

# Reti di telecomunicazioni

saverio

giugno 2025

# Contents

<b>1</b>	<b>Conoscenze di base</b>	<b>2</b>
1.1	Informatica . . . . .	2
1.1.1	Conversione binario esadecimale . . . . .	2
1.1.2	Tipologia reti . . . . .	2
1.1.3	Da analogico a digitale . . . . .	4
1.2	Matematica . . . . .	5
1.2.1	Aritmetica a 2 - XOR . . . . .	5
1.2.2	Distribuzione di Poisson . . . . .	5
1.3	Fisica . . . . .	5
1.3.1	Comunicazione radio, cablata e ottica . . . . .	5
1.4	Reti di telecomunicazioni - basi . . . . .	7
1.4.1	Commutazione di circuito e commutazione di pacchetto . . . . .	7
1.4.2	Ritardo end-to-end . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Architetture di protocolli</b>	<b>10</b>
2.1	Modello ISO-OSI . . . . .	10
2.1.1	Introduzione . . . . .	10
2.1.2	Segmentazione e riassemblaggio . . . . .	12
2.2	Modello ibrido . . . . .	13
2.2.1	Enc/decapsulation dati nel modello ibrido . . . . .	14
2.2.2	Comunicazione tra sistemi . . . . .	14
2.3	Modello TCP/IP . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Livello 4 trasporto - TCP</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Livello 3 rete - IP</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Livello 3 rete - algoritmi di routing</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Livello 2 data link - Ethernet</b>	<b>19</b>

# Chapter 1

## Conoscenze di base

### 1.1 Informatica

#### 1.1.1 Conversione binario esadecimale

La conversione numerica si ottiene raggruppando i bit del numero binario in gruppi da quattro a partire dal punto e in entrambe le direzioni, sostituendo poi ogni gruppo di 4 bit con l'equivalente cifra del sistema esadecimale.

- |            |            |
|------------|------------|
| • 0000 = 0 | • 1000 = 8 |
| • 0001 = 1 | • 1001 = 9 |
| • 0010 = 2 | • 1010 = A |
| • 0011 = 3 | • 1011 = B |
| • 0100 = 4 | • 1100 = C |
| • 0101 = 5 | • 1101 = D |
| • 0110 = 6 | • 1110 = E |
| • 0111 = 7 | • 1111 = F |

#### 1.1.2 Tipologia reti

Le reti di telecomunicazione sono costituite da un insieme di nodi e rami che consentono la trasmissione di informazioni tra i vari nodi. Le reti possono essere classificate in base a diversi criteri:

- **Estensione geografica:**
  - **PAN** (Personal Area Network): copre pochi metri, ad esempio collegamento tra dispositivi personali (Bluetooth).

- **LAN** (Local Area Network): copre un edificio o un campus, tipicamente reti aziendali o domestiche.
- **MAN** (Metropolitan Area Network): copre una città o un'area metropolitana.
- **WAN** (Wide Area Network): copre aree geografiche molto estese, anche nazioni o continenti (es. Internet).

- **Topologia:**

- **Bus**: tutti i nodi sono collegati a un unico canale di comunicazione.
- **Stella**: tutti i nodi sono collegati a un nodo centrale.
- **Anello**: i nodi sono collegati in modo circolare.
- **Maglia (mesh)**: ogni nodo è collegato a più nodi, anche direttamente.
- **Albero**: struttura gerarchica a livelli.
- **Catena (chain)**: i nodi sono collegati in sequenza lineare.
- **Full mesh**: ogni nodo è collegato a tutti gli altri nodi.

