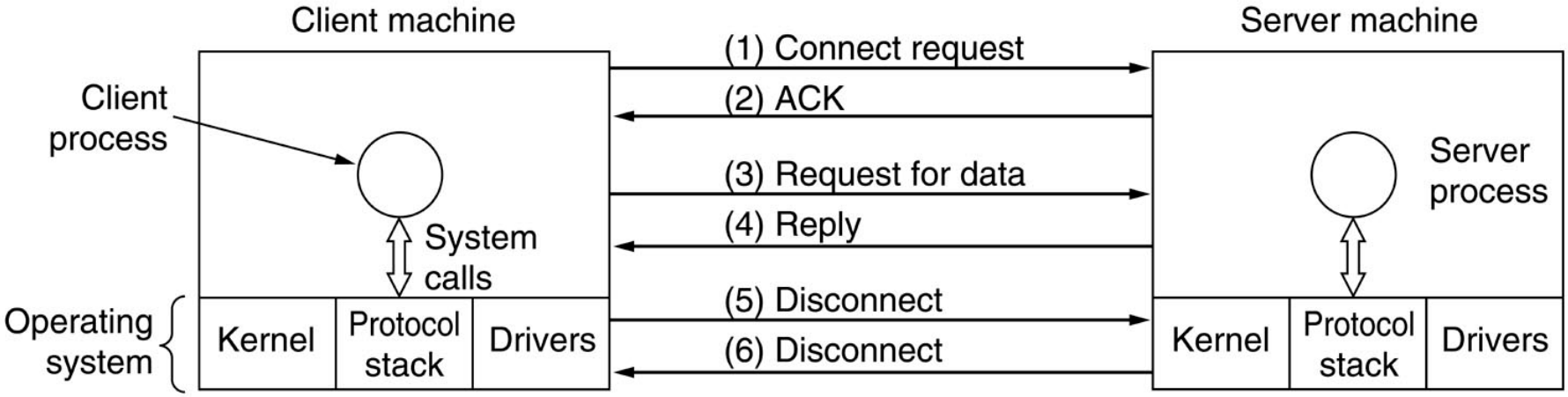
Reliable byte stream

Primitives	Significato
LISTEN	Aspetta una richiesta di connessione
CONNECT	Connetti ad un peer in attesa
RECEIVE	Aspetta un messaggio in arrivo
SEND	Manda un messaggio al peer
DISCONNECT	Chiudi la connessione

Come le uso?

1. Il server esegue la LISTEN (per esempio con una system call bloccante). Il processo server rimane in attesa
2. Il client esegue una CONNECT (avrà bisogno di un parametro per passare l'indirizzo del server)
3. Il sistema operativo manda un pacchetto (1) al peer chiedendo la connessione e resta sospeso in attesa di una risposta

Connessione



- I numeri sono i pacchetti che viaggiano
- In questo caso 6 pacchetti

La connessione

4 Quando il pacchetto (1) arriva al server viene gestito dal sistema operativo che vedendo un pacchetto di “richiesta connessione” controlla se c’è un processo in ascolto

5 Se c’è, sblocca il processo in ascolto e manda indietro un acknowledgement (2)

6 L’arrivo dell’acknowledgement sblocca il client. A questo punto la connessione è stabilita.

Dopo la connessione

7 Il server esegue immediatamente una RECEIVE bloccando il processo server

8 Il client con una SEND fa la sua richiesta (pacchetto 3) e poi subito una RECEIVE per aspettare la replica

9 L'arrivo del pacchetto (3) di richiesta sblocca il processo server che può gestirla. Dopo l'elaborazione della richiesta il server usa SEND per mandare la risposta (4) al client

