

# Reti di Calcolatori: nozioni generali il modello a livelli

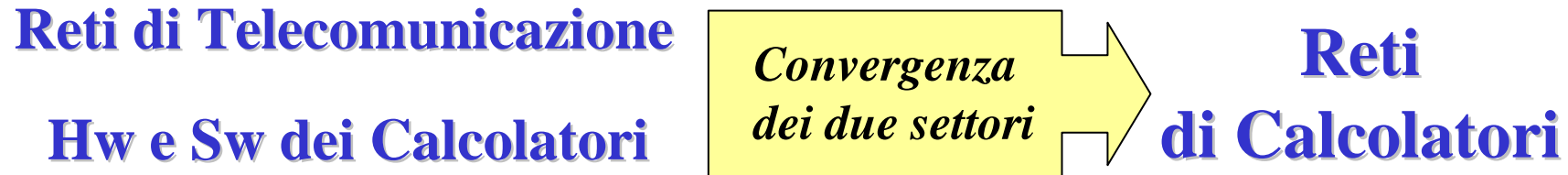
## Fondamenti di Informatica A

*Percorso di Preparazione agli Studi di Ingegneria*

Università degli Studi di Brescia

*Docente: Massimiliano Giacomini*

# DEFINIZIONE e FUNZIONI



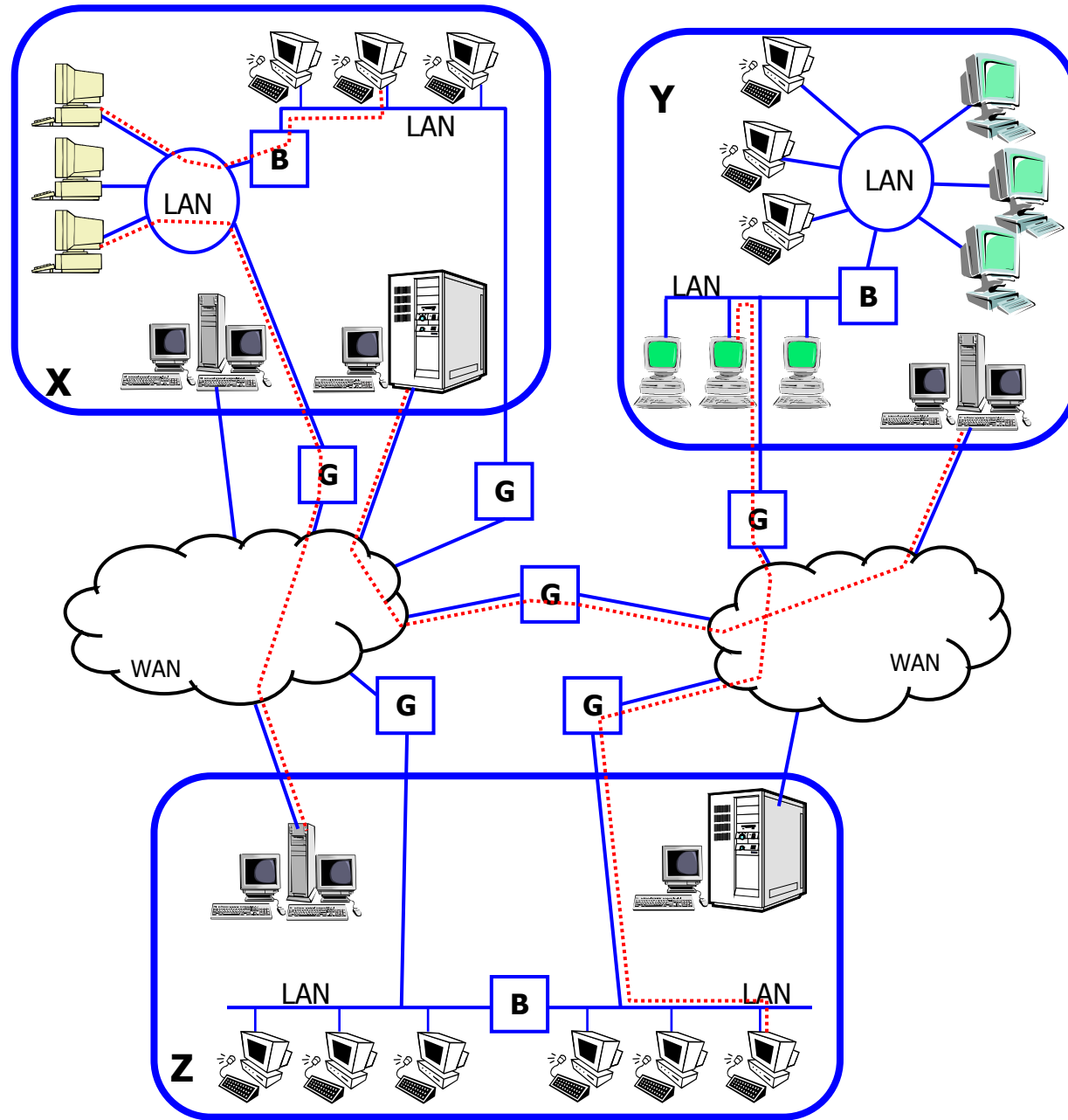
***Rete di calcolatori:*** insieme di calcolatori tra loro collegati mediante una rete di telecomunicazione

## 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)

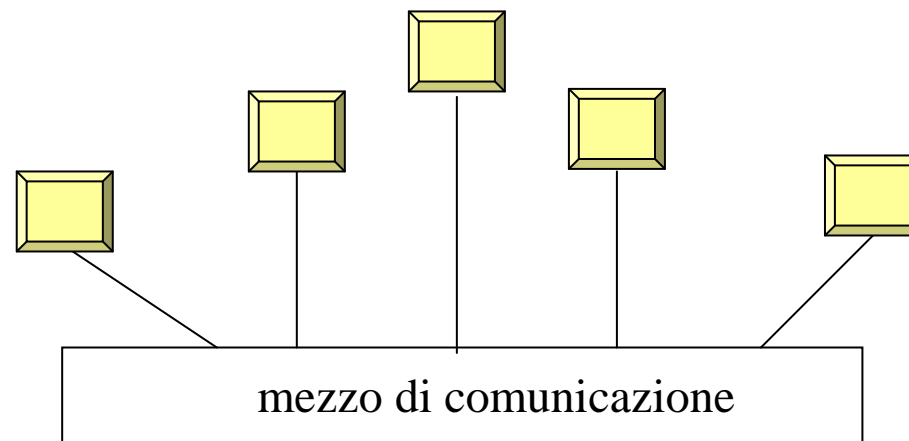
- Classificazione delle reti secondo diverse dimensioni, tra cui:
  - estensione geografica
  - modalità di collegamento
    - > broadcast
    - > punto-a-punto

# 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

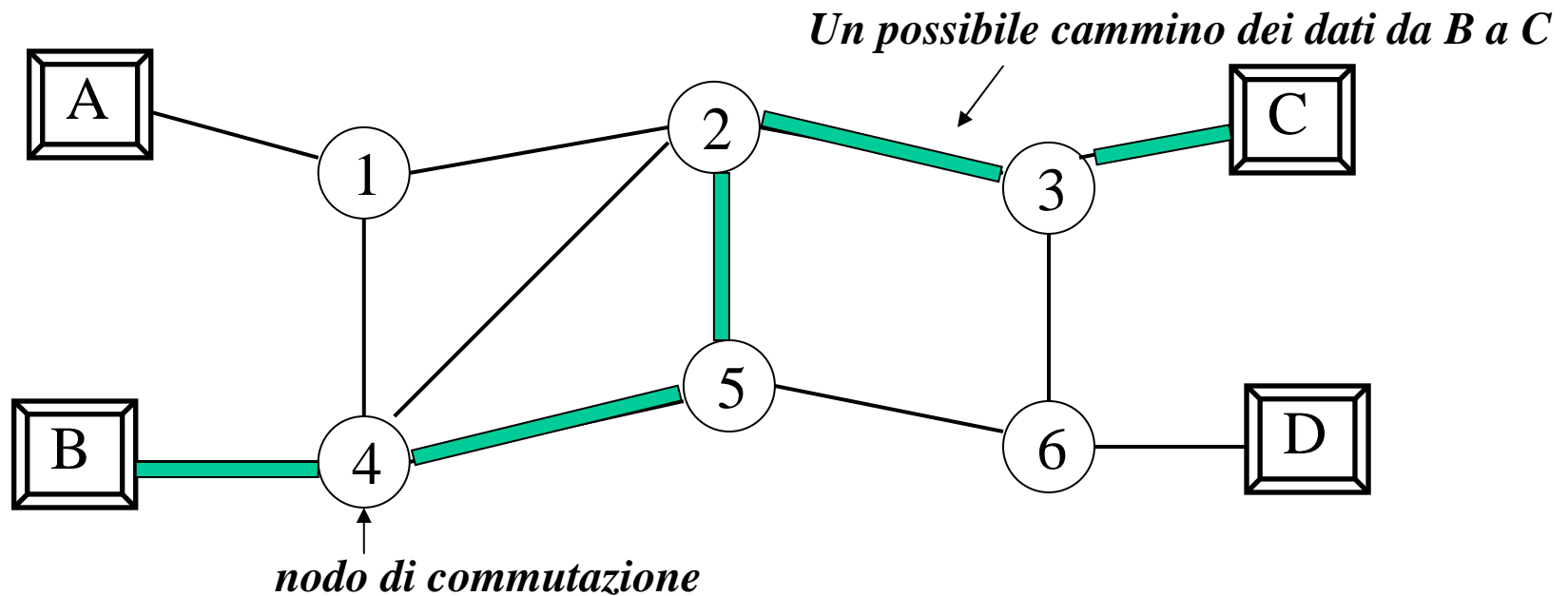
# Modalità di collegamento “broadcast”

