

Reti di TLC

Stage 2015

Università degli Studi di Brescia

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

23/6/2015 Lezione demo "Esperienza su reti wireless"



Argomenti della lezione

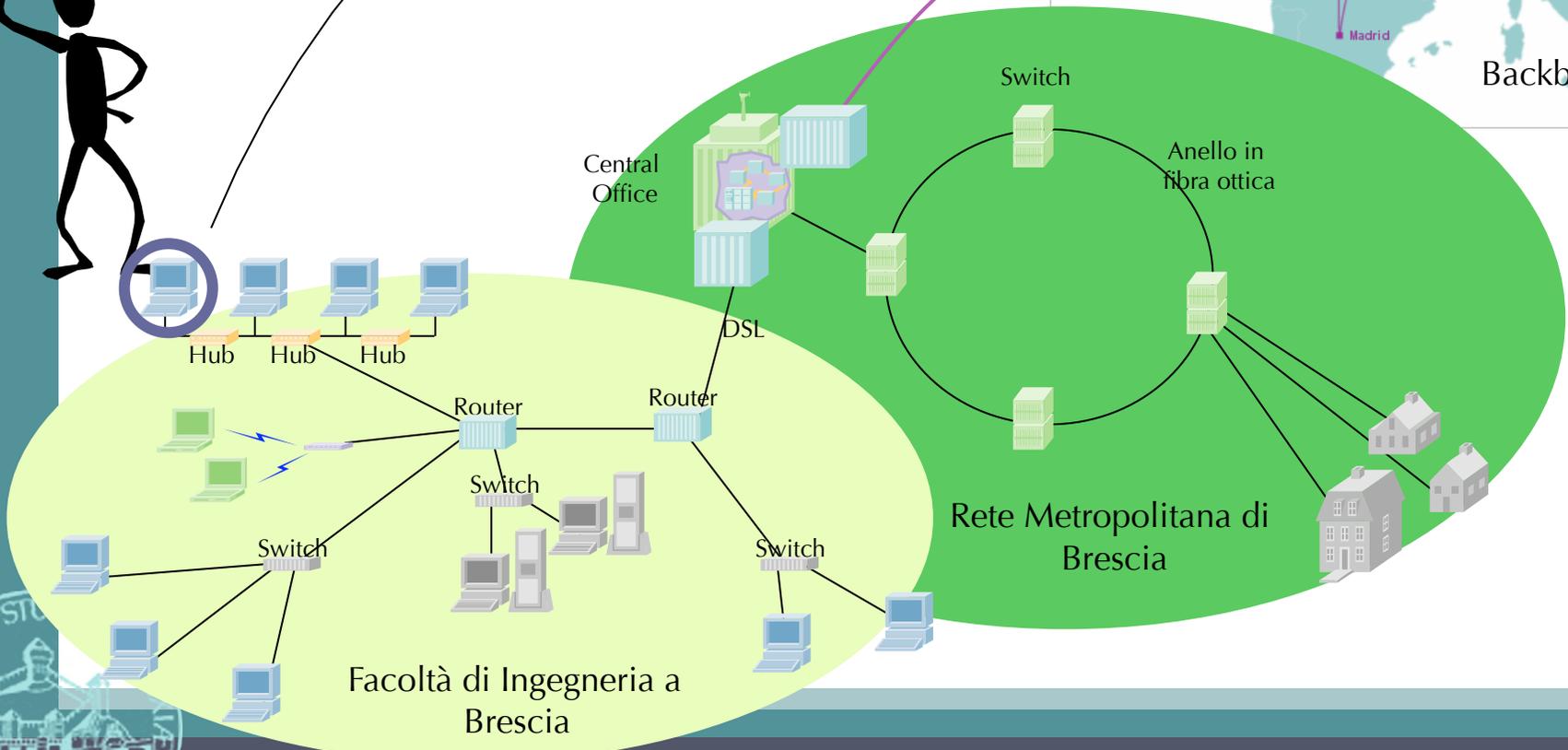
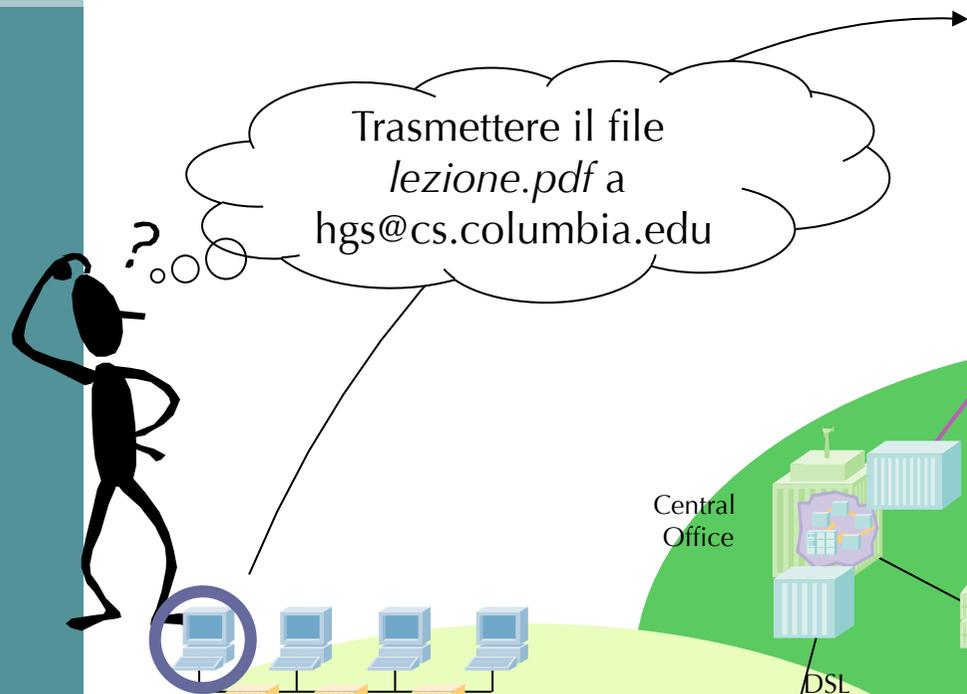
- Introduzione, cenni storici, gli standard
- L'architettura di riferimento TCP/IP
- Tecnologie e architetture di rete
- Le reti locali e gli standard IEEE 802
- Il livello IP: formato header, indirizzamento,
- Il livello UDP, TCP



Introduzione alle reti, cenni storici



Reti di TLC?

