



Università
degli Studi
della Campania
Luigi Vanvitelli

Reti di Calcolatori e Cybersecurity

Introduzione al corso

Ing. Vincenzo Abate

Reti di Calcolatori e Cybersecurity

Obiettivi metodologici e formativi:

- Il corso intende fornire agli studenti le conoscenze base sulle reti informatiche locali e geografiche. Lo studente approfondirà la conoscenza dei meccanismi di comunicazione in rete e la conoscenza di problemi specifici di sicurezza in ambito rete.

Metodologie

- Lezioni frontali

Materiale didattico

- Dispense e stampati dalle lezioni

Testo consigliato

- Reti di calcolatori e Internet. Un approccio top-down

ESAME

- Scritto/Orale



Reti di Calcolatori e Cybersecurity

Programma di massima

- Introduzione alle reti di calcolatori
- Modelli a strati delle reti e modello di riferimento ISO/OSI
- Stack protocolare TCP/IP
- Principali protocolli
- Architetture di Rete



Le Reti

Definizione

Una rete (Network) è un insieme di entità, denominate Host, collegate tra loro e in grado di comunicare attraverso una tecnologia.

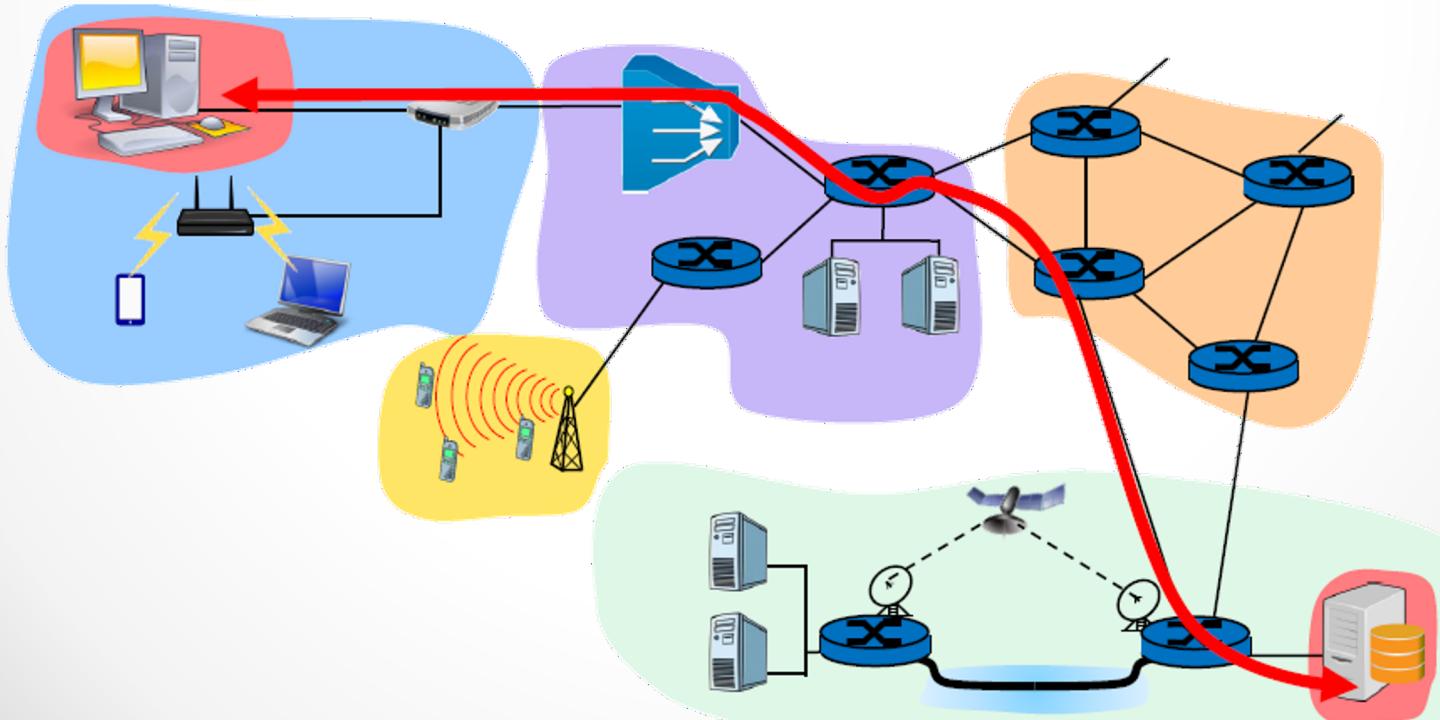
Attraverso una rete è possibile:

- Condividere Dati e software
- Condividere stampanti
- Muovere dati da un Host all'altro
- Utilizzare Servizi messi a disposizione da un Host
- Utilizzare l'intelligenza di un Host remoto da un Host con capacità più limitate.
- Creare database con accesso distribuito
- Word Wide Web (ma non solo!)

Le Reti

Infrastruttura Eterogenea

- Molteplici tipologie di terminali
- Diversi mezzi di trasmissione
- Molteplici tecnologie di comunicazione
- Diversi proprietari
- Una serie di servizi diversi



Le Reti

Una Rete presenta componenti di natura eterogenea, essi possono essere:
Terminali (host o end system)

- Computer PC
- Server
- Portatili
- Stampanti
- Sistemi disco (Storage)



Dispositivi intermedi

- Si trovano in una posizione ‘intermedia’ rispetto agli host e svolgono diverse tipologie di compiti
- Assumono nomi diversi in funzione del compito svolto : hub, switch, router, modem, access point, firewall

Connessioni (o Link)

- Si distinguono in wired (cavi) e wireless (usando onde radio o segnali infrarossi)

Le Reti

Aspetti importanti

- Controllo e sincronizzazione
- Affidabilità e verifica della comunicazione
compatibilità (hardware e software) compressione di dati
- Dimensionamento (distanze tra dispositivi, numero di dispositivi) velocità della comunicazione
- Sicurezza (protezione dei dati)

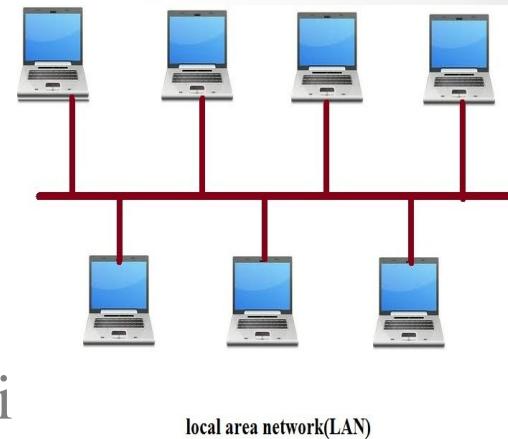
Le Reti

Tipi di Rete: ↗
kmw ob estensione

- **LAN** (local area network) Estesa su un **area limitata**, generalmente all'**interno di un ufficio**, **un piano** o un edificio. E' una rete di **un singolo dominio amministrativo** vediamo poi
- **MAN** (metropolitan area network) E' una rete che si estende **su un area metropolitana** e generalmente connette più reti **LAN**.
- **WAN** (wide area network) Si estende su **scala geografica** e connette tra loro **MAN e WAN**, attraversando diversi **domini amministrativi**.

Reti LAN

Le reti **LAN** sono le reti più diffuse in assoluto. Generalmente sono reti casalinghe o reti Aziendali. Si estendono su un'area limitata e generalmente appartengono allo stesso dominio amministrativo o comunque gestite da un unico team di system administrator.



Esempi di reti **LAN**:

- La rete creata da una antenna wireless in casa
- Reti all'interno di un ufficio per connettere i PC degli utenti con stampanti
- Reti create all'interno di un edificio per connettere i PC di diversi dipartimenti.

Reti MAN

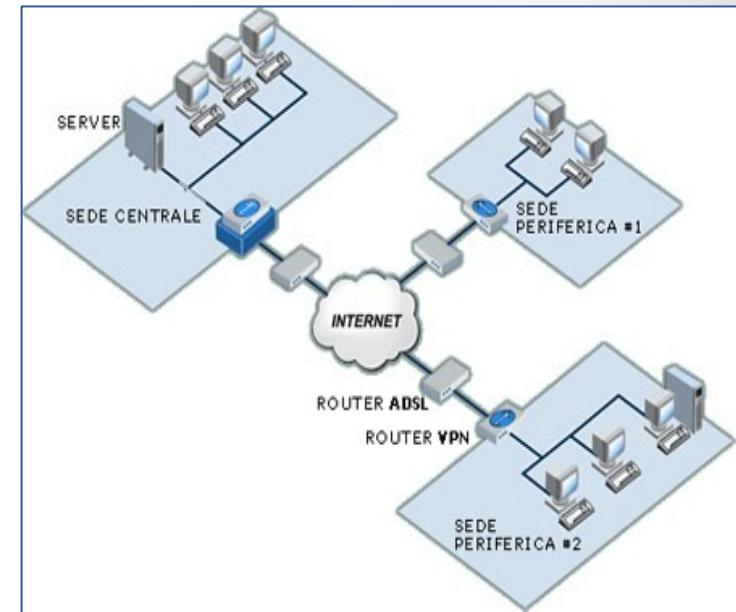
→ diverse sedi di azienda su scala regionale

Le reti **MAN** si estendono su una scala cittadina o regionale.

Sono generalmente utilizzate all'interno di singoli domini amministrativi o in qualche modo consorziati, al fine di mettere in connessione diverse **LAN**.

Esempi:

- Le reti che connette le **LAN** di vari dipartimenti Universitari distribuiti su scala cittadina
- Le reti che connette le **LAN** delle Sedi di un Azienda distribuita in due cittadine vicine.
- Una rete che connette le **LAN** di due Enti Consorziati e distribuiti in centri su scala regionale.



per es. Internet

Reti WAN (wide area network)

Le WAN sono reti geografiche che si estendono su scala Nazionale e internazionale. Esse coinvolgono necessariamente operatori differenti con sistemi di interconnessione differenti.

Le reti geografiche mettono in comunicazione utenti e sistemi distribuiti in varie parti del mondo.