## Nodi e rami

I nodi e i rami(link) sono gli elementi che costituiscono una rete. I nodi sono i punti di intersezione tra i rami e possono essere di diversi tipi:

- **Host**: un nodo che genera o consuma informazioni
- **Router**: un nodo che instrada le informazioni tra i vari host
- **Switch**: un nodo che instrada le informazioni tra i vari host, ma a livello di collegamento
- **Bridge**: un nodo che collega due reti locali
- **Gateway**: un nodo che collega due reti diverse

Il ramo è il sistema trasmissivo che consente il trasporto delle unità informative da nodo a nodo secondo tre possibili modalità di trasmissione:

- **simplex(unidirezionale)**: un solo verso di trasmissione, esempio: radio
- **half-duplex(bidirezionale alternato)**: due direzioni di trasmissione, ma non contemporaneamente, esempio: walkie-talkie
- **full-duplex(bidirezionale contemporanea)**: due direzioni di trasmissione contemporaneamente, esempio: telefono
- **broadcast**: un nodo invia informazioni a tutti gli altri nodi della rete, esempio: radio

### **Modalità di invio dati**

- broadcast: un nodo invia informazioni a tutti i nodi della rete, esempio: radio
- multicast: un nodo invia informazioni a un gruppo di nodi della rete, esempio: videoconferenza
- unicast: un nodo invia informazioni a un solo nodo della rete, esempio: email
- point-to-point: un nodo invia informazioni a un altro nodo della rete, esempio: telefono

### **Reti di accesso e reti di trasporto**

Se mando una richiesta sul web tramite il mio router di casa, collegandomi alla rete tim(rete di accesso), da quel punto in poi tim si appoggerà ad un'altra rete per rispondere alla mia richiesta(rete di trasporto), quindi è possibile distinguere velocità differenti:

- velocità di accesso(relativa ai dati che viaggiano nella rete di accesso, tipicamente agli utenti semplici non viene garantita una velocità minima(da casa non abbiamo questa garanzia), nella rete di trasporto invece viene garantita(contratto SLA))
- velocità di trasporto(relativa ai dati che viaggiano nella rete di trasporto)

### **1.1.3 Da analogico a digitale**

in base al tipo di comunicazione decido il modo con il quale mettere in comunicazione gli utenti, se sono tanti o pochi, se sono distanti o vicini, se comunicano contemporaneamente oppure no. quando l'informazione che voglio trasmettere la digitalizzo, passando da analogico a digitale, ho molti vantaggi: campionando il segnale analogico posso ricostruirlo in segnale digitale, in bit. quando chiamo qualcuno avviene il campionamento dell'onda audio della voce, questo avviene tramite il filtro passa banda tra le frequenze 300hz e 3400 hz. le alte e le bassissime frequenze vengono tagliate. 8 bit per campione, 64bit per secondo, quindi 8 campioni al secondo. la trasmissione nel canale telefonico avviene con la trasmissione di pacchetti.

## 1.2 Matematica

### 1.2.1 Aritmetica a 2 - XOR

### 1.2.2 Distribuzione di Poisson

## 1.3 Fisica

### 1.3.1 Comunicazione radio, cablata e ottica

la trasmissione di un segnale a distanza avviene attraverso le onde elettromagnetiche, che siano trasmesse tramite antenne e quindi che si propaghino nel vuoto oppure in un cavo di fibra ottica, che anch'esso trasmette la luce, quindi l'onda em. dopo aver trasformato l'informazione in bit(codifica) questa viene trasmessa in dei canali(radio, mezzi guidati). quella radio avviene nello spazio libero(attraverso l'aria o nel vuoto), mezzi guidati(cavi)

- Mezzi guidati: cavi coassiali, cavi in fibra ottica, cavi in rame
- Mezzi non guidati: onde radio, microonde, infrarossi
- Mezzi ottici: fibra ottica

#### Pro e contro del canale radio

- Pro: risparmio sul mezzo fisico(l'aria e il vuoto sono gratis), un segnale radio non ha confini, può arrivare all'infinito, teoricamente. a noi interessa che il segnale elettromagnetico arrivi dove voglio e che venga decodificato correttamente, e non a infinito. un antenna è un dispositivo che genera un campo magnetico(è un pezzo di ferro su cui scorre della corrente e che quindi genera un campo magnetico, fisica 2), aiuta la comunicazione radio.
- Contro: è più difficile gestire la privacy e sicurezza perchè il canale(l'aria, il vuoto) è condiviso tra tutti gli utenti. il canale radio ha più rumore(dovuto ad effetti naturali, il calore ad esempio) rispetto al cavo. l'interferenza è invece dovuta ad altre comunicazioni e non ad effetti naturali, nel canale radio anche l'interferenza può essere maggiore. il fading è un problema del canale radio, ossia il segnale non viaggia correttamente per via di ostacoli come le montagne. problema dell'effetto doppler. problema dei cammini multipli