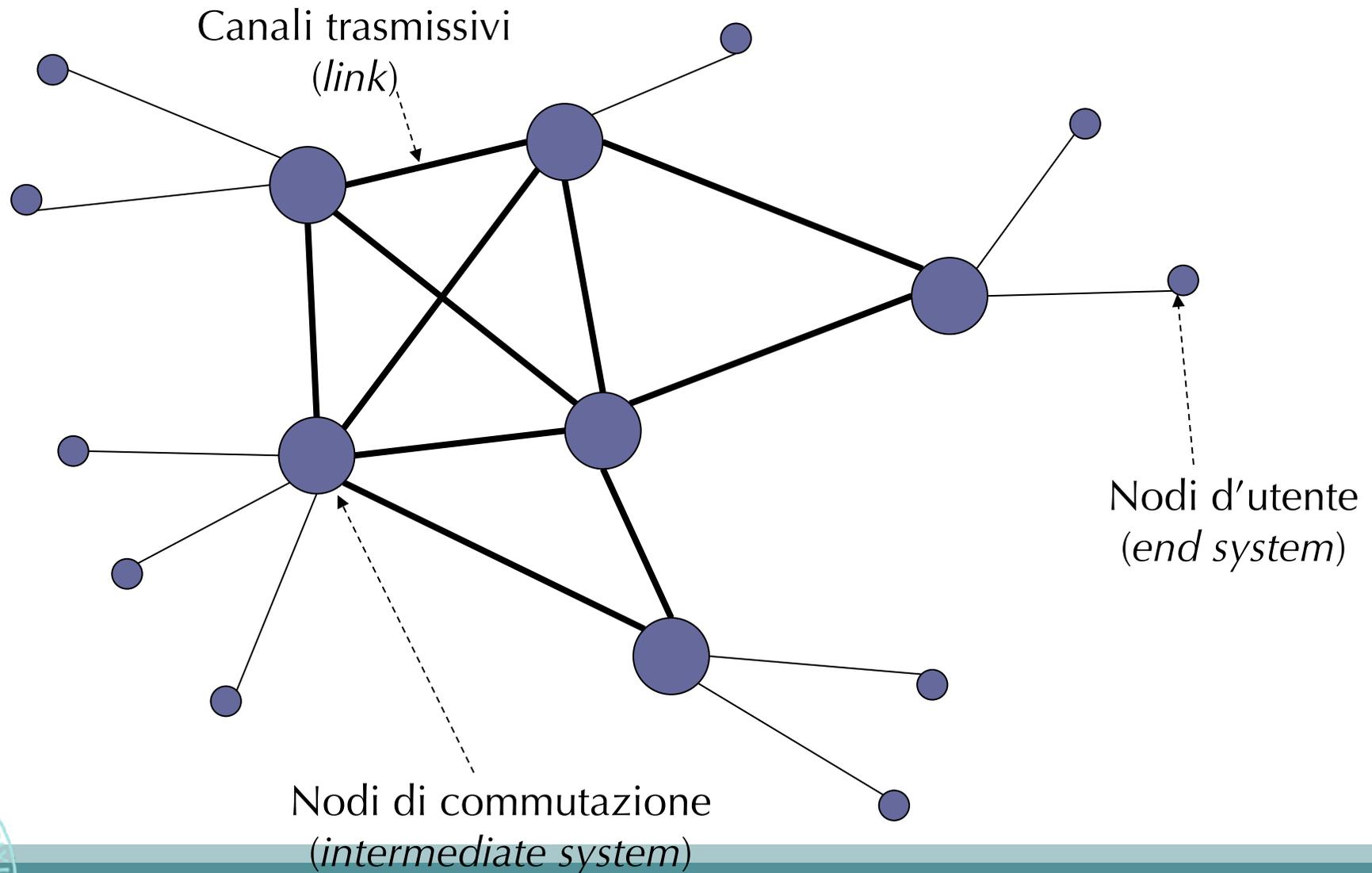


Reti di telecomunicazione

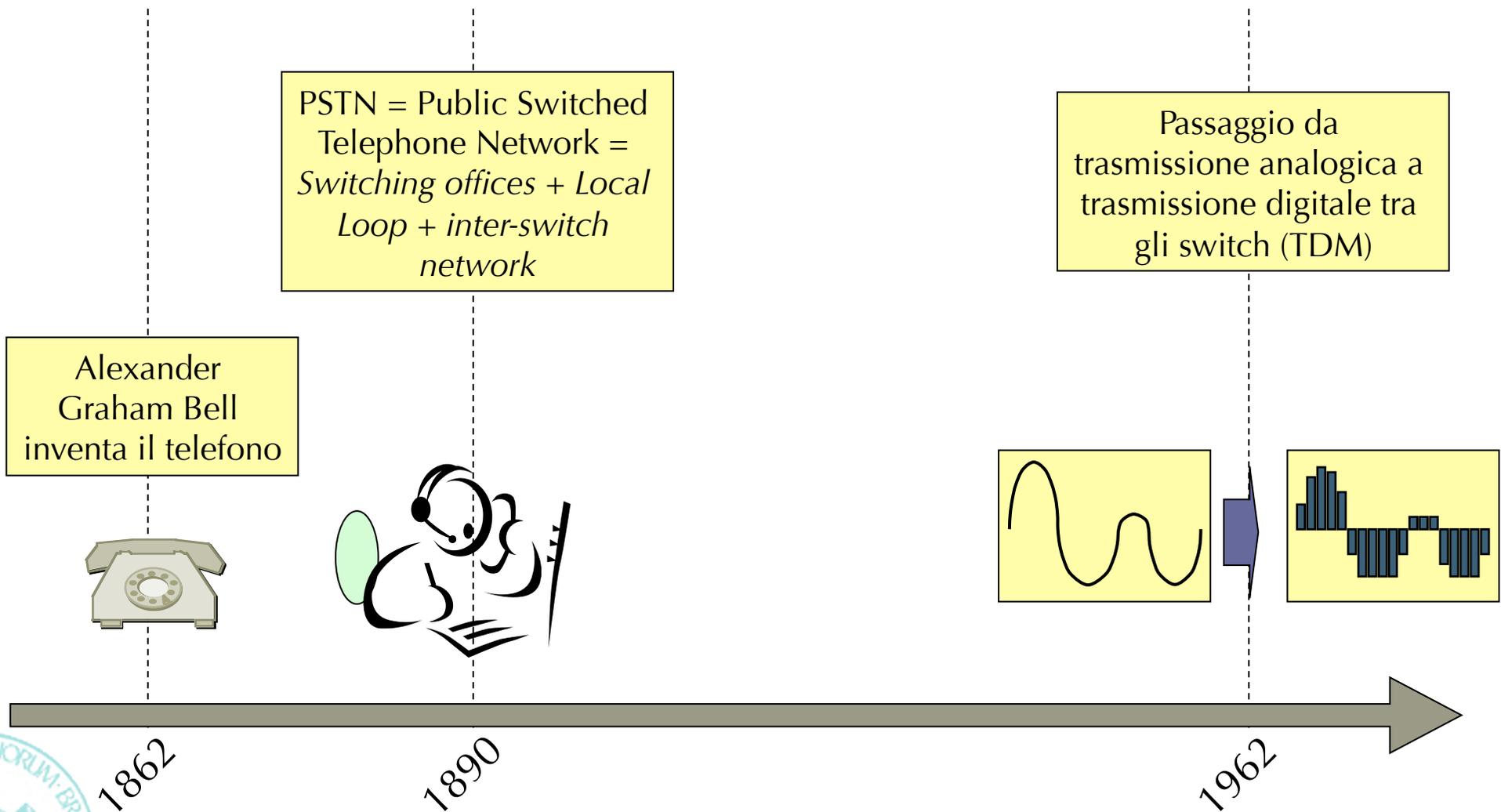
- Una rete di telecomunicazione è un insieme di **nodi** tra loro connessi, secondo una determinata topologia, da **canali di comunicazione**
 - Una rete può essere organizzata in differenti sottoreti
 - Reti diverse possono essere tra loro interconnesse
- Scopo di una rete di telecomunicazione è **il trasporto di informazione da una sorgente ad una destinazione**



Elementi fondamentali di una rete di TLC

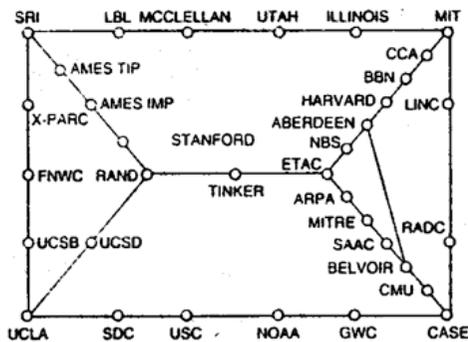


Cenni storici

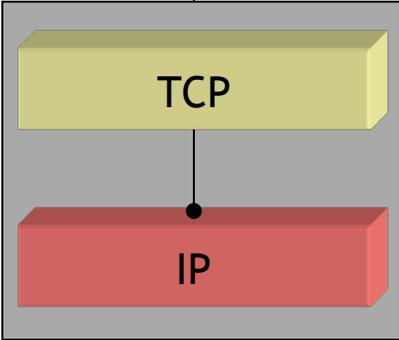


Cenni storici

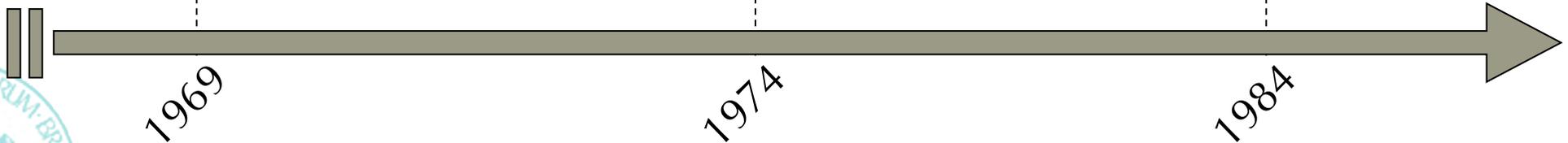
Nasce ARPANET,
precursore di
Internet, la prima
forma di rete a
pacchetto
geografica



Cerf e Kahn
definiscono la
prima versione di
TCP/IP



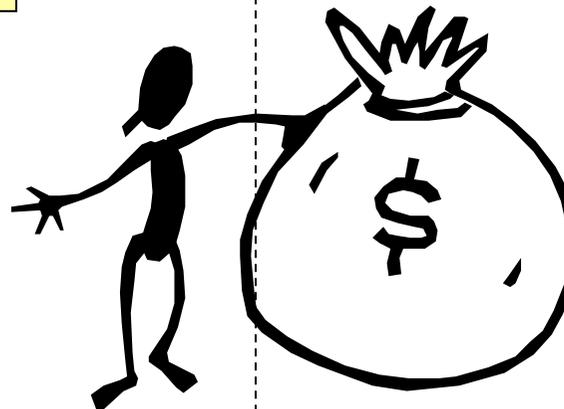
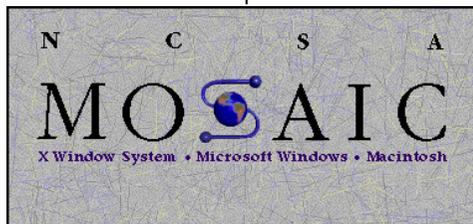
Deregolamenta-
zione del mercato
telefonico USA



Cenni storici

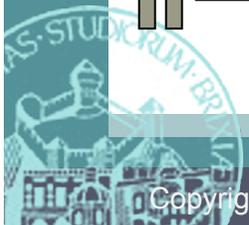
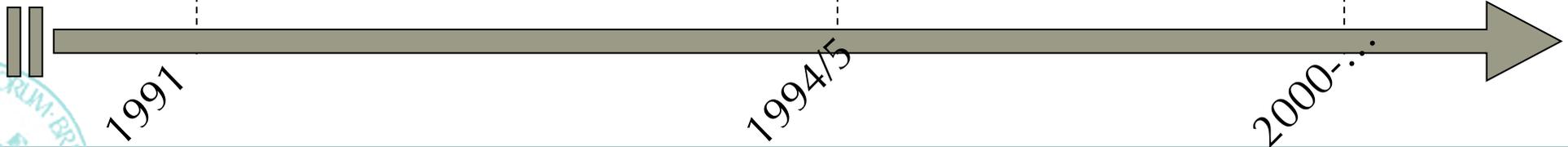
Servizio pilota
ISDN (*Integrated
Services Digital
Network*)

Tim Berners-Lee
definisce HTTP:
nasce il World
Wide-Web



Internet diventa
commerciale

Le reti TCP/IP
vengono usate
per il trasporto di
qualsiasi tipo di
informazioni

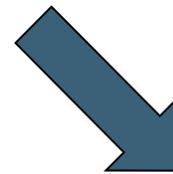


Enti di standardizzazione



Standardizzazione

Tipologie di standard



De facto

Derivano dall'affermazione sul campo di soluzioni non standardizzate e sviluppate senza alcun processo formale di standardizzazione

De jure

Standard definiti e adottati sulla base delle attività di un organismo di standardizzazione comunemente accettato

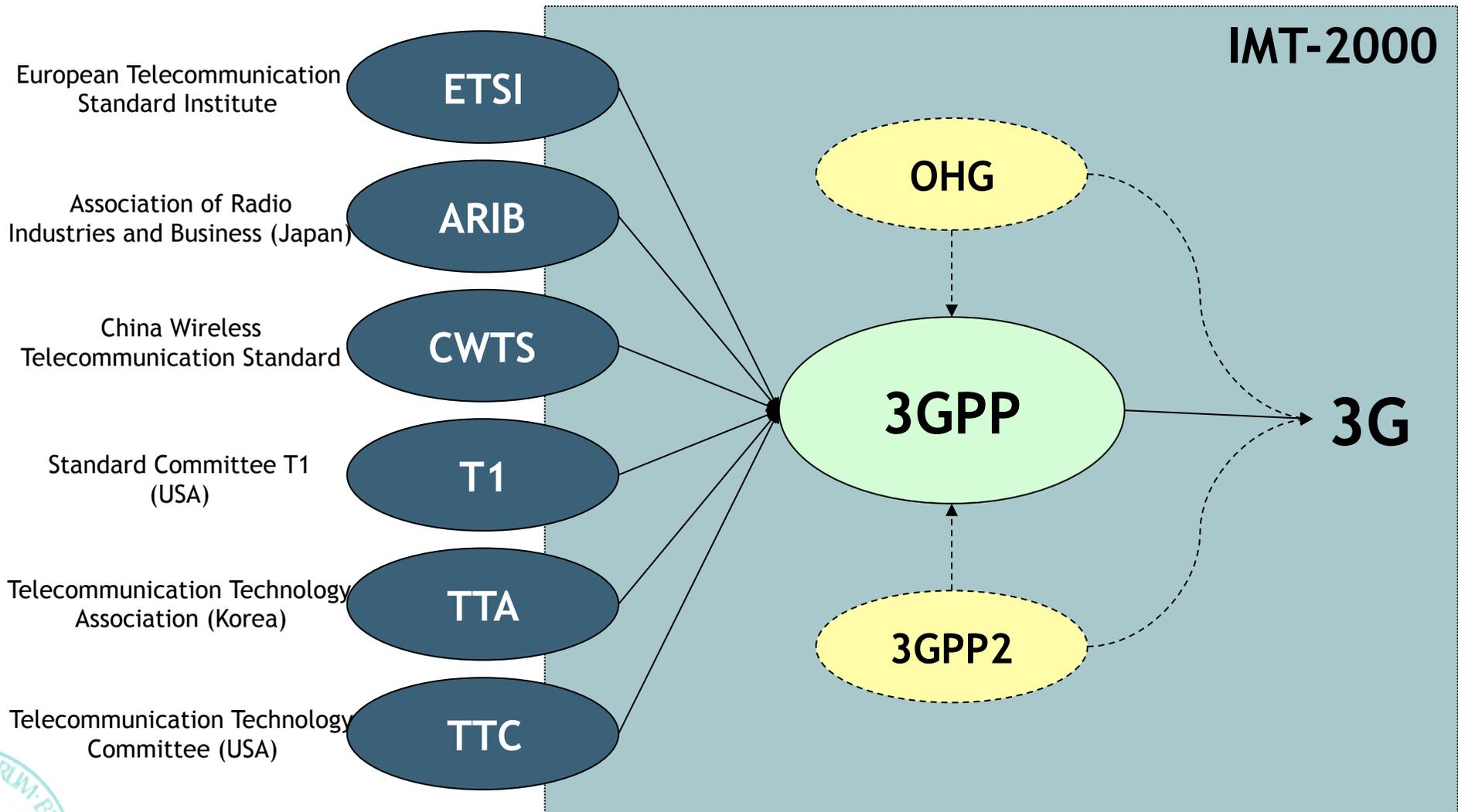


Altri enti di standardizzazione importanti

- National Institute of Standards and Technology (NIST)
 - Agenzia del Ministero del Commercio USA
 - Promuove e definisce gli standard che normano le transazioni commerciali negli USA
 - Gli standard prodotti da questo ente vengono spesso adottati anche da altri paesi
- Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE)
 - Organizzazione “professionale”, dedicata non solo al processo di standardizzazione
 - Definisce standard nei settori dell’ingegneria elettronica e informatica/telecomunicazioni
 - Ad esempio, l’insieme degli standard IEEE 802

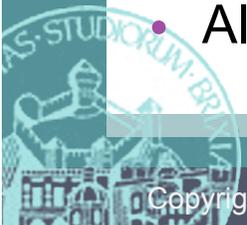


3rd Generation Partnership Project (3GPP)



I documenti di standardizzazione IETF: Request For Comment (RFC)

- Request For Comment (RFC)
 - Rapporti/documenti tecnici che contengono gli standard nuovi/modificati in ambito IETF
 - Numerati in modo progressivo
- Il processo di standardizzazione
 - Step 0: Internet Draft (ID)
 - Documento allo studio ed in via di definizione all'interno di un WG
 - Step 1: Proposed Standard Protocol
 - IESG considera il protocollo per eventuale standardizzazione
 - Devono esistere almeno due implementazioni indipendenti per passare allo step successivo
 - Almeno 6 mesi di valutazione
 - Step 2: Draft Standard Protocol
 - Verifica della reale operatività del protocollo
 - Implementazioni indipendenti interoperabili
 - Almeno 4 mesi di valutazione
 - Step 3: Standard Protocol
- Altri tipi di RFC: informational, ...