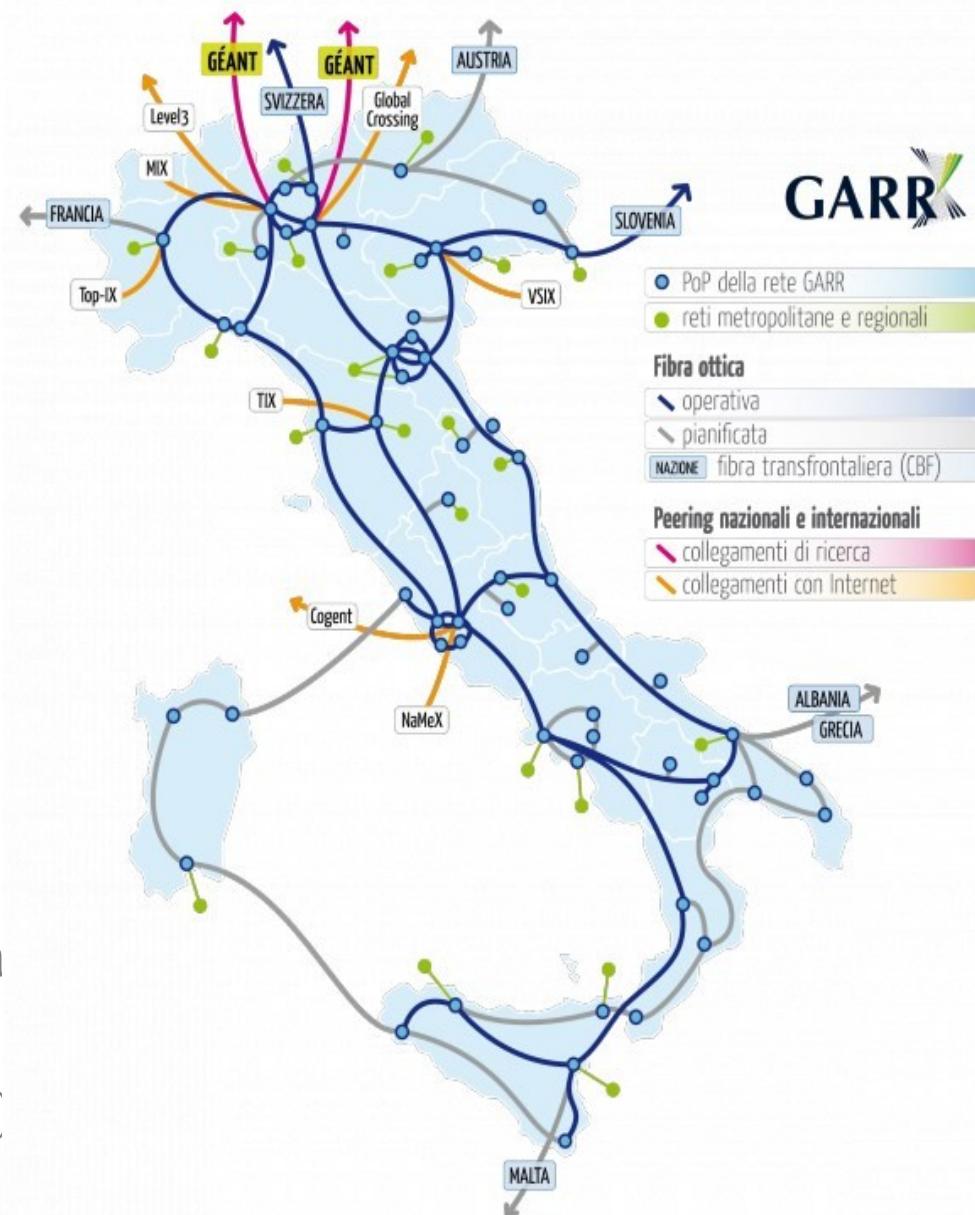


Gli esempi sono molteplici

- La rete Internet che connette host commerciali o pubblici
- La rete della Ricerca che connette Università e Centro di Ricerca a livello globale.
- La rete Nazionale della Pubblica amministrazione.

Reti WAN: la rete **GARR**

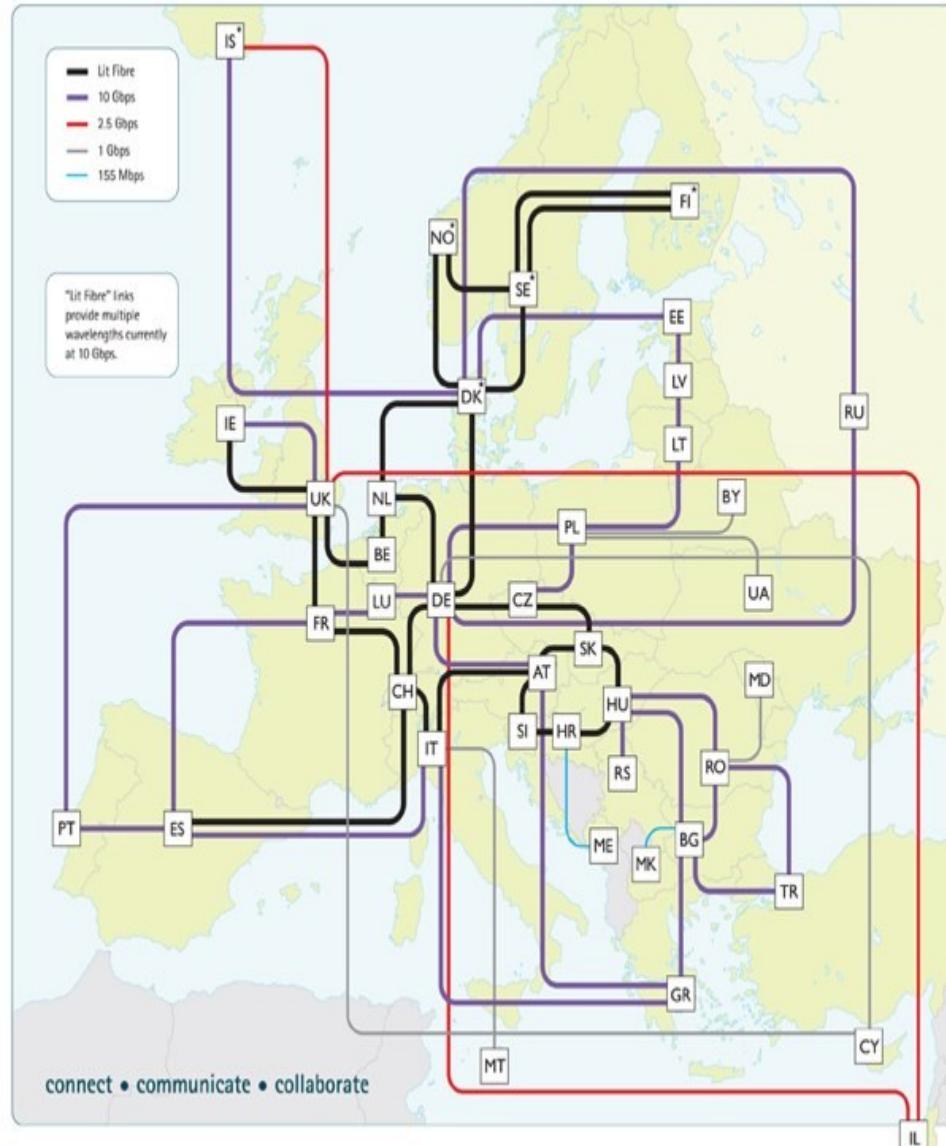
GARR è la Rete dell'Università e della Ricerca Scientifica Italiana. Essa connette sul territorio Nazionale tutti i centri fornendo classi di servizio molto elevate. La rete **GARR** fa a sua volta parte di un Network di reti internazionali dedicate alla ricerca con i quali si connette per raggiungere siti remoti ovunque distribuiti nel mondo. In questo Network il **GARR** gioca il ruolo di **NREN** (National Research and Education Network).



Reti WAN: la rete GEANT

La rete **GEANT** è il Network internazionale che connette a livello europeo tutte le **NREN** dei vari paesi e coordina la loro connessione con le altre reti per Università e Ricerca del mondo.

Sulla rete **GEANT** viaggiano i dati e le applicazioni utilizzate dai centri ricerca internazionali, si condividono database, servizi e conoscenza.



Reti WAN: la rete GEANT



At the Heart of Global Research and Education Networking



Gli Host in una Rete

Con il termine **Host** si indica un **qualsiasi dispositivo connesso in rete**. Essi possono essere

- PC
- Sistemi di acquisizione
- Macchine medicali
- Macchine dedicate a specifiche attività
- Stampanti di rete.

Oggi è possibile trovare sulla rete dispositivi di ogni tipo.

Gli host possono essere classificati come:

Server e Client.

↑
fornisce risorse
↑ fa uso delle risorse



Rete Client Server

Le Reti Client Server sono costituite da una o più macchine server che fungono da punto di riferimento per altri calcolatori nella rete: i client.

Un server è un computer che mette a disposizione le proprie risorse (memoria, potenza di calcolo, periferiche) per gli altri Pc della rete.

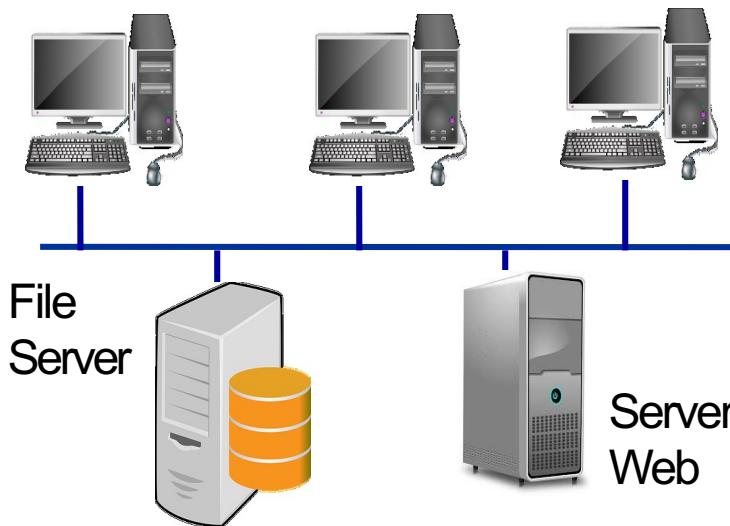
I client sono computer dotati di memoria e capacità di calcolo locale che utilizzano le risorse messi a disposizione dai server.

La gestione di un server di questo tipo richiede necessariamente l'implementazione di un sistema operativo di tipo server come ad esempio Windows server o Linux



I Server

Un **server** è un Host, un dispositivo, della rete che offre servizi ad altri host.