- **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





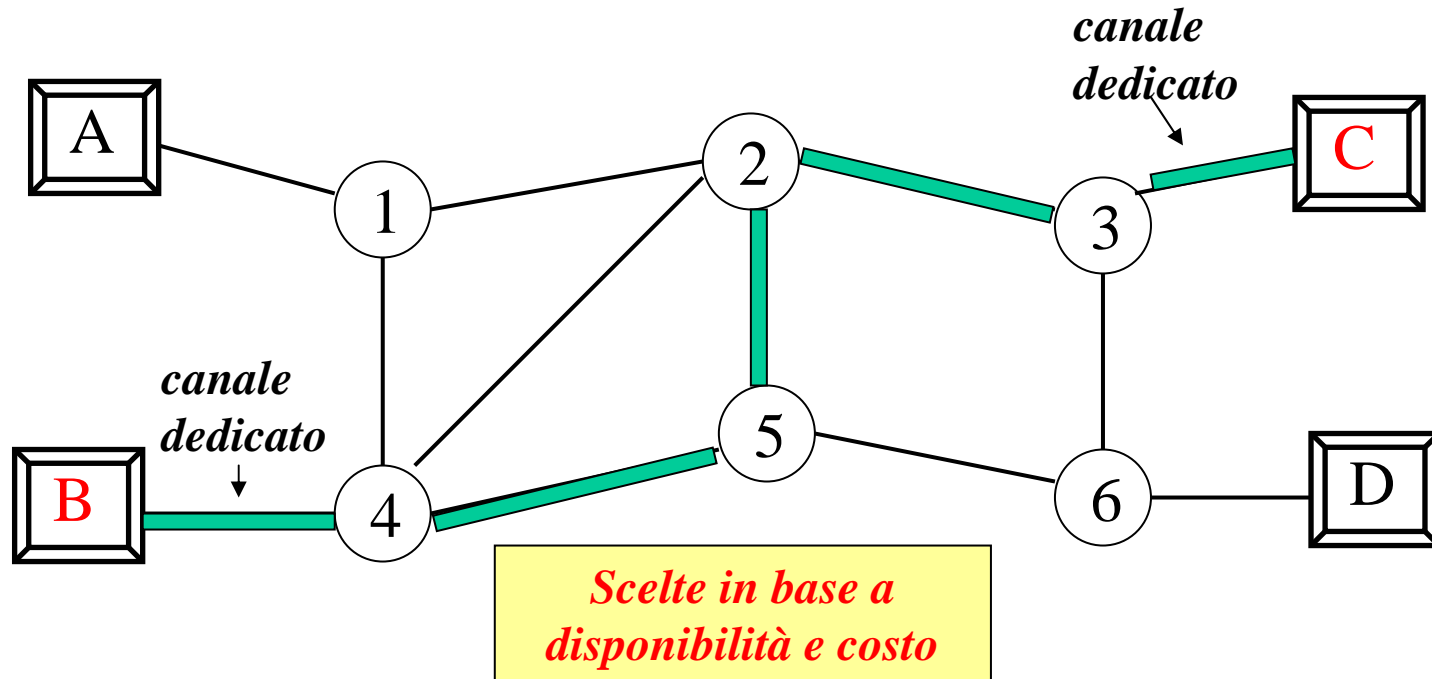
## Commenti al lucido precedente

- 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

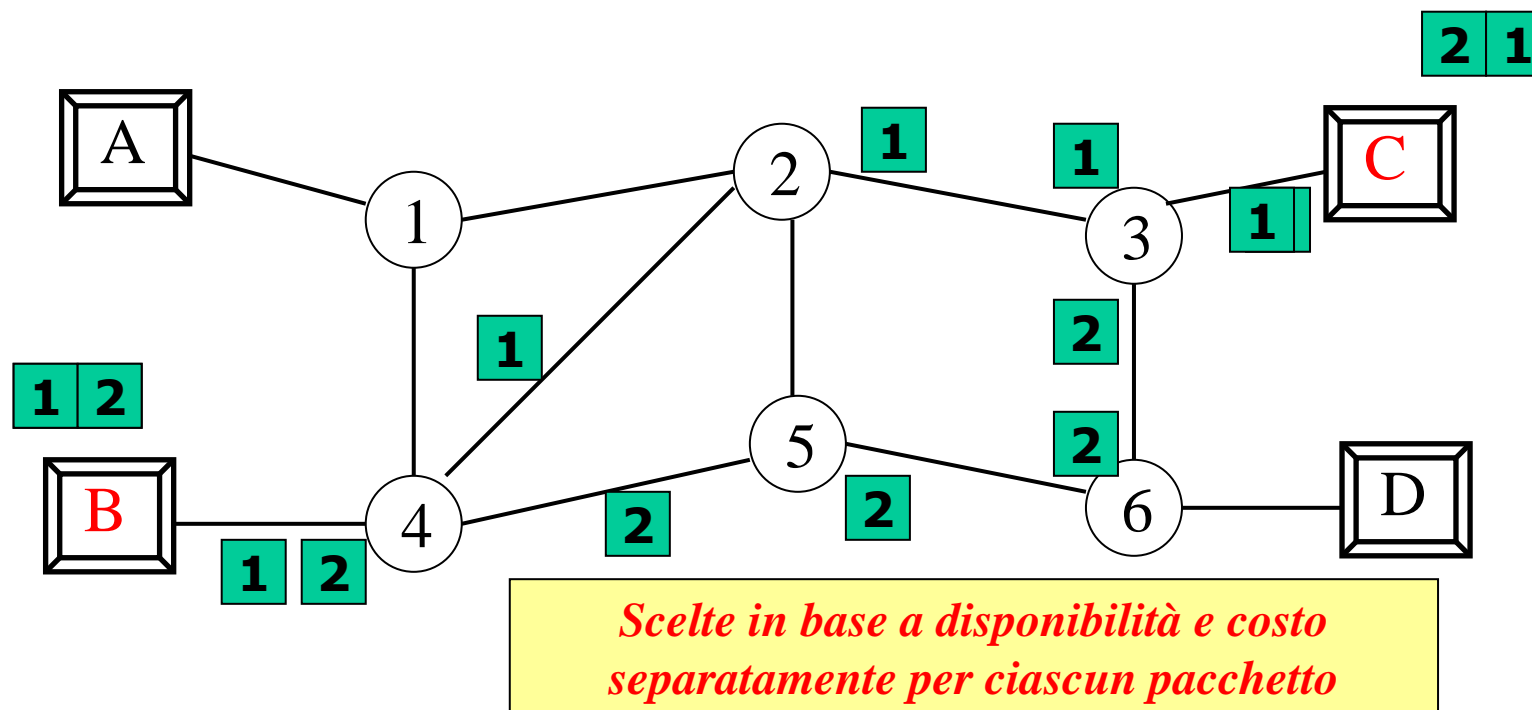


NB: Tecnica efficiente per comunicazioni telefoniche, non efficiente per trasmissione dati tra calcolatori: periodi di trasmissione si alternano a periodi di inattività

## 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

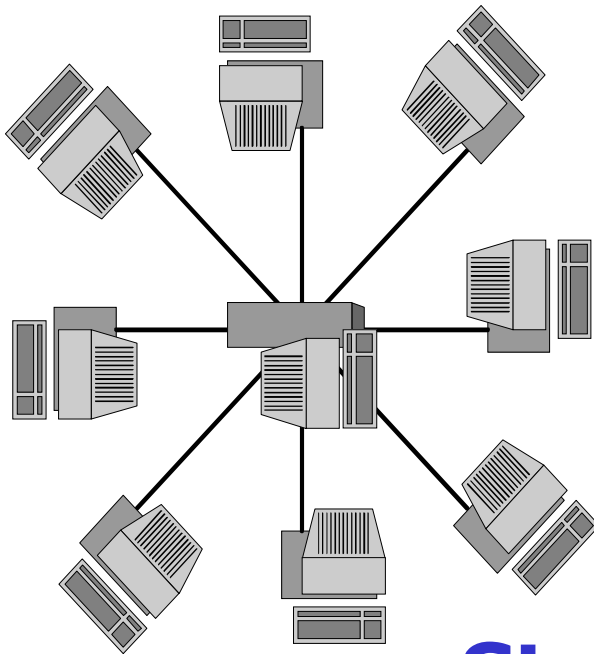
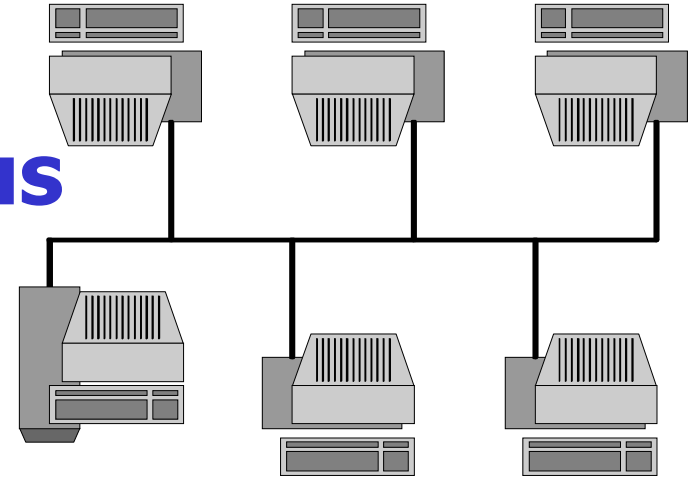
- *Mezzi di trasmissione utilizzati*
  - doppino, cavo coassiale, fibra ottica, wireless...
- *Topologia*
  - Struttura e numero dell'insieme di connessioni
- *Metodi di accesso* ai mezzi di trasmissione