il mezzo radio è passabanda, in base alla frequenza con la quale l'onda viene trasmessa quest'ultima si comporta in modo differente. ad esempio a bassa frequenza si sfrutta il fenomeno del waving per il quale l'onda riflette sulla ionosfera e quindi si possono raggiungere distanze più elevate e per esempio attraversare l'oceano. quando trasmetto via radio in base alla potenza con cui trasmetto regolo la frequenza con cui invio il segnale. maggiore potenza significa frequenza più alta. frequenza più alta vuol dire anche maggiore velocità di trasmissione ma copertura minore.

## Canale radio e ostacoli fisici

- los(line of sight): il segnale radio non ha ostacoli, trasmissione diretta
- nlos(non line of sight): il segnale radio ha ostacoli, trasmissione non diretta

**Mezzi guidati** Esistono i mezzi guidati(cavi) come il doppino, il cavo coassiale e la fibra ottica. il doppino ha al suo interno 2 fili, la corrente per scorrere ha bisogno di un circuito chiuso. infatti questo circuito chiuso si ottiene tramite due fili all'interno del cavo(doppino). quindi si usa un doppino per trasmettere e un doppino per ricevere, quindi 4 fili in totale, cioè due circuiti chiusi. ricordare che i doppini possono essere di diversi tipi, viene principalmente usato il tipo UTP(unshielded twisted pair), coppia di conduttori intrecciati, non schermato(uno schermo serve ad evitare problemi con le correnti parassite, dovute ad altri fenomeni, non riguardano questo corso). quello schermato costa di più il cavo coassiale ha 8 fili. la fibra ottica trasmette onde em, non corrente (la corrente è un flusso di cariche elettriche e non è un'onda em), la banda di trasmissione è molto alta,  $10^{14}$ Hz. I cavi in cui scorre corrente vengono tipicamente intrecciati per annullare gli effetti dei campi magnetici indotti in maniera vicendevole, così da non avere disturbo sul passaggio della corrente e quindi dell'informazione.

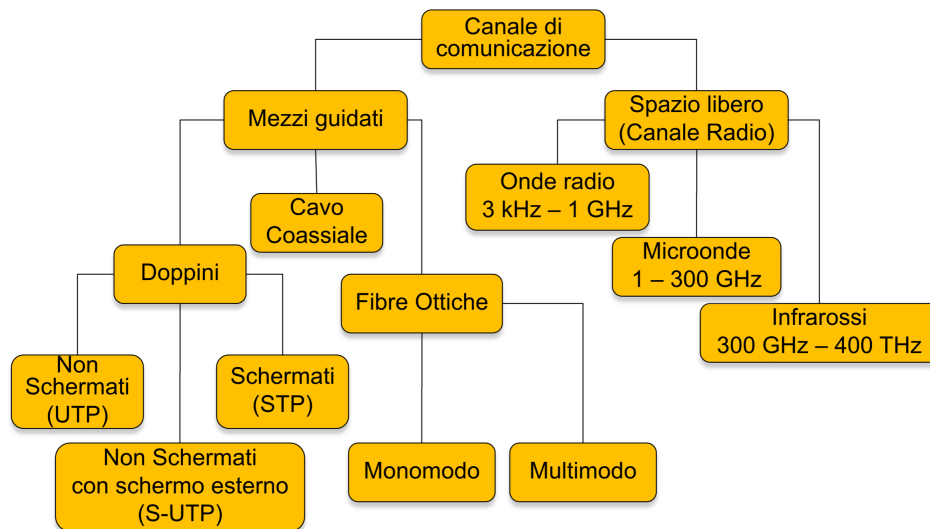


Figure 1.1: Tipi di canali di comunicazione

## 1.4 Reti di telecomunicazioni - basi

### 1.4.1 Commutazione di circuito e commutazione di pacchetto

**Commutazione di circuito** Si usava negli anni 20 del 900, quando chiamavo qualcuno inserivo il numero e nella centrale c'era qualcuno che fisicamente connetteva il mio cavo con quello a cui corrisponde il numero che ho digitato, rendendo il mezzo di comunicazione tra le due persone lo stesso cavo.

