

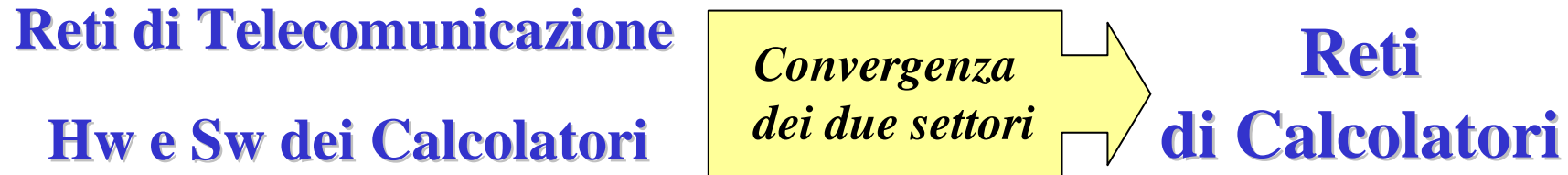
Reti di Calcolatori: nozioni generali il modello a livelli

Percorso di Preparazione agli Studi di Ingegneria

Università degli Studi di Brescia

Docente: Massimiliano Giacomini

DEFINIZIONE e FUNZIONI



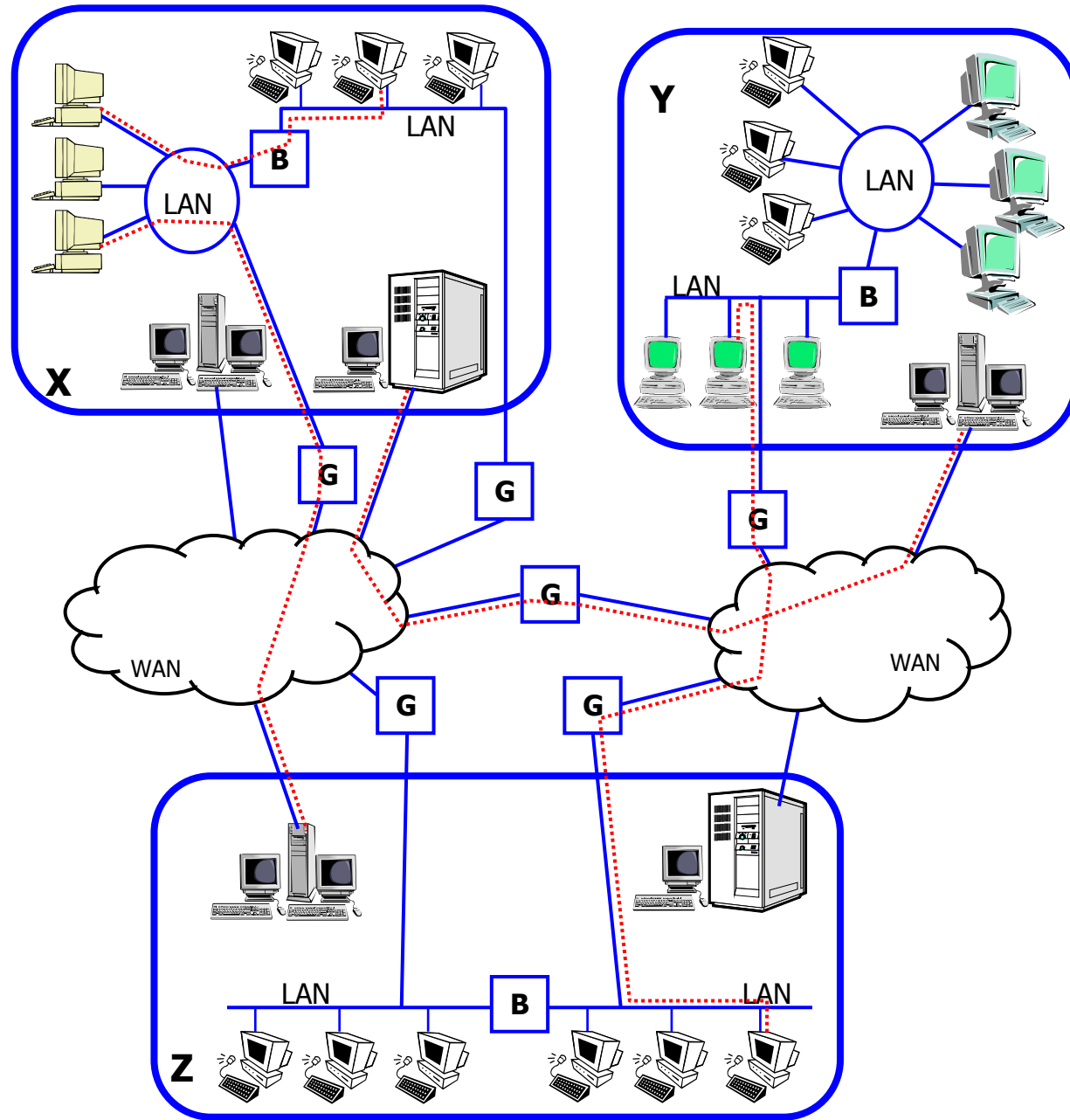
Rete di calcolatori: insieme di calcolatori tra loro collegati mediante una rete di telecomunicazione

ALCUNE FUNZIONI

- Condivisione di risorse (dati, programmi, hardware)
- Comunicazione (e-mail, videoconferenze, lavoro collaborativo...)
- Supporto all'affidabilità dei sistemi
- Accesso ad informazioni e servizi remoti

NOZIONI GENERALI SULLE RETI

LAN, WAN e internet



Commenti al lucido precedente

- *Rete*: insieme di nodi collegati da archi.

Nelle reti di calcolatori i nodi sono calcolatori, gli archi sono canali di comunicazione (mezzi trasmissivi diversi)

- *internet*: rete di reti (net) interconnesse.

NB: da non confondere con Internet (che è una internet)

- Classificazione delle reti secondo diverse dimensioni, tra cui:

- *estensione geografica*

- *modalità di collegamento*

- > broadcast

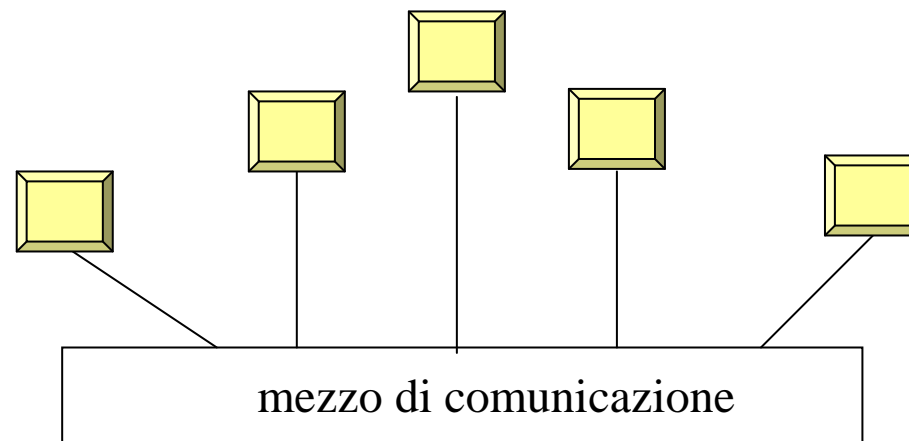
- > punto-a-punto

ESTENSIONE GEOGRAFICA

- Local Area Network (**LAN**) – *reti locali*
 - circoscritte ad un edificio o a edifici adiacenti, di proprietà di una sola organizzazione, affidabili, economiche e con elevate prestazioni
- Metropolitan Area Network (**MAN**) – *reti metropolitane*
- Wide Area Network (**WAN**) – *reti geografiche*
 - connessioni su scala nazionale e internazionale, minori prestazioni (spesso tangibili) rispetto alle LAN
- Internetwork (o internet) – *reti di reti*
 - distribuite su tutto il pianeta, ad esempio *Internet*, collegamento tra reti geografiche di operatori diversi

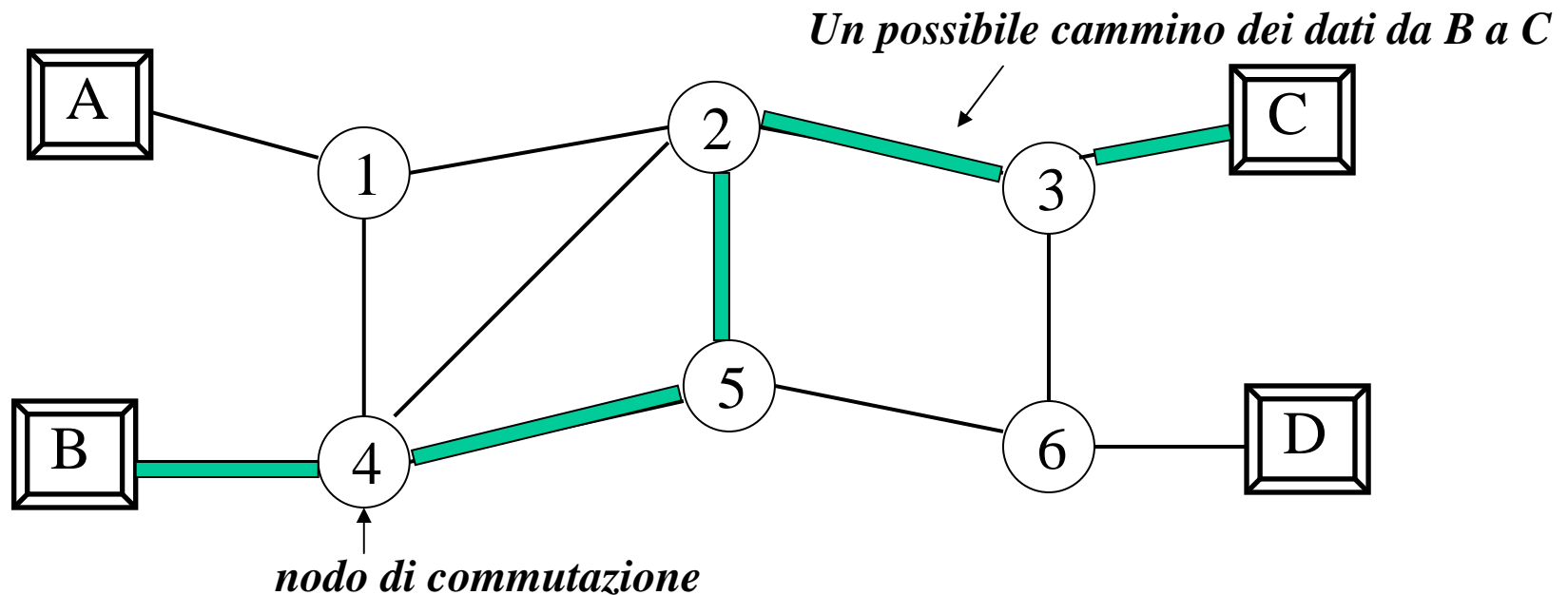
Modalità di collegamento “broadcast”