## WAN

- Reti punto-a-punto
- Topologia irregolare

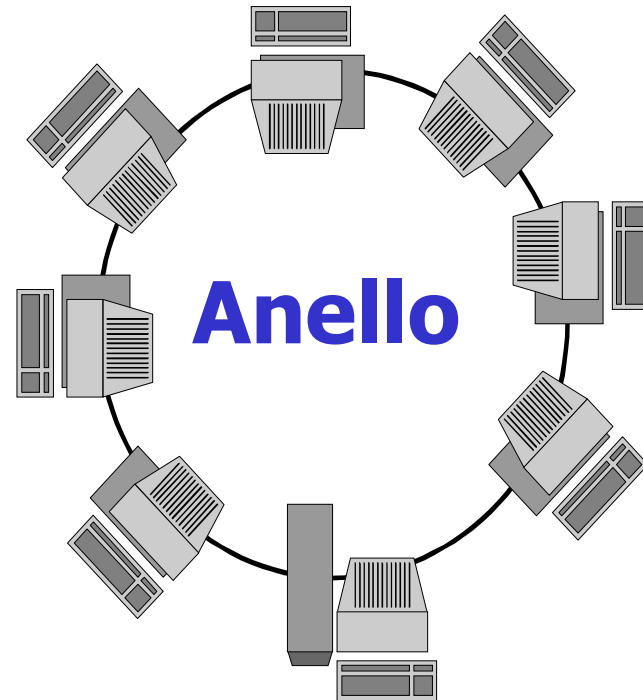
# Diverse topologie di rete locale

**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

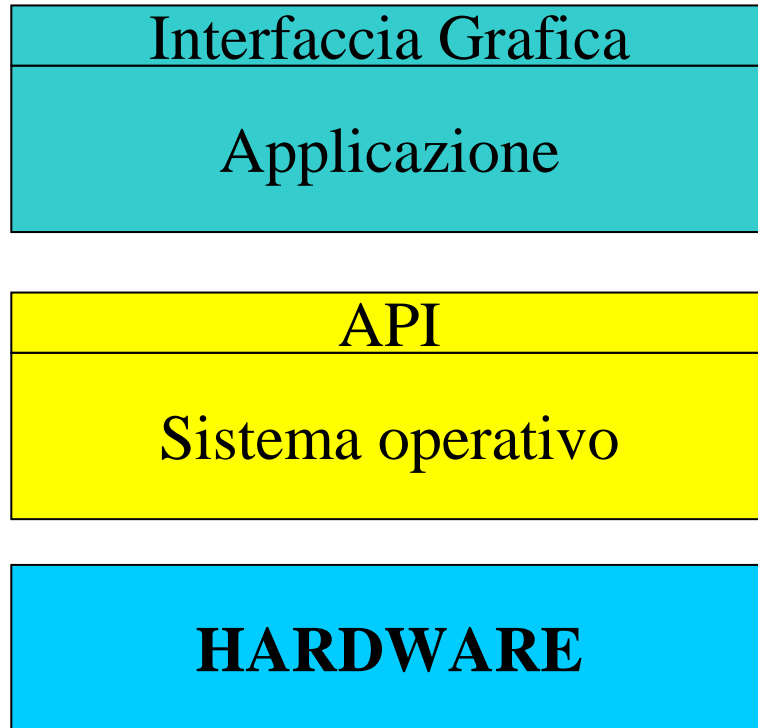
# Comunicazione in rete: i problemi

- 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

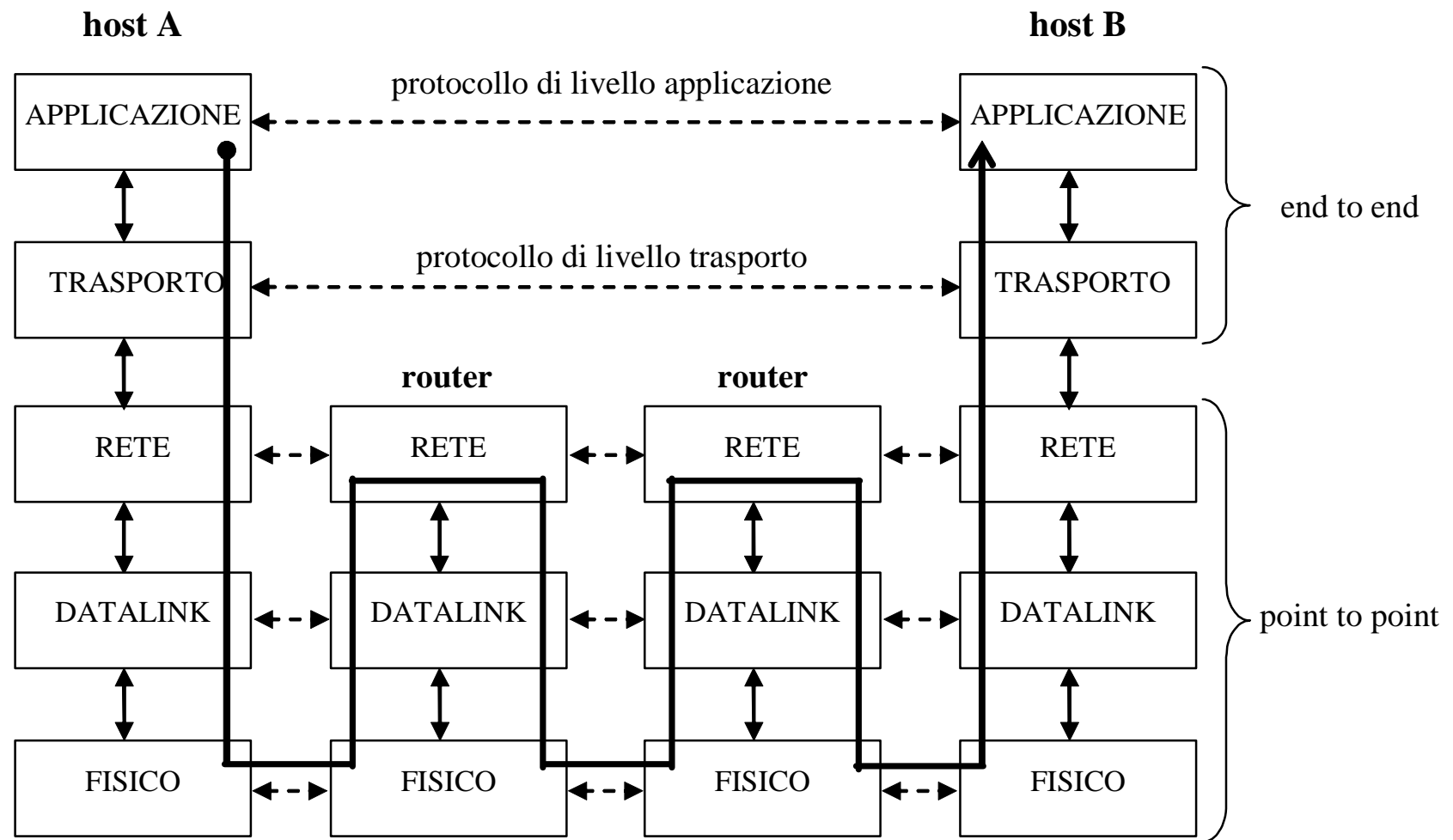
- Per risolvere i problemi suddetti le reti di calcolatori vengono organizzate secondo un'*architettura a livelli*
- In pratica, si utilizzano diverse macchine virtuali (cfr. sistema operativo), solo che adesso i livelli interessano più calcolatori:
  - Ciascun livello definisce un particolare aspetto 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