**Commutazione di pacchetto** l'informazione viene impacchettata e divisa in unità, questo vuol dire che ci saranno dei ritardi dovuti a quest'impacchettamento. Le informazioni riguardanti il pacchetto stesso sono contenute nell'header, mentre nel payload c'è l'informazione, i dati che voglio trasportare. I nodi intermedi decidono come gestire il trasporto(commutazione) di tali pacchetti leggendo il contenuto dell'header. l'operatore ha un miglior uso di risorse. un problema è che arrivano più pacchetti allo stesso nodo e devono attendere la commutazione del nodo che è arrivato prima.

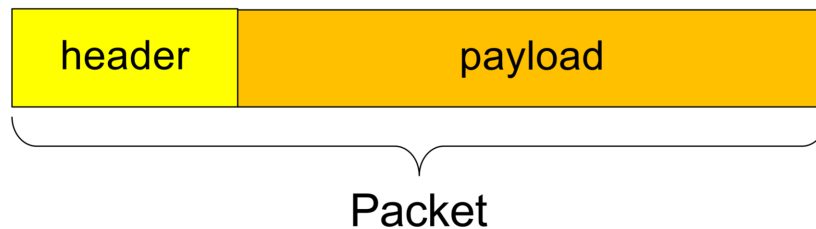


Figure 1.2: Commutazione di pacchetto

Due tipi di commutazione di pacchetto:

- Datagram: ogni pacchetto, che prende il nome di datagramma, contiene nell'header le informazioni del mittente e destinatario. I nodi decidono la strada che deve fare il pacchetto(routing), questo viene fatto
- Virtual circuit: la comunicazione avviene in 3 fasi (setup, data exchange, teardown) e l'instradamento è effettuato solo durante il setup. Pertanto tutti i pacchetti vengono instradati lungo lo stesso percorso (circuito), ma i nodi intermedi non devono ogni volta rieffettuare il routing, ma solo lo switching (inoltrare il pacchetto dall'ingresso all'uscita corretta).



### 1.4.2 Ritardo end-to-end

Il ritardo end-to-end è il tempo che intercorre tra l'invio di un pacchetto da parte del mittente e la ricezione dello stesso pacchetto da parte del destinatario. Questo ritardo è influenzato da diversi fattori, tra cui il tipo di rete, la distanza tra i nodi, la congestione della rete e le caratteristiche dei nodi stessi.

Il ritardo nell'invio di un'informazione da mittente a destinatario ha più componenti:

**Ritardo di trasmissione:** è il tempo necessario a inviare i bit sul mezzo,  $T_f = \frac{L}{C}$ , ad esempio il ritardo per la trasmissione di 1000 bit (informazione) su un cavo (canale) da 1 Gbit,  $T_f = \frac{1000}{10^9}$ , dove  $L$  è la lunghezza in bit dell'informazione,  $C$  è la frequenza di cifra.

**Ritardo di propagazione:** è il tempo impiegato dai dati per attraversare la rete, tipicamente è il tempo che impiegano le onde elettromagnetiche a viaggiare in un mezzo di una certa lunghezza:  $t = \frac{d}{v}$ , dove  $v$  è la velocità di propagazione (velocità della luce) e  $d$  è la distanza considerata.

**Ritardo di elaborazione:**  $T_p$ , è il tempo necessario all'elaborazione di un pacchetto in un nodo, dipende dalla velocità di calcolo dei processori.

**Ritardo in accodamento:**  $T_q$ , tempo di attesa in coda nel buffer di ricezione e dipende dal traffico generato da tutti i flussi che attraversano il nodo in considerazione, è quello più difficile da prevedere e calcolare.