10 L'arrivo del pacchetto (4) sblocca il client

Dopo la connessione

11 Se il client ha altre richieste le può fare oppure manda un DISCONNECT (5). Solitamente di tipo blocking

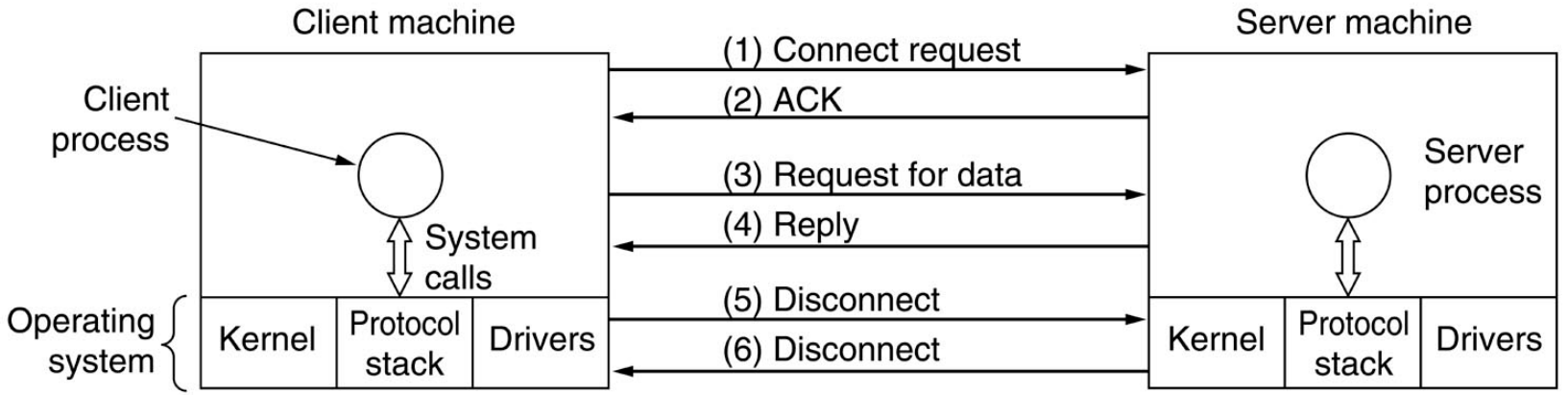
12 Il server riceve il pacchetto (5) e poi manda una DISCONNECT (6) e chiude la connessione.

13 Il client riceve il pacchetto (6) e sblocca il processo client

Cosa può andare storto

- Cosa può andare storto?

1. Timing sbagliato.
   - Es. CONNECT eseguita prima della LISTEN
2. Pacchetti che si perdono



E connectionless?

- Nell'esempio appena visto abbiamo usato **sei** pacchetti
- Se avessimo usato l'approccio **connectionless** sarebbero stati sufficienti solo **due** pacchetti!
- Buona soluzione in un mondo ideale. Ma invece di solito si usa connection oriented soprattutto in caso di:
  - **grandi messaggi in una delle due direzioni** (quindi i due pacchetti sono una minima parte del totale)
  - Linea soggetta a frequenti **errori di trasmissione**
  - Possibilità elevata di **perdita di pacchetti**
- Infatti sarebbe consigliabile non fare economia di pacchetti se vogliamo garantirci contro i problemi citati