Introduzione alle reti, cenni storici

L'architettura di riferimento TCP/IP



Modelli di comunicazione

- **Comunicazione** tra due sistemi := processo che permette a due sistemi di **scambiare informazioni**
- Per permettere la comunicazione tra sistemi è necessario definire:
 - 1. il linguaggio utilizzato, che definisce la comunicazione **a livello logico**
 - 2. la modalità di scambio (trasmissione) delle informazioni, che definiscono la comunicazione **a livello fisico**
- Un **modello di comunicazione** definisce le caratteristiche del linguaggio e delle modalità di trasmissione di un sistema di telecomunicazioni



Esempio



- L'informazione è scambiata
 - A livello logico da una persona ad un'altra
 - A livello fisico attraversando diversi sistemi
- Da notare che, a seconda del mezzo utilizzato, le caratteristiche di comunicazione fisica sono differenti, mentre le caratteristiche della comunicazione logica rimangono inalterate



Problematiche principali associate alla comunicazione

- A livello logico

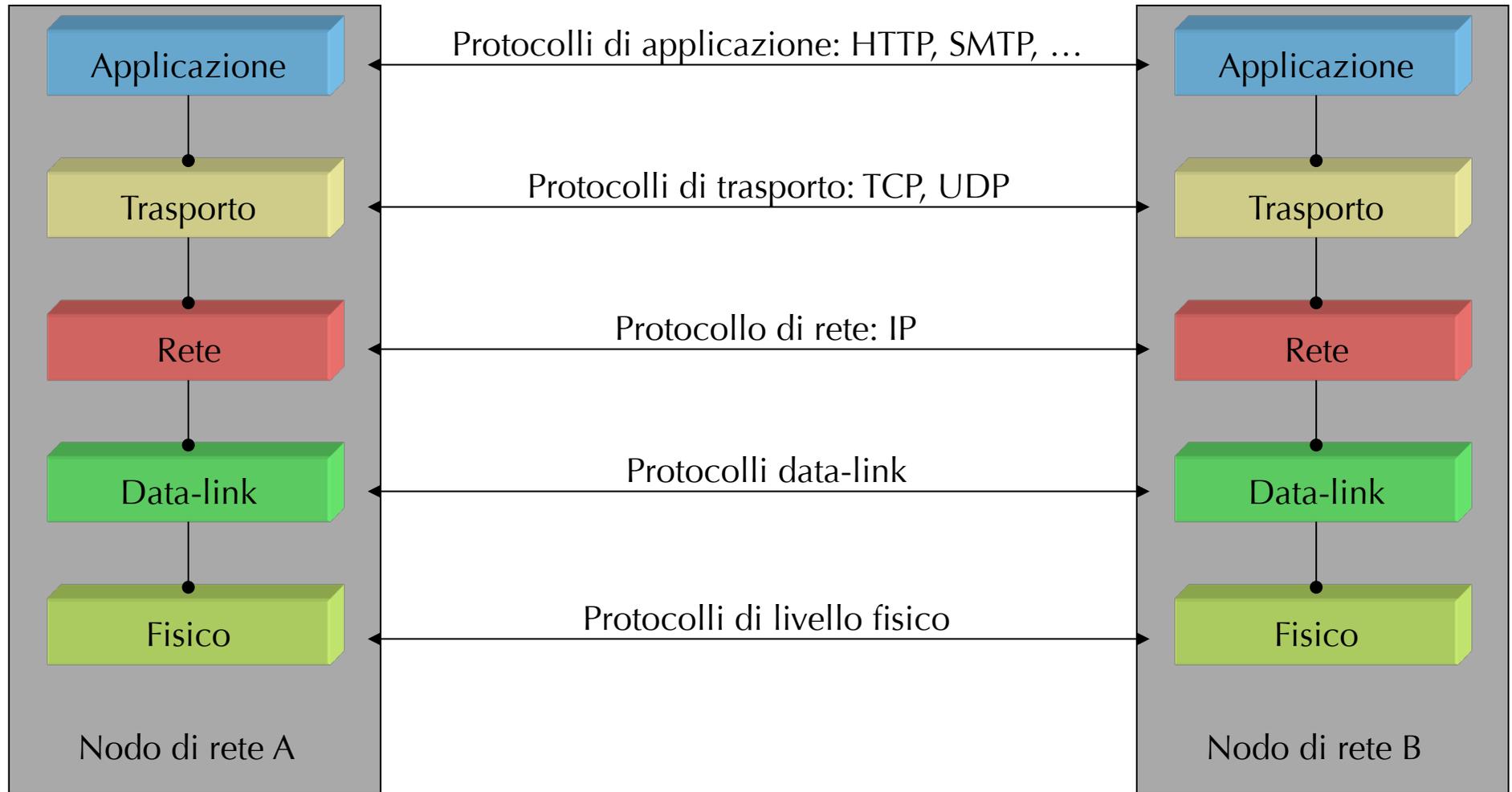
- Linguaggio utilizzato
 - Significato dei messaggi
- Regole per lo scambio di informazione
 - Modalità instaurazione connessioni
 - Algoritmi per instradamento
- Modalità di trasferimento (simplex, half duplex, ...)

- A livello fisico

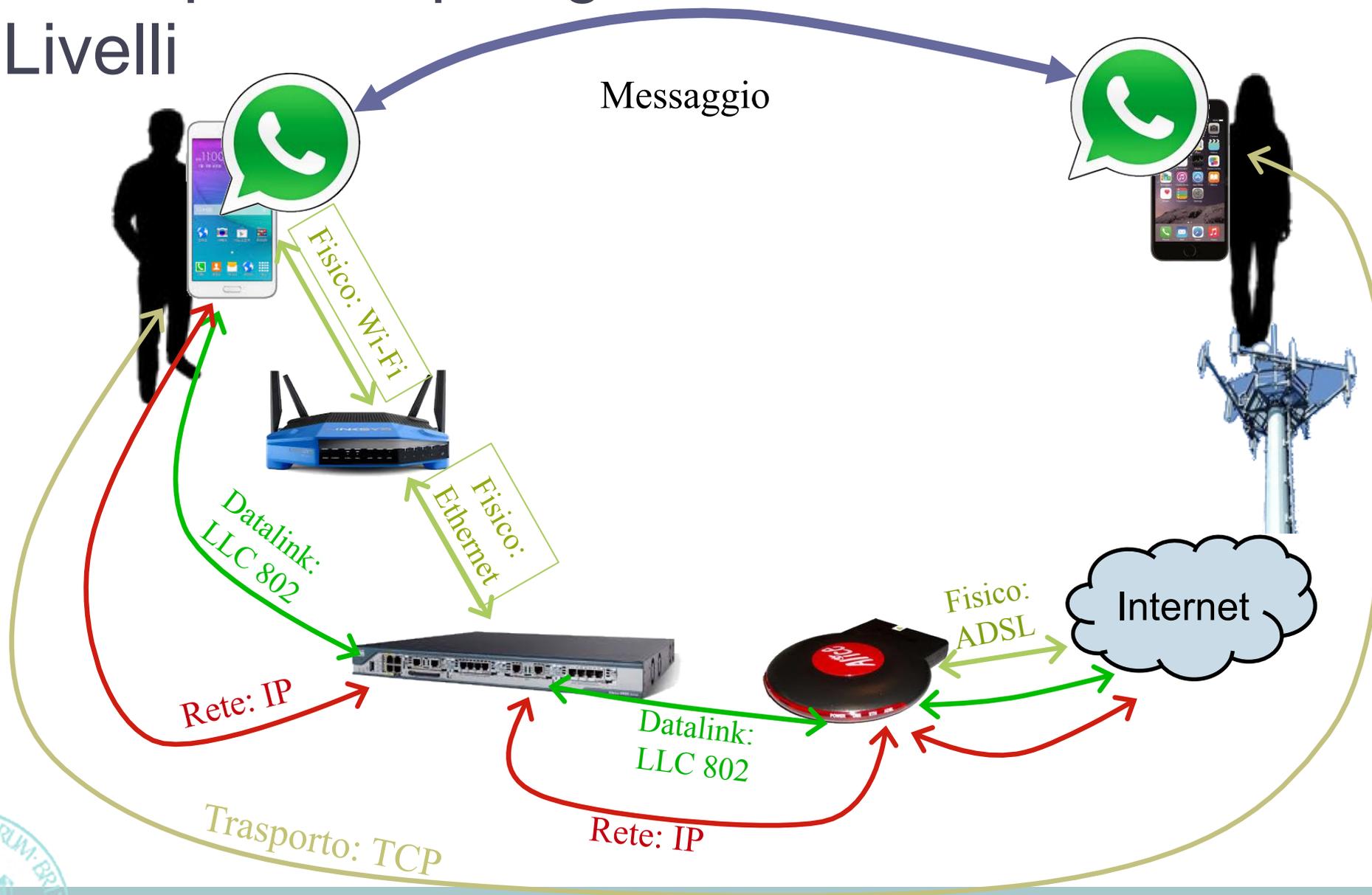
- Indirizzamento
- Controllo degli errori
- Affidabilità
- Sequenzialità
- Segmentazione
- Multiplazione
- Controllo di flusso
- Modalità di trasmissione del segnale



L'architettura TCP/IP



Esempio di topologia/ Livelli



Livello fisico

- Gestisce la trasmissione del segnale su canale fisico
- Funzioni
 - Trasferimento di un flusso seriale di bit
 - Attivazione, disattivazione e controllo della connessione fisica
- Protocolli
 - Specificano le caratteristiche elettriche, meccaniche e procedurali
 - Ad esempio: trasmissione on-off o antipodale, significato dell'ordine dei bit, formato della flag, trasmissione unidirezionale o bidirezionale (half/full duplex);



Livello data-link

- Fornisce un canale numerico di comunicazione il più possibile affidabile
 - Trasferimento di unità logiche di bit (trame)
- Funzioni
 - Gestione collegamento
 - Framing (divisione delle trame)
 - Controllo errori
 - Controllo di flusso
- Protocolli
 - Definiscono il formato della trama
 - Definiscono i messaggi di feedback per il controllo di flusso
 - Definiscono gli algoritmi per la gestione trasmissione e per l'accesso al mezzo



Livello di rete

- È responsabile del trasferimento di informazioni tra nodi, indipendentemente dal tipo di collegamento
- Funzioni:
 - Instradamento
 - Internetworking
- Protocolli
 - Definizione del formato dei pacchetti
 - Definizione dei messaggi per lo scambio di informazioni
 - Definizione degli algoritmi per l'instradamento (shortest path, optimal routing)
 - Notifica e soluzione degli errori



Livello di trasporto

- Fornisce un canale di trasporto ideale e privo di errori tra due utenti, indipendentemente dal livello di rete
- Funzioni
 - Recupero degli errori
 - Multiplazione / demultiplazione
 - Riordino dei pacchetti
 - Controllo della congestione
- Protocolli
 - Definizione del formato dei pacchetti
 - Definizione dei messaggi per lo scambio di informazioni
 - Definizione degli algoritmi per il controllo della congestione



Livello applicativo

- Fornisce i servizi (applicazioni) all'utente
- Fra queste:
 - Trasferimento di file
 - Servizi WWW
 - E-mail
 - Messaggistica (Skype, Whatsapp, ...)
 - Telefonia (Skype, Viber, ...)
 - Video-Telefonate (Skype, Facetime, ...)