Esempi:

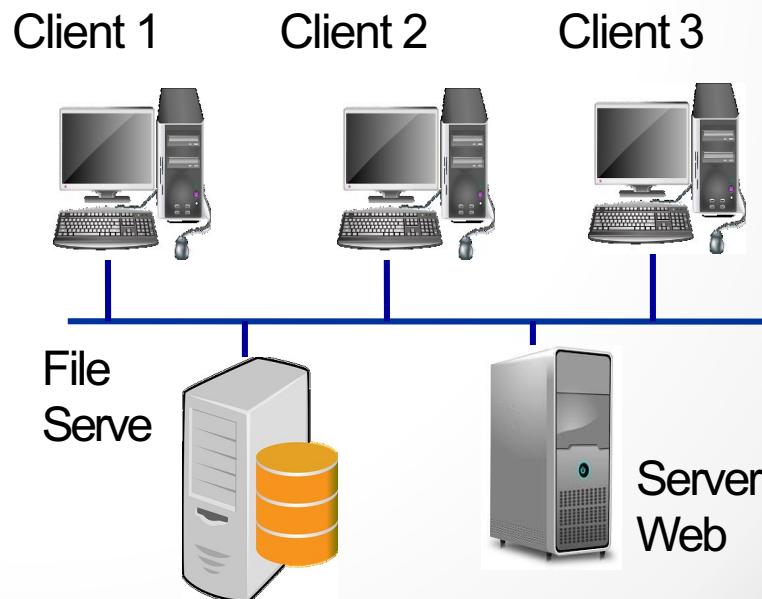
- Un File Server – Un host che distribuisce conserva dati accessibili sulla rete
- Una Stampante di Rete – E' un host che fornisce servizi di stampa
- Uno server WEB – E' un host che fornisce pagine contenuti e pagine web accessibili sulla rete da altri host.

I Client

Un client, guest è un Host, un dispositivo connesso sulla rete utilizzato dagli utenti per usufruire dei servizi messi a disposizione dai Server.

Esempi di client sono:

- PC delle postazioni utente
- Terminali e dispositivi dedicati per l'interazione con server specifici
- Smartphone



Rete Client Server - Trasmissione

Trasmissione Asincrona → Non si parla più fra loro per Sincronizzazione

Ogni byte di informazione viene trasmesso separatamente dagli altri. I due sistemi che dialogano fra loro usano due clock diversi per cui non si può garantire che i due clock siano in fase o siano alla stessa frequenza. Le informazioni da inviare sono suddivise in piccoli blocchi che sono precedute e seguite da bit di sincronizzazione detti bit di start e di stop. → Per ogni info che deve mandare è subito necessario.

Trasmissione Sincrona

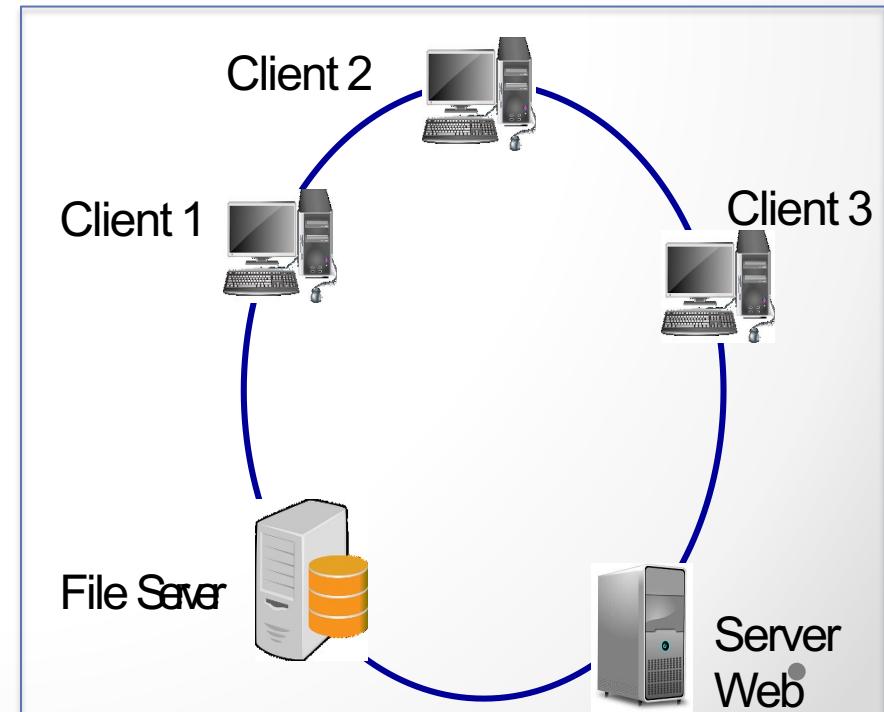
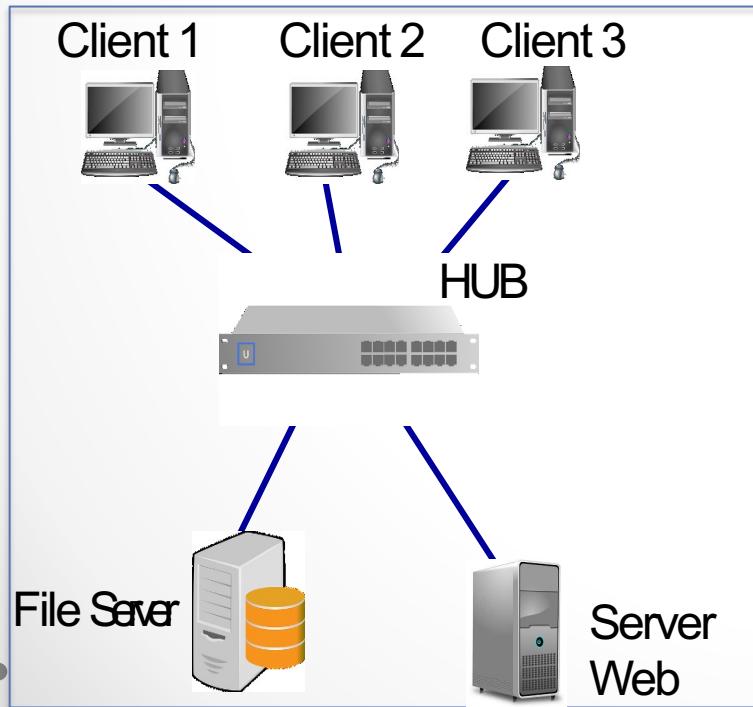
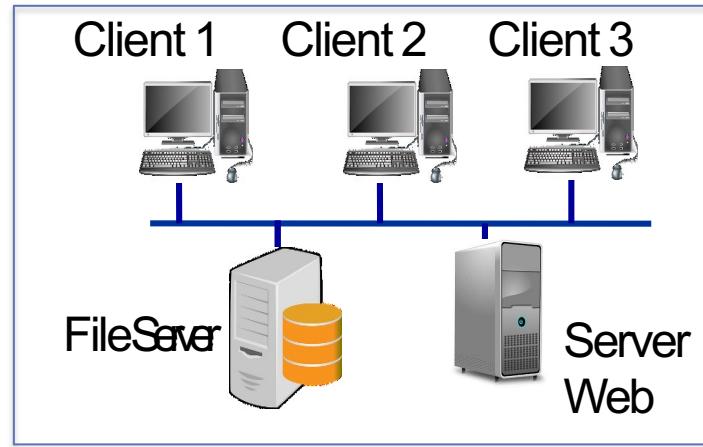
Il messaggio viene strutturato in frame costituiti da blocchi di dati delimitati da due campi di sincronismo (SYN). Si ha un incremento delle prestazioni perché diminuisce il rapporto fra caratteri di controllo e dati da trasmettere. Il trasmettitore e il ricevitore sincronizzano il loro clock prima della trasmissione e li mantengono sincronizzati per tutta la durata del frame.

Reti LAN- Topologia

Classificazione

Topologia

1. A Bus
2. A Stella
3. Ad Anello

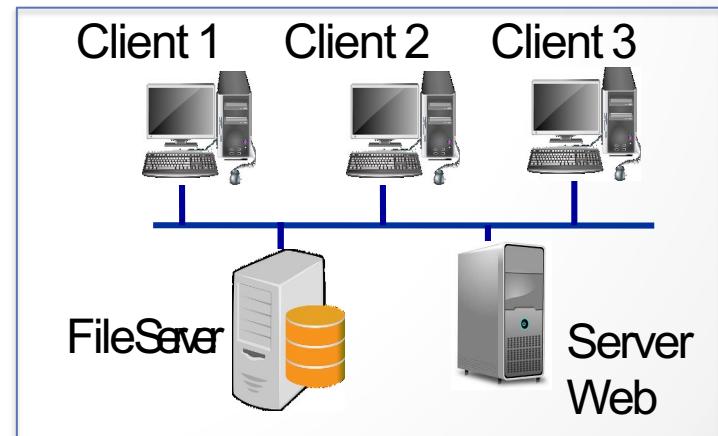


Reti a Bus

RETE A BUS : è caratterizzata dal collegamento di ciascun nodo con un asse di trasmissione centrale, al quale tutti gli elaboratori della rete sono collegati. La comunicazione deve percorrere il tratto di rete che separa l'elaboratore emittente dall'asse centrale di comunicazione, poi la comunicazione si incanala nel tratto diretto verso l'elaboratore destinatario. Sono le reti LAN attualmente più impiegate (costi e efficienza).