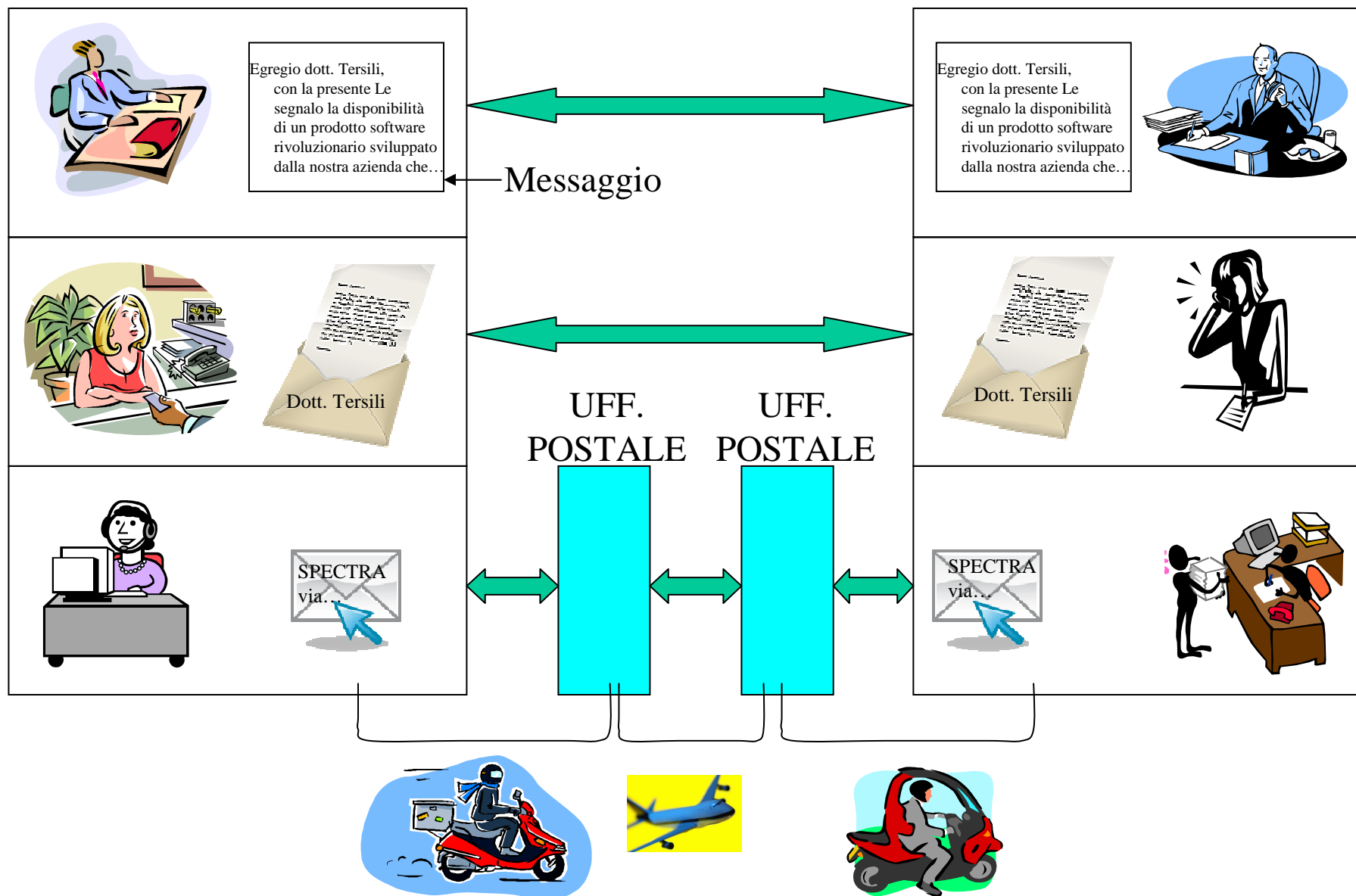
- Ogni macchina virtuale offre “servizi” alla macchina di livello superiore
- Ogni macchina virtuale ha:
  - interfaccia
  - corpo

# Il calcolatore in rete: esempio di modello a livelli



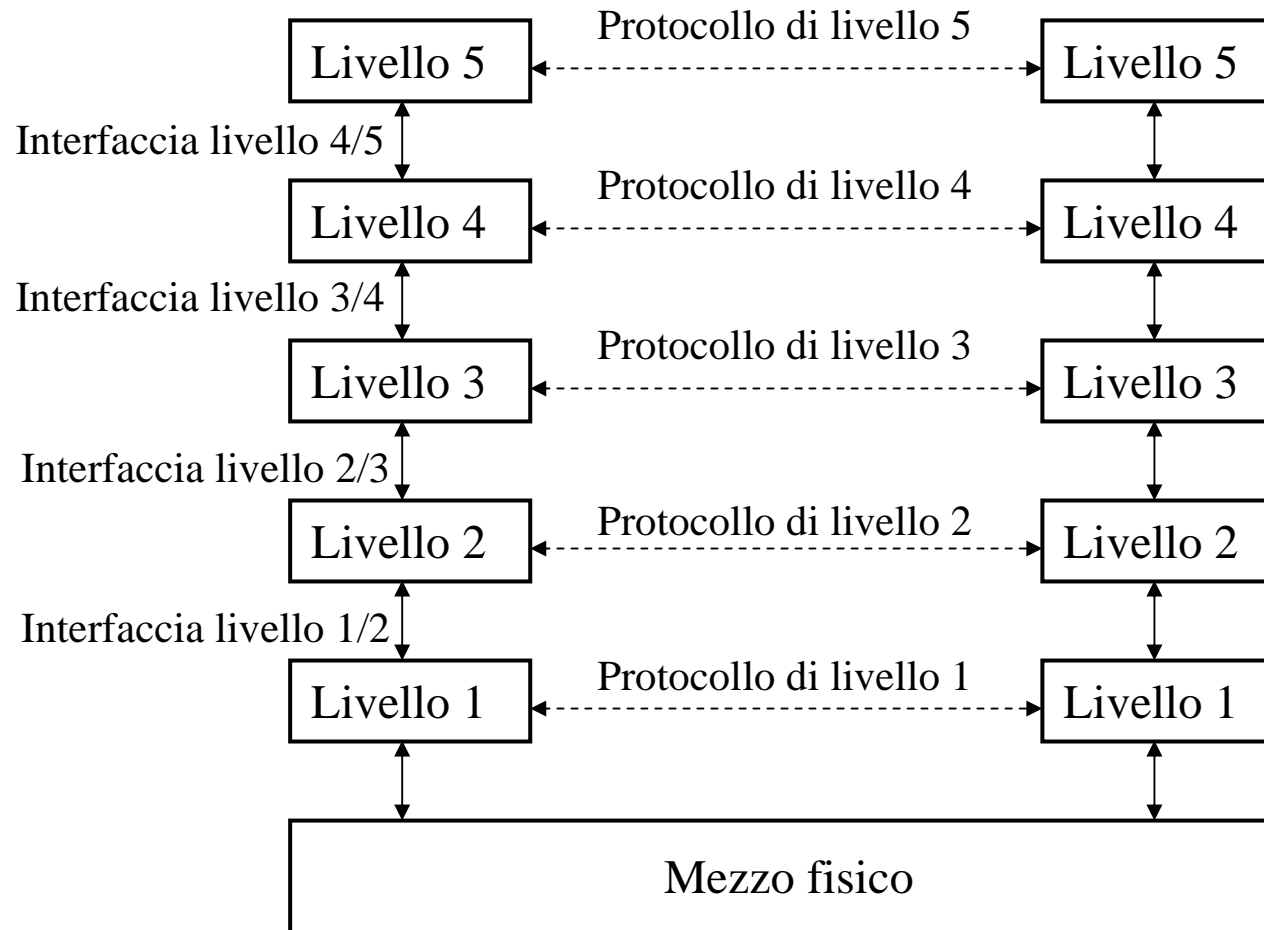
Scopo della lezione è... capirlo!

# 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:

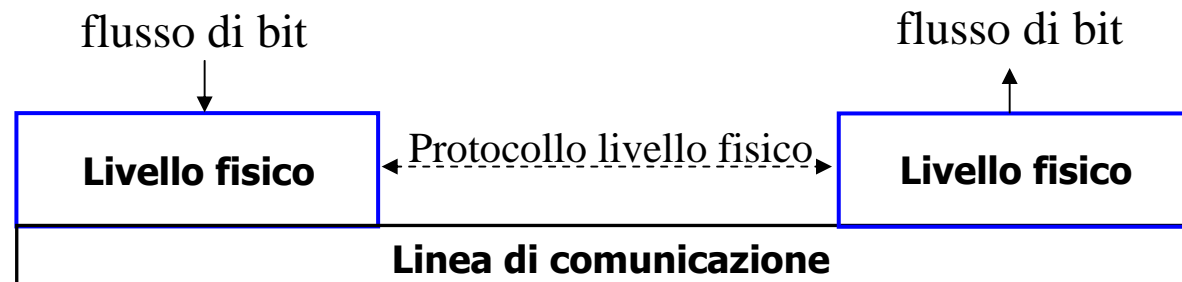
- stabilisce l'insieme dei livelli + i relativi protocolli
- Esempi: ISO/OSI, **TCP/IP**