- **Reti broadcast:** unico mezzo di trasmissione condiviso da tutti i nodi:
 - Per comunicare con un nodo occorre inviare un messaggio contenente il suo “indirizzo”
 - il messaggio raggiunge tutti i nodi della rete
 - soltanto il nodo il cui indirizzo è uguale a quello nel messaggio lo recepisce effettivamente



Modalità di collegamento “punto-a-punto”

- **Reti commutate**: dati immessi nella rete da un calcolatore e instradati fino a destinazione attraverso nodi di commutazione intermedi



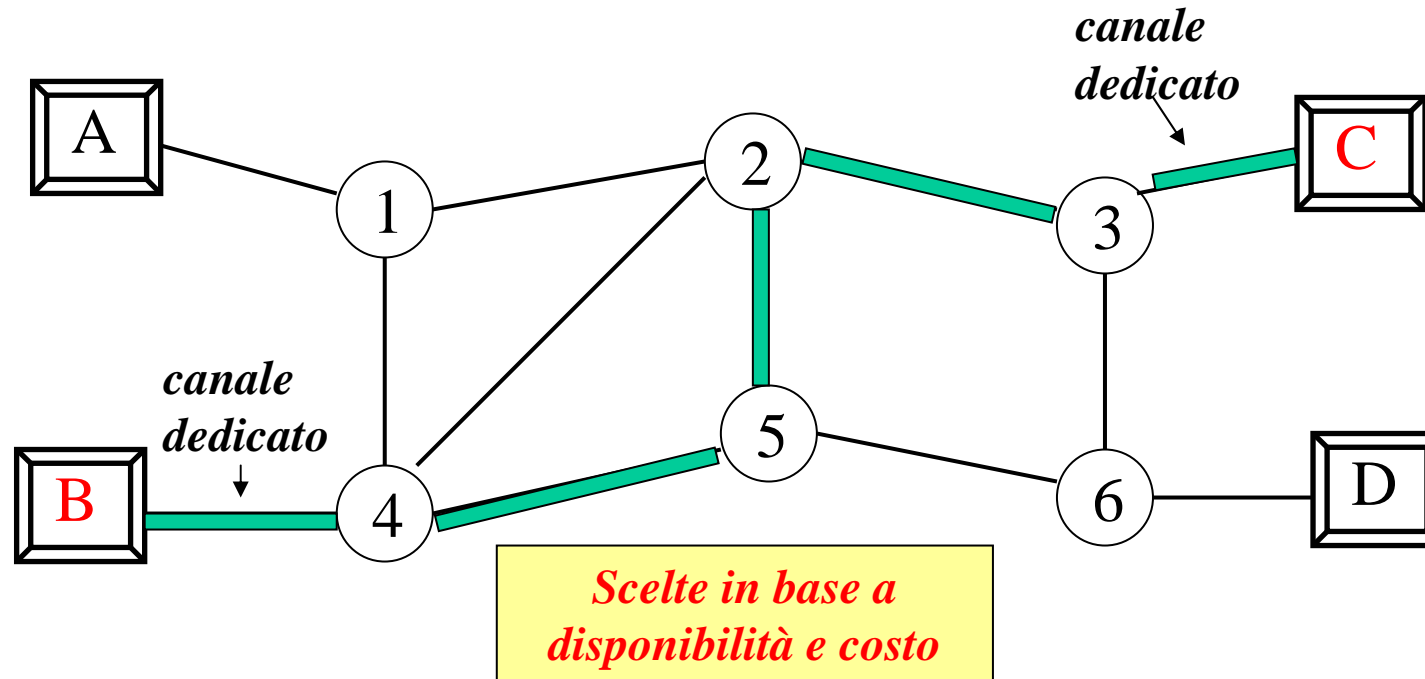
Commenti al lucido precedente

- Nelle *reti punto-a-punto* (commutate) sono presenti più linee di comunicazione, ciascuna connette una coppia di nodi
- E' costoso connettere tutte le possibili coppie di nodi con canali dedicati \Rightarrow solo alcune coppie di nodi sono connesse direttamente e alcuni nodi della rete sono dedicati allo *smistamento dei messaggi*
- Fra una coppia di nodi possono esistere più percorsi

Strategie di instradamento sulle reti commutate

- Reti a commutazione *di circuito*
 - Viene creato un “circuito logico” fra sorgente e destinazione
 - Tutti i dati seguono lo stesso percorso
- Reti a commutazione *di pacchetto*
 - Il messaggio è suddiviso in pacchetti
 - Ogni pacchetto può seguire un percorso diverso

Reti a commutazione di circuito

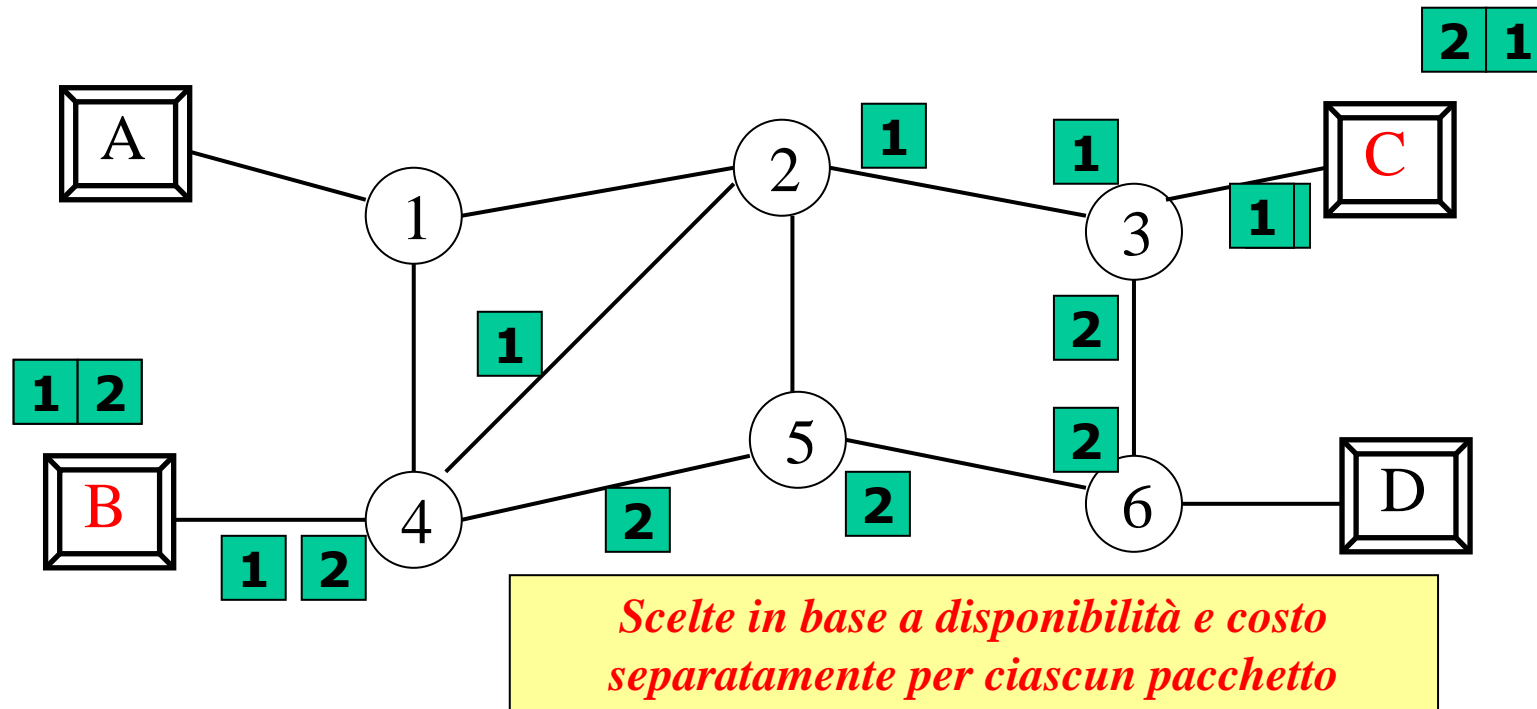


NB: Tecnica efficiente per comunicazioni telefoniche, non efficiente per trasmissione dati tra calcolatori: periodi di trasmissione si alternano a periodi di inattività

Commenti al lucido precedente

- Creazione di un *canale logico* dedicato fra sorgente e destinazione
- Il canale logico è costituito da una successione di connessioni fra nodi della rete
- A ogni nodo i dati sono instradati lungo il canale predisposto in uscita senza ritardi dovuti a code
- Trasmissione costituita da
 - 1: *Fase di attivazione (setup)*: viene stabilito il cammino fra sorgente e destinazione
 - 2: *Fase di trasferimento dati*
 - 3: *Fase di chiusura* della comunicazione

Reti a commutazione di pacchetto



Vantaggi e svantaggi

- Migliore utilizzo delle risorse
- Maggiore robustezza rispetto ai guasti
- Minore prevedibilità, rischio di intasamenti
- Necessità di riordino dei pacchetti da parte del destinatario

Commenti al lucido precedente

- Il **messaggio** da trasmettere è suddiviso in una serie di *pacchetti* di dati di dimensioni ridotte (dell'ordine dei Kbyte)
- Ogni pacchetto contiene:
 - Dati
 - Informazioni di controllo fra cui **indirizzo** del destinatario e un **numero progressivo**
- I pacchetti vengono spediti uno alla volta sulla rete
- Quando un nodo riceve un pacchetto lo memorizza e lo accoda per poterlo trasmettere al più presto
- Ciascun pacchetto può seguire un percorso diverso
- L'ordine di arrivo può essere diverso da quello di partenza