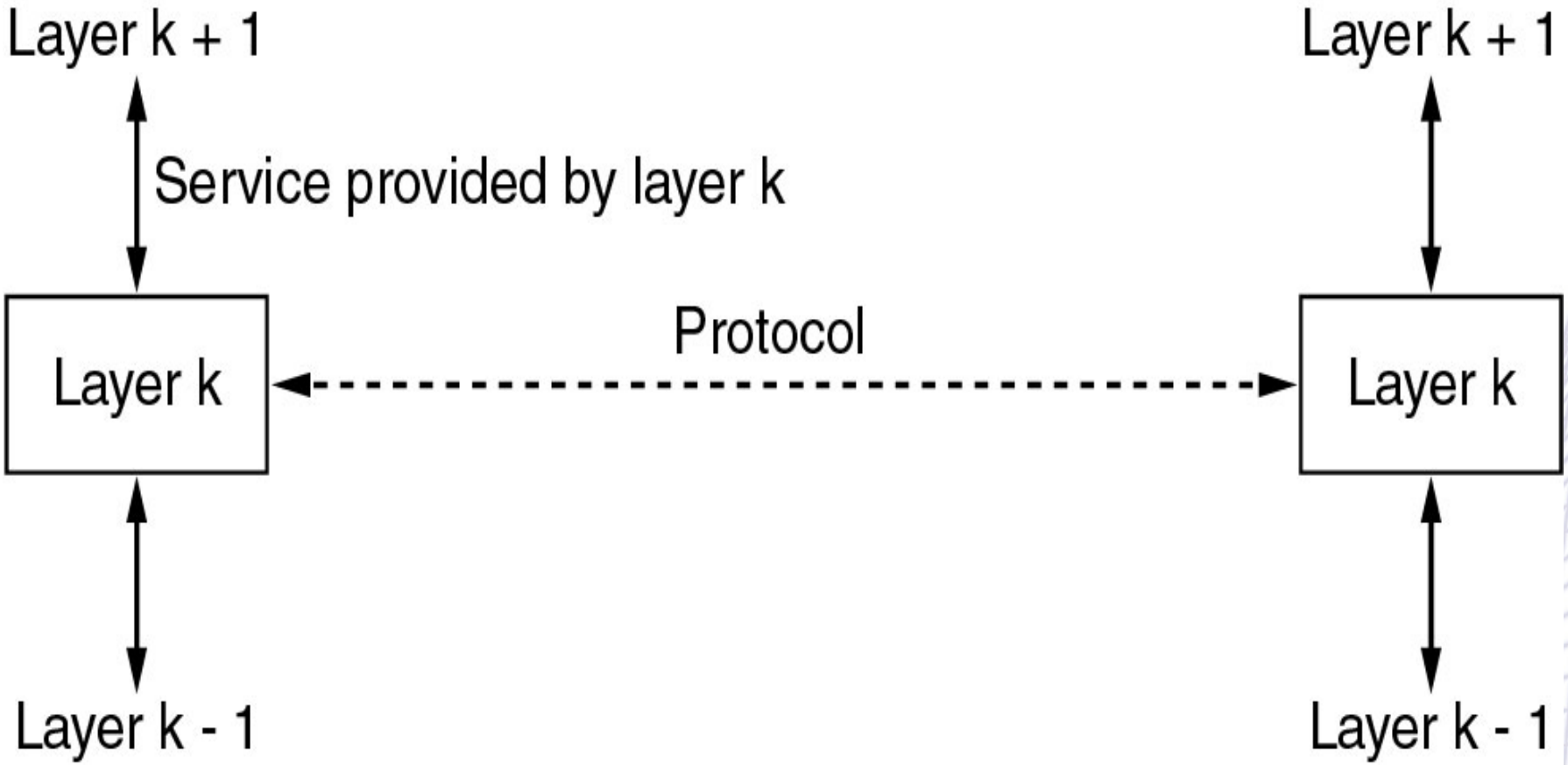
Servizi e Protocolli

- Non vanno confusi i due concetti:
  - **Servizi**: L'insieme di operazioni che un livello fornisce al livello superiore. Il servizio definisce **quali** operazioni il layer fornisce ai suoi utenti ma non specifica per nulla **come** queste operazioni sono implementare
  - **Protocolli**: Le regole che decidono il formato e il significato dei pacchetti e messaggi che si scambiano le "peer entities" all'interno del livello. Le entities possono liberamente cambiare il loro protocollo ma non possono cambiare i servizi visibili agli utenti

Servizi e Protocolli

- I servizi si riferiscono alle interfacce tra i layers
- I protocolli invece si riferiscono ai pacchetti che si mandano le peer entities nelle diverse macchine
- È come la differenza tra un abstract data type (o un oggetto) che specifica **quali** sono le operazioni possibili ma non **come** vengono implementate, mentre il protocollo specifica l'implementazione del servizio che non è visibile all'utente del servizio