Asse = può deludere

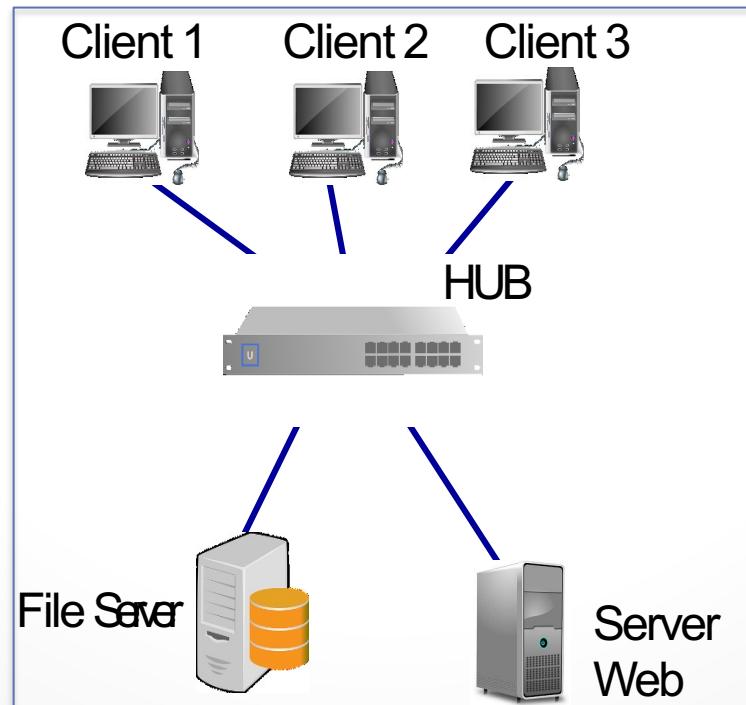
↓
Se va qui è problem



Reti a Stella

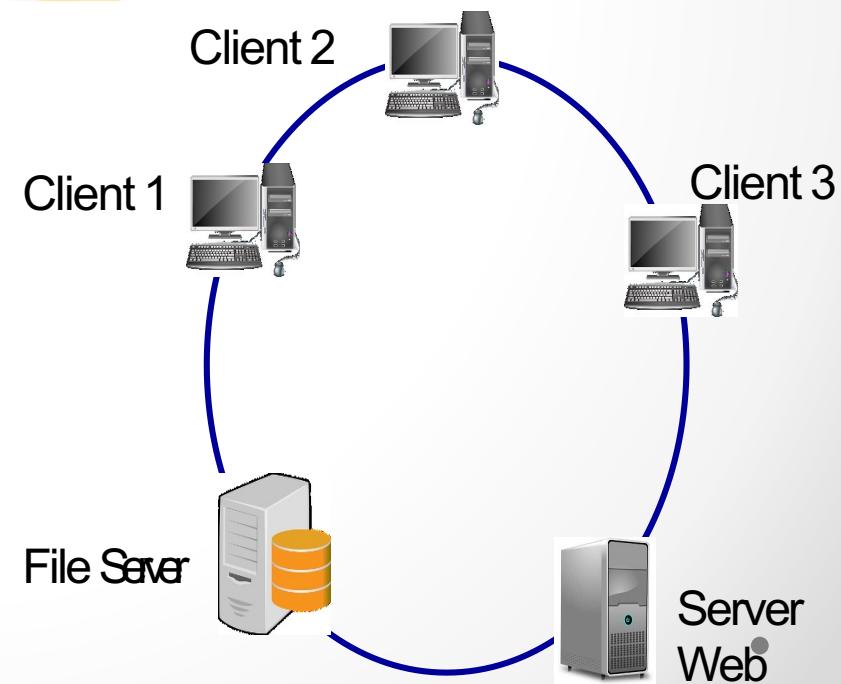
RETE A STELLA : sono caratterizzate da un **elaboratore centrale** che funge da **nucleo centrale della rete**, e diventa lo **smistatore** di **tutte le comunicazioni effettuate nella rete**. Attraverso questa topologia **se un nodo* no funziona , la rete continua a funzionare**. La **condizione fondamentale** è che continui a funzionare l'**elaboratore centrale**.

* un client

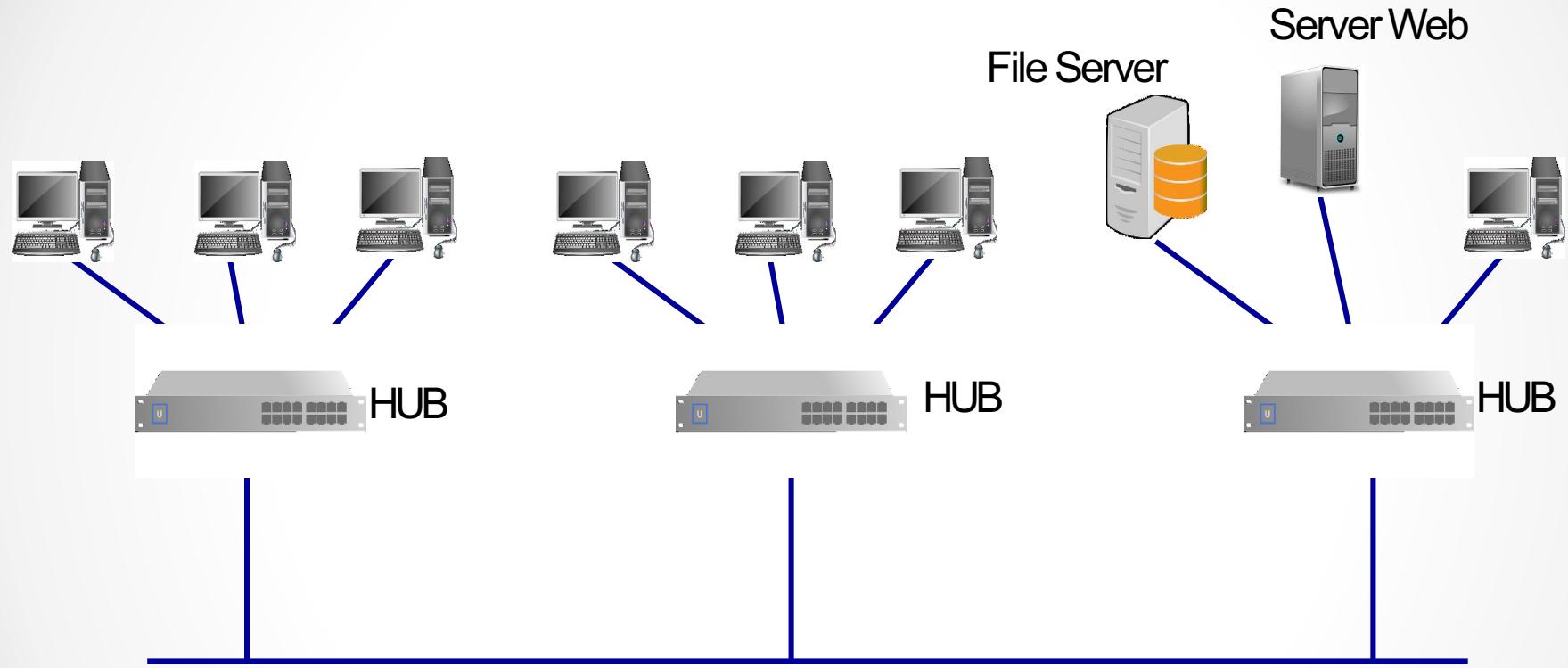


Reti ad Anello

RETE AD ANELLO : gli elaboratori sono collegati tra loro in maniera sequenziale in un percorso chiuso fino a formare un anello. Le conseguenze sono che per poter raggiungere un determinato nodo (elaboratore collegato alla rete), la comunicazione deve attraversare tutti gli altri nodi intermedi tra l'elaboratore emittente e l'elaboratore destinatario. È la topologia più economica da realizzare. L'inconveniente è dato dal fatto che se uno dei nodi non funziona, tutta la rete non è in grado di comunicare.