CARATTERISTICHE DELLE LAN vs WAN

LAN

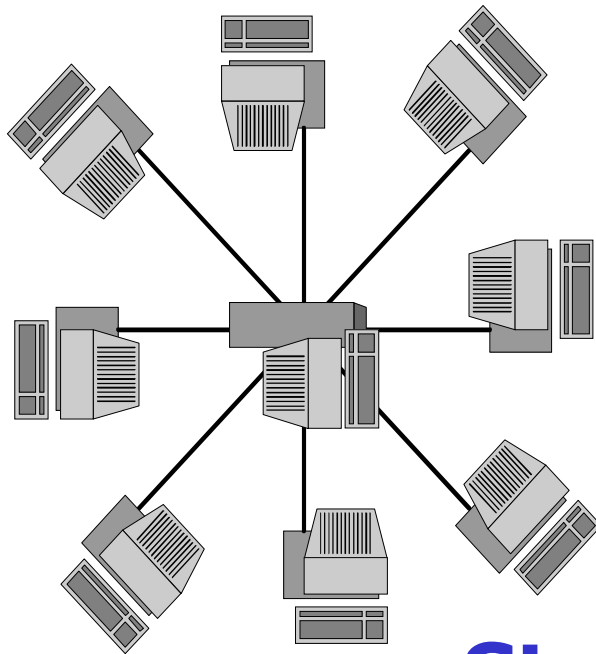
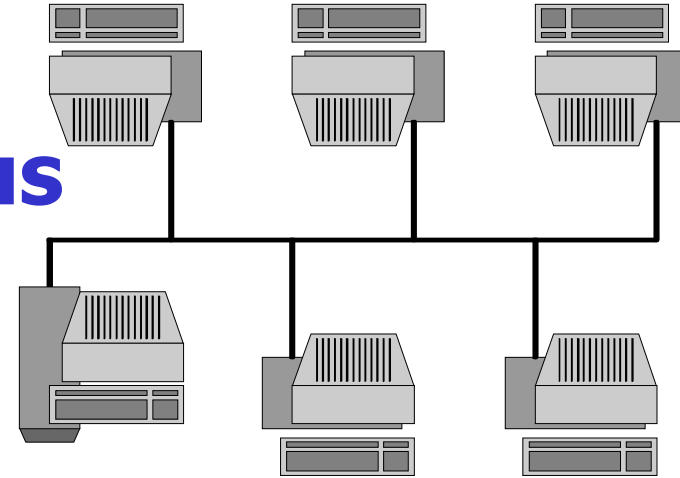
- *Mezzi di trasmissione utilizzati*
 - doppino, cavo coassiale, fibra ottica, wireless...
- *Topologia*
 - Struttura e numero dell'insieme di connessioni
- *Metodi di accesso* ai mezzi di trasmissione

WAN

- Reti punto-a-punto
- Topologia irregolare

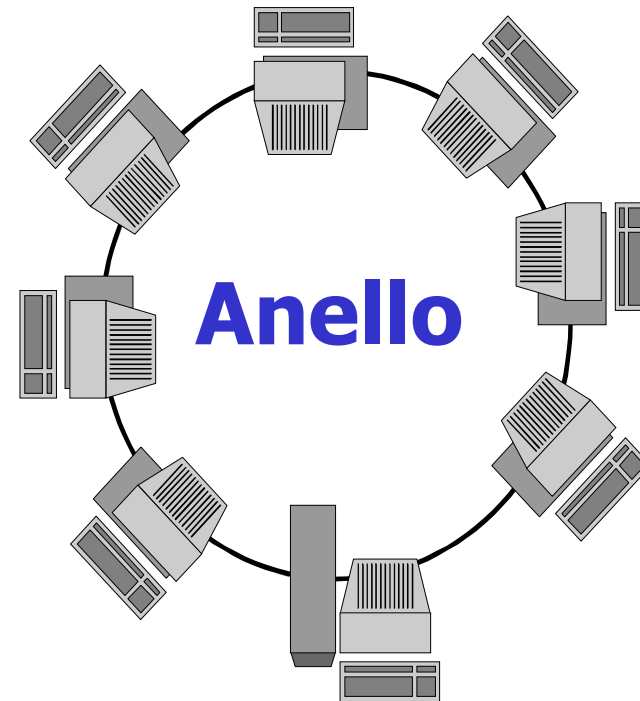
Diverse topologie di rete locale

Bus



Stella

Anello



Un caso particolare: LAN senza fili (wireless)

- *Reti Wi-Fi* (Wireless Fidelity)
- Le stazioni comunicano tramite segnali radio trasmessi da e verso una stazione centrale (*access point*) collegata tipicamente ad una rete cablata
- Una rete wireless consente per esempio di spostare un computer portatile all'interno di un edificio, eliminando il problema di installare cavi in vecchi edifici
- Tipicamente minori prestazioni e minore affidabilità rispetto a una rete cablata

IL MODELLO A LIVELLI

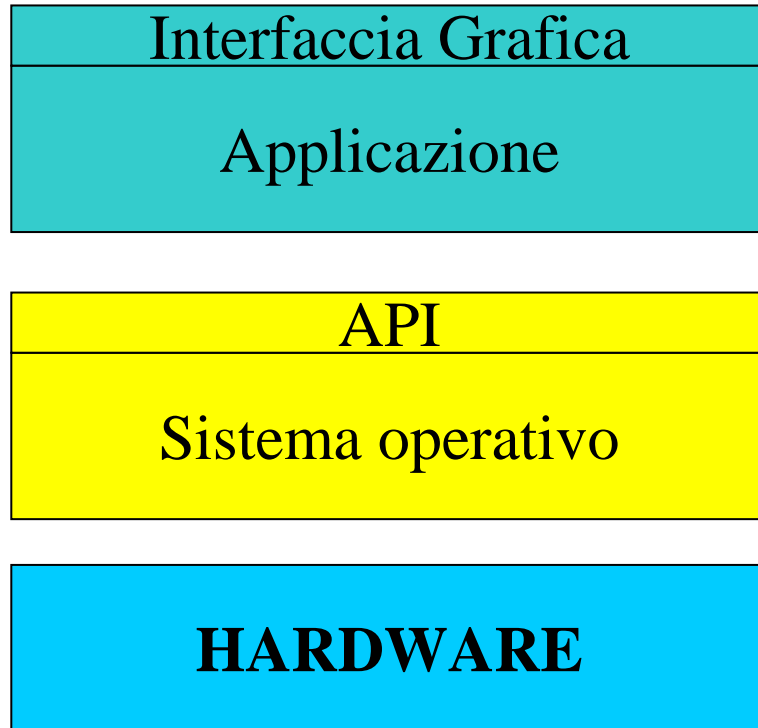
Comunicazione in rete: i problemi

- Esempio: applicazione per scambio messaggi di testo tra due utenti
 - Il calcolatore A su cui gira l'applicazione del mittente deve inviare pacchetti al calcolatore B su cui gira l'applicazione del destinatario (*indirizzo univoco*)
 - Lungo il percorso possono esserci *diversi sistemi di comunicazione* che possono usare diversi mezzi di trasmissione e dar luogo a errori di trasmissione
 - I pacchetti possono fare *percorsi diversi* e arrivare in un ordine diverso
 - I pacchetti inviati al calcolatore B devono essere *recapitati all'applicazione a cui sono destinati*
- E' impossibile delegare la risoluzione alle applicazioni:
 - La complessità delle applicazioni aumenterebbe (necessario risolvere problemi di gestione della rete)
 - Soluzioni ad hoc, incompatibilità tra applicazioni diverse e tra applicazioni e infrastrutture di rete

Il modello a livelli

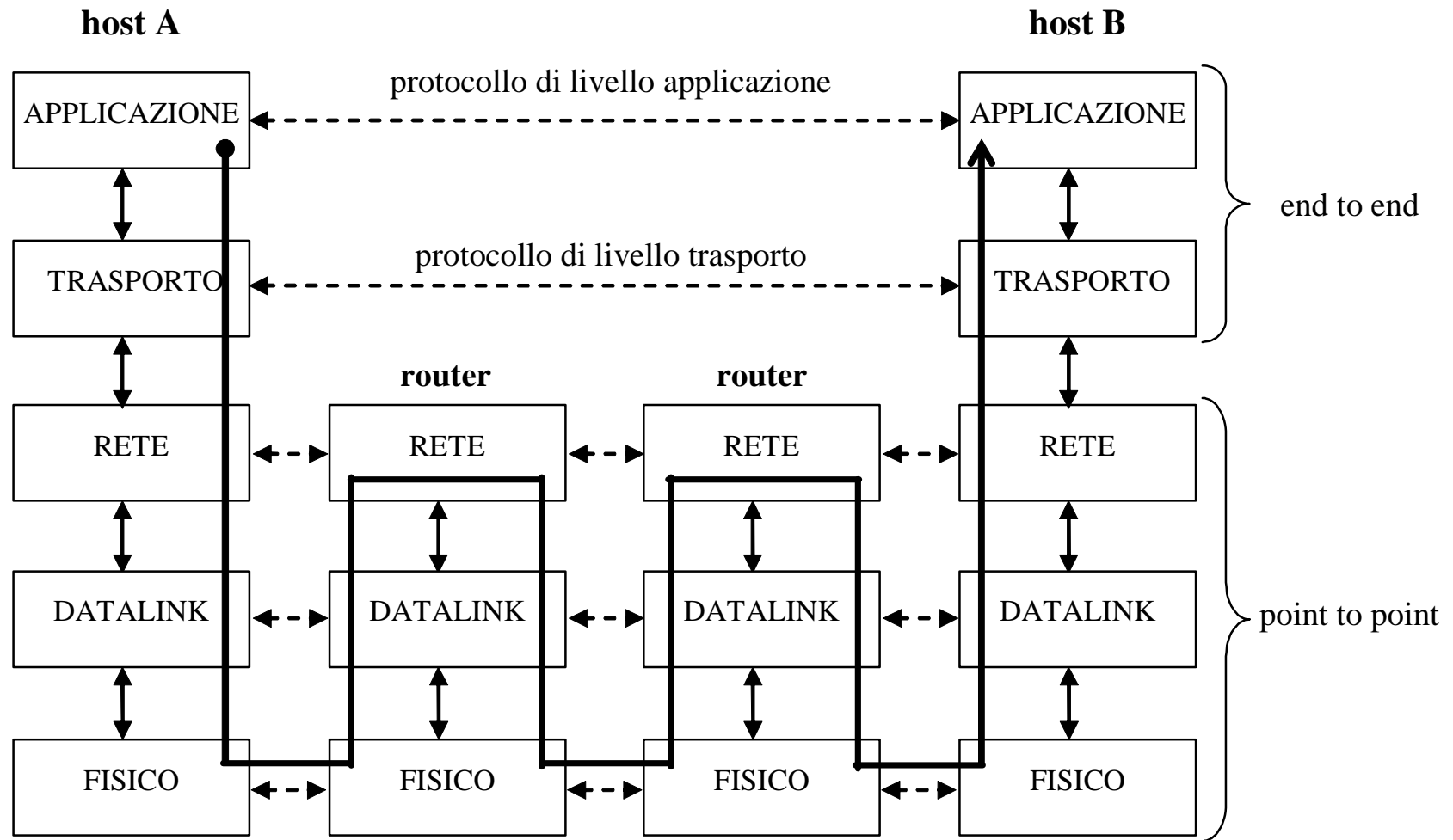
- Per risolvere i problemi suddetti le reti di calcolatori vengono organizzate secondo un'*architettura a livelli*
- In pratica, si utilizzano diverse macchine virtuali (cfr. sistema operativo), solo che adesso i livelli interessano più calcolatori:
 - Ciascun livello definisce un particolare aspetto della comunicazione a un certo livello di astrazione
 - Ciascun livello *fornisce servizi* al livello immediatamente superiore, mascherando il modo in cui questi sono realizzati
 - A tale scopo, ciascun livello *sfrutta a sua volta i servizi* forniti dal livello inferiore (eccetto il livello più basso)
 - Ogni livello è caratterizzato dalla sua *interfaccia* verso il livello superiore