# TCP/IP

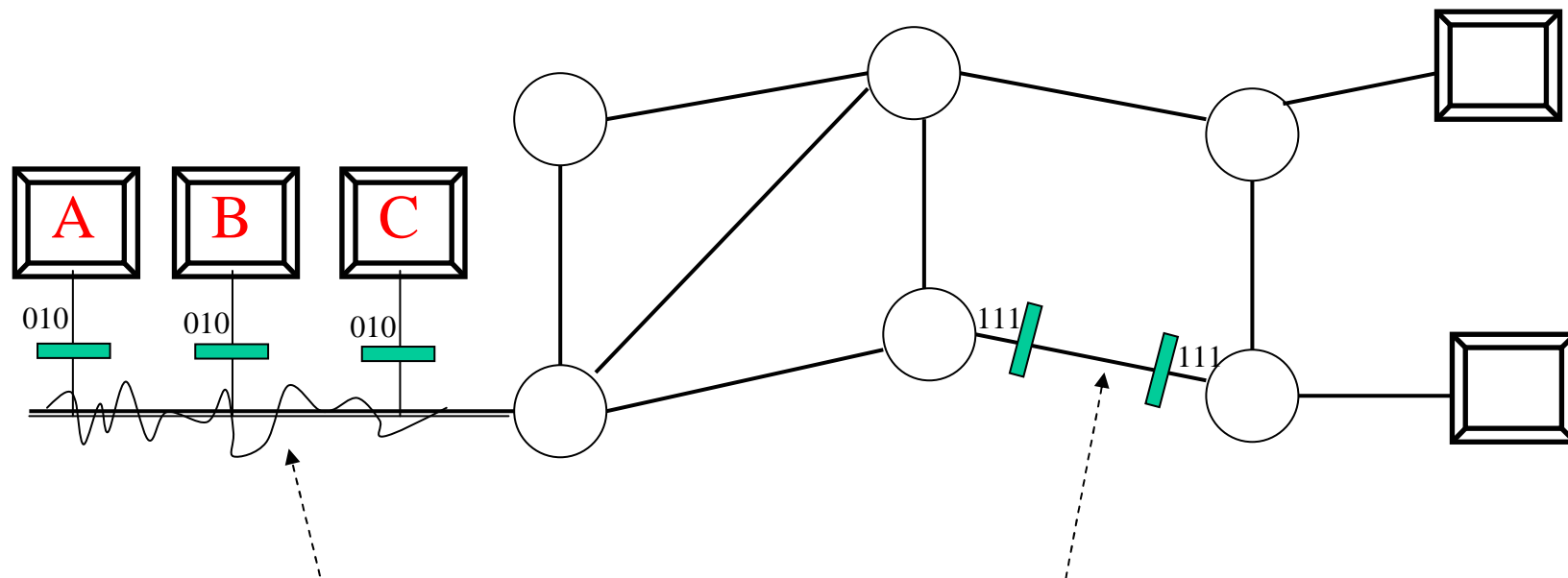
- E' il modello adottato nella rete *Internet*
- Insieme di protocolli basato su
  - **TCP** (*Transmission Control Protocol*)
  - **IP** (*Internet Protocol*)
- Successo commerciale di TCP/IP: affidabilità, efficienza, è diventato uno standard di fatto
- TCP/IP è impostato su *un'architettura a cinque 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"

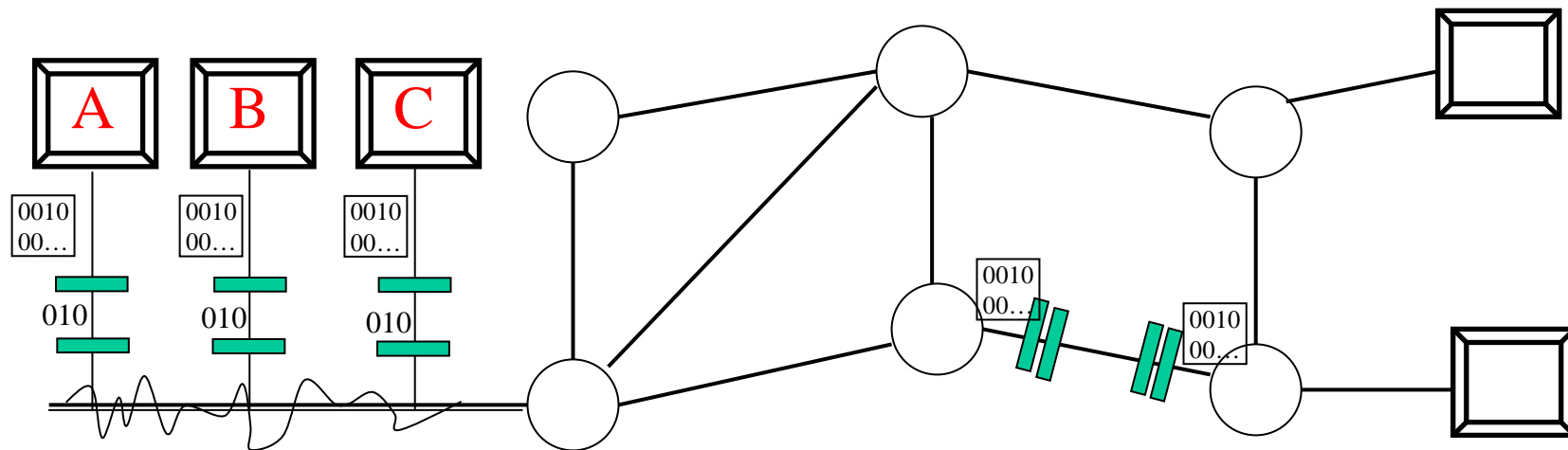
Livello fisico: permette lo scambio di "bit" tra i calcolatori

## 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

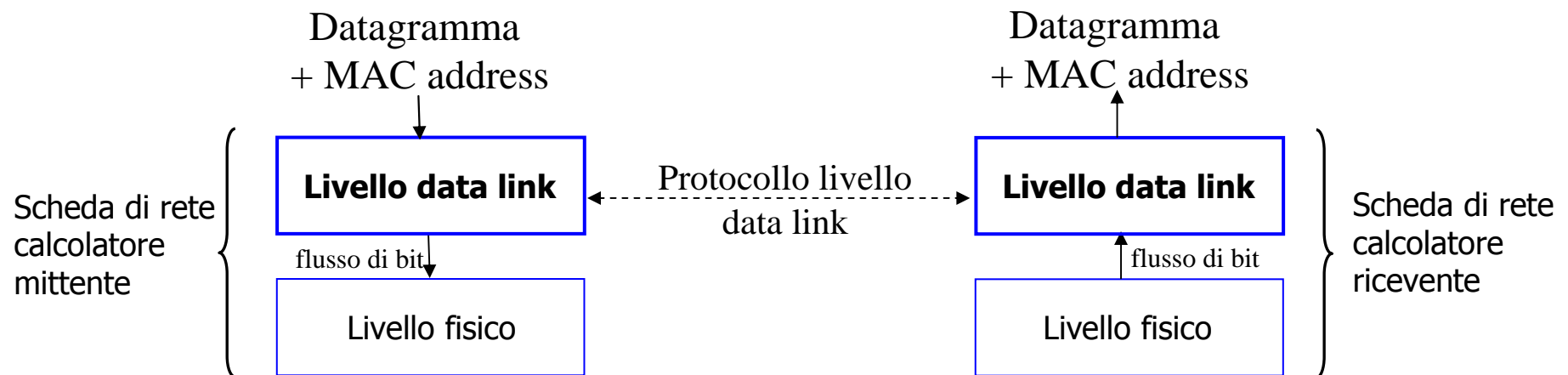


## Livello data link

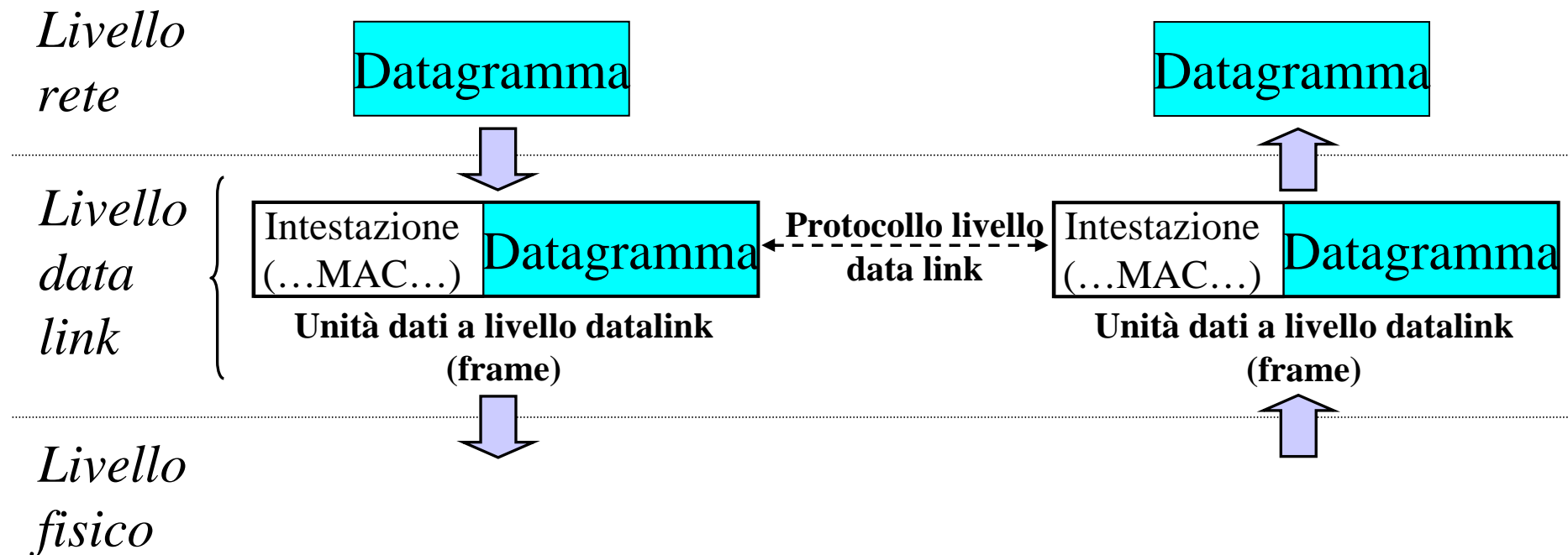
- Realizzato nella scheda di rete del calcolatore
- Il protocollo adottato dipende dal servizio che si intende realizzare (es. affidabile vs. inaffidabile), dal mezzo trasmissivo e dalla linea