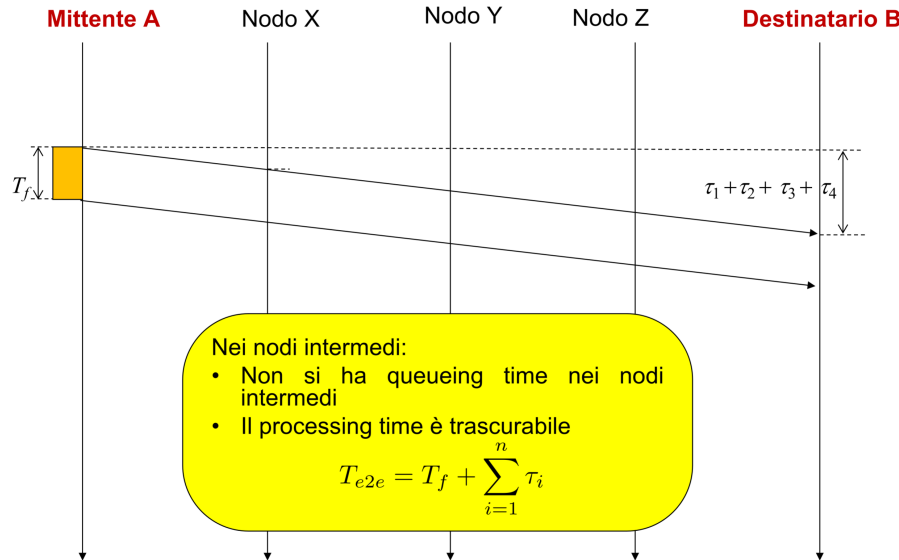


Figure 1.3: Ritardo e2e circuit switching: sommo i ritardi dovuti al mezzo (ritardo di trasmissione) e i ritardi dovuti alla propagazione nel mezzo

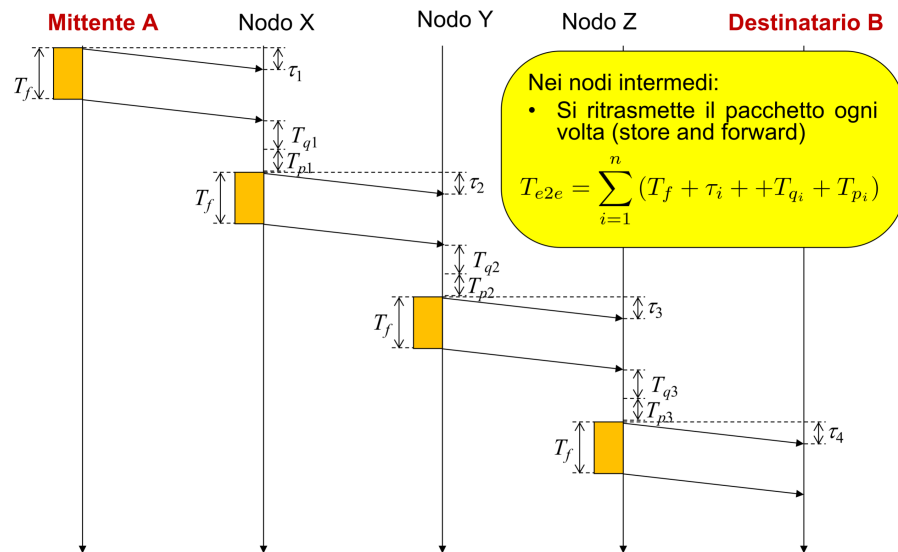


Figure 1.4: Ritardo e2e packet switching: (sommo TUTTI i ritardi) il packet switching ha una latenza maggiore rispetto al circuit switching

## Chapter 2

# Architetture di protocolli

## 2.1 Modello ISO-OSI

### 2.1.1 Introduzione

Il modello ISO-OSI è un modello di riferimento per la progettazione e l'implementazione di reti di telecomunicazioni. È stato sviluppato dall'Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione (ISO) negli anni '80 e fornisce un framework concettuale per comprendere come i diversi protocolli e tecnologie di rete interagiscono tra loro.

ISO OSI non ha un numero fisso di livelli, è importante capire la logica dei livelli che devono comporre un modello iso osi ma il numero specifico dei livelli può variare a seconda della necessità.