Tecnologie e architetture



Classificazione delle reti: criteri

- Non esiste un unico criterio comunemente accettato per la classificazione delle reti
- Possibili classificazioni in base a:
 - Dimensione “geografica”: locale, metropolitana, ecc.
 - Tecnologie trasmissive, tecniche di commutazione: wireless/wired, circuito/pacchetto, ecc.
 - Tipologie di traffico: voce, dati, ecc.
 - Topologia: ad albero, a stella, ad anello, ecc.



Classificazione in base alla dimensione

<i>Distanza tra nodi</i>	<i>Dimensione della rete</i>
0.1m	Circuit board
1m	System
10m	Room
100m	Building
1km	Campus
10km	City
100km	Country
1000km	Continent
10000km	Planet

Micro-computer

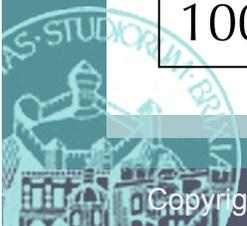
Multi-computer

Local Area Network

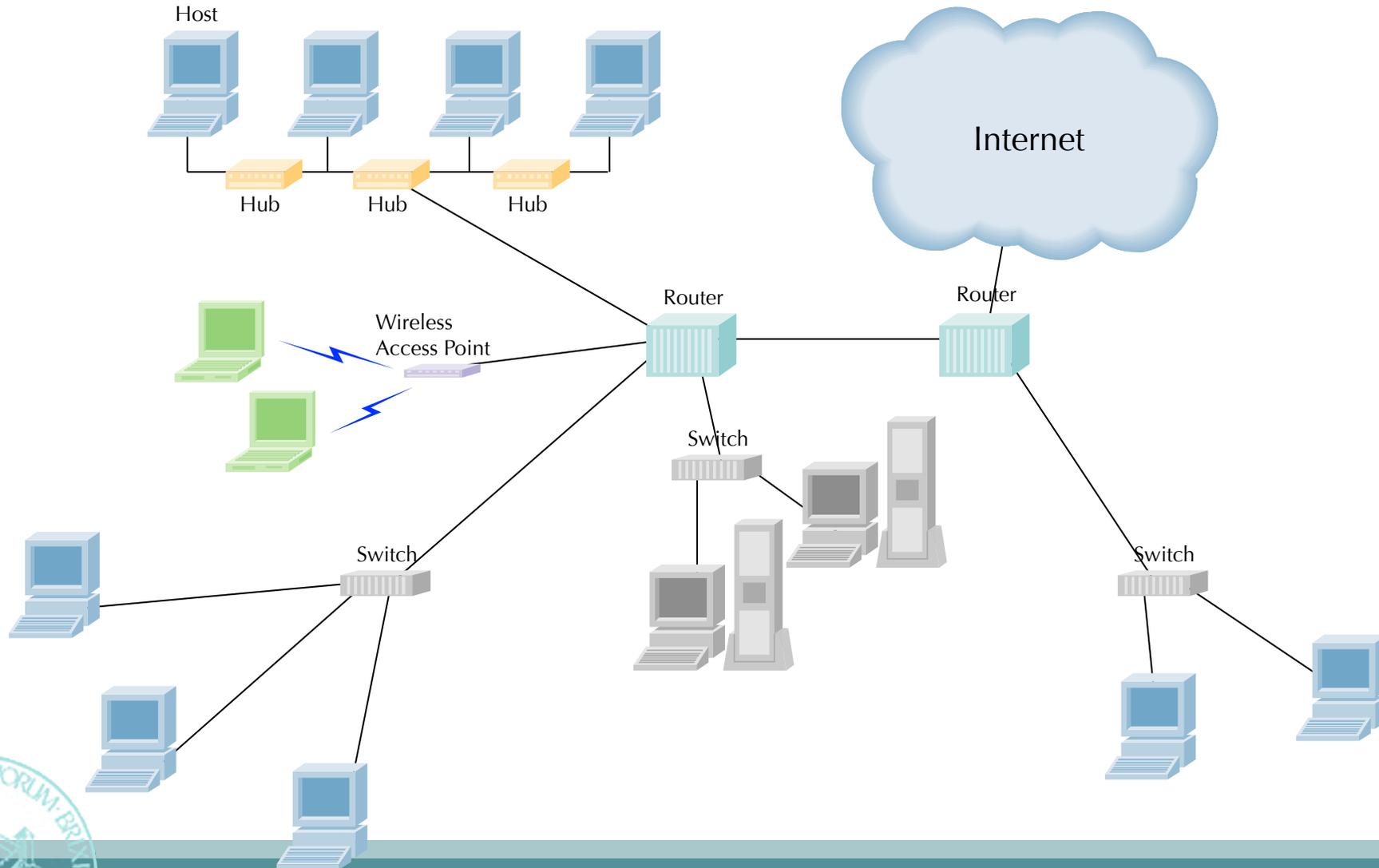
Metropolitan Area Network

Wide Area Network

Internet



Local Area Network (LAN)



Local Area Network: proprietà

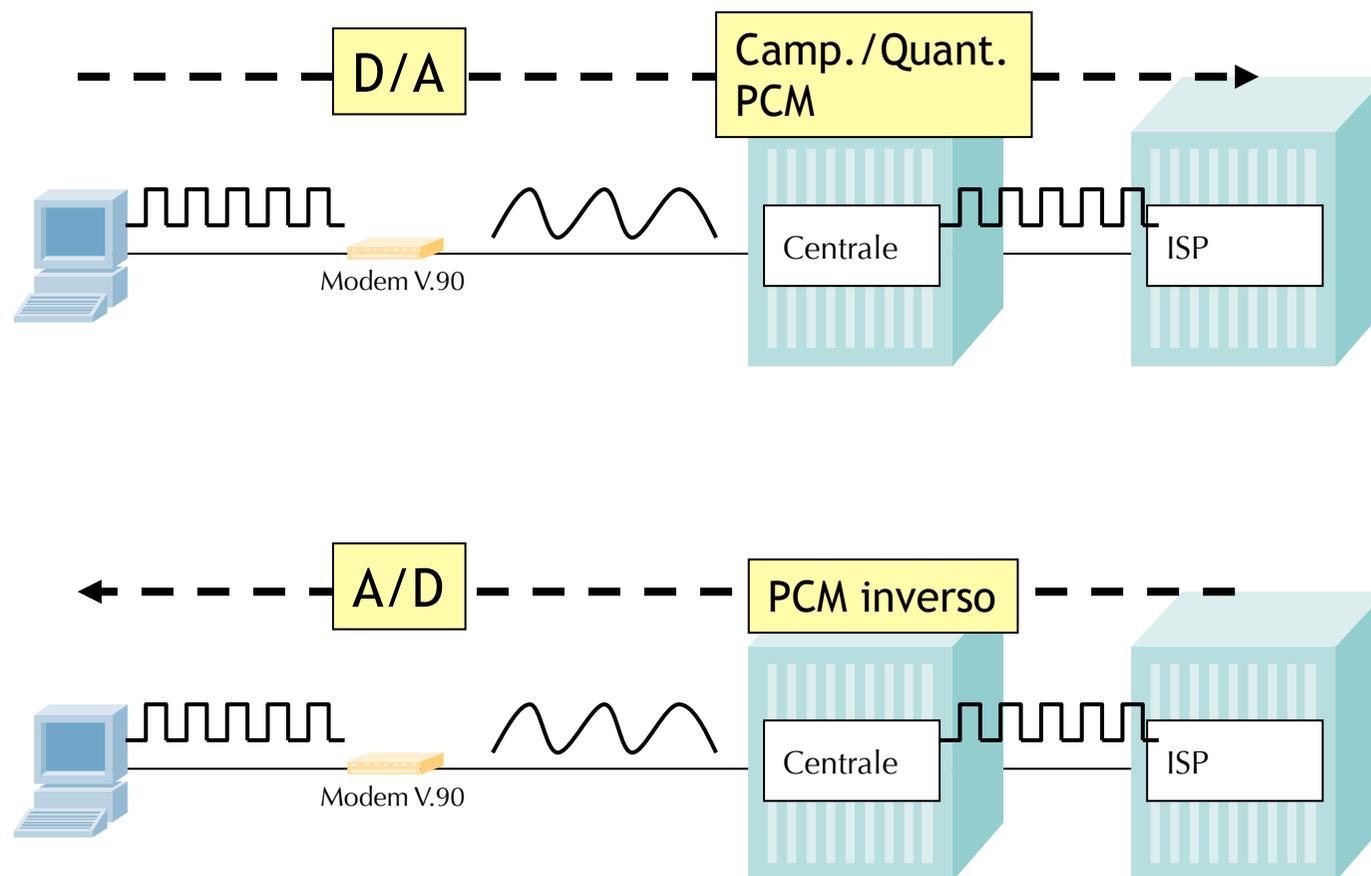
- Rete utilizzata per collegare nodi che risiedono nello stesso ufficio, edificio, campus
- Di solito utilizza tecnologie definite nella famiglia di standard IEEE 802
- Definita per:
 - Dimensioni
 - Limite superiore al caso peggiore per il ritardo trasmissivo
 - Topologie
- Diversi *segmenti data-link* collegati fra loro da *router*
- Gestita da un ente amministrativo omogeneo (Università, azienda, ecc.)
- Carattere privato



Tecnologie di accesso (l'ultimo chilometro)

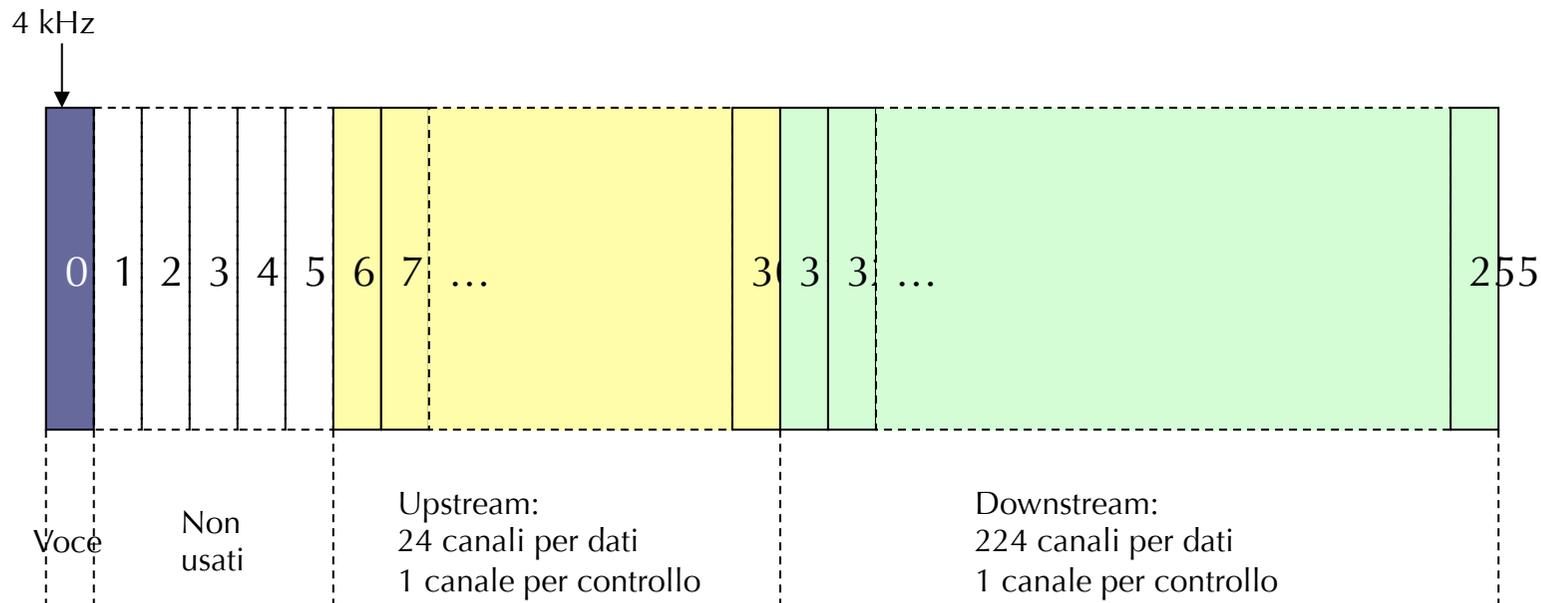
Il doppino telefonico: modem analogico

- Doppino telefonico: garantisce una banda di 4 kHz (in ciascuna delle due direzioni)
- Dal teorema di Shannon: con un SNR di 30 dB (tipico), massima capacità ottenibile = 30 kb/s
- Si arriva al limite attuale dei 56 Kb/s solo in condizioni **molto** ideali (SNR > 50 dB) e con modulazioni molto avanzate
- $C_{\text{upstream}} < C_{\text{downstream}}$ per rumore di quantizzazione dovuto a PCM (rispetto a A/D fatta dal modem)