Il calcolatore “isolato” visto come successione di macchine virtuali



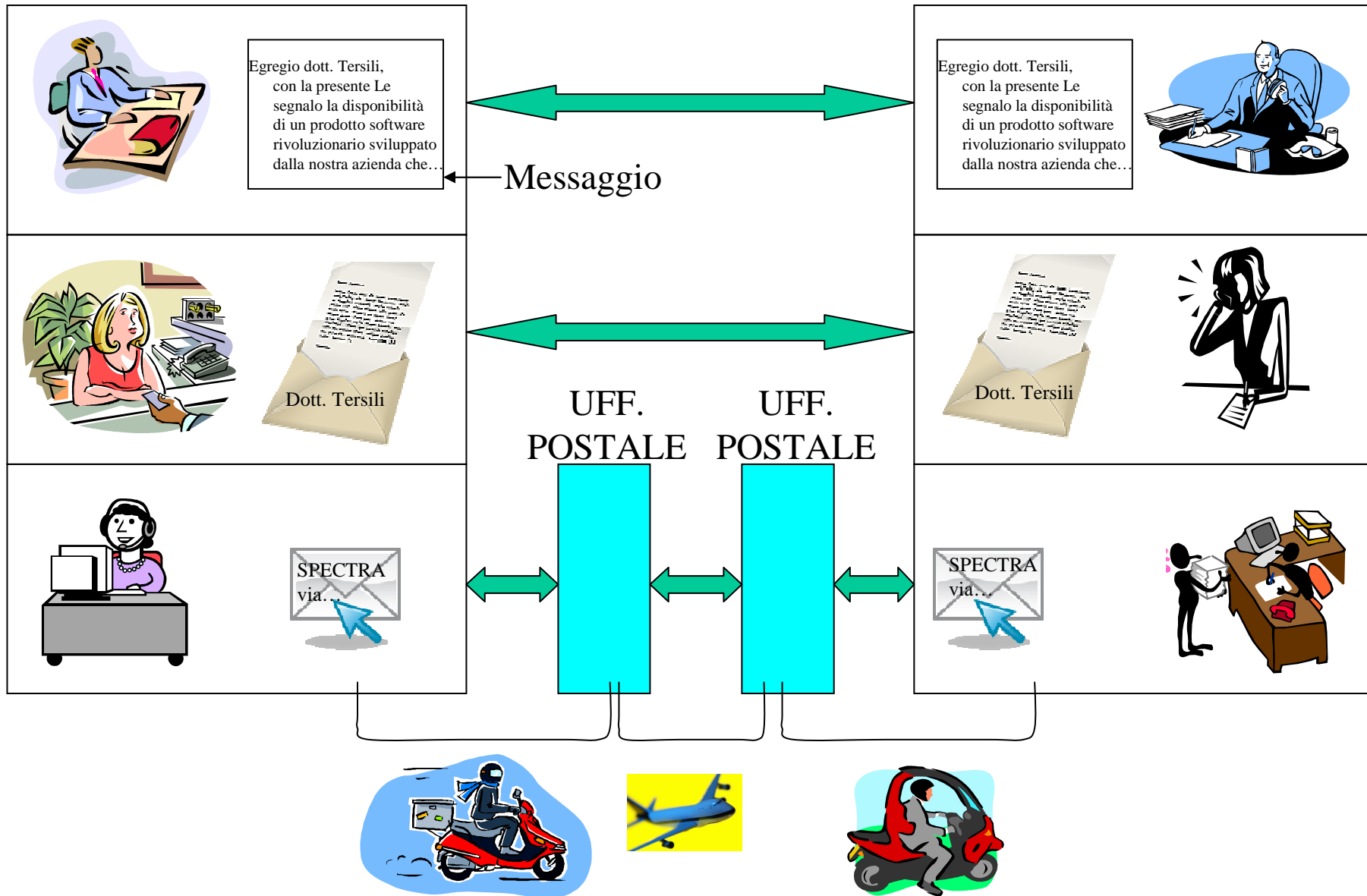
- Ogni macchina virtuale offre “servizi” alla macchina di livello superiore
- Ogni macchina virtuale ha:
 - interfaccia
 - corpo

Il calcolatore in rete: esempio di modello a livelli

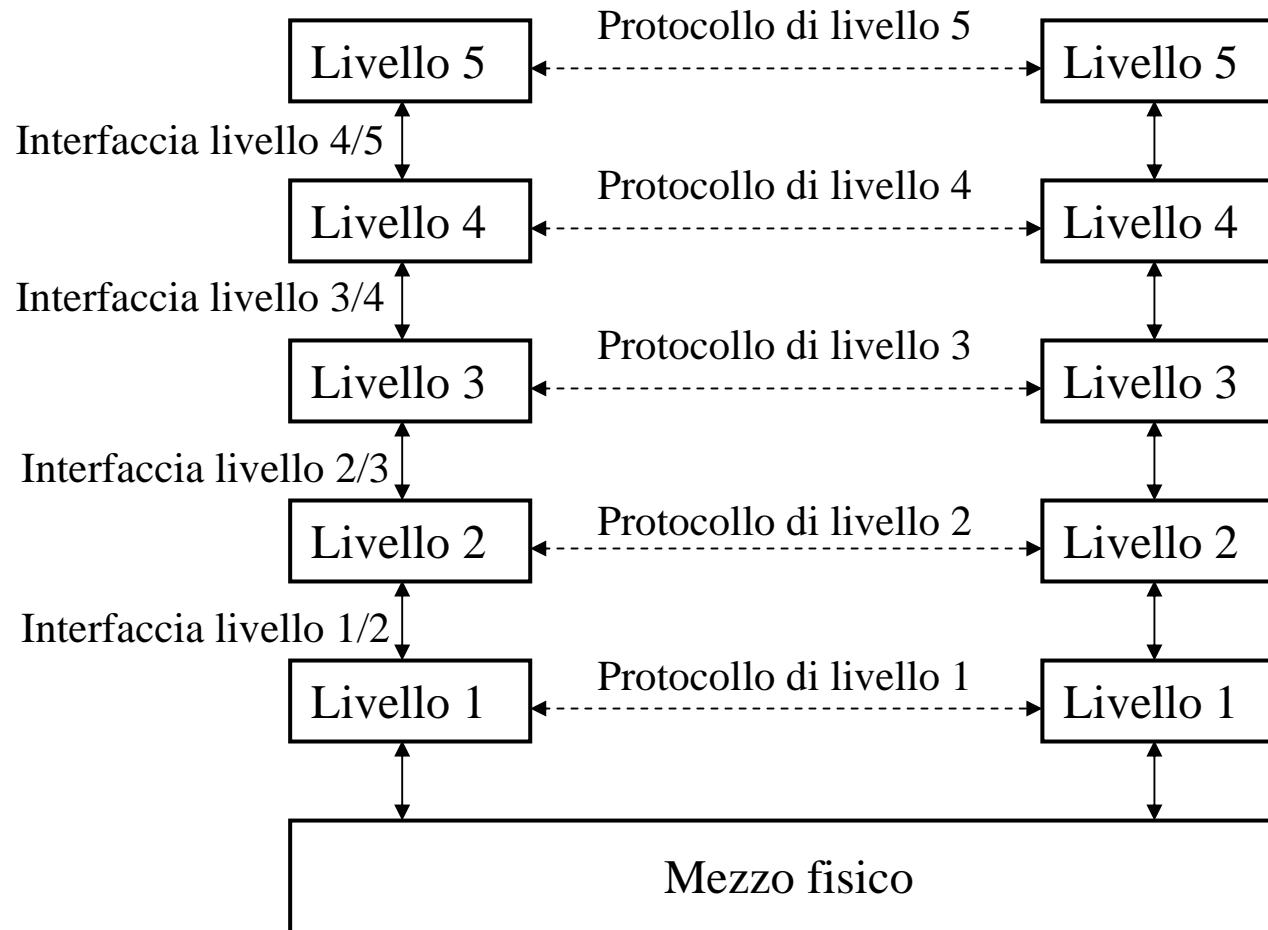


Scopo della lezione è... capirlo!

Una illustrazione attraverso la “metafora dei dirigenti d’azienda”



- Ad ogni livello i sono presenti due entità, dette **peer**, che realizzano il servizio di competenza del livello i (a beneficio del livello superiore $i+1$)
- Le entità realizzano il servizio interagendo tra loro (scambio di pacchetti – o entità dati – del livello i).
- **Protocollo di comunicazione (del livello i)**: insieme di **regole** con cui le entità devono comunicare. Specifica fra l'altro:
 - la **struttura dei pacchetti** (inclusa definizione delle informazioni di controllo)
 - le **modalità** che regolano il dialogo
- Tipologie di servizi offerti da un livello:
 - Connection oriented vs. Connectionless
 - Reliable vs. Unreliable
- Per utilizzare un servizio, è necessario conoscere solo l'interfaccia del livello corrispondente
 - ⇒ indipendenza tra i livelli!
 - (es. indipendenza dal mezzo fisico utilizzato!)



Architettura di rete:

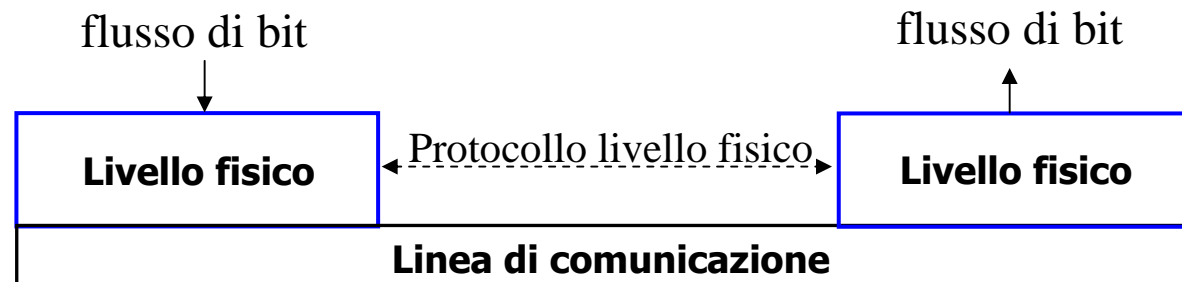
- stabilisce l'insieme dei livelli + i relativi protocolli
- Esempi: ISO/OSI, **TCP/IP**