Relazione servizi - protocolli



Ripasso matematica

- Le potenze di due
  - 2,4,8,16,32,64,128,256,512,1024
  - 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5, 2^6, 2^7, 2^8, 2^9, 2^{10}
  - 2^{10}=1K, 2^{16}=65536=64K
  - 2^{24}=16M, 2^{32}=4G
  - $2^{10} * 2^{10} = 2^{10+10} = 2^{20}$
  - $2 * 2^{10} = 2^{10+1} = 2^{11}$

Ripasso matematica

- Le conversioni di base
  - $1111_2 = F_{16} = 0xF = 15_{10}$
  - $1111\ 1111_2 = 0xFF = 255_{10}$
- Utili per le maschere degli indirizzi IP
  - 224_{10} = 1110 0000
  - 252_{10} = 1111 1100
  - 7_{10} = 0000 0111

Ripasso matematica

- Logaritmi
  - $Log_{10} 1\,000 = 3$
  - $Log_{10} 10\,000\,000 = 7$
  - $Log_2\ 4096 = 12$
  - $Log_2\ 8 = 3$

Ripasso Fisica

- Velocità = spazio/tempo
- Tempo = spazio/velocità
- Spazio = velocità * tempo
- Velocità luce nel vuoto = $3 * 10^8\ ms^{-1}$
- Velocità segnale in un cavo = 2/3 di $3* 10^8\ ms^{-1}$

Esempio Fisica

- Quanto ci mette un pacchetto per muoversi in un cavo lungo 1km?
- 10^3m / (2*10^8m/s) = 5 * 10^{-6} s = 5 μs
- Quanta strada percorre un fotone in un millisecondo?
- S = c * t = 3*10^8m/s * 10^{-3}s = 3*10^5 m = 300 km
- E in 1 ns?
- S = 3*10^8m/s * 10^{-9}s = 3*10^{-1} m = 30 cm

Tempi vs Hertz

- 1 Hz = 1 volta al secondo = 1 s^{-1}
- 1 kHz = 1000 volte al secondo = 10^{-3} s^{-1} quindi clock di 1 ms
- 1 MHz = 10^{6} volte al secondo = 10^{-6} s^{-1} quindi clock di 1 μs
- 1 GHz = 10^{9} volte al secondo = 10^{-9} s^{-1} quindi clock di 1 ns

Prestazioni

- Introduciamo la terminologia per definire senza ambiguità le prestazioni
- Bandwidth o Larghezza di banda
  - Unità di misura?
- Throughput
  - A quale velocità riesco a spedire i dati
- Latenza o Delay
  - Quanto tempo ci mette un messaggio per arrivare a destinazione (tempo di propagazione + tempo di tramissione + tempo di attesa + tempo di inoltro)

Bandwidth

- Due tipi di larghezza di banda – **Bandwidth**
- In Herz
  - Vedremo che rappresenta l'intervallo di frequenze contenute in un segnale
- In bit per secondo
  - Indica la velocità con cui possiamo spedire i bit sul canale (o sulla rete, utilizzando diversi canali)
- Relazione tra le due.
  - Un aumento della banda in Herz mi permette di aumentare la banda in bit/sec, dipende se trasmetto il segnale di base o un segnale modulato

Throughput

- Il Throughput **T** a prima vista equivale alla banda **B**
- Invece pur avendo un canale con banda **B** possiamo trasmettere solo **T bps** perché non riusciamo ad utilizzare tutta la banda
- Viene influenzato anche dalla capacità dei nodi di smistare i dati ma anche dal traffico della rete
- Es Ho una rete con **B=1000 Mbps** ma riesco a trasferire in media solo **120000 frame al minuto** e ogni frame contiene in media **10kbit**. Calcolare **T**
- T = (120000 fr/m x 10000 bit/fr) / 60 s = 20 Mbps quindi ho solo 1/50 della banda disponibile

Delay

- Latenza o Ritardo o Delay misura il tempo perché l'intero messaggio arrivi a destinazione
- Somma di quattro componenti
  - Propagation Delay (Tempo di Propagazione)
  - Trasmission Delay (Tempo di Trasmissione)
  - Queueing Delay (Tempo di Accodamento)
  - Forwarding Delay (Tempo di Inoltro)