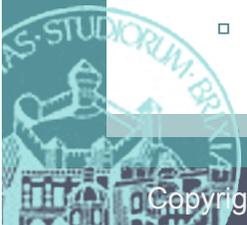


Tecnologie di accesso

Il doppino telefonico: *Digital Subscriber Line* (DSL)



- Filtro utilizzato per separare il canale voce da quelli dati
- ADSL: *Asymmetric DSL*
- Capacità teorica massima (dal th. sulla cap. di canale, con SNR = 30dB):
 - Upstream: ~1 Mb/s
 - Downstream: ~9 Mb/s

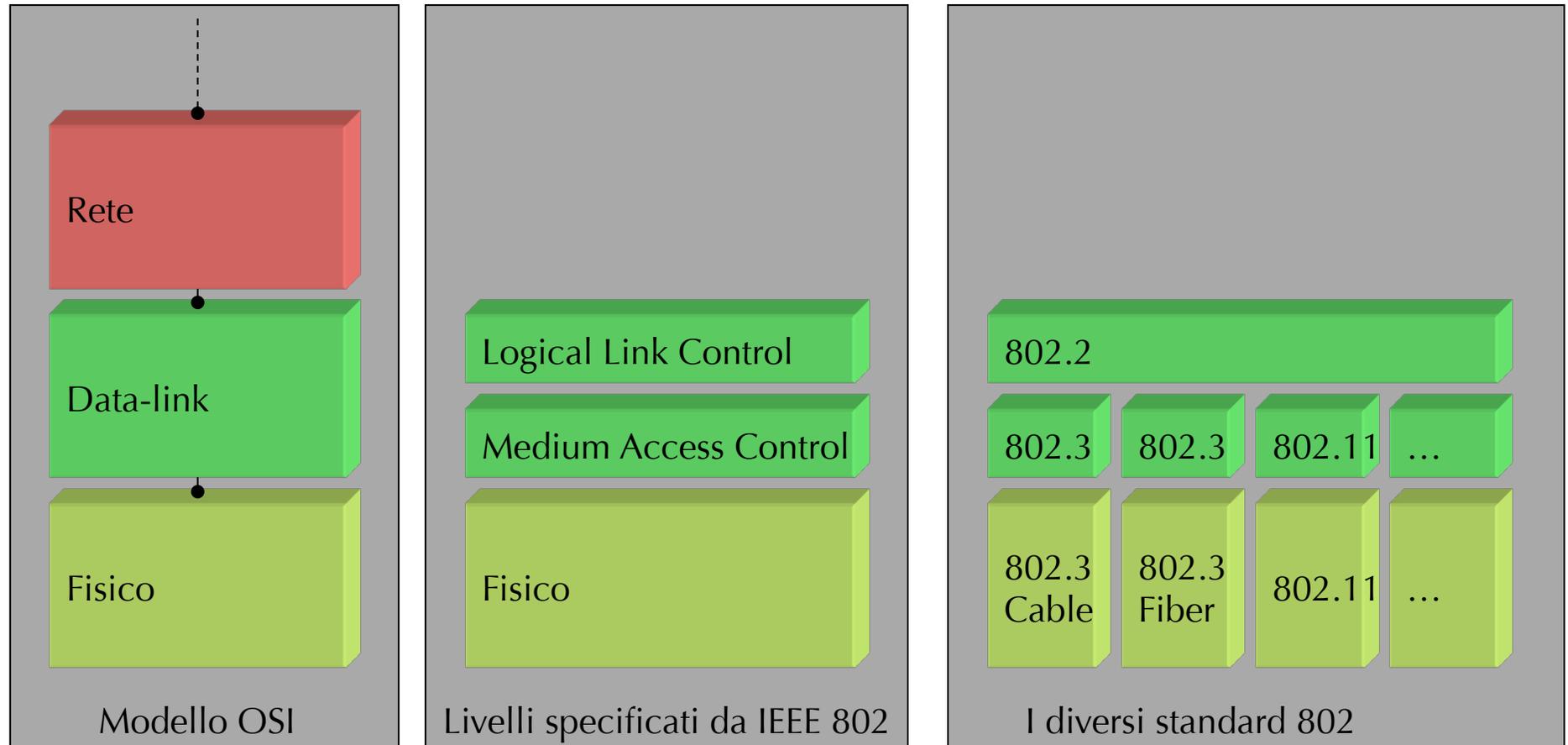


Altre tecnologie di accesso

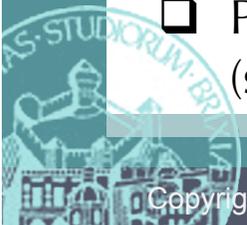
- Fibra ottica
 - Copertura di grandi distanze
 - Supporta direttamente molti protocolli a livello 2 (802.3, SDH, ecc.)
 - Costosa da posare
- Linee telefoniche dedicate “E”
 - In rame copre distanze limitate
 - Capacità da 2 Mb/s (o frazioni multipli di 64 kb/s) a decine di Mb/s
- *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH)
 - Può essere visto come l’evoluzione degli standard “E”
 - Normalmente usato nelle dorsali, può anche essere usato nell’accesso
 - Velocità da 155 Mb/s a Gb/s e più
- Sistemi WiFi (802.11), WiMax (802.16), HIPERLAN



Tecnologie per LAN (e MAN): la famiglia IEEE 802



- ❑ PS: il grafico non include 802.1 (bridging) e una pletora di altri standard della famiglia (sicurezza, qualità del servizio, ecc.)



LAN basate su IEEE 802: caratteristiche principali

- **Indirizzamento**
 - Comune per tutti i membri della famiglia (6 byte), definito da 802.2
 - Univoco a livello globale: AA:BB:CC:DD:EE:FF
- **Meccanismo di accesso al mezzo**
 - Specifico per ogni standard (802.3, 802.11, ecc.)
 - Mezzi condivisi: CSMA-CD (reti cablate, 802.3), CSMA-CA (reti wireless 802.11)
 - Mezzi dedicati punto-punto (full-duplex, 802.3 su cavo twisted-pair)
- **Servizi offerti ai livelli superiori**
 - Di solito *connectionless*, senza riscontro, *best-effort*
- Le vedremo nel dettaglio nella parte dedicata al livello *data-link*



Ethernet e IEEE 802.3

- reti cablate su doppino, cavo coassiale, fibra ottica
- topologia a bus, stella, point-to-point
- accesso al mezzo: CSMA-CD 1-persistent
- Inizio '70: R. Metcalfe, Xerox
- Inizio '80: DEX, Intel, Xerox --> Ethernet DIX @ 10Mbps
- '95: 100 Mbps (FastEthernet)
- '98: 1000 Mbps (Gigabit Ethernet)
- '02: 10 Gbps (10 Gigabit Ethernet)
- '10: 40-100 Gbps (40 and 100 Gigabit Ethernet)



Wireless LAN, IEEE 802.11

- accesso al mezzo: CSMA-CA
- Wireless Local Area Networks (WLAN) o anche Wi-Fi (commerciale)
- Access Point + Stazioni Mobili, infrastructure o ad-hoc mode

	802.11	802.11b	802.11a	802.11g
Bitrate (Mbps)	1 e 2	1, 2, 5.5 e 11	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	11b + 11a
Frequenza (GHz)	2.4 – 2.4835	2.4 – 2.4835	5.15 – 5.35 5.725 – 5.825	2.4 – 2.4835

- Con 802.11n e 802.11ac fino a Gb/s!



IEEE 802.3 e cavo UTP, varie categorie

- Quattro coppie di doppiini intrecciati, coppie a loro volta intrecciate
 - Riduce interferenze, self (coppia a se stessa) e cross (da coppia a coppia)
- Categoria del cavo (prestazioni a 100m)

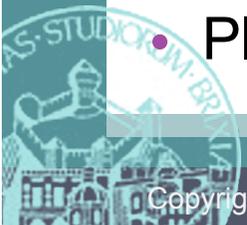
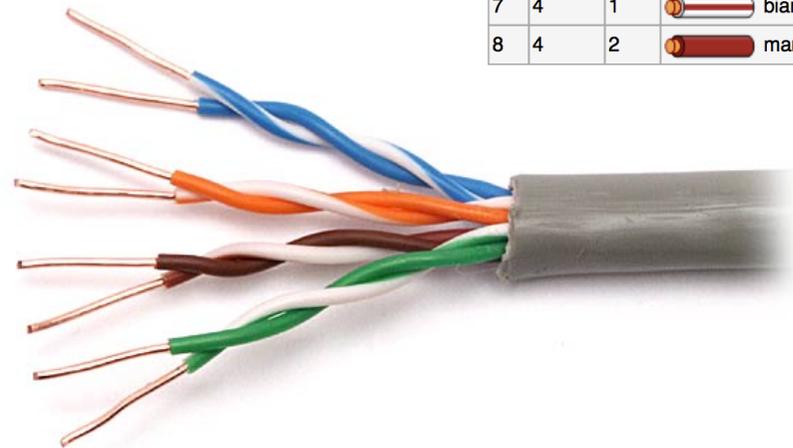
- CAT 3: specifica 10Mb/s su 16MHz
- CAT 4: specifica 16Mb/s su 20MHz
- CAT 5: specifica 100MHz
- CAT 5e: come Cat 5, crosstalk ridotto
- CAT 6: specifica 250MHz
- CAT 6a: specifica 500MHz, meno crosstalk di Cat 6
- CAT 7 e 7a: 600-1000MHz
- Nota: CAT 6e non è standard

• Plug standard è RJ-45



Cavi RJ-45 (TIA/EIA-568-B T568B)