TCP/IP

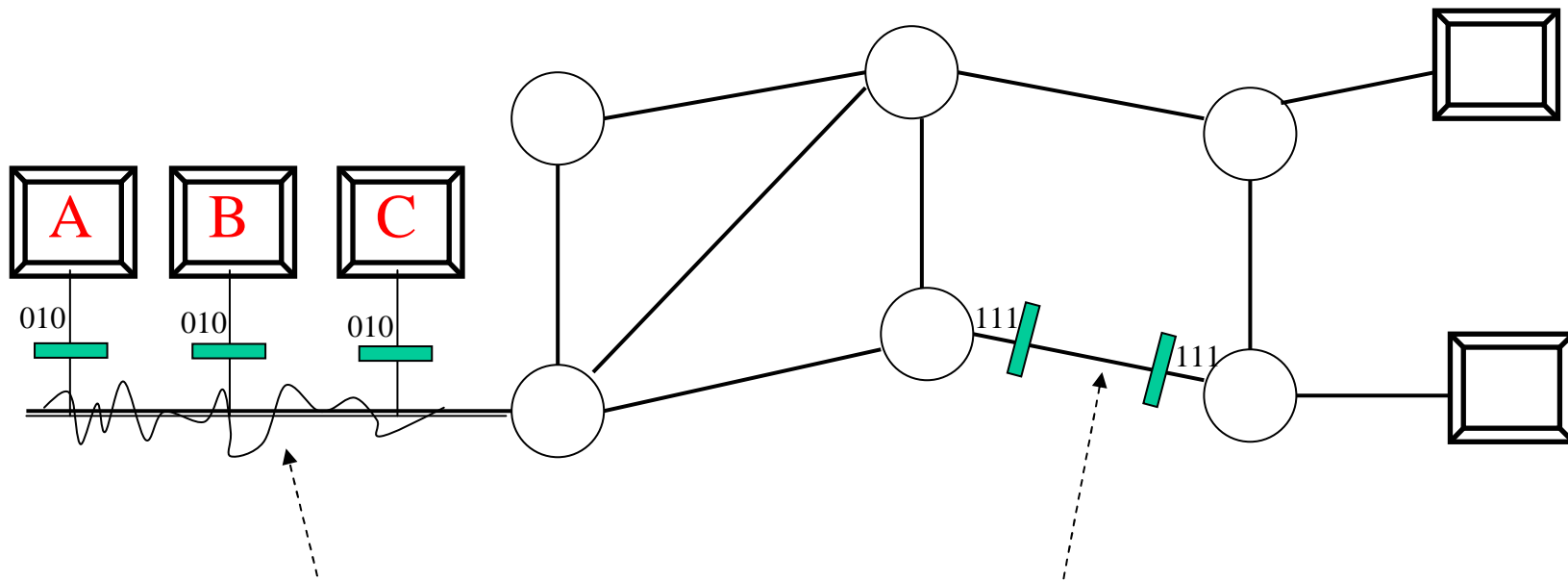
- E' il modello adottato nella rete *Internet*
- Insieme di protocolli basato su
 - **TCP** (*Transmission Control Protocol*)
 - **IP** (*Internet Protocol*)
- Successo commerciale di TCP/IP: affidabilità, efficienza, è diventato uno standard di fatto
- TCP/IP è impostato su *un'architettura a cinque livelli*. Nel seguito vengono esaminati “partendo dal basso”

Livello fisico

- Servizio realizzato: trasmissione e ricezione di un *flusso di bit* attraverso una determinata linea di comunicazione.
- Realizzato nella *scheda di rete* del calcolatore (ev. *modem*) + *mezzo di trasmissione* (cavo coassiale, doppino, fibra ottica o canale radio)
- Protocollo di comunicazione: riguarda caratteristiche quali *codifica dei dati trasmessi, frequenza di trasmissione e specifica interfacce*
- Determina (insieme alle caratteristiche fisiche della linea): velocità di trasmissione, ritardo di propagazione, tasso di errore



LIVELLO FISICO: UNA VISIONE DI INSIEME



Livello fisico: segnali che arrivano a tutti i calcolatori e permettono di trasportare "bit"

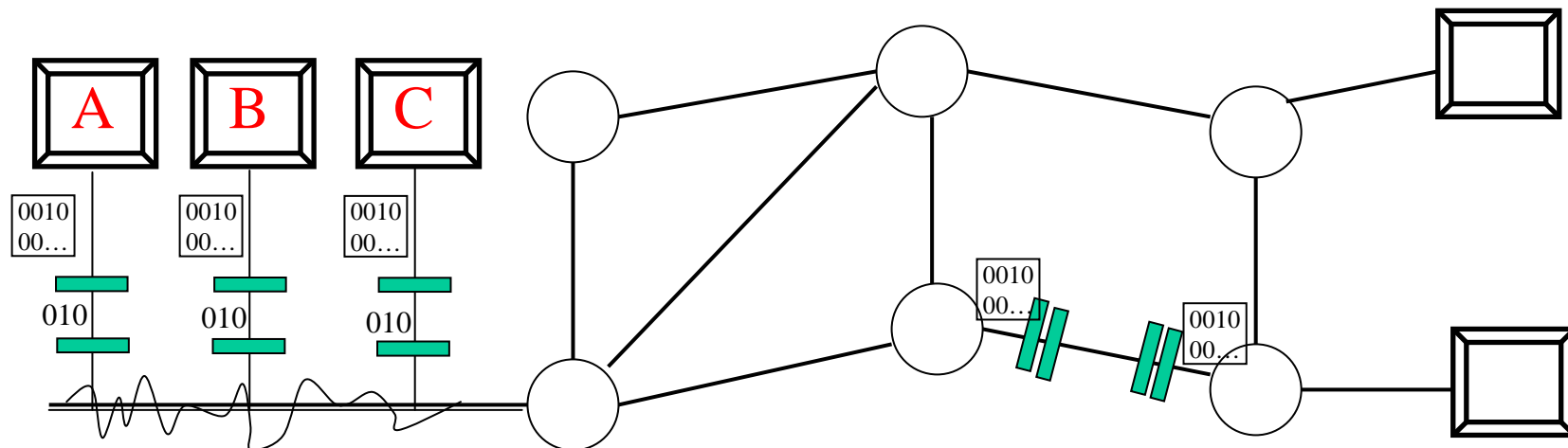
Livello fisico: permette lo scambio di "bit" tra i calcolatori

Un caso particolare: il modem

- Dispositivo che permette di trasferire dati attraverso la *linea telefonica*: effettua la conversione tra la modalità di codifica digitale adottata all'interno del calcolatore e la modalità di codifica richiesta dalla linea telefonica
- A seconda della codifica (per sfruttare la banda messa a disposizione dal doppino telefonico) diverse prestazioni:
 - Modem “classico”: *velocità di trasmissione* dei dati fino a 56Kbit/s
 - Modem **xDSL** (Digital Subscriber Loop): fino a qualche Mbit/s
 - **ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)**: velocità di download (teorica fino a 9Mbit/s) maggiore di quella di upload (teorica fino a 640kbit/s). Oggi anche ADSL2 e ADSL2+ con velocità di download fino a 24 Mbit/s e di upload fino a 3.5 Mbit/s

Livello data link

- Servizio realizzato: trasporto di *datagrammi* (unità del livello di rete) tra due nodi collegati da una determinata linea di comunicazione
- Mentre il livello fisico trasporta un flusso di bit, il livello datalink permette di spedire datagrammi (che hanno un inizio e una fine) ad uno specifico calcolatore direttamente collegato

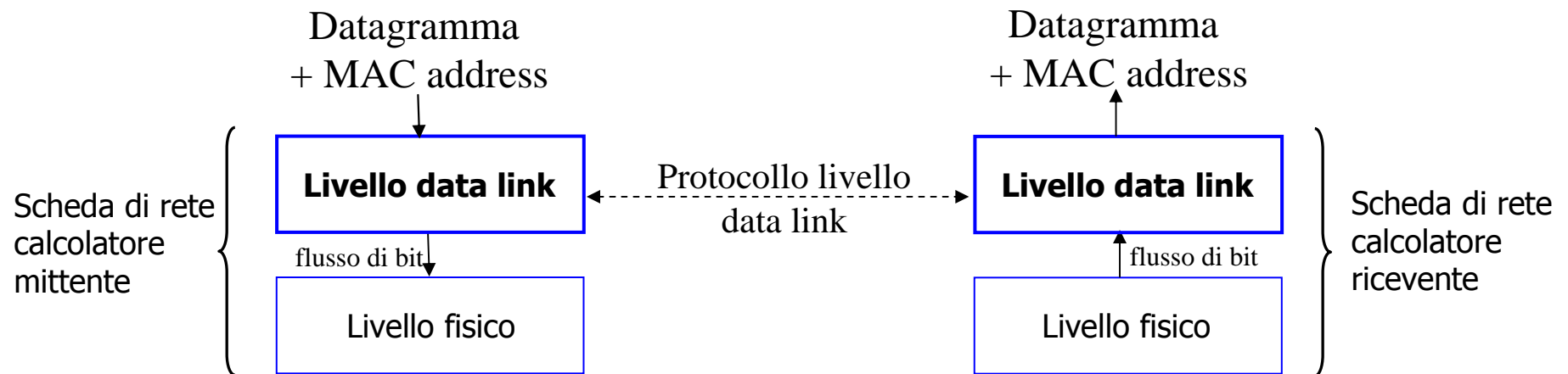


Livello data link

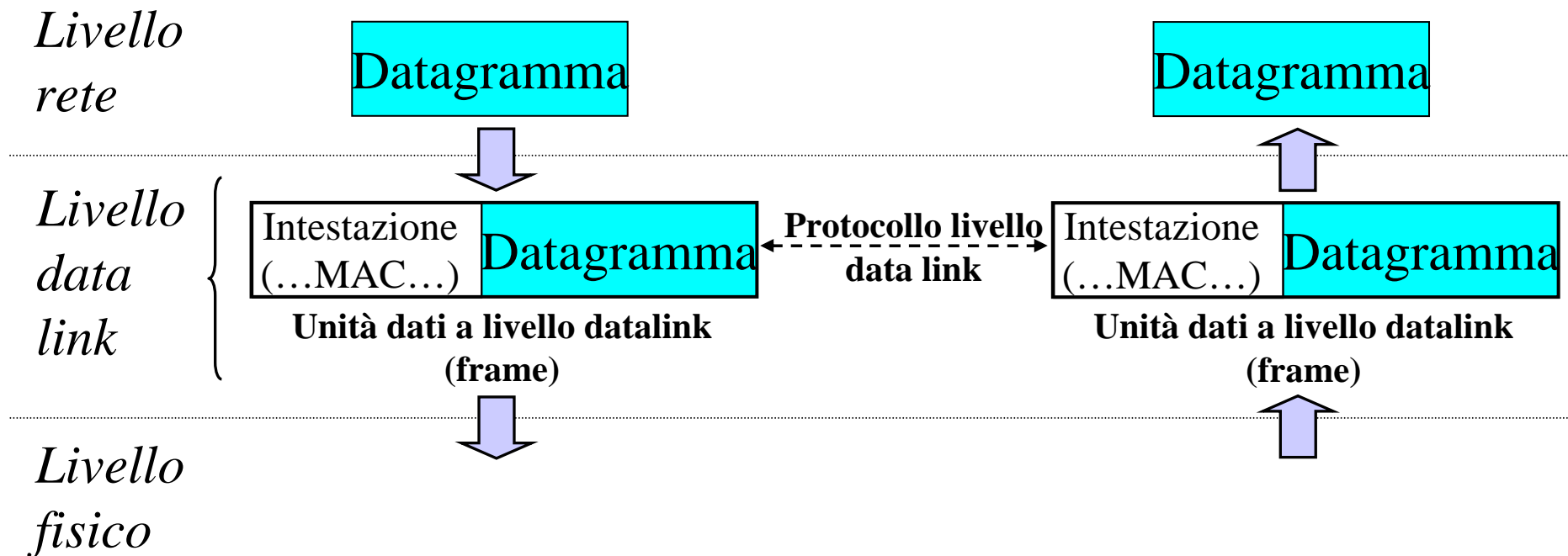
- Realizzato nella scheda di rete del calcolatore
- Il protocollo adottato dipende dal servizio che si intende realizzare (es. affidabile vs. inaffidabile), dal mezzo trasmissivo e dalla linea