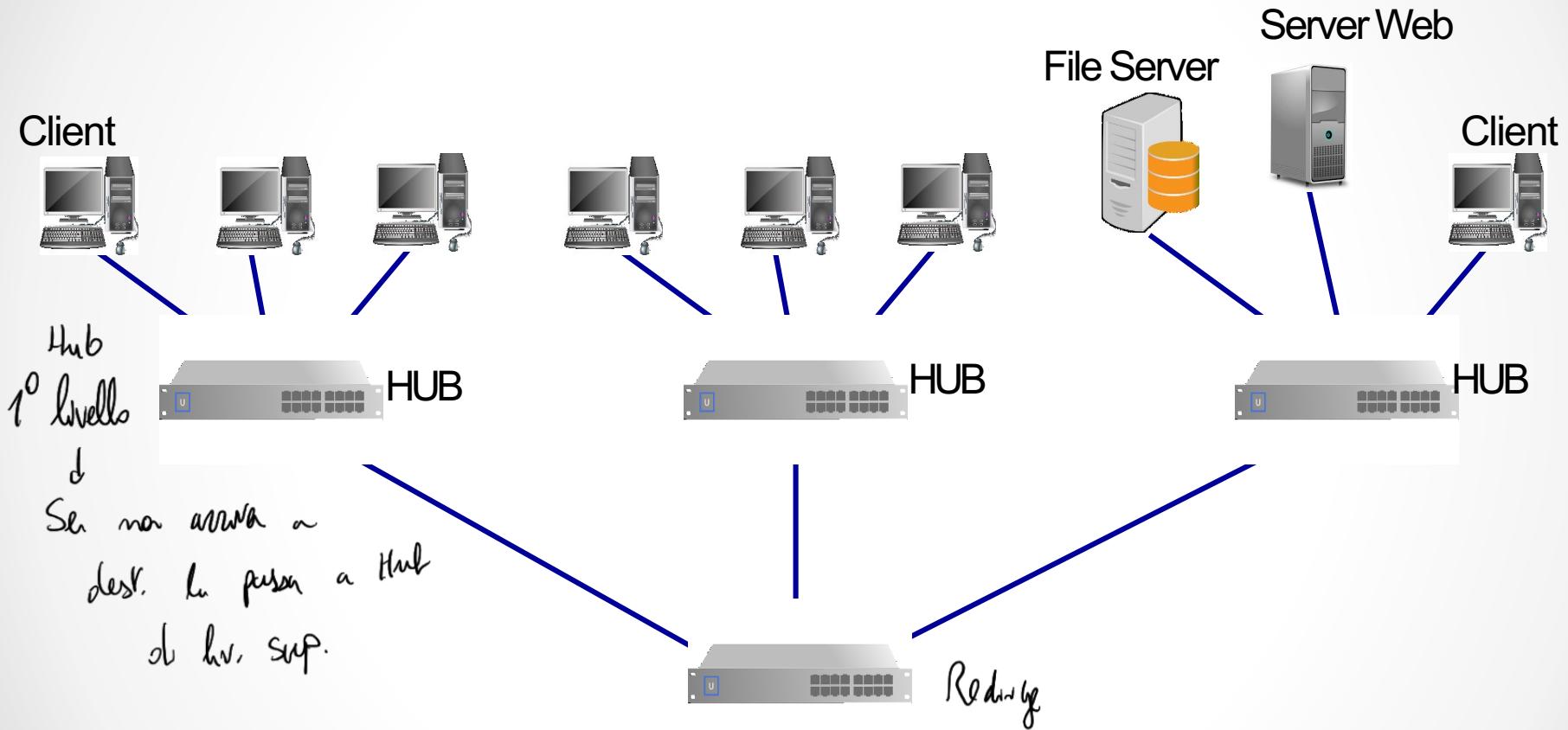


Reti LAN- Topologia



TOPOLOGIA A BUS STELLARE

Reti LAN- Topologia



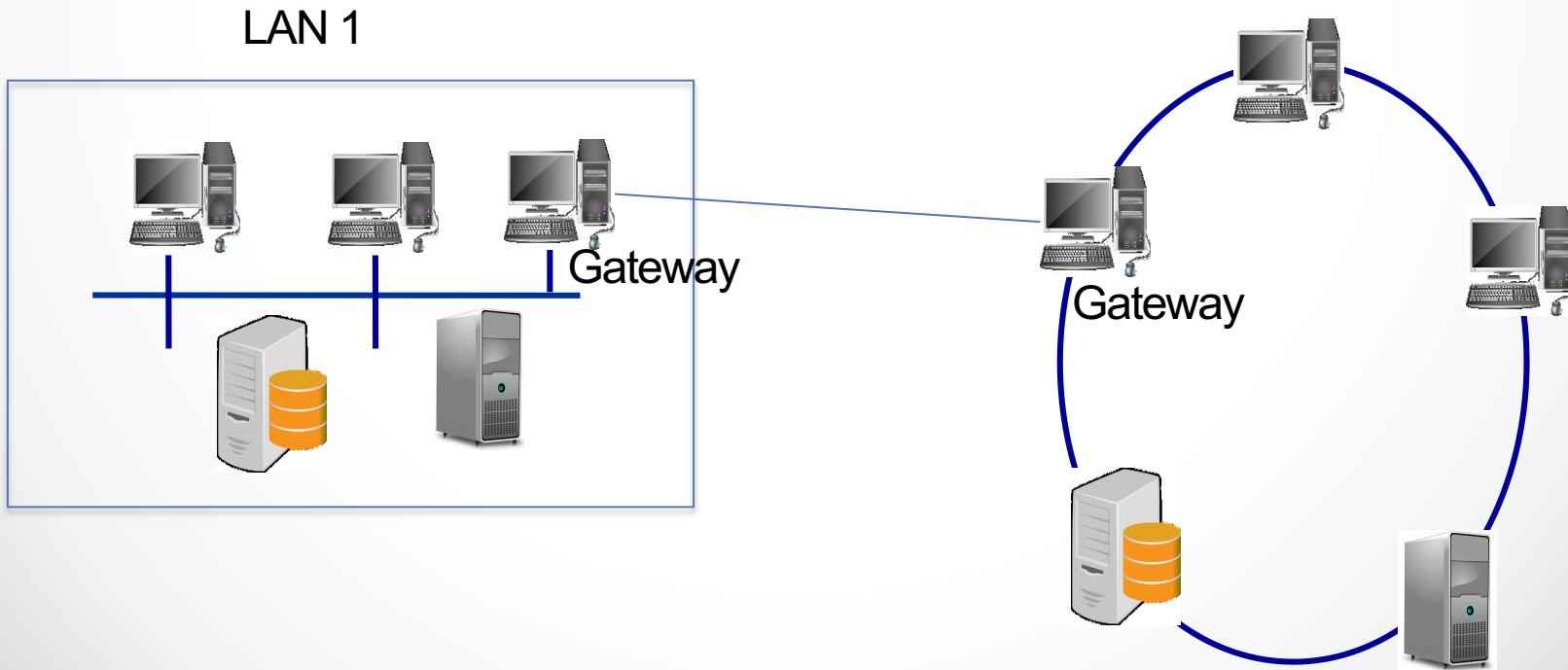
TOPOLOGIA STELLARE GERARCHICA

Networking tra LAN

Quando devono essere connesse tra loro due o più LAN, in ogni LAN un nodo deve essere settato come gateway per gestire tutte le comunicazioni che intercorrono tra la LAN e le altre reti. In internet generalmente il ruolo di gateway è svolto dai router.

Es. Router

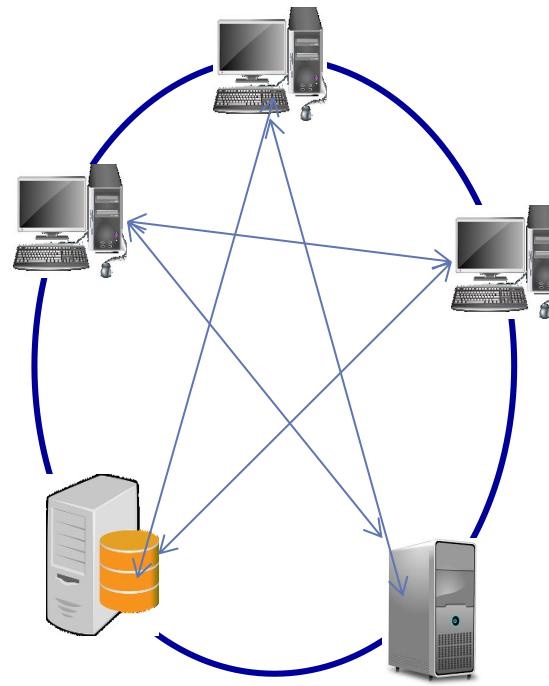
Devo avere un'interfaccia che va sull'altra rete.
LAN 2



Topologia Full Mesh

Auspicabile

- In una rete full mesh di N nodi ogni nodo è connesso agli altri $N-1$
- Numero link bidirezionali: $N*(N-1)/2$

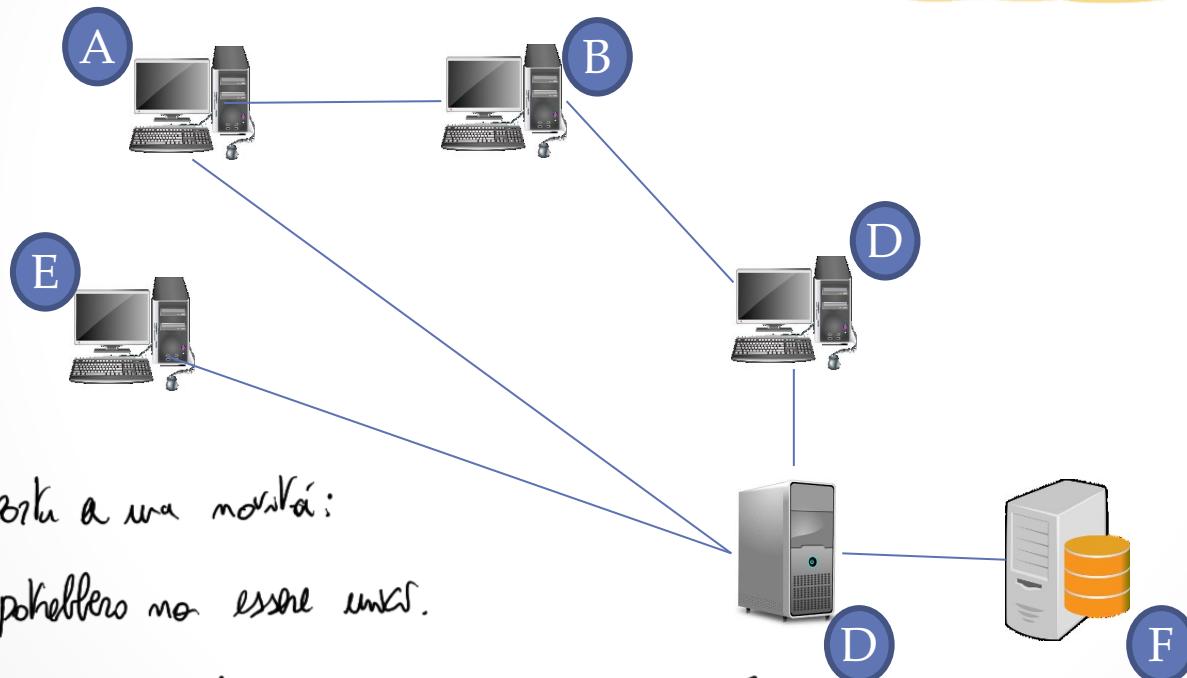


Per ragioni di scalabilità nelle reti su larga scala (es. Internet) questo tipo di topologia non è implementabile poiché la maggior parte dei link sarebbero usati raramente

Topologia tipica delle reti WAN

Nelle WAN su larga scala tipicamente si hanno topologie mesh parziali, con link caratterizzati da diversa capacità.

I nodi non direttamente connessi possono comunicare tra loro utilizzando cammini che attraversano altri nodi intermedi



Questo ci porta a una novità:

• i percorsi potrebbero non essere unici.

1) Inf che modo e che fa diversi percorsi ci arriva?

E arriva nell'ordine in cui l'ho mandata?

- E.S: devo mandare 3 pacchetti, segnare 2 cammi diversi.