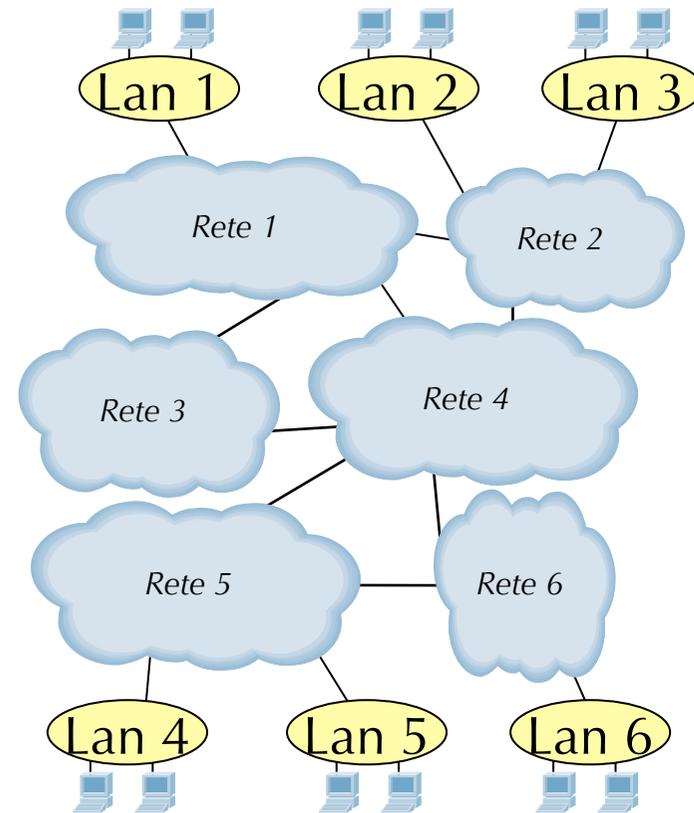
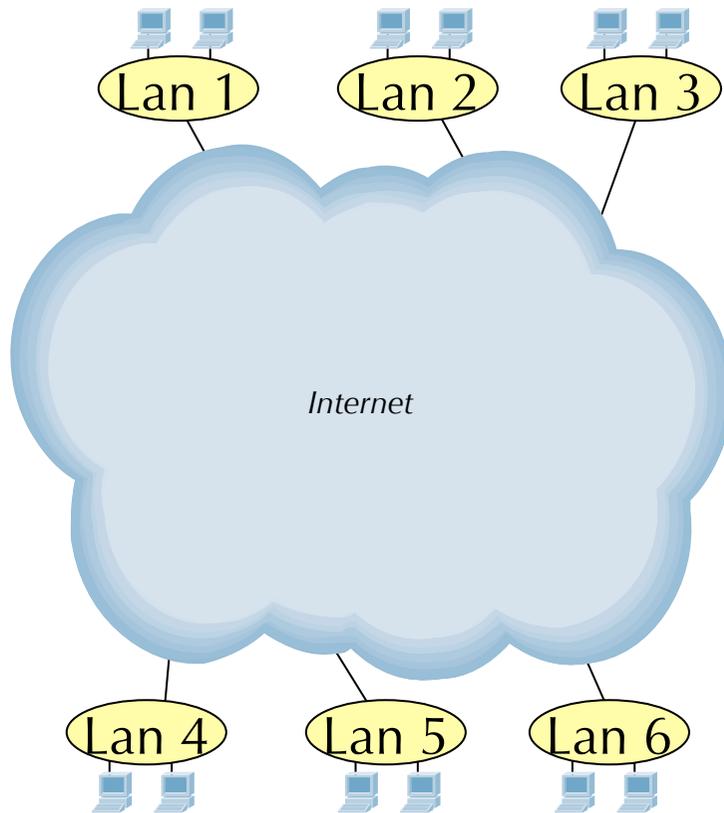
Pin	Coppia	Cavo	Colore
1	2	1	 bianco/arancione
2	2	2	 arancione
3	3	1	 bianco/verde
4	1	2	 blu
5	1	1	 bianco/blu
6	3	2	 verde
7	4	1	 bianco/marrone
8	4	2	 marrone



Introduzione: il livello IP e Internet



Internet: la *rete di reti*



- Internet è l'insieme di numerose **reti eterogenee tra loro interconnesse**
 - Ciascuna di queste reti è basata sullo stack di protocolli TCP/IP, che permette la comunicazione tra qualunque insieme di host remoti (*internetworking*)
- IP rappresenta l'elemento più importante dello stack TCP/IP, in quanto esso è il livello più alto che deve essere implementato su **tutti i nodi di Internet**

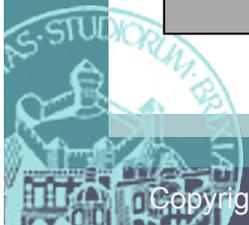
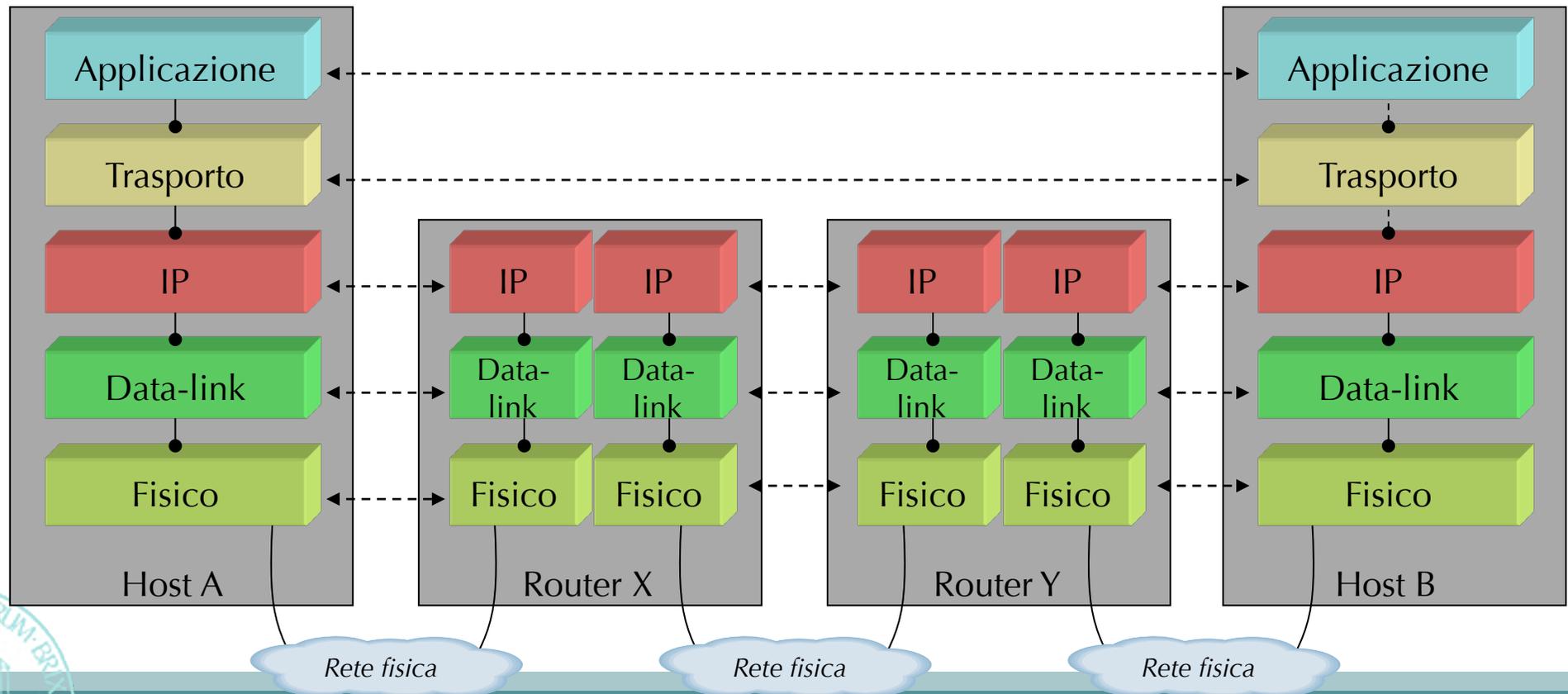
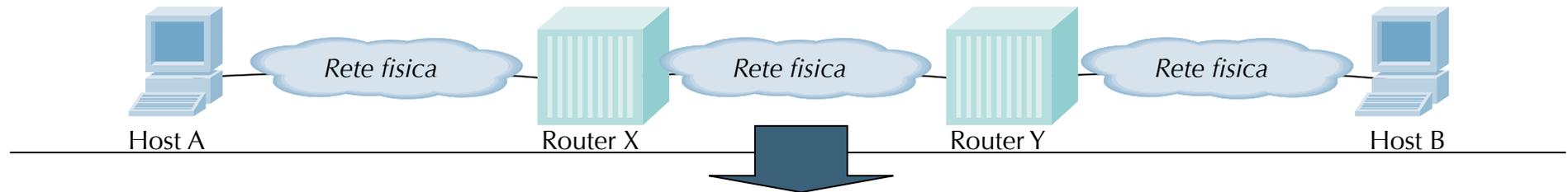


I protocolli base di Internet

- **L'*Internet Protocol versione 4* (IP - IETF RFC 791)** è associabile al livello di rete nel modello OSI
 - Offre ai livelli superiori un servizio a datagramma, non affidabile e non orientato alla connessione
 - Gestisce tutte le funzionalità relative alla frammentazione e all'instradamento dei pacchetti
 - A meno che venga esplicitamente detto il contrario, con il termine *IP* in questo corso intenderemo *IP versione 4*
- Il ***Transmission Control Protocol* (TCP)** e lo ***User Datagram Protocol*** implementano funzionalità del livello di trasporto nel modello OSI
 - TCP (IETF RFC 793) offre ai livelli applicativi un servizio affidabile di tipo orientato alla connessione
 - UDP (IETF RFC 768) offre invece un servizio non affidabile di tipo non orientato alla connessione



Modello di comunicazione



Funzionalità principali di IP e formato dei pacchetti



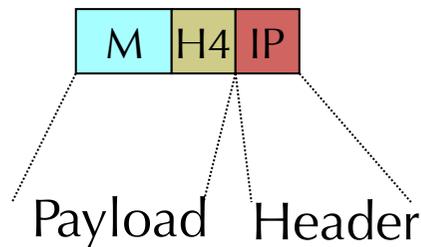
Il livello IP:

caratteristiche e funzionalità principali

- L'*Internet Protocol* (IP) fornisce un servizio di trasferimento di informazioni (da un nodo Internet ad un altro) a *datagramma*, *non-affidabile*, *best-effort*, *connectionless*, senza preservare l'*ordinamento*
- ***Datagramma***: l'unità di base utilizzata dal protocollo è il *datagramma* (pacchetto) IP. Le reti IP sono a *commutazione di pacchetto*. Il datagramma è costituito da *header* e *payload*
 - Nota: se il livello IP è a commutazione di pacchetto, questo non significa che debbano esserlo i livelli data-link sui quali esso si può appoggiare...
- Servizio ***non affidabile***: il servizio non garantisce la consegna. I pacchetti possono essere persi, alterati o duplicati
- Servizio ***best-effort***: IP "fa del suo meglio" per effettuare la consegna dei pacchetti, ma non da' alcuna garanzia circa il successo dell'operazione, o le modalità di consegna (entro un certo limite di tempo, con una certa QoS, ecc.)
- Servizio ***connectionless***: non è necessario instaurare una connessione con il nodo di destinazione prima di inviare un pacchetto IP
- ***Ordinamento non garantito***: i pacchetti IP possono arrivare al destinatario secondo un ordine diverso da quello con il quale sono stati spediti



L'header IP



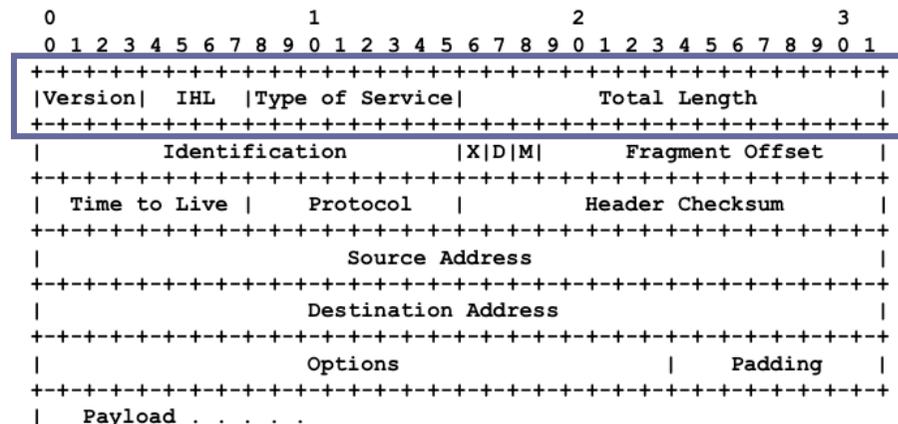
0				1				2				3											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3
Version				IHL				Type of Service				Total Length											
Identification								X D M		Fragment Offset													
Time to Live				Protocol				Header Checksum															
Source Address																							
Destination Address																							
Options										Padding													
Payload																							