IL CASO DI LINEA BROADCAST (RETE ETHERNET)

Ogni nodo è identificato dall'*indirizzo MAC* (Media Access Control)
– identificativo numerico a 48 bit scritto nella ROM della scheda di rete

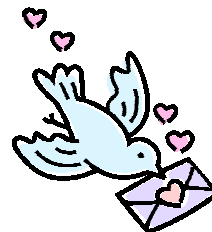
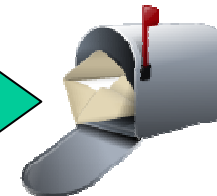
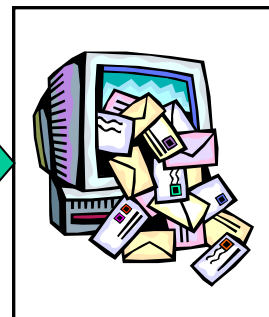
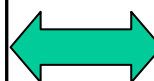
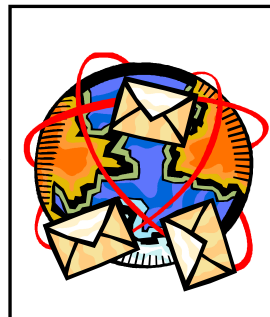
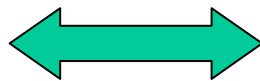


- Realizzazione del servizio:
 - A partire dal datagramma da spedire e l'indirizzo MAC di destinazione: creazione di un *frame* la cui intestazione (header) include il MAC
 - Trasmissione del frame attraverso il livello fisico
 - All'arrivo: esame del MAC, se non coincide con quello della scheda di rete il frame non viene considerato, altrimenti viene estratto il datagramma e passato al livello superiore (di rete)



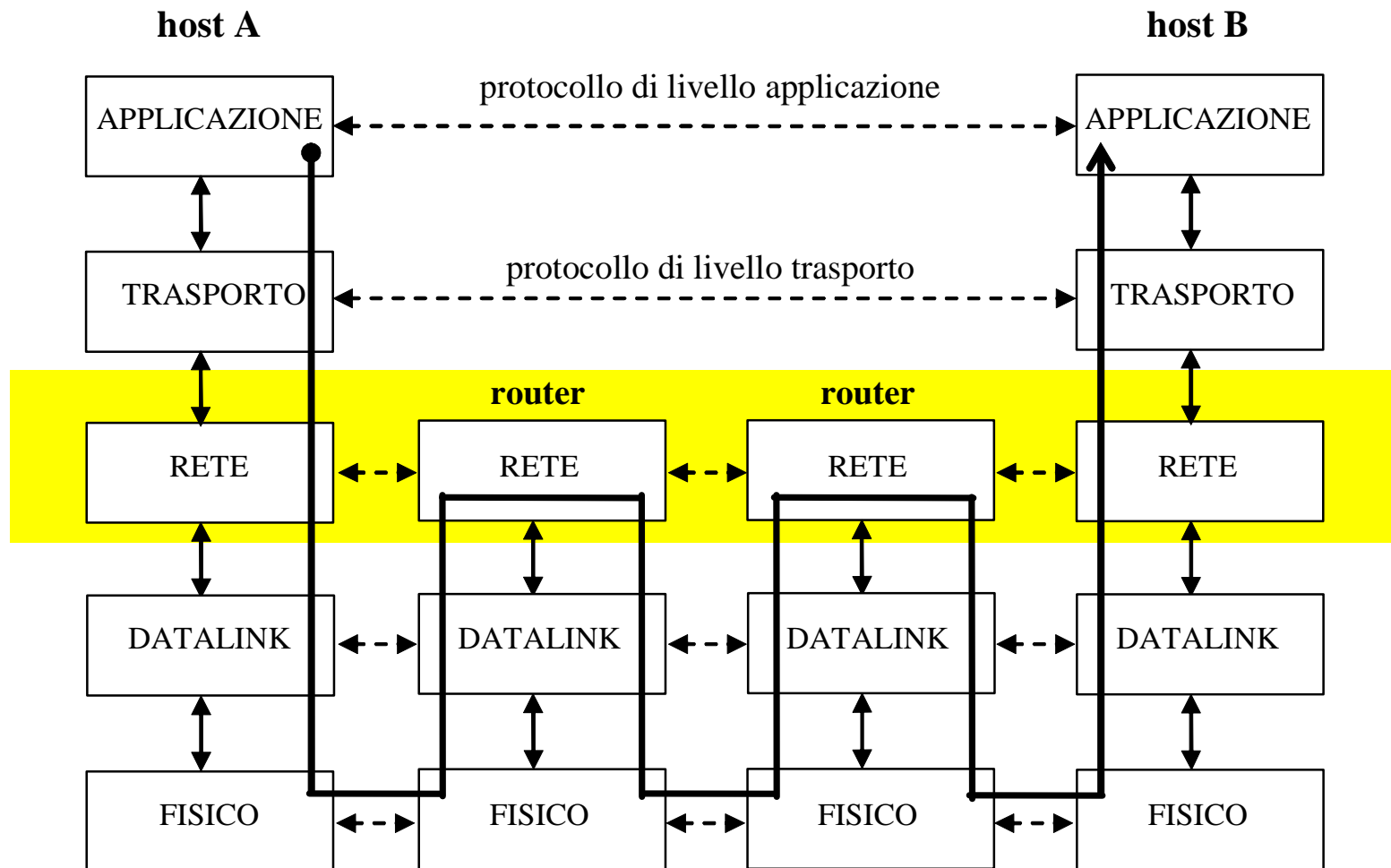
- Il protocollo di livello datalink specifica la struttura dei frame e le azioni per inviarli e riceverli
- Il protocollo a livello data link deve risolvere una serie di problemi, tra cui:
 - Riconoscimento inizio e fine dei frame (tramite intestazione)
 - Rivelazione/Correzione di errori (tramite opportune tecniche di codifica)
 - Sincronizzazione velocità trasmittente/ricevente (controllo di flusso)
 - Per le linee broadcast, implementazione del protocollo di accesso al mezzo (es. CSMA/CD)

Livello rete vs. data-link UN PARAGONE



Livello rete

- Servizio realizzato: servizio di *comunicazione fra host*, ovvero trasporto di *segmenti* (consegnati dal livello trasporto) da un host sorgente a un host destinazione, eventualmente attraverso uno o più router
- Per fornire questo servizio, si occupa della determinazione del percorso e lo smistamento dei pacchetti lungo la rete (mascheramento del problema dell'*instradamento*)
- Il livello rete è parte del sistema operativo



**PROBLEMA:
COME IDENTIFICARE I NODI A LIVELLO GLOBALE?**

Indirizzi IP

- A questo livello i *nodi della rete* sono identificati dagli *indirizzi IP*
- Per ogni calcolatore, il suo indirizzo è contenuto in un file di configurazione del sistema operativo (o comunque memorizzato via sw) ed è indipendente dalla scheda di rete utilizzata: identifica il nodo *a livello globale*
- L'unicità degli indirizzi IP è assicurata da un'autorità centrale:
 - ogni volta che viene installata una nuova rete locale è necessario richiedere all'autorità centrale un nuovo insieme di indirizzi
 - nella pratica possono essere richiesti a un fornitore di servizi Internet (Internet Service Provider): un'azienda privata o pubblica che offre connettività alla rete a terze parti (aziende, enti pubblici, privati cittadini)

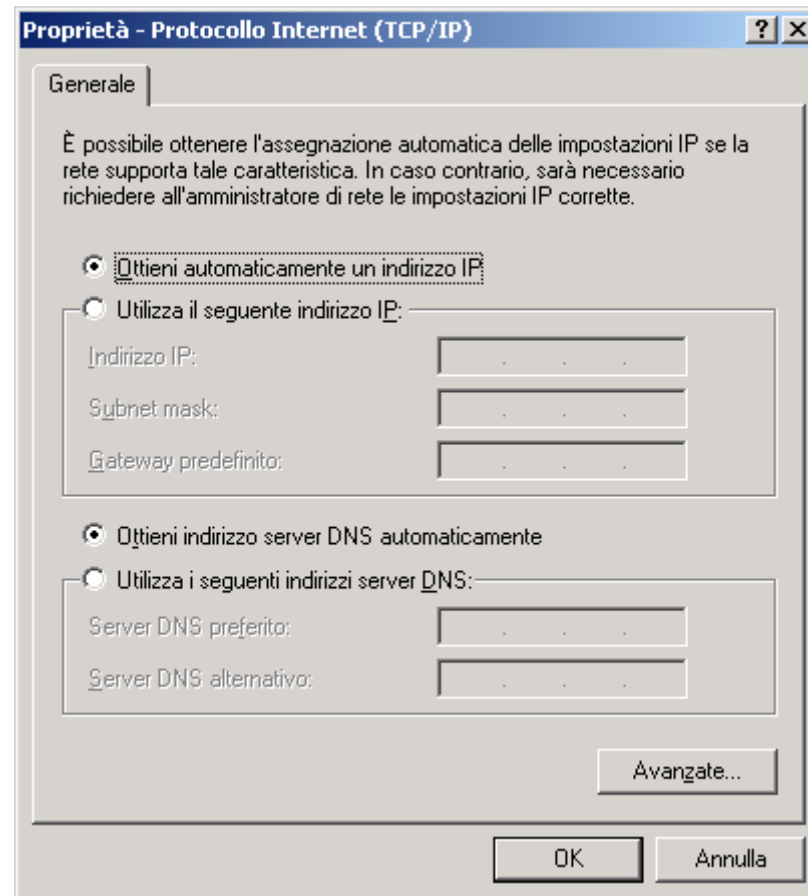
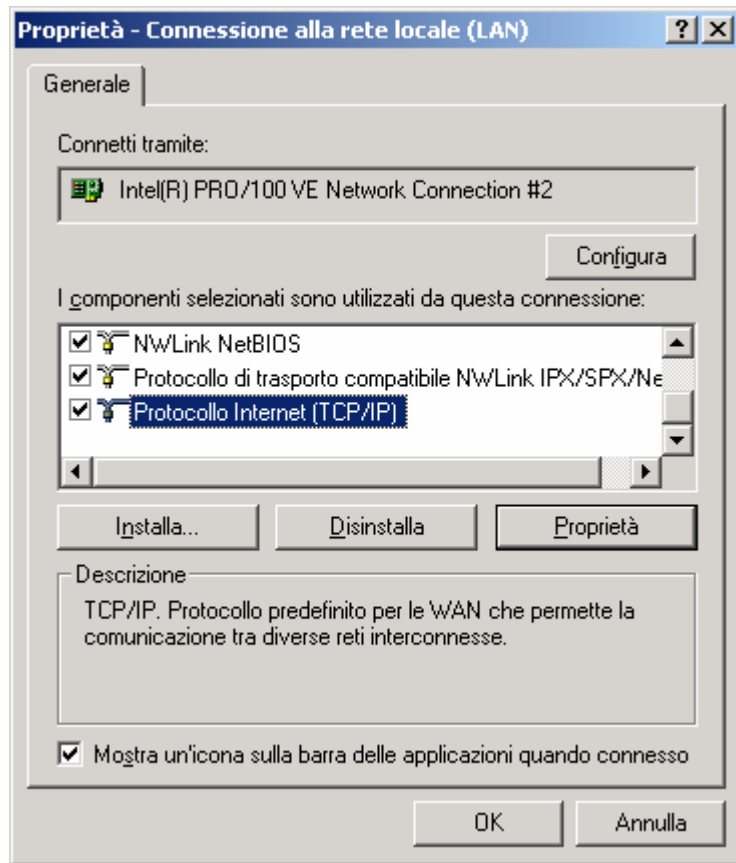
Indirizzi IP