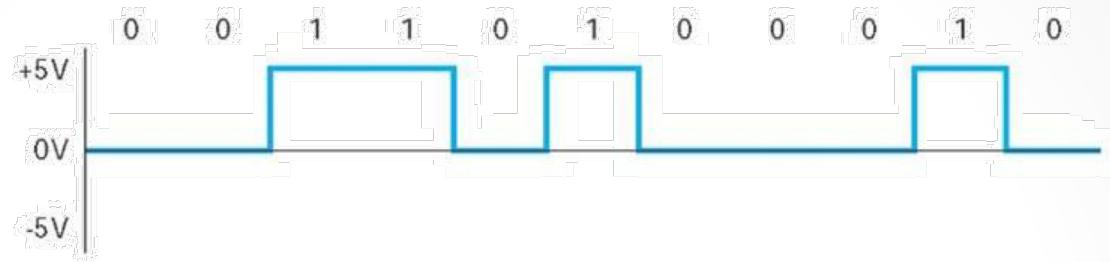
Unità di misura

- Nelle reti di calcolatori sono utilizzate diverse tecniche di trasmissione per consentire alle macchine di inviare/ricevere sequenze di bit lungo i link della rete.
- Possono essere implementate diverse tecniche di modulazione per consentire la trasmissione di un valore binario associando il suo valore a un segnale (elettrico) o a una sua variazione

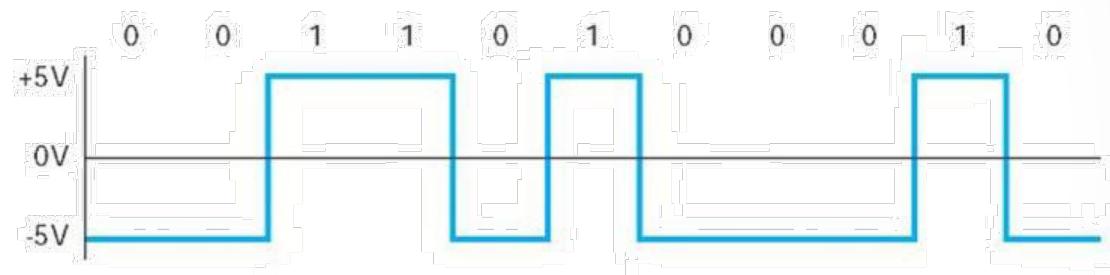
Tecniche di modulazione:

Modulazione Digitale

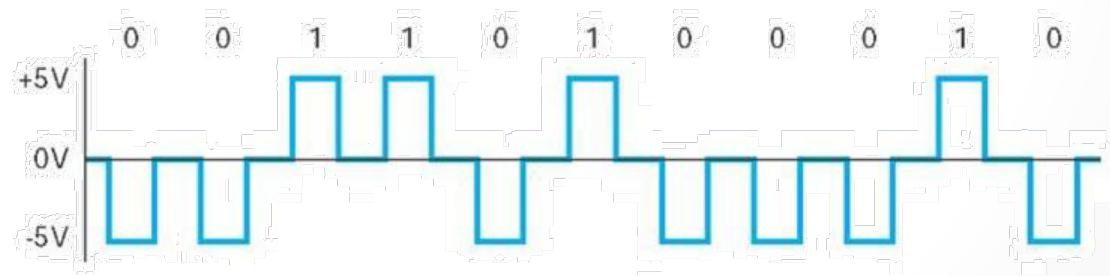
Unipolar



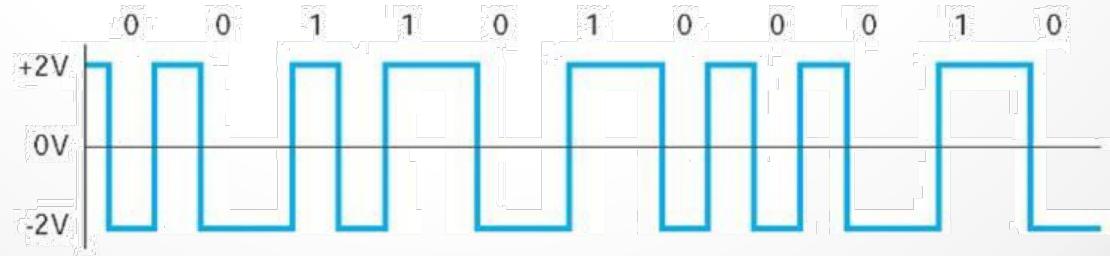
Bipolar:
nonreturn to
zero (NRZ)
voltage



Bipolar:
return to
zero (RZ)
voltage



Sur frame
Manchester
encoding



Unità di misura

1 bit = unità più piccola di informazione (può valere 1 o 0)

1 Byte=8bit

Una trasmissione digitale è caratterizzata dal bit rate (o data rate) si misura in:

- bit/s (bit per secondo), avremo quindi
 - $1\text{kbit/s} = 10^3 \text{ bit/s}$
 - $1\text{Mbit/s} = 10^3 \text{ kbit/s}$
 - $1\text{Gbit/s} = 10^3 \text{ Mbit/s}$
- Byte/s (Byte per secondo)
 - $1\text{KB/s} = 10^3 \text{ Byte/s}$
 - $1\text{MB/s} = 10^3 \text{ KB/s}$
 - $1\text{GB/s} = 10^3 \text{ MB/s}$

Tempo necessario per trasmettere L bit al data rate R bit/s:

$$L / R$$

Esempi Conversione

bit/s = Byte/s / 8

Byte/s = 8* bit/s

Ad esempio una scheda a 100Mbit/s potrà trasportare fino a
 $100/8=12.5\text{MB/s}$

Viceversa per trasportare 125MB/s equivalgono a $125*8=1.000$
Mbit/s=1Gbit/s

Valori Comuni

100Mbit/s = 12.5MB/s

1Gbit/s = 125 MB/s

10Gbit/s = 1.25GB/s

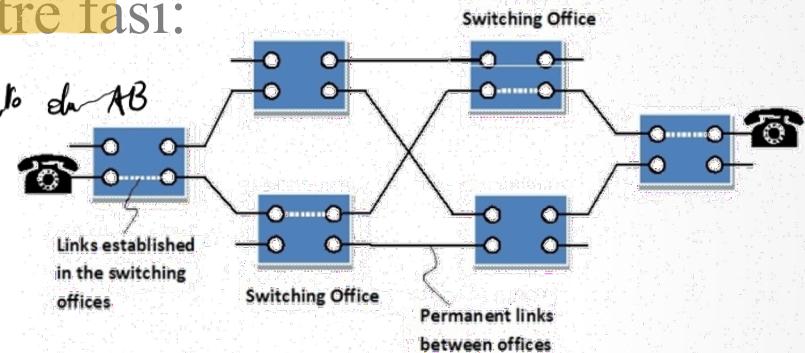
NB. Spesso la velocità in bit per secondo viene indicate diversamente: Mbps=Mbit/s Gbps=Gbit/s

Se un mittente deve mandare qualcosa serve un percorso

Tecniche di commutazione

La **commutazione di circuito** comporta una **reale connessione fisica** tra due stazioni comunicanti realizzata attraverso la connessione di nodi intermedi sulla rete. Una comunicazione effettuata tramite la commutazione di circuito **coinvolge tre fasi**:

- **Apertura della connessione;** *Crea circuito da AB*
- **Trasferimento dei dati;**
- **Chiusura della connessione.**



Prima che i dati possano essere trasferiti deve essere stabilito un circuito tra mittente e destinatario per tutto il tempo necessario alla trasmissione.

L'uso del cammino è esclusivo e continuo. Ciascun utilizzatore ha a disposizione un canale trasmisivo dedicato che garantisce di avere sempre la capacità massima ad ogni richiesta di servizio. Questa modalità di connessione è la stessa utilizzata dalla tecnologia DSL.

è solo loro nel cammino

Tecniche di commutazione

La capacità del collegamento può essere suddivisa nei circuiti con diversi meccanismi:

- Divisione di tempo (**TDM**- time division multiplexing);
- Divisione di frequenza (**FDM** - frequency division multiplexing);

L'eventuale frazione di capacità trasmissiva non utilizzata (arco di tempo in cui non avviene l'invio di dati) è persa; questo è uno dei grossi limiti della commutazione di circuito. Tra i principali vantaggi c'è la garanzia che se la connessione viene stabilita, essa godrà per tutta la sua durata delle prestazioni richieste. La tariffazione di questo tipo di connessioni è dunque basata sull'effettiva durata della connessione in quanto il canale che si instaura tra i dispositivi rimane occupato anche nel caso in cui non ci sia traffico trasmesso.

Tecniche di commutazione

Le reti di computer operano secondo un modello a **commutazione di pacchetto**.

L'idea di base consiste nel **suddividere l'informazione in pacchetti** che poi vengono **trasmessi e instradati individualmente**, in modo **indipendente**, per essere poi riassemblati nel punto di destinazione.

I pacchetti sono costituiti da un **header** e un **payload**:



I **dispositivi intermedi** generalmente operano in modalità **Store-and-forward**:

Ogni pacchetto viene ricevuto per intero, verificata la presenza di errori e ritrasmesso lungo il percorso verso il destinatario.

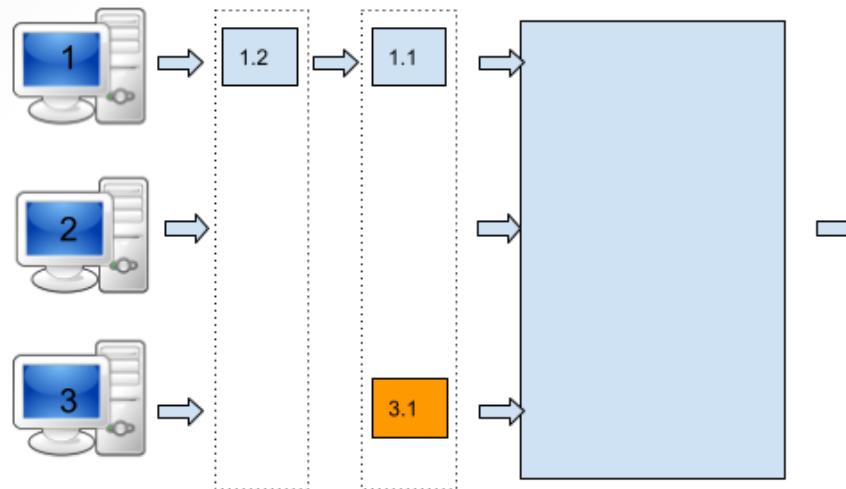
Ciò implica **il buffering** e **l'accodamento dei pacchetti** in questi sistemi **intermedi**.

per ora *può* *sempre*

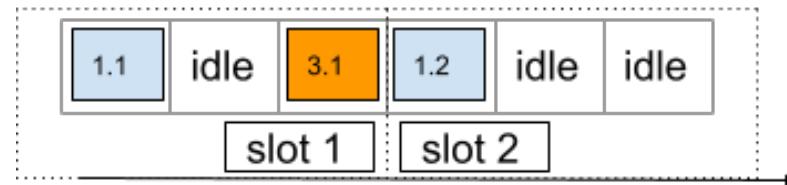
Un canale è occupato solo durante la trasmissione di un pacchetto e fino al completamento della trasmissione **il canale è messo a disposizione per il trasferimento altro traffico**.