- L'header IP contiene tutte le informazioni necessarie perché esso possa essere consegnato alla destinazione



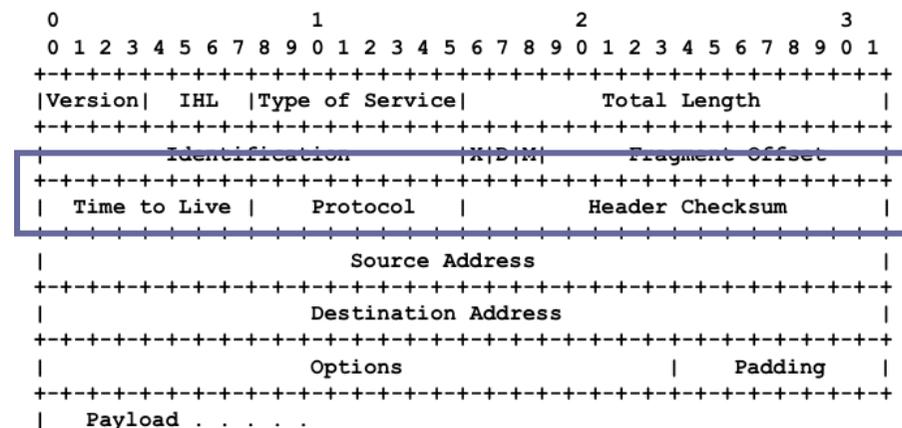
Campi dell'header IP

- **Version** (4 bit): specifica la versione del protocollo IP
- **IHL** (4 bit): esprime la lunghezza dell'header in word di 32 bit
- **Type of service** (8 bit): campo utilizzato dai router per decidere come trattare il pacchetto. Viene di solito utilizzato per servizi a qualità garantita
 - È possibile scegliere tra basso ritardo, alto throughput ed alta affidabilità
 - L'uso del campo ToS è cambiato con il tempo (cfr. lucido successivo)
- **Total length** (16 bit): è la lunghezza totale del datagramma espressa in byte ⇒ la massima dimensione (header incluso) di un datagramma IP è di 65535 byte



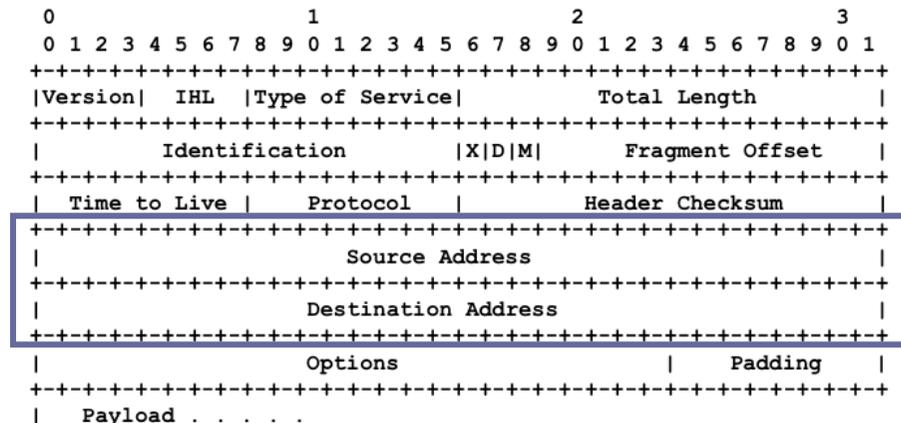
Campi dell'header IP

- **Time to live** (8 bit): permette di evitare la permanenza in rete indefinita del pacchetto nel caso di *routing loop*
 - Rappresenta il numero di hop il pacchetto è autorizzato ad attraversare prima di essere rimosso dalla rete ⇒ un pacchetto può attraversare al massimo 255 nodi
 - In origine rappresentava il numero di secondi residui
- **Protocol** (8 bit): indica il tipo di protocollo trasportato nel payload
- **Header Checksum** (16 bit): contiene il codice per la rivelazione di errori nell'header (n.b.: per **il solo** header, non per il payload)



Campi dell'header IP

- **Source address / destination address** (32 bit ciascuno): rappresentano l'indirizzo IP del nodo sorgente e, rispettivamente, destinazione del pacchetto
 - Ogni *interfaccia di rete IP* viene univocamente a livello globale (eccezione: NAT, cfr. lucidi seguenti) identificata a livello IP da un indirizzo di 32 bit
 - Di norma gli end-host hanno solo un'interfaccia IP, quindi un solo indirizzo IP
 - Di norma, i router hanno più interfacce IP, e **possono** possedere più di un indirizzo IP
 - In teoria (cfr. lucidi successivi), ci sono 2^{32} indirizzi disponibili (~4 miliardi)



Alcuni indirizzi speciali: indirizzi riservati

- 0.0.0.0/32: indirizzo utilizzato durante il *boot*, quando il nodo non ha un indirizzo preconfigurato
 - Da utilizzarsi solo all'interno di una data rete locale
- 127.0.0.0/8: indirizzi di *loopback*
 - Ha senso solo all'interno di un nodo di rete
- 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12, 192.168.0.0/16: indirizzi speciali, riservati alle reti private
 - Pacchetti che portano questo tipo di indirizzi come indirizzo sorgente o destinazione al di là delle reti locali dalle quali sono originati vengono di norma scartati
- 169.254.0.0/16: indirizzi *link-local*, validi per comunicare solo con nodi residenti sullo stesso segmento di livello 2



Internetworking?

L'instradamento dei pacchetti IP

Trasmettere il file
lezione.pdf a
`hgs@cs.columbia.edu`



Columbia University

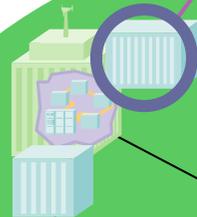
To New York



Realizzazione delle reti TCP/IP
l'instradamento (routing) è un

termine che identifica l'insieme di quei processi responsabili dell'instaurazione e manutenzione delle *informazioni di stato* necessarie sui nodi di una *internetwork* perchè ciascun pacchetto IP possa arrivare a destinazione, nonché di quelle procedure necessarie su ciascun nodo perchè esso possa *inoltrare correttamente* i pacchetti verso la destinazione

Central Office



DSL

Hub

Hub

Hub



Switch

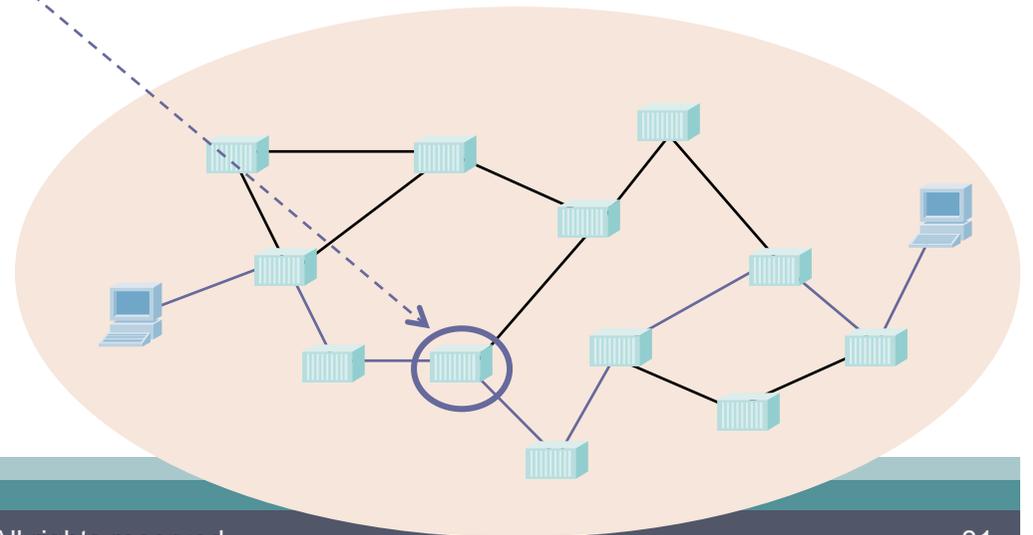
Switch

Switch

Facoltà di Ingegneria a
Brescia

Il routing IP

- *Routing IP* = operazione di instradamento dei pacchetti IP
- La decisione di instradamento viene presa **localmente** in base a informazioni contenute nelle **tabelle di routing** (quelle che nel lucido precedente abbiamo chiamato “informazioni di stato”) in ciascun nodo
 - Instradamento **hop-by-hop** del pacchetto: ogni nodo deve solo conoscere l’interfaccia di uscita e il **next-hop** che porteranno il pacchetto più vicino alla destinazione, **non tutto il percorso**
- L’inoltro di un pacchetto IP dall’host sorgente all’host di destinazione è un’operazione distribuita che comporta un’azione coordinata da tutti i nodi sul percorso del pacchetto
- Il coordinamento tra i vari nodi viene garantito dall’aggiornamento delle tabelle di routing



Stazioni e router

- Ciascuna **interfaccia di rete IP** di un dato nodo di rete dovrà essere configurata con un **indirizzo IP** e una **netmask**: in generale, un nodo di rete possiederà quindi tanti indirizzi IP quante sono le sue interfacce, ossia quante sono le reti fisiche alle quali esso è direttamente collegato
 - In realtà ogni interfaccia può possedere più di un indirizzo IP
- Nella maggior parte dei casi le **stazioni** possiedono una sola interfaccia di rete, mentre i **router** almeno due
- Dal punto di vista concettuale però, l'unica differenza tra i nodi che fungono da *stazione* rispetto a quelli che fungono da *router* è che i primi si limitano a processare pacchetti IP che sono diretti a loro, o che hanno avuto origine da processi a loro interni, mentre i secondi inoltrano pacchetti che né sono destinati a loro, né sono stati da loro originati
- Ci sono naturalmente eccezioni: in casi particolari, stazioni possono possedere più di un'interfaccia, e (molto raramente) router possono essere configurati con una sola interfaccia

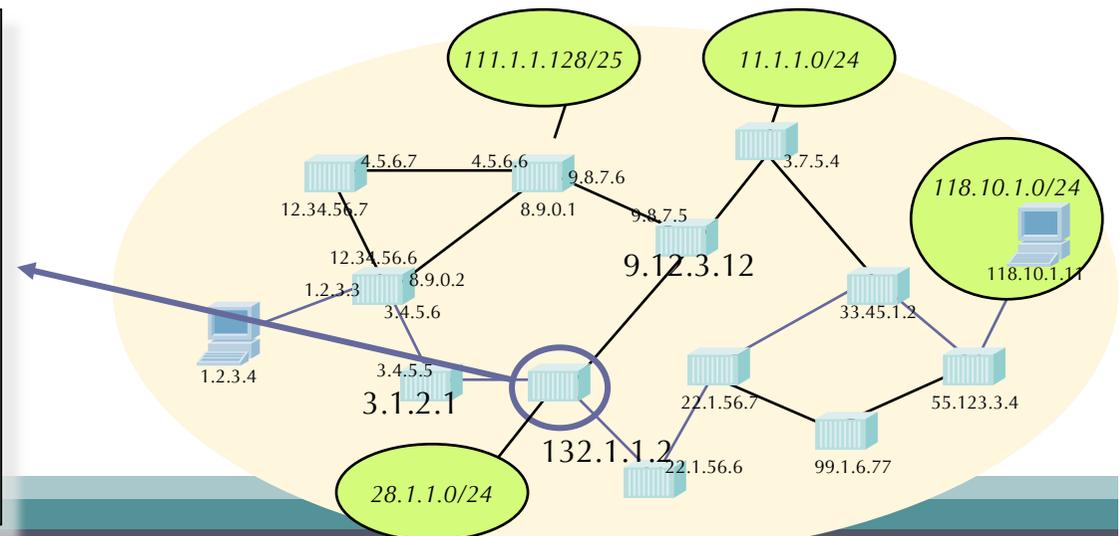


Le tabelle di routing

- Su ciascun nodo di rete, le **tabelle di routing** contengono la parte più importante delle *informazioni di stato* necessarie all'instradamento dei pacchetti: esse contengono, sostanzialmente, l'informazione circa il **next-hop** relativo a tutti i possibili indirizzi IP di destinazione ai quali il nodo potrebbe doversi trovare ad inviare pacchetti
- Le righe di una tabella di routing IP puntano sempre ad indirizzi di nodi che possono essere raggiungibili **direttamente** (a livello 2) dal nodo in esame, ossia al **next-hop** (a livello IP) nel percorso dei pacchetti
- Esaminando la propria tabella di routing, il singolo nodo **non ha visibilità globale** sul percorso che i pacchetti IP debbano seguire: l'unico elemento che conosce è, per ogni dato indirizzo di destinazione, qual è il next-hop a livello IP