### 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



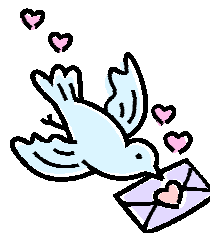
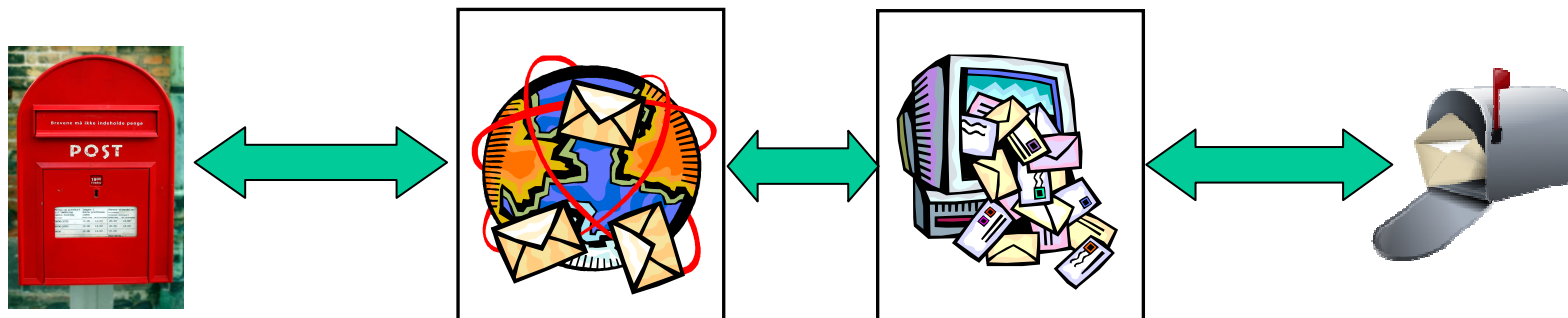
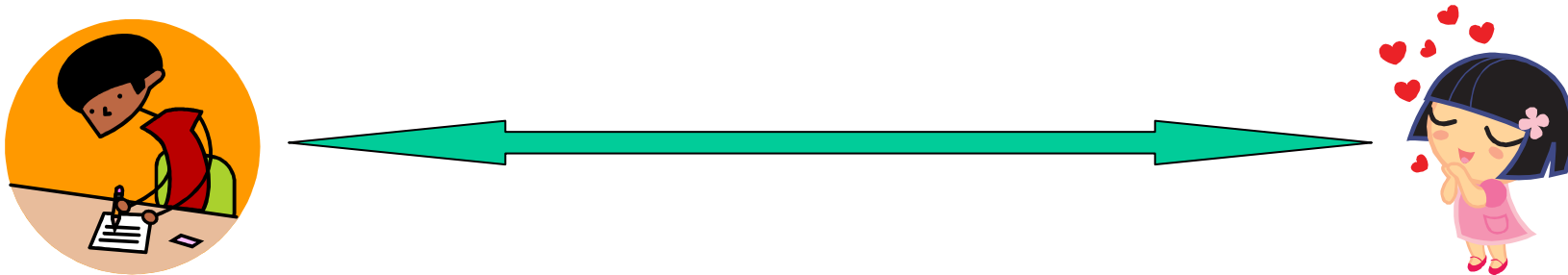
- Realizzazione del servizio:
  - A partire dal datagramma da spedire e l'indirizzo MAC di destinazione: creazione di un *frame* la cui intestazione (header) include il MAC
  - Trasmissione del frame attraverso il livello fisico
  - All'arrivo: esame del MAC, se non coincide con quello della scheda di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





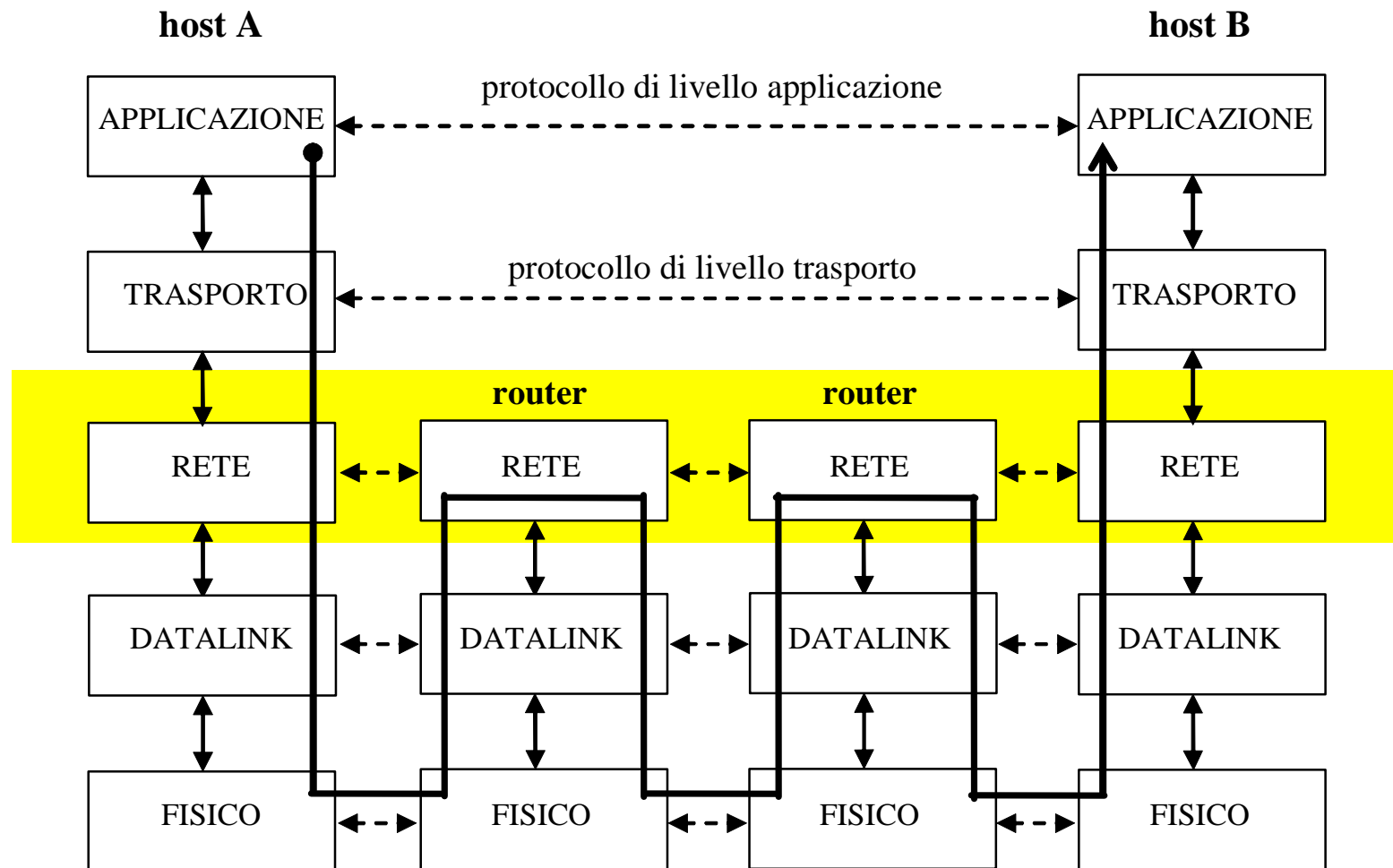
- Il protocollo di livello datalink specifica la struttura dei frame e le azioni per inviarli e riceverli
- Il protocollo a livello data link deve risolvere una serie di problemi, tra cui:
  - Riconoscimento inizio e fine dei frame (tramite intestazione)
  - Rivelazione/Correzione di errori (tramite 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 *nodì 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)