- Un indirizzo IP (IP address) è lungo **32 bit (4 byte)** = 2^{32} possibili indirizzi diversi
- Rappresentati in genere in **forma decimale**
 - successione di quattro numeri (uno per byte), separati da un punto (e.g. 192.167.20.224)
 - ognuno dei quattro numeri è compreso tra 0 e 255

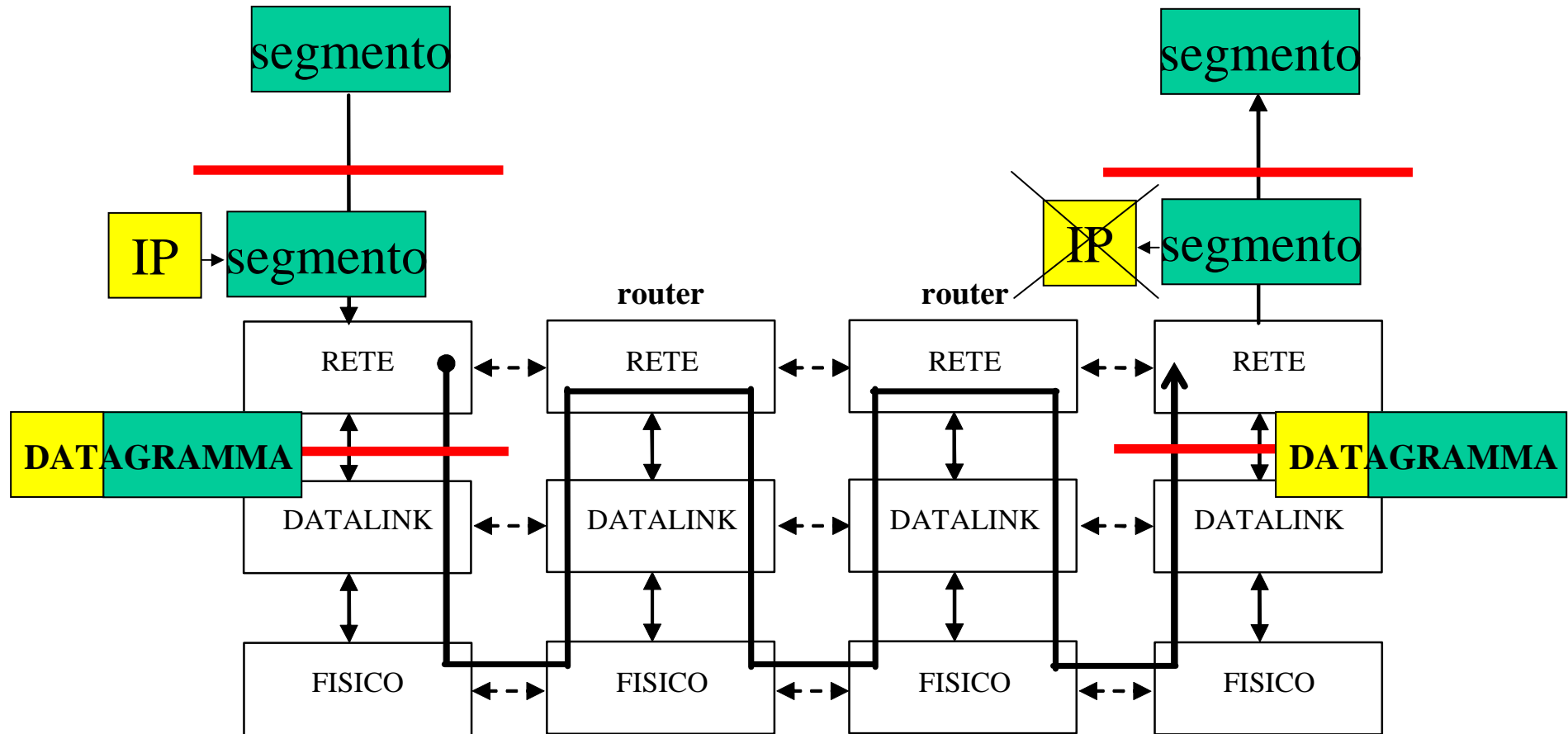
Indirizzi IP: assegnamento

- Ad ogni host connesso alla rete locale viene attribuito uno degli indirizzi attraverso una delle seguenti modalità:
 - **IP Statico**
 - **IP Dinamico**
- ***IP Statico***
 - L'indirizzo è assegnato ad un host in modo permanente
 - Si inserisce manualmente l'indirizzo in uno specifico file di configurazione
 - Indirizzo riservato all'host anche quando questo non è effettivamente collegato alla rete
- ***Dinamico***
 - Ogni volta che intende accedere alla rete, un host richiede un indirizzo ad una specifica applicazione disponibile nella rete locale
 - L'interazione avviene tramite il protocollo ***DHCP*** (Dynamic Host Configuration Protocol)
 - L'applicazione seleziona un indirizzo IP fra quelli disponibili
 - L'indirizzo torna disponibile una volta che l'host non è più connesso

Esempio nei sistemi Windows

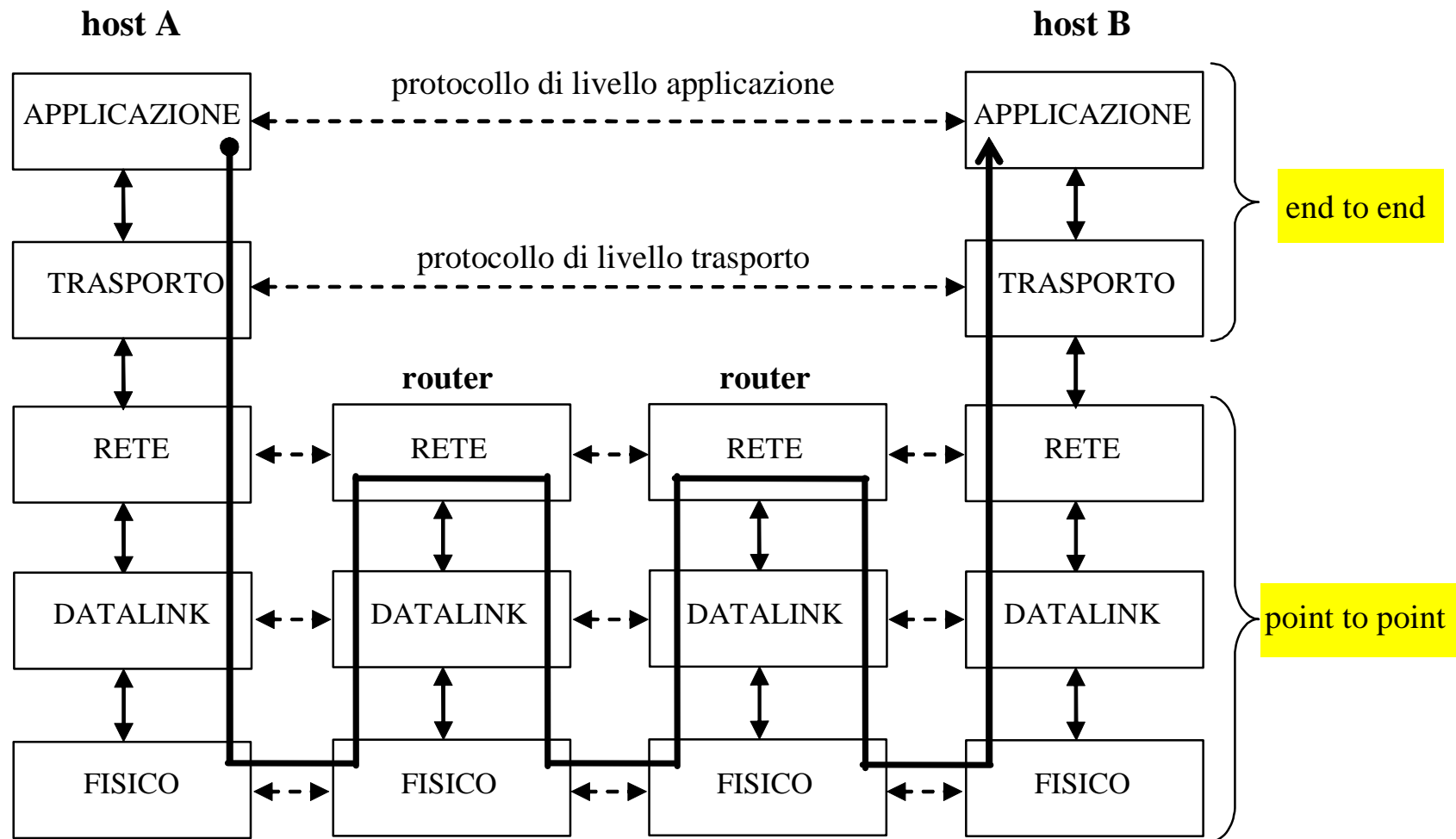


Il servizio realizzato in pratica



- Il servizio realizzato in pratica:
 - Trasporto di un segmento al calcolatore con un determinato indirizzo IP
- Realizzazione del servizio (cenni):
 - Ogni router ha una *tabella di instradamento* che, dato il prefisso di rete di destinazione, indica il nodo successivo nel percorso (per avvicinarvisi)
 - Le entità a livello di rete interagiscono tramite il *protocollo IP* trasmettendo unità dati che vengono dette *datagrammi*
- Protocollo IP (cenni):
 - Livello rete host sorgente riceve un segmento e crea datagramma, il cui header contiene indirizzo IP sorgente + indirizzo IP destinazione
 - Il livello rete determina se IP destinazione appartiene a rete locale o no: nel primo caso datagramma spedito a host destinazione, nel secondo spedito al router collegato alla rete locale (via livello data link!)
 - Ogni router, ricevuto un datagramma, esamina l'indirizzo IP di destinazione e sulla base della tabella lo instrada nella linea di uscita corrispondente (via livello data link!)
 - Alla fine il datagramma arriva (via livello data link) all'host destinazione: il livello di rete estrae il segmento dal datagramma e lo consegna al livello di trasporto