Tecniche di commutazione

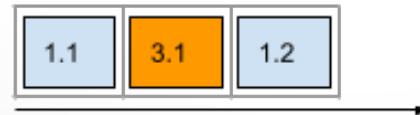
a slot
temporale



Nella commutazione di circuito con TDM ogni slot deve essere assegnato a un unico flusso



Nella commutazione di pacchetto i pacchetti vengono inviati appena possibile consentendo il multiplexing statistico → inviare appena possibile



Commutazione di Pacchetto Datagram

Il modello a commutazione di pacchetto può essere di due tipi:

- Datagram
- Circuiti virtuali

In una rete **Datagram**, ogni pacchetto è instradato in maniera indipendente verso la destinazione:

- I pacchetti non seguono una rotta prestabilita, quindi pacchetti inviati da una stessa sorgente e verso la stessa destinazione possono seguire rotte diverse
- I pacchetti possono arrivare in ordine differente (Il destinatario dovrà ristabilire l'ordine corretto)
- Non c'è necessità di un setup della connessione

NB: I pacchetti possono essere persi lungo il percorso

Commutazione di Pacchetto Datagram

Il modello a commutazione di pacchetto può essere di due tipi:

- Datagram
- Circuiti virtuali

In una rete a circuiti virtuali un percorso tra sorgente e destinazione viene predisposto prima dell'inizio della comunicazione

- I pacchetti sono ricevuti nello stesso ordine
- L'instradamento fino alla destinazione viene stabilito prima della trasmissione (è necessaria una fase di setup)
- Le risorse possono essere messe da parte per il flusso sorgente-destinazione in ogni dispositivo intermedio \Rightarrow già so quanto deve trasmettere e mi rende ad allocare nel tutto.
 \nearrow Lavoro sempre su pacchetti

NB: Ci sono analogie con la commutazione di circuito (ma sono cose diverse!)

- NB: I pacchetti possono essere persi lungo il percorso

QoS

In una rete a commutazione di pacchetto la **Qualità del Servizio** (QoS) è definita da diversi indici, quelli più comuni sono:

- **Throughput**: bit/s trasferiti tra due terminali
- **Loss-Rate**: probabilità che un pacchetto venga perso
- **Ritardo end-to-end**: ritardo misurato in secondi nella consegna dei pacchetti
- **Packet Jitter**: variazione temporale del ritardo su singola tratta

In alcune situazioni è importante una cosa prima che l'altra.

Reti – i Protocolli

Un **Protocollo** è un formato concordato per la formattazione e la transmissione di dati tra due Host.

Dato che il concetto di rete, intrinsecamente, coinvolge dispositivi e apparati eterogenei, l'individuazione di **protocolli** rappresenta un concetto chiave per la loro realizzazione.

Un **protocollo determina**:

- In che modo si indirizzano le entità coinvolte.
- Qual è il formato con cui i dati verranno scambiati → da bnr 1 a 10 c'è questi, poi asso... dei flwg...
- In che modo il dispositivo che invia i dati indicherà che ha finito di inviare un messaggio
- In che modo il dispositivo che riceve i dati indicherà che ha ricevuto un messaggio
- Il tipo di controllo di errori.

Il modello ISO/OSI

Si indica come **modello ISO/OSI**, uno standard per le reti di calcolatori.

Dove ISO sta per **dall'International Organization for Standardization**, l'ente promotore dello standard.

Mentre **OSI** sta per **L'Open System Interconnection** ed è il nome dello standard.

Il modello **ISO/OSI** definisce come strutturare la comunicazione tra entità attraverso 7 livelli.

Lo standard è stato creato nel 1978 ed è ritenuto uno standard *de jure*, nel senso che tutti si riferiscono ad esso, ma esistono degli standard così detti *de-facto* che rivedono in qualche modo la struttura a 7 livelli.



I 7 Livelli del modello ISO/OSI

Si parla di app
e si arriva a finire



Ogni livello della pila (o stack) ISO/OSI fornisce servizi al livello superiore, nascondendo la complessità dei livelli sottostanti. → Mo i servizi del livello più basso per il'applicazione.

In questo modo i protocolli di un livello, non dovranno conoscere i parametri di tutta l'architettura di rete, ma solo quelli del livello immediatamente sottostante.

L'architettura a livelli viene utilizzata proprio per semplificare ed isolare delle funzionalità così da poter modificare liberamente e indipendentemente ogni livello, a patto di mantenere costanti le interfacce di comunicazione tra i livelli stessi.

Dunque al trasporto un comportamento statico.

al livello $N+1$ non sa cosa al di là del n^o che ha accedito.

Il Livello Fisico

Livello Applicazione
Livello Presentazione
Livello Sessione
Livello Trasporto
Livello Rete
Livello Data-Link
Livello Fisico

Trasmettere e ricevere su cavo

Il livello fisico ha il ruolo di trasmettere i dati da un Host all'altro codificando le informazioni su un canale di comunicazione.

Il livello fisico definisce quindi le caratteristiche del mezzo trasmittivo, la codifica del segnale, le caratteristiche delle interfacce di rete.

↳ Se sto su filo, rame

Esempi sono: Trasmissione su fibra ottica trasmessione su doppino telefonico, su cavo in rame intrecciato o su cavo coassiale.

Il Livello Data Link

Livello Applicazione
Livello Presentazione
Livello Sessione
Livello Trasporto
Livello Rete
Livello Data-Link
Livello Fisico

Il Livello Data-Link si occupa di gestire l'affidabilità dei trasferimenti, al fine di far apparire al livello superiore (rete), il mezzo fisico come una linea di trasmissione esente da errori.

In trasmissione il livello data-link gestisce i dati provenienti dal livello superiore, raggruppandoli in sotto pacchetti (Frame) che verranno quindi veicolati sul mezzofisico.

In ricezione si occupa quindi di verificare la presenza di errori nei frame provenienti dall'hostremoto, e quindi di correggerli con sistemi di correzione degli errori oppure chiedendone la ritrasmissione.

Il livello data link definisce degli indirizzi di livello 2 chiamati indirizzi MAC(MAC address)

Il Livello Rete

Livello Applicazione
Livello Presentazione
Livello Sessione
Livello Trasporto
Livello Rete
Livello Data-Link
Livello Fisico

Il Livello **Rete** gestisce l'instradamento dei pacchetti in cui è suddivisa l'informazione, ovvero si occupa di trovare la via migliore per inviare i dati all'host remoto di destinazione.

Tale attività va sotto il nome di **routing**, e i modi per smistare pacchetti sulla rete sono descritti nei così detti «protocolli di routing» che appartengono a questo livello.

Il livello rete gestisce anche l'**indirizzamento** degli Host. Si occupa altresì della frammentazione dei pacchetti al fine di poter essere trattati dal livello Data-Link
(notti grandi)

Il Livello Trasporto



Si occupa di trasferire i dati ottimizzando l'uso delle risorse di rete attraverso:

- Controllo e possibile correzione degli errori
- Frammentazione
- Prevenzione congestione della rete.
- Apre e chiude le connessione tra server e client utilizzando indirizzi di livello Trasporto (le porte)

Il Livello Sessione



Il **Livello Sessione** ha il compito di **instaurare, mantenere e concludere il dialogo tra due programmi applicativi**.

Gestisce e controlla quindi che le comunicazioni tra le **applicazioni avvengano in modo corretto**.

Il Livello Presentazione

Livello Applicazione
Livello Presentazione
Livello Sessione
Livello Trasporto
Livello Rete
Livello Data-Link
Livello Fisico

Gestisce la sintassi dell'informazione da trasferire, compresa la cifratura e decifratura.

L'obiettivo del livello **presentazione** è quello di trasformare la struttura dei dati forniti dal livello di applicazione in un formato standard e offrire servizi di comunicazione comuni, quali la crittografia, la compressione del testo e la riformattazione.

Il **livello di presentazione** consente la gestione della sintassi e della semantica delle informazioni trasmesse, diversamente dagli altri livelli che gestiscono una sequenza di bit.

Il Livello Applicazione

Livello Applicazione
Livello Presentazione
Livello Sessione
Livello Trasporto
Livello Rete
Livello Data-Link
Livello Fisico

- L'ultimo livello rappresenta l'**interfaccia tra i programmi applicativi, software più svariati ed eterogenei verso la rete.**
- Tutte le **applicazioni che girano su di un Host e che devono scambiare dati o comunque comunicare con un altro dispositivo remoto fanno uso delle interfacce di questo livello.**

Protocolli

del superiore passa al PDU

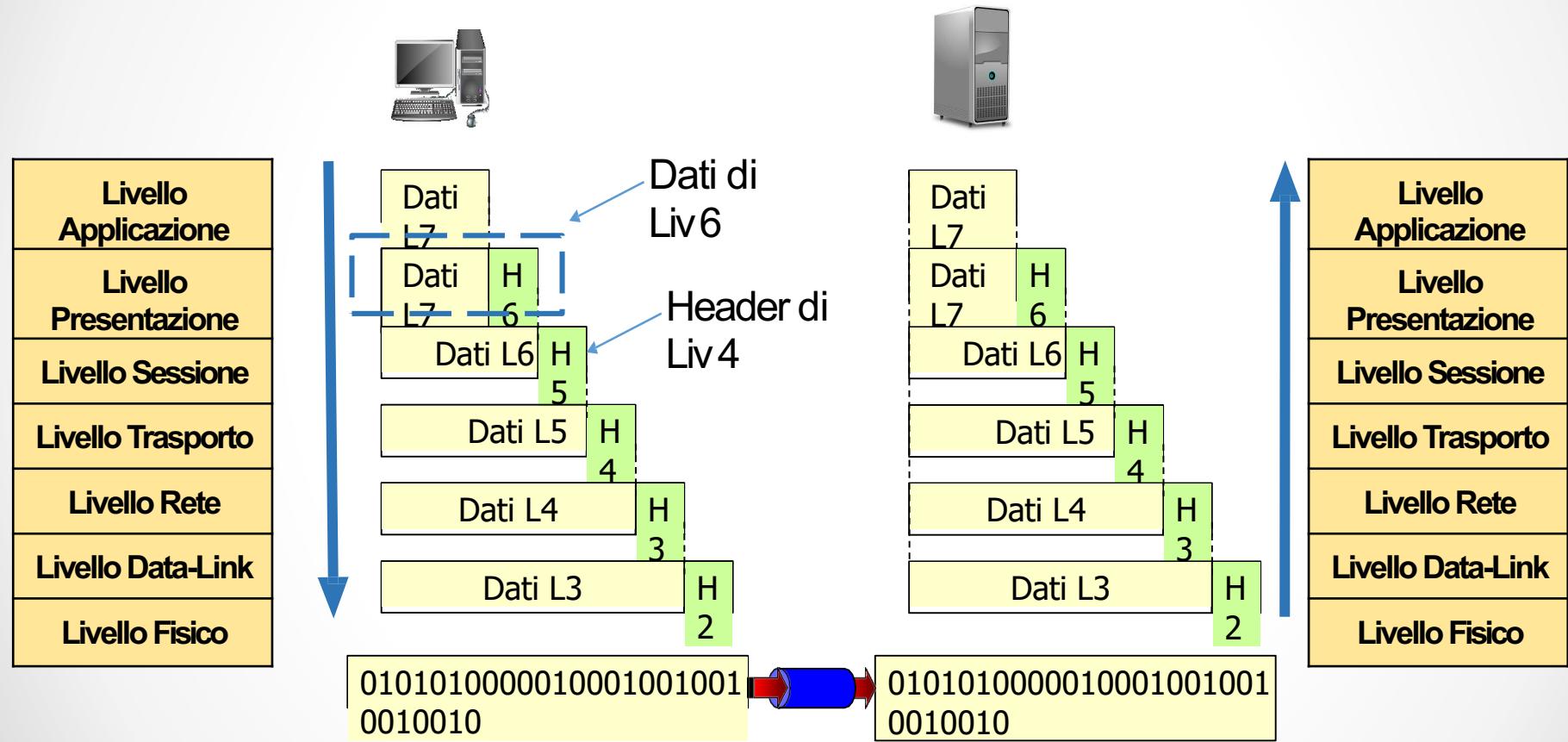
- Due livelli paritetici comunicano fra di loro scambiandosi pacchetti chiamati **PDU** (Protocol Data Unit)
- Ogni livello aggiunge al pacchetto proveniente dal livello superiore $n+1$, le informazioni di controllo del suo protocollo (**PCI**, Protocol Control Information). Queste informazioni vengono preposte alla **PDU** del livello n e costituiscono la **n-PDU**.