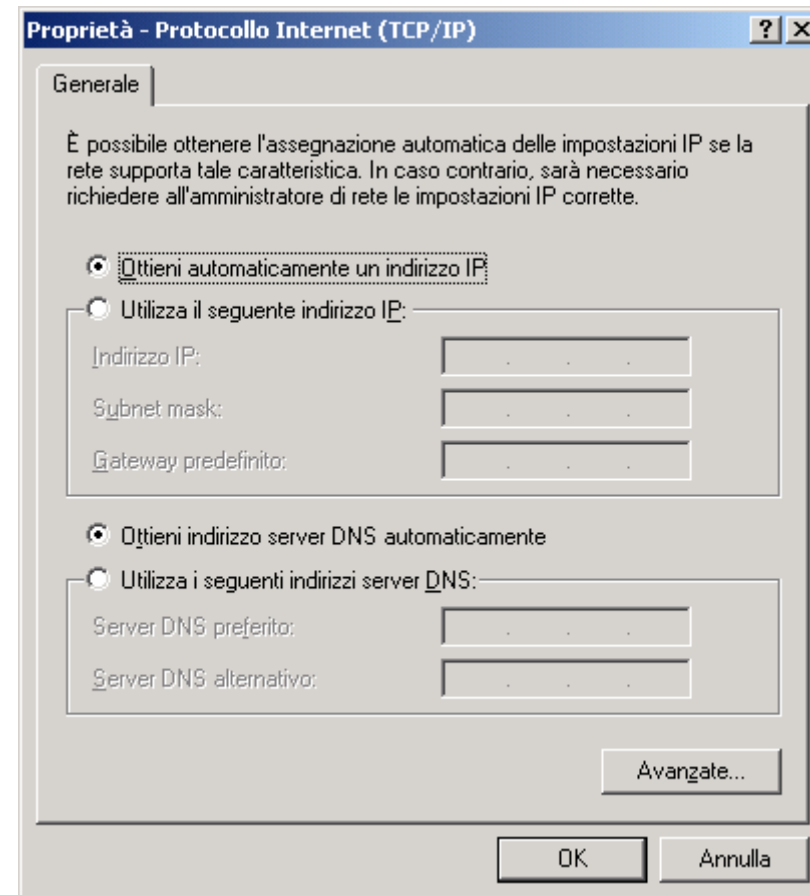
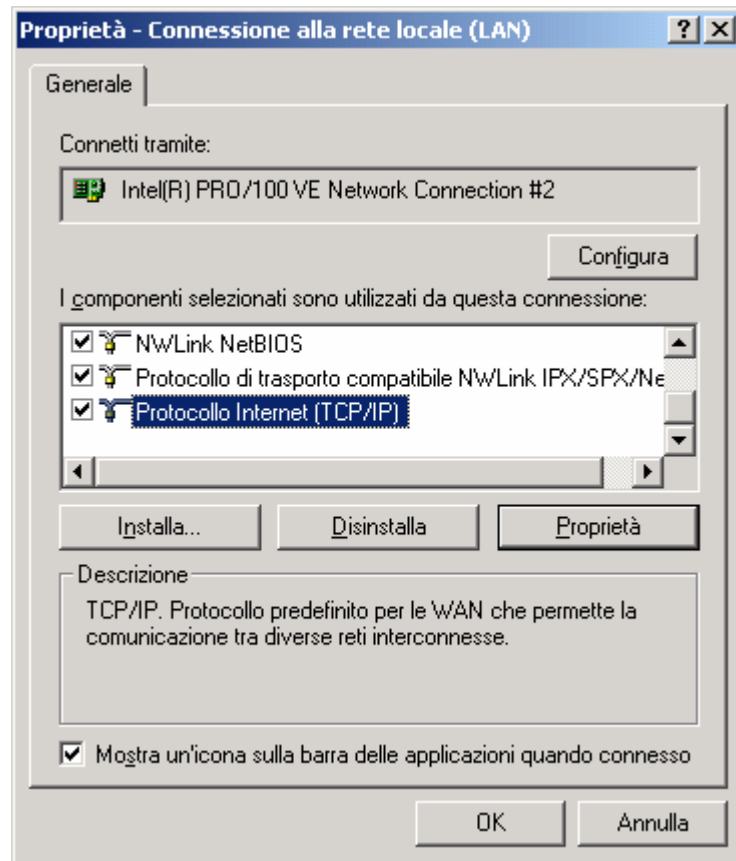
# Indirizzi IP

- 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

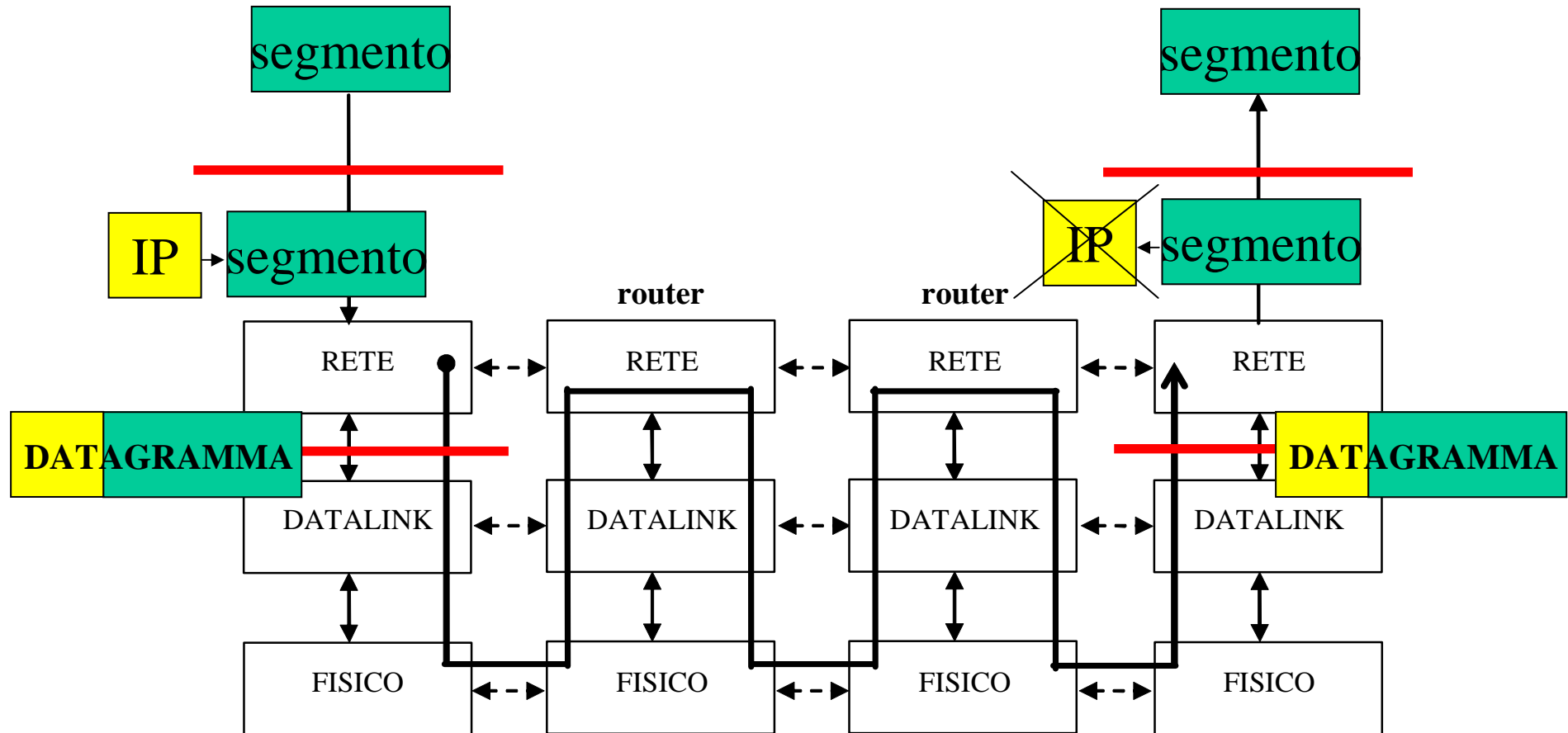
- Ad ogni host connesso alla rete locale viene attribuito uno degli indirizzi attraverso una delle seguenti modalità:
  - **IP Statico**
  - **IP Dinamico**
- ***IP Statico***
  - L'indirizzo è assegnato ad un host in modo permanente
  - Si inserisce manualmente l'indirizzo in uno specifico file di configurazione
  - 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