- Caratteristiche del servizio fornito tramite protocollo IP:
 - Connectionless
 - Inaffidabile
 - Detto anche “best effort”
- Approfondimenti (vedi testo):
 - Aggiornamento delle tabelle dei router mediante un protocollo di instradamento (utilizzo di opportuni algoritmi di instradamento) – robustezza rispetto a variazioni topologia della rete
 - Come fa il livello di rete a conoscere il MAC da utilizzare per inviare un datagramma? Protocollo ARP (Address Resolution Protocol)
- NB: finora tutti i protocolli esaminati sono *point-to-point* (tra nodi della rete direttamente collegati). Il livello rete consente ai livelli superiori di utilizzare protocolli *end-to-end* (direttamente tra “host” senza coinvolgere i router)
- Quindi, i router hanno solo i livelli fisico, datalink e rete (vedi figura seguente)



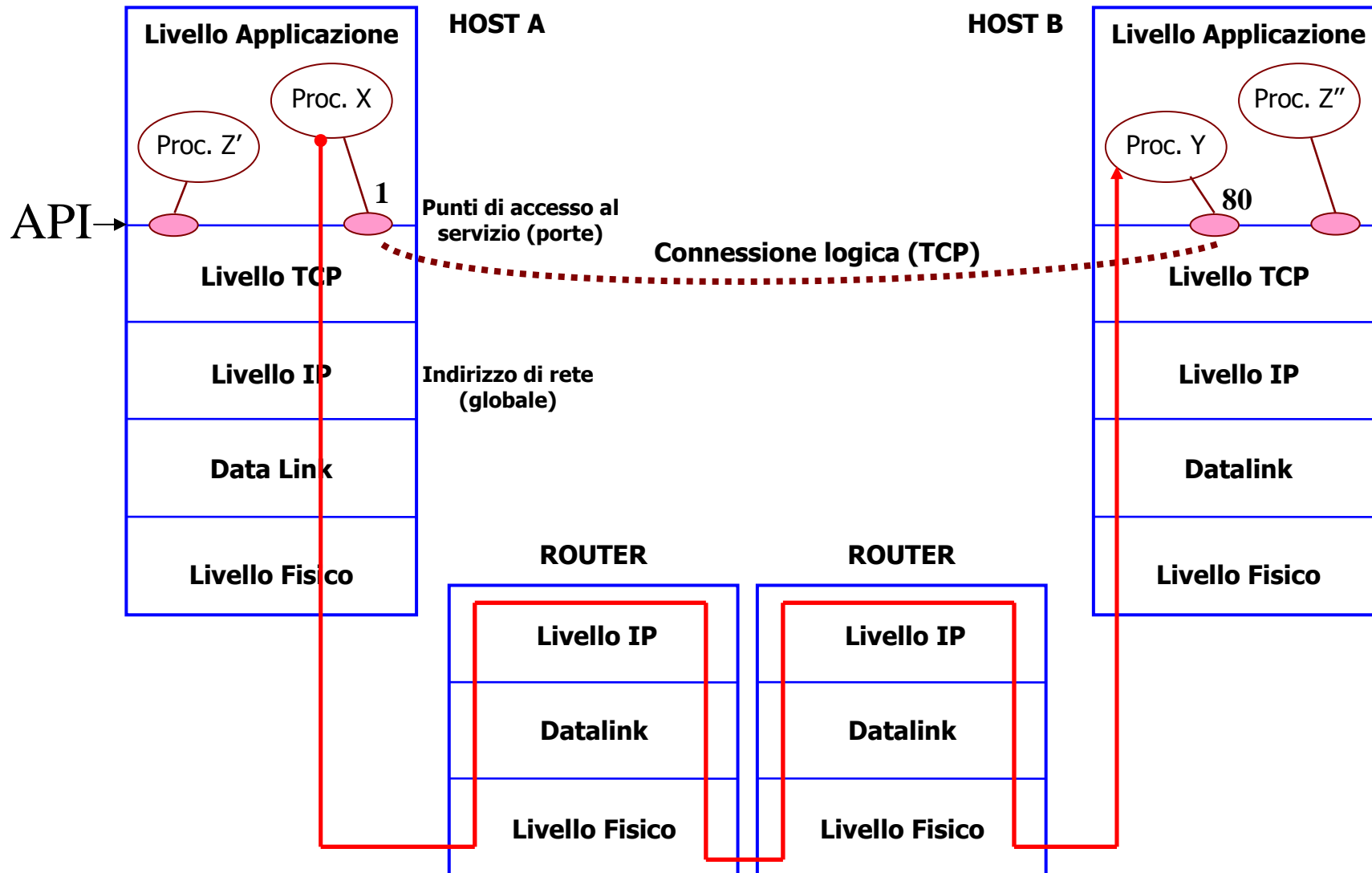
Livello trasporto

- Fornisce un servizio di *comunicazione fra processi applicativi* eseguiti su host diversi: trasporto di un *messaggio* da un processo applicativo in un calcolatore ad un ben determinato processo applicativo ad un altro calcolatore
- Ciascun processo in esecuzione su un calcolatore che richieda servizi di rete viene identificato da un *numero di porta* - numero a 16 bit, assegnato dal livello di trasporto al processo stesso
- Il servizio realizzato in pratica: spedizione di un messaggio al processo applicativo identificato da <IP, numero di porta>
- Due tipologie di servizi realizzate da due protocolli:
 - *UDP*: non affidabile e connectionless
 - *TCP*: affidabile e connection- oriented
- In ogni caso, le unità dati trasmesse sono dette *segmenti*
- Il livello trasporto è realizzato come modulo del sistema operativo!

Riassumendo: come è identificato un processo applicativo in rete?

- Schema di indirizzamento generale su due livelli: **indirizzo IP + numero di porta** → ogni processo applicativo che usa la rete può essere identificato da tale indirizzo
- **Indirizzo IP**
 - indirizzo associato a ogni calcolatore collegato a una sottorete
 - è un indirizzo *Internet globale unico*, utilizzato dal livello rete per l'instradamento e la consegna dei pacchetti
- **Numero di porta**
 - indirizzo *unico all'interno dell'host* che individua un processo attivo sull'host
 - utilizzato dal livello trasporto per consegnare i dati al processo giusto

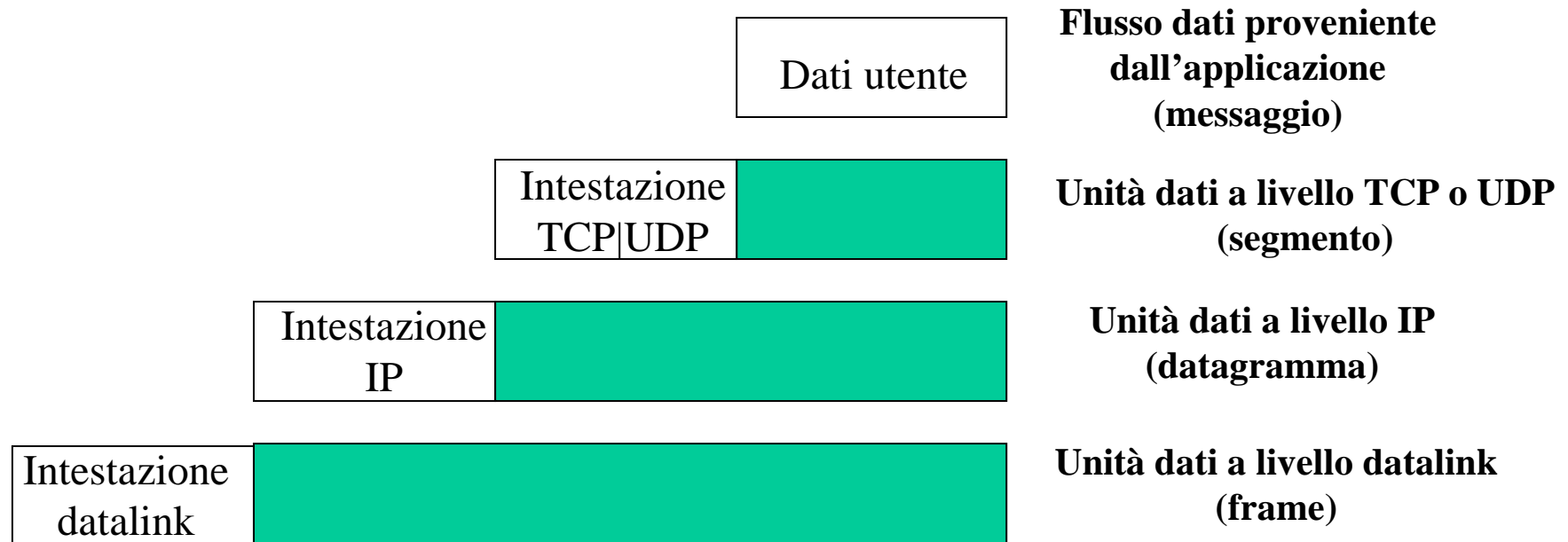
Comunicazione attraverso TCP/IP



- Realizzazione del servizio (cenni):
 - Nell'host sorgente, il livello di trasporto riceve dal livello applicazione un messaggio da inviare ad un determinato processo applicativo in un determinato host destinazione
 - Crea un segmento con l'intestazione che include le coppie <IP sorgente, #porta mittente> e <IP destinazione, #porta destinazione>
 - Il segmento viene inviato (attraverso il livello rete) all'host destinazione
 - Il livello trasporto dell'host destinazione riceve il segmento, estrae il messaggio e, grazie all'intestazione, è in grado di recapitarlo al processo applicativo destinazione
 - Il processo applicativo destinazione può conoscere <IP sorgente, #porta mittente> per continuare la comunicazione
 - Il protocollo TCP, inoltre, usa un numero di sequenza e prevede l'invio al mittente di un riscontro

NB: da un livello all'altro

Come visto, ogni livello attraversato aggiunge *un'intestazione* (informazioni utili alle funzioni proprie di quel livello)... che vengono poi man mano eliminate dai livelli di destinazione attraversati in senso inverso



Livello applicazione

- A questo livello operano i processi applicativi utilizzati dagli utenti, che tramite il livello di trasporto (sistema operativo) possono inviare e ricevere *messaggi*;
- I protocolli di comunicazione da esse adottati fissano la tipologia, la struttura e il significato dei messaggi e le regole secondo cui i processi inviano e rispondono ai messaggi: permettono la creazione di applicazioni standard!
- Esempi di protocolli: *HTTP, SMTP, POP3, FTP*
- Nella rete Internet, ad ogni protocollo standard è associato un determinato numero di porta

IL QUADRO GLOBALE