Tabella di routing

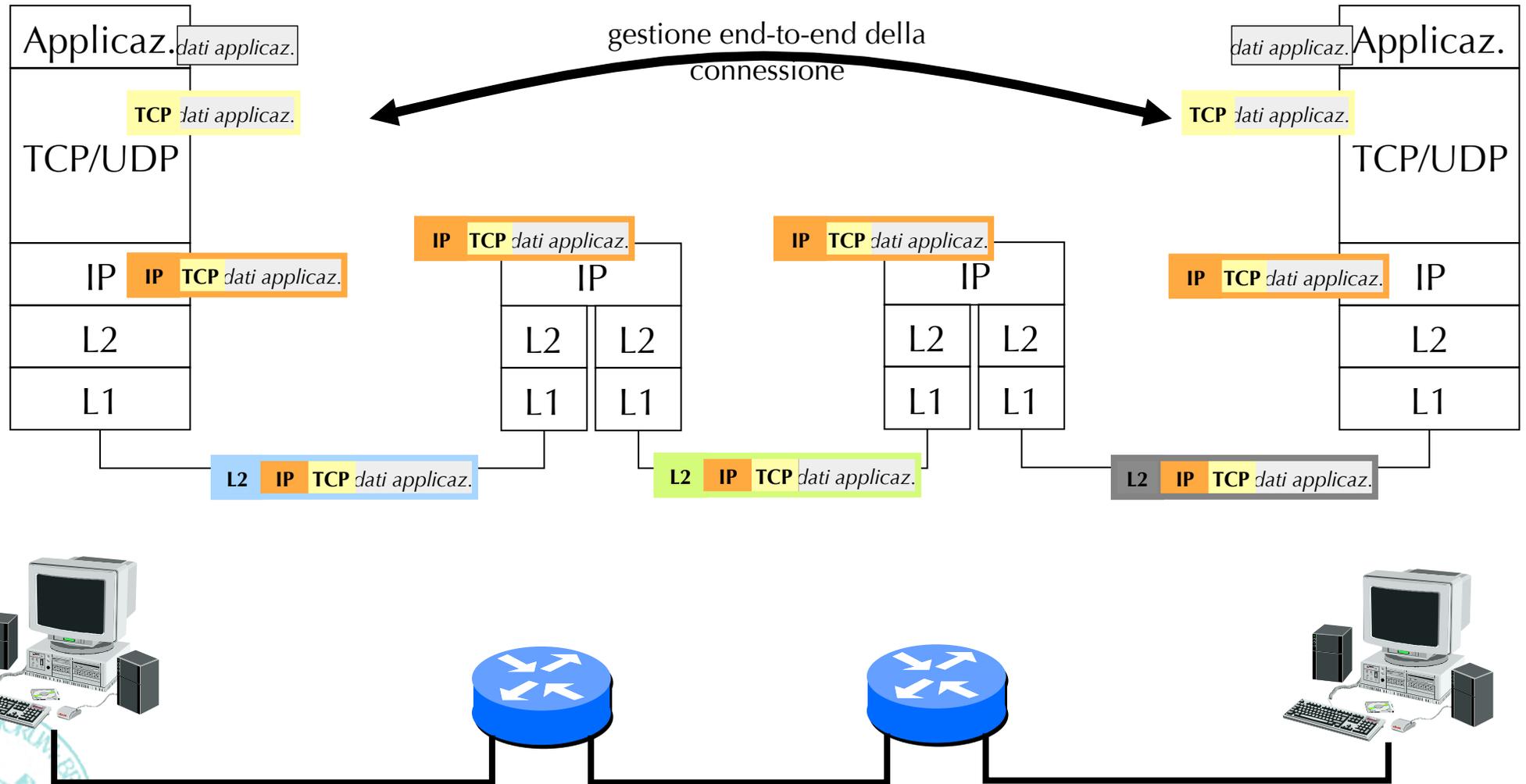
Destinazione	Next-hop	Interfaccia
28.1.1.0/24	--	1
...
111.1.1.0/24	9.12.3.12	3
11.0.0.0/8	9.12.3.12	3
1.2.3.0/10	3.1.2.1	2
...



Il livello di “trasporto” nelle reti TCP/IP



Visione d'insieme



Livello di trasporto

- Fornisce un canale di trasporto end-to-end ideale e privo di errori tra due utenti, indipendentemente dalla rete
- Per compiere questo obiettivo, come tutti i livelli OSI, il livello di trasporto offre, attraverso delle primitive, dei servizi al livello superiore e svolge una serie di funzioni
- Servizi offerti al livello applicativo:

- connection-oriented affidabile

- per il trasferimento dei dati viene attivata una connessione
- ogni pacchetto (→ segmento) inviato viene “riscontrato” in modo individuale

TCP

- connectionless non affidabile

- non viene attivata nessuna connessione
- invio delle trame senza attendere alcun feedback dalla destinazione sulla corretta ricezione
 - se una trama viene persa non ci sono tentativi per recuperarla

UDP



Funzioni svolte dal livello di trasporto

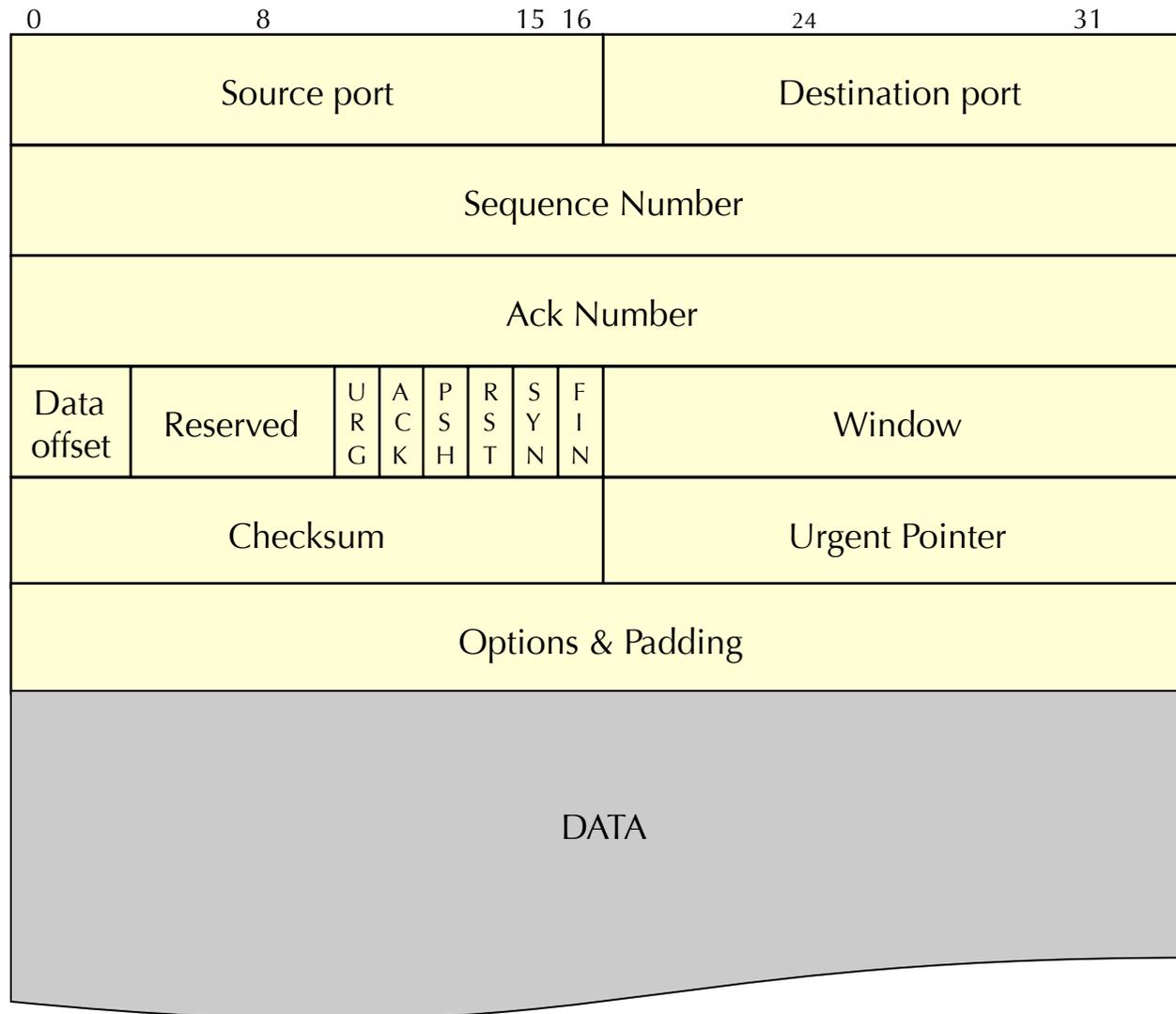
- Indirizzamento a livello applicativo / multiplazione / demultiplazione
 - modalità di differenziazione delle diverse applicazioni che utilizzano il protocollo di trasporto per trasferire i dati
 - multiplazione in caso di tratti di rete comuni
- Instaurazione, gestione e rilascio delle connessioni
 - si preoccupa di gestire la connessione, ovvero lo scambio di informazioni necessarie per concordare l'attivazione di un canale di comunicazione
- Recupero degli errori
 - politiche implementate e azioni da svolgere in caso di errore o perdita di segmenti
- Consegna ordinata dei segmenti
- Controllo di flusso
 - azione preventiva finalizzata a limitare l'immissione di dati in rete a seconda della capacità end-to-end di questa
- Controllo della congestione
 - azioni da intraprendere come reazione alla congestione di rete

UDP

TCP



Header TCP



Significato dei campi

- Source port – Destination port [16 bit]: indirizzi della porta sorgente e della porta destinazione
- Sequence Number [32 bit]: numero di sequenza del primo byte del payload
- Acknowledge Number [32 bit]: numero di sequenza del prossimo byte che si intende ricevere (ha validità se il segmento è un ACK)
- Offset [4 bit]: lunghezza dell'header TCP, in multipli di 32 bit
- Reserved [6 bit]: riservato per usi futuri
- Window [16 bit]: ampiezza della finestra di ricezione (comunicato dalla destinazione alla sorgente)
- Checksum [16 bit]: risultato di un calcolo che serve per sapere se il segmento corrente contiene errori nel campo dati
- Urgent pointer [16 bit]: indica che il ricevente deve iniziare a leggere il campo dati a partire dal numero di byte specificato. Viene usato se si inviano comandi che danno inizio ad eventi asincroni "urgenti"



Indirizzamento TCP

- Il numero di una porta può essere:
 - statico (well known port)
 - sono identificativi associati ad applicazioni largamente utilizzate (posta elettronica, web, ftp, ...)
 - esempio: la porta 80 identifica l'applicazione web
 - www.iana.org/assignments/port-numbers
 - dinamico (ephemeral)
 - sono identificativi assegnati direttamente dal sistema operativo al momento dell'apertura della connessione
- La porta sorgente e la porta destinazione non sono necessariamente uguali
- L'utilizzo delle porte, insieme agli indirizzi IP sorgente e destinazione (i.e. socket) servono per il multiplexing e demultiplexing dei dati da parte del TCP
- I socket identificano univocamente una connessione (su cui passa un unico flusso informativo)