Il modello più comune di ISO-OSI è composto da sette livelli, ognuno dei quali svolge funzioni specifiche e comunica con i livelli superiori e inferiori. I sette livelli sono:

1. **Livello fisico:** si occupa della trasmissione dei dati attraverso il mezzo fisico (cavi, fibre ottiche, onde radio, ecc.). Definisce le caratteristiche elettriche e meccaniche dei dispositivi di rete.
2. **Livello di collegamento dati:** gestisce la comunicazione tra i dispositivi sulla stessa rete locale. Si occupa della rilevazione e correzione degli errori, del controllo del flusso e dell'indirizzamento fisico (MAC).
3. **Livello di rete:** si occupa dell'instradamento dei pacchetti tra reti diverse. Utilizza indirizzi logici (come gli indirizzi IP) per identificare i dispositivi sulla rete e determina il percorso migliore per inviare i dati.
4. **Livello di trasporto:** garantisce la consegna affidabile dei dati tra i dispositivi. Si occupa della segmentazione dei dati, del controllo degli errori e del controllo del flusso. I protocolli più comuni a questo livello sono TCP e UDP.

5. **Livello di sessione:** gestisce le sessioni di comunicazione tra i dispositivi. Si occupa dell'apertura, della chiusura e del mantenimento delle sessioni, nonché della sincronizzazione dei dati.
6. **Livello di presentazione:** si occupa della formattazione e della codifica dei dati. Converte i dati in un formato comprensibile per il livello applicativo e gestisce la compressione e la crittografia dei dati.
7. **Livello applicativo:** è il livello più alto del modello e fornisce servizi di rete agli utenti finali. Include protocolli come HTTP, FTP, SMTP e DNS, che consentono la comunicazione tra applicazioni.



Figure 2.1: I sette livelli del modello ISO-OSI

L'ISO-OSI serve a descrivere l'architettura dei protocolli, tramite il raggruppamento e la stratificazione. vengono raggruppate tra loro le funzioni simili per logica o tecnologia. questi gruppi vengono organizzati in modo gerarchico, quindi a strati (stratificazione). con ogni strato ci si può interfacciare grazie alle interfacce. lo strato N è costituito da una o più entità e l'interazione tra due sistemi avviene tra strati di eguale livello e con entità pari.

Con il modello ISO-OSI i "problemi" nella progettazione vengono divisi, rendendo la progettazione più modulare e più semplice, potendo specializzarsi su un livello specifico del modello. dividere un problema in più livelli è più conveniente.

## Entità e pacchetti

Ogni livello ha un'entità, queste elaborano i pacchetti, un pacchetto(PDU: protocol data unit) è composto da un header(PCI:protocol control information) e un payload(SDU: service data unit)

### 2.1.2 Segmentazione e riassemblaggio

La segmentazione è il processo di suddivisione dei dati in pacchetti più piccoli per facilitarne la trasmissione attraverso la rete. Ogni pacchetto viene inviato separatamente e può seguire percorsi diversi attraverso la rete. Il riassemblaggio è il processo inverso, in cui i pacchetti ricevuti vengono ricomposti nell'ordine corretto per ricostruire i dati originali. (dall'alto verso il basso(segmentazione) vengono aggiunti gli header ai pacchetti; dal basso verso l'alto(riassemblaggio) vengono rimossi, quindi utilizzati, gli header dei pacchetti)

#### Incapsulamento e decapsulamento

Dall'alto verso il basso: trasmissione → da tenere a mente che il livello più basso c'è il livello fisico, mentre il livello più alto è quello a cui tipicamente ci interfacciamo(applicazione del telefono ad esempio, whatsapp) quando trasmetto quindi faccio encapsulation, ossia aggiungo informazioni utili alla trasmissione del payload. questo perchè tra un livello e l'altro potrei avere la necessità di dover dividere il pacchetto in altri pacchetti, perciò va aggiunto negli header le informazioni necessarie a far riassemblare il pacchetto intero una volta finita la trasmissione.