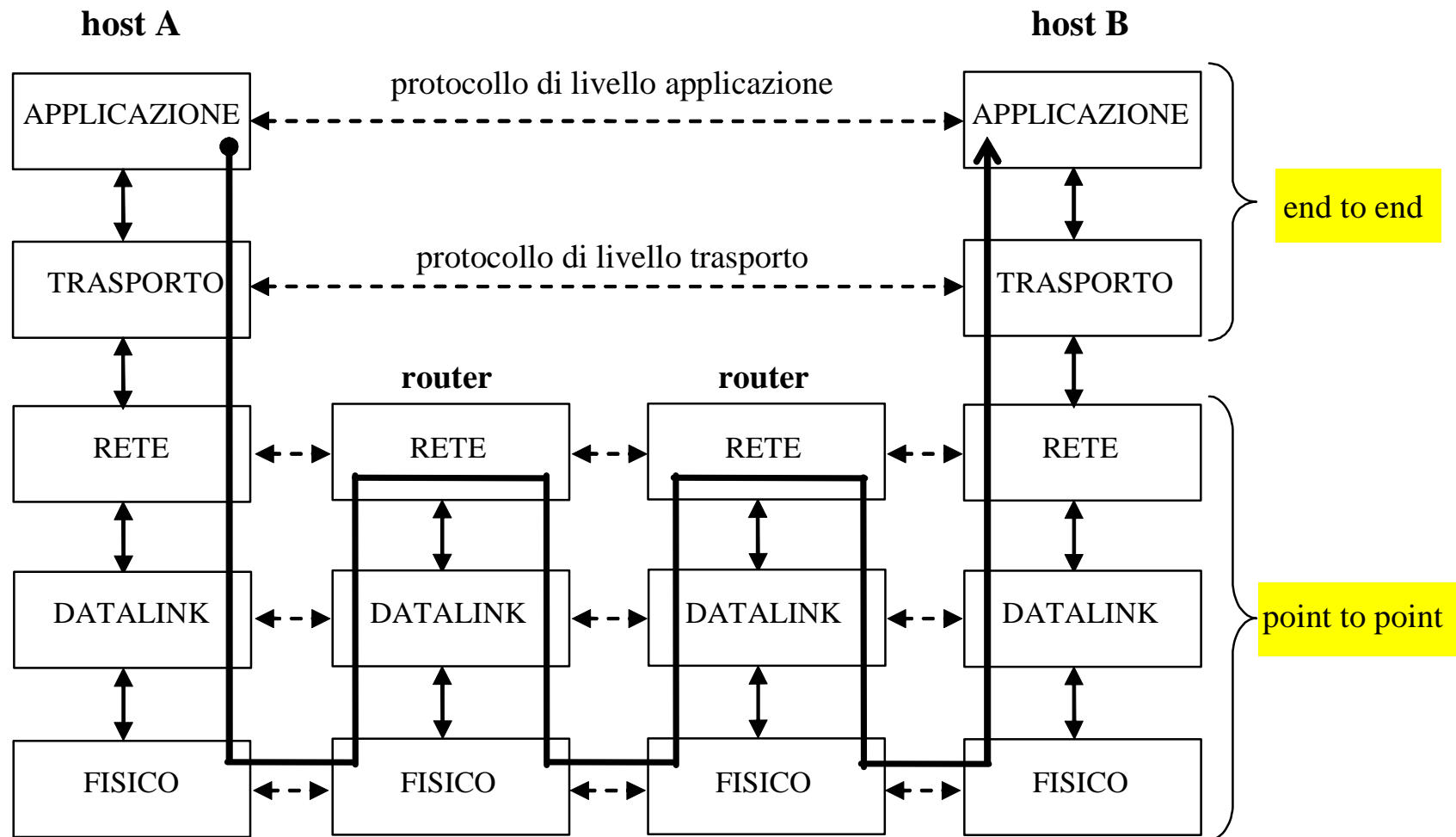


## Il servizio realizzato in pratica



- 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)



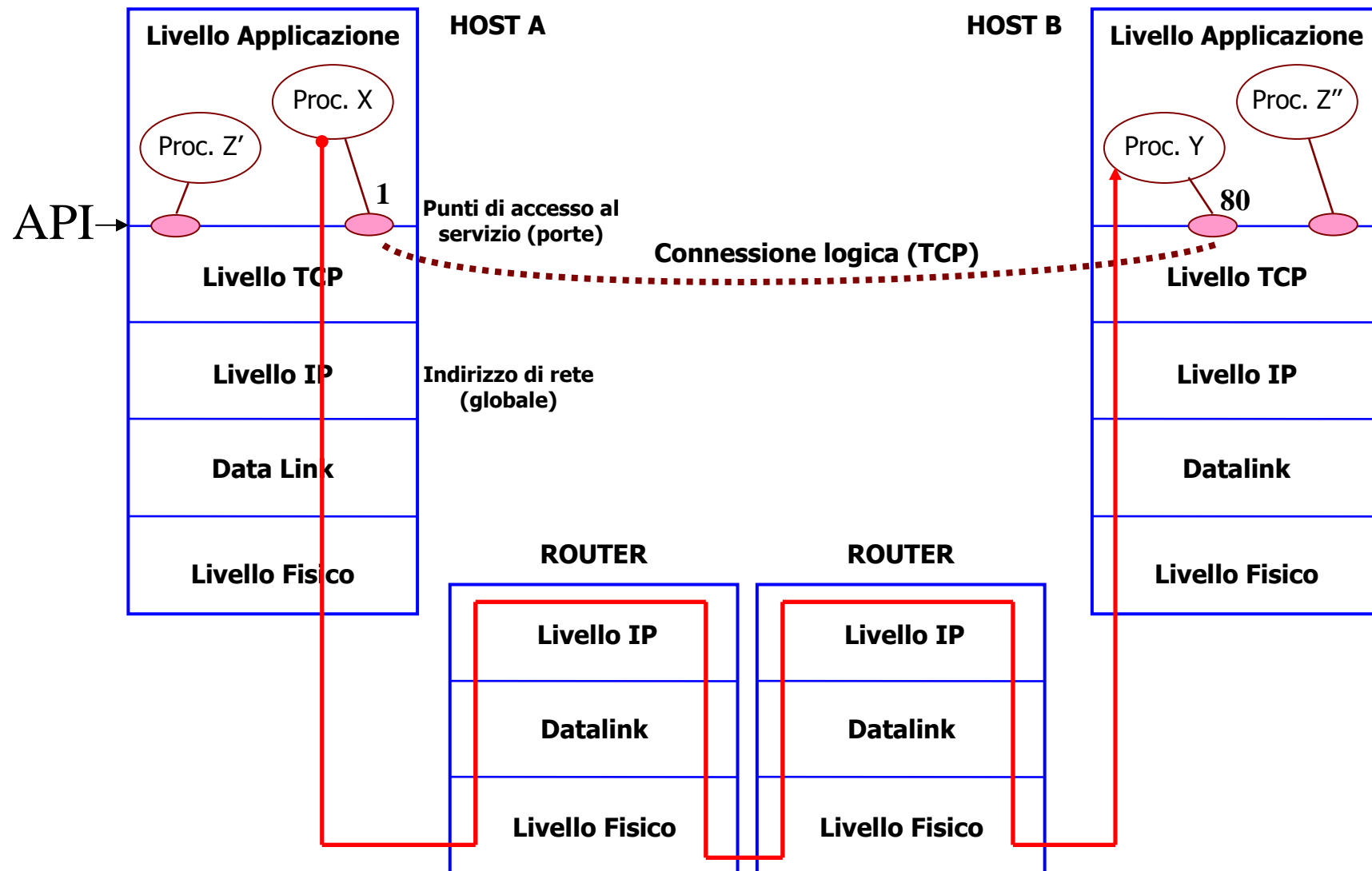
# Livello trasporto

- 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

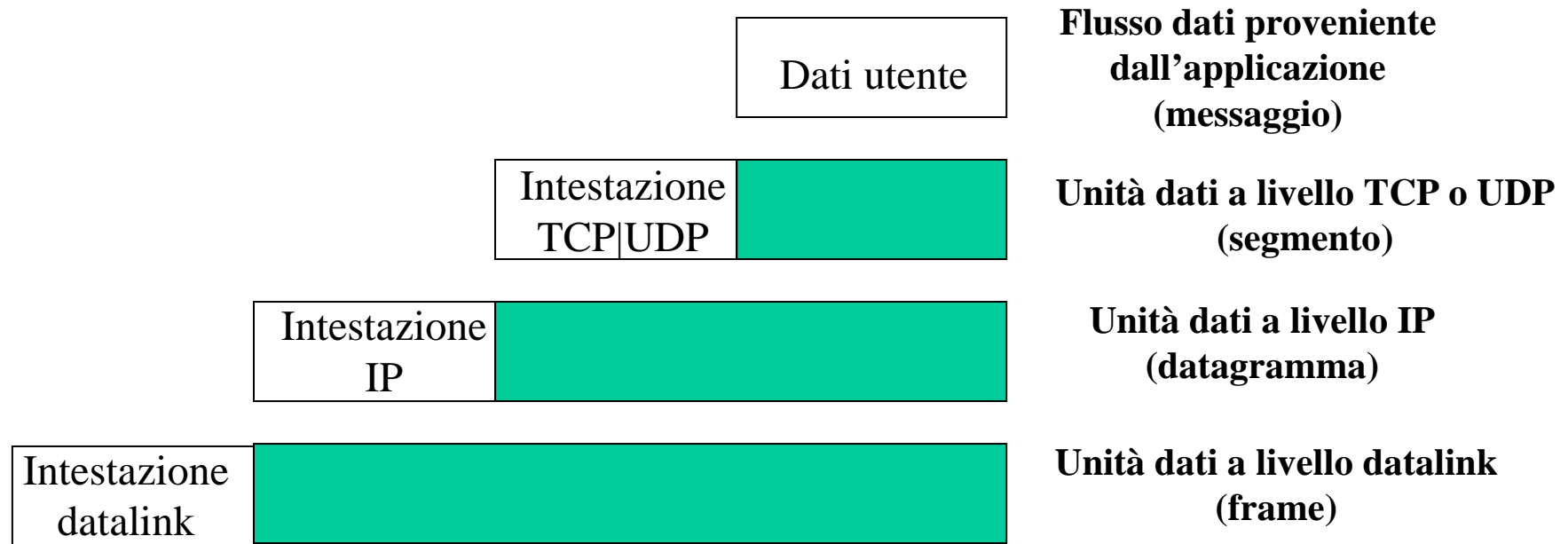


- Realizzazione del servizio (cenni):
  - Nell'host sorgente, il livello di trasporto riceve dal livello applicazione un messaggio da inviare ad un determinato processo applicativo in un determinato host destinazione
  - Crea un segmento con l'intestazione che include le coppie <IP sorgente, #porta mittente> 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