Tempo di propagazione

- Misura il tempo necessario al segnale per viaggiare da mittente a destinatario
- Distanza / Velocità di propagazione del segnale
- Es. Calcolare tempo di propagazione tra due punti distanti 12000 km. Considerare la velocità di propagazione di $2.4 * 10^8$ m/s
- $T_{prop} = (12 * 10^6 \text{ m}) / 2.4 * 10^8 \text{ m/s} = 50\text{ms}$
- Quindi 1 bit ci mette circa 50 millisecondi ad attraversare l'Atlantico

Tempo di trasmissione

- Se spediamo tanti bit (un messaggio), il primo arriva dopo un tempo pari al tempo di propagazione.
- Non dobbiamo aspettare che il primo arrivi per spedirli tutti, li spediamo tutti in sequenza
- Il tempo per mettere tutti i bit sul canale è detto tempo di trasmissione = dimensione del messaggio / larghezza di banda
- Es Calcolare tempi di propagazione e trasmissione di un email di 2.5 KB in una rete a 1Gbps, assumendo distanza 12000 km e velocità di propagazione $2.4 * 10^8$ m/s
- T_{prop} calcolato nella slide precedente 50 ms
- $T_{trasm} = 2500 * 8$ b / 10^9 bps = $20 * 10^3 / 10^9 = 0.02$ ms

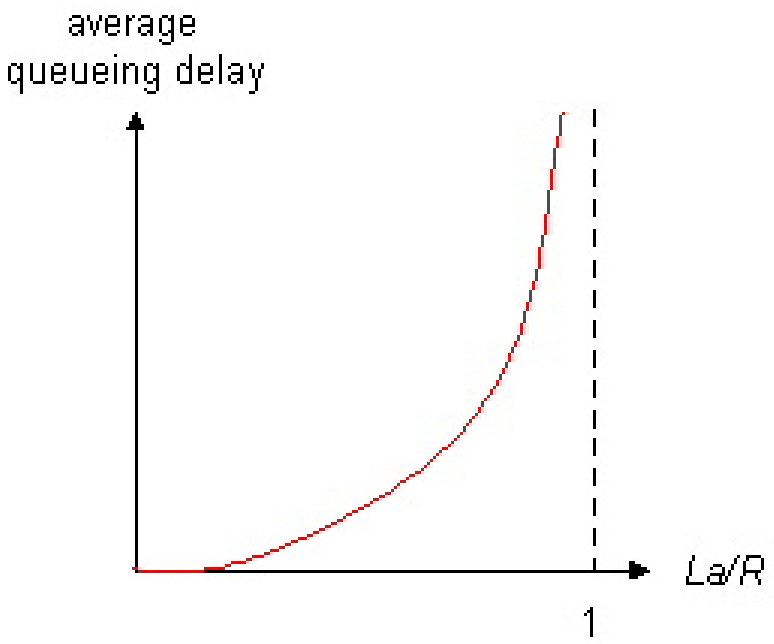
Queueing e Forwarding

- Il tempo di attesa nelle code dei nodi intermedi (o comunque in quello di destinazione)
  - Dipende dal carico delle rete. Un dispositivo intermedio, per esempio un router, deve accodare i messaggi per poterli inoltrare. Se ci sono molti messaggi in attesa ogni messaggio avrà un T_Q delay molto elevato
- Tempo di forwarding.
  - T_F Dipende dalla velocità di elaborazione del router (che deve per esempio fare bit error checking e trovare la porta di uscita). Non dipende dal traffico della rete ma dalle caratteristiche hw dei nodi intermedi

Queueing delay

- R=link bandwidth (bps)
- L=packet length (bits)
- a=average packet arrival rate

Intensità del traffico = La/R



- La/R ~ 0: **delay medio** è **basso**
- La/R → 1: **delay** diventa **grande**
- La/R > 1: arrivano più pacchetti di quanti possano essere elaborati, **delay medio infinito**!