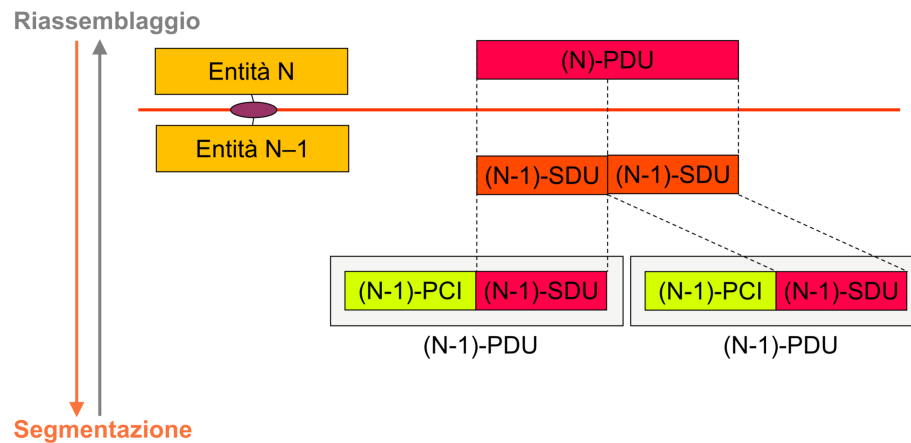


Figure 2.2: Pacchetti e incapsulamento/decapsulamento

## 2.2 Modello ibrido

Il modello ibrido è un modello di rete che combina elementi del modello ISO-OSI e del modello TCP/IP. È stato sviluppato per affrontare le limitazioni del modello ISO-OSI e per adattarsi meglio alle esigenze delle reti moderne. Il modello ibrido è composto da cinque livelli principali:

1. **Livello fisico:** simile al livello fisico del modello ISO-OSI, si occupa della trasmissione dei dati attraverso il mezzo fisico.
2. **Livello di collegamento dati:** gestisce la comunicazione tra i dispositivi sulla stessa rete locale e include funzioni di rilevamento degli errori e controllo del flusso.
3. **Livello di rete:** simile al livello di rete del modello ISO-OSI, si occupa dell'instradamento dei pacchetti tra reti diverse.
4. **Livello di trasporto:** fornisce servizi di trasporto affidabili e non affidabili, come TCP e UDP.
5. **Livello applicativo:** fornisce servizi di rete agli utenti finali e include protocolli come HTTP, FTP e SMTP.