Lan-PDU a sua volta viene imbustata nella busta di livello $n-1$ e così via, l'header conterrà informazioni di controllo (es indirizzo destinazione).

- Ogni PDU viene passata al livello sottostante come payload.
- Quando una PDU viene ricevuta il payload viene estratto e passato al livello sovrastante.

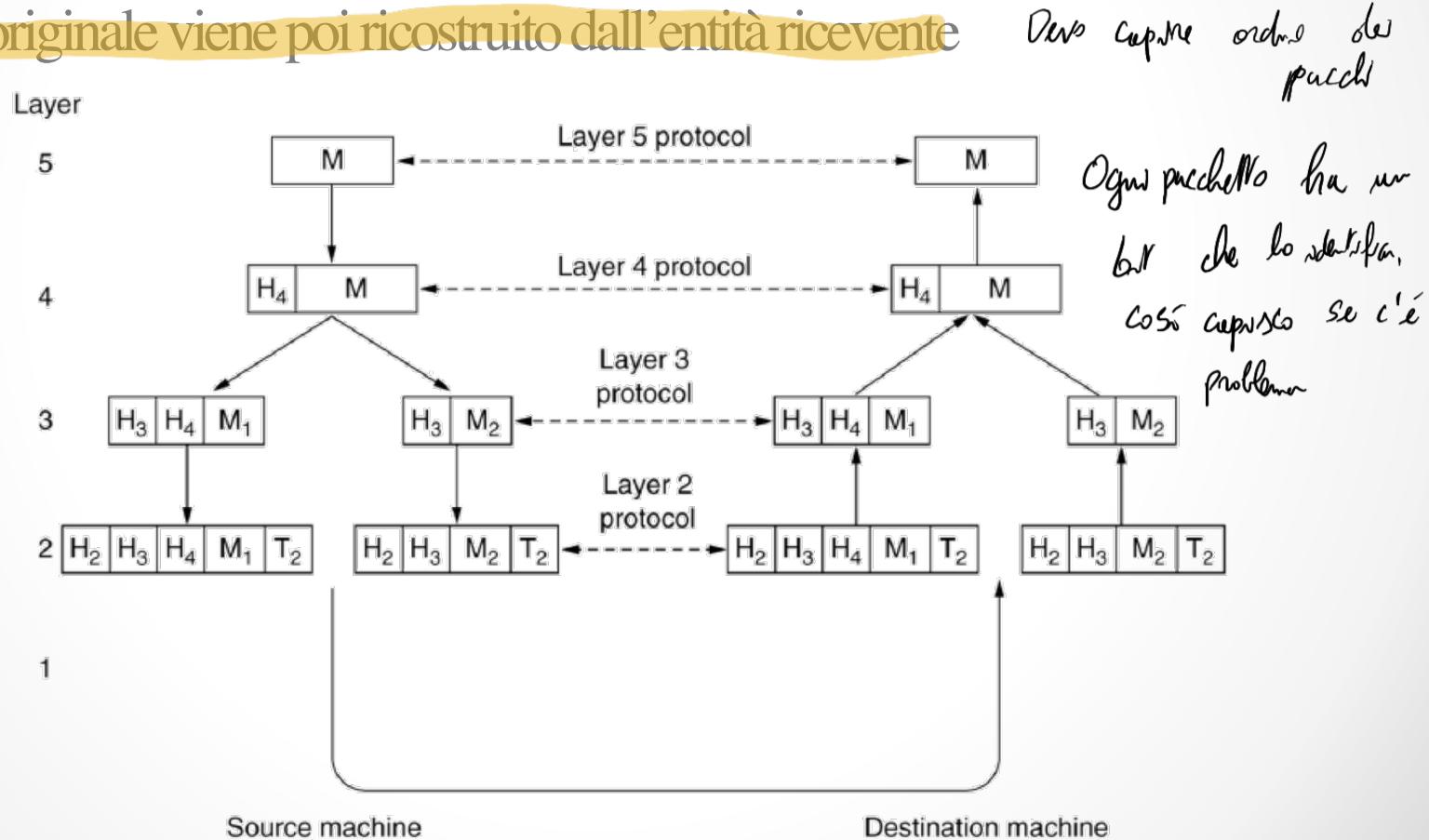
Scambio messaggi

Incapsulamento



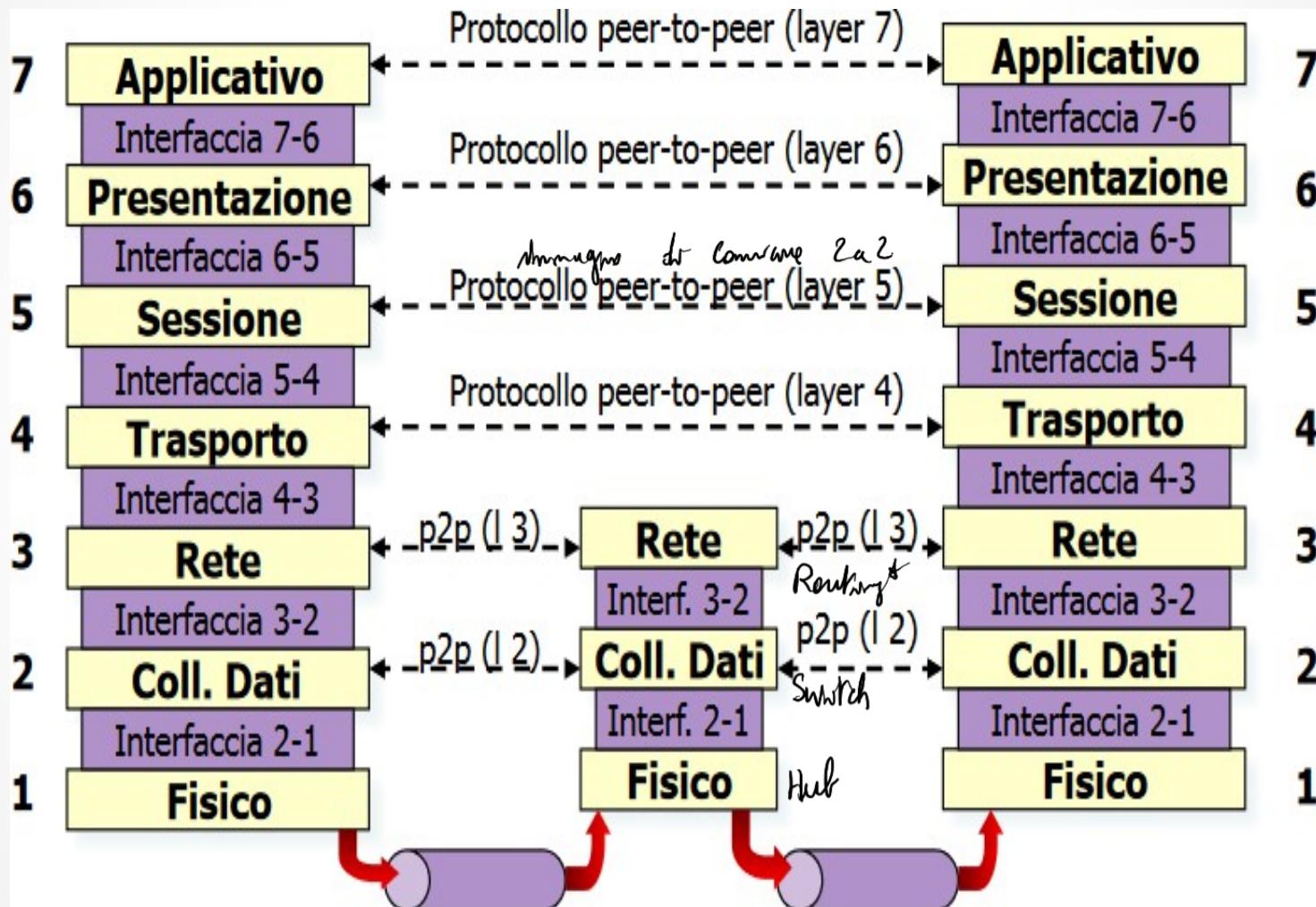
Frammentazione

- Ad ogni livello dello stack può accadere che il payload sia troppo grande per una sigola PDU:
- In questo caso il payload viene spartito in una sequenza di più pacchetti (**Frammentazione**)
- Il payload originale viene poi ricostruito dall'entità ricevente



* Marca al puechello su quel dev'essere che destruttivo

Sistema *Intermedio*



Nella realtà, dobbiamo passare per step intermedi. Non sono semplici host. Non sono utile di rete, ma stanno là per fare da tramite

Nomi PDU TCP/IP stack

- Al livello generale parliamo di PDU indicando un pacchetto generico formato da header e payload
, Protocol data unit
- Generalmente a seconda del livello la PDU assume nomi specifici

Layer	PDU name
Application	Message
Transport	Segment
Network	Datagram
Data Link	Frame
Physical	Bit