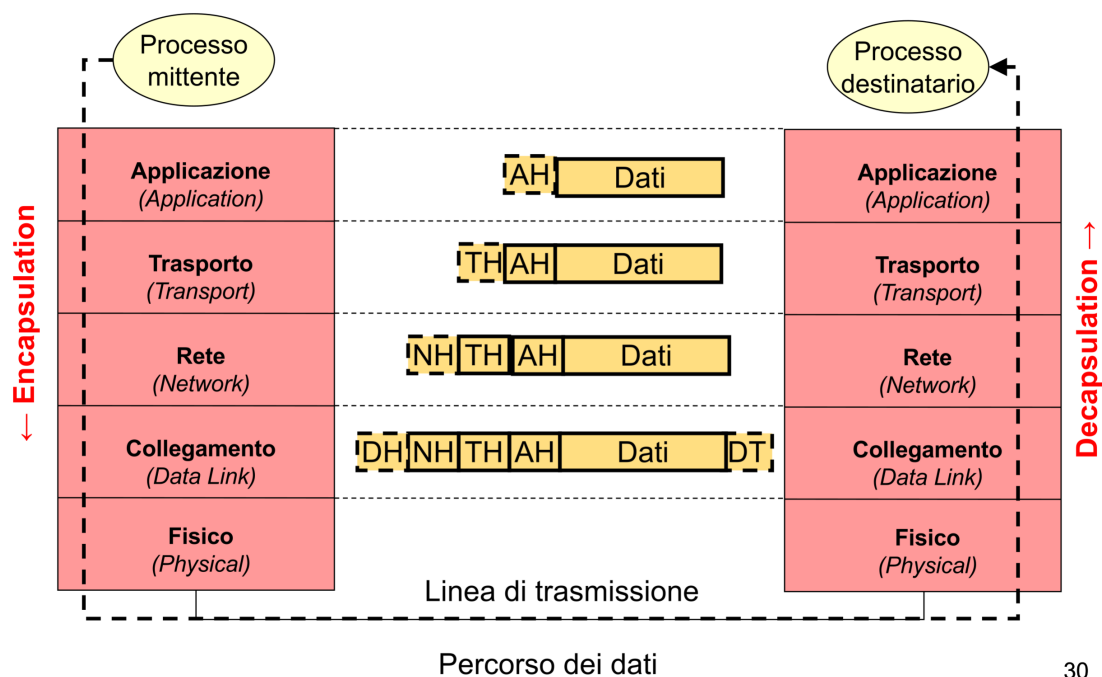


Figure 2.3: Incapsulamento e decapsulamento dei dati nel modello ibrido

### 2.2.1 Enc/decapsulation dati nel modello ibrido

Durante l'encapsulation vengono ad ogni livello aggiunti degli header (AH = application header, TH = transport header, NH = network header ecc), durante la decapsulation vengono spaccettati grazie agli header precedentemente aggiunti ad ogni livello l'unico livello che aggiunge oltre ad un header anche una coda (tail) è il "data link", "collegamento", questo perchè vuole verificare la correttezza del pacchetto, tramite tecniche che vedrò avanti (algoritmi di controllo, non esiste un metodo che garantisce che il pacchetto che sia 100

### 2.2.2 Comunicazione tra sistemi

i livelli rete, data link e fisico si occupano del trasporto dell'informazione tra il sistema a ed il sistema b. questo può avvenire tramite i nodi, intermediari, x e y, oppure in modo diretto. il datalink presuppone un collegamento diretto ed è fondamentale che riceva informazioni dal livello fisico poichè gestisce il passaggio di info tra un mezzo fisico e l'altro. al pacchetto viene aggiunto tramite il datalink un header che gestisce il passaggio tra a e x, quindi utilizzando un indirizzo locale. a livello di datalink inoltre viene verificato che il pacchetto sia inviato correttamente (evitando il loop: deadlog). dopo aver verificato la correttezza del pacchetto, a livello di rete ci si assicura che il pacchetto ricevuto sia arrivato a destinazione. nel caso specifico il pacchetto che arriva al livello di rete del nodo x viene spedito al nodo successivo poichè il livello di rete del nodo x capisce che non era lui il destinatario, tramite la lettura dell'header inserito dal sistema a inizialmente. tra un nodo e l'altro è possibile usare tecnologie differenti, cavo, wireless ecc, livello fisico

se al livello b arriva un pacchetto errato allora viene reinviato il pacchetto da b ad a così da far capire ad a che deve reinviare il pacchetto, latenza. posso inserire un timer oltre il quale si interrompe la trasmissione, per evitare loop o perdite di informazioni.

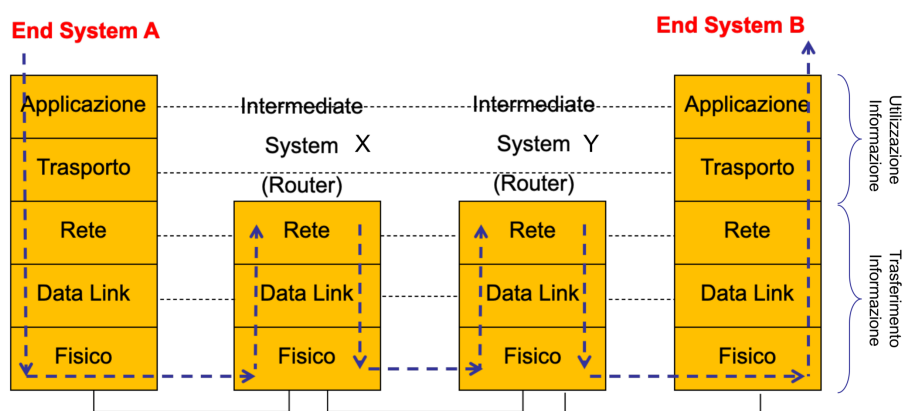


Figure 2.4: Comunicazione tra sistemi nel modello ibrido

## 2.3 Modello TCP/IP

Il modello tcp/ip nasce a 4 livelli, il livello di rete si chiama internet, poichè a quel livello si usa il protocollo ip(internet protocol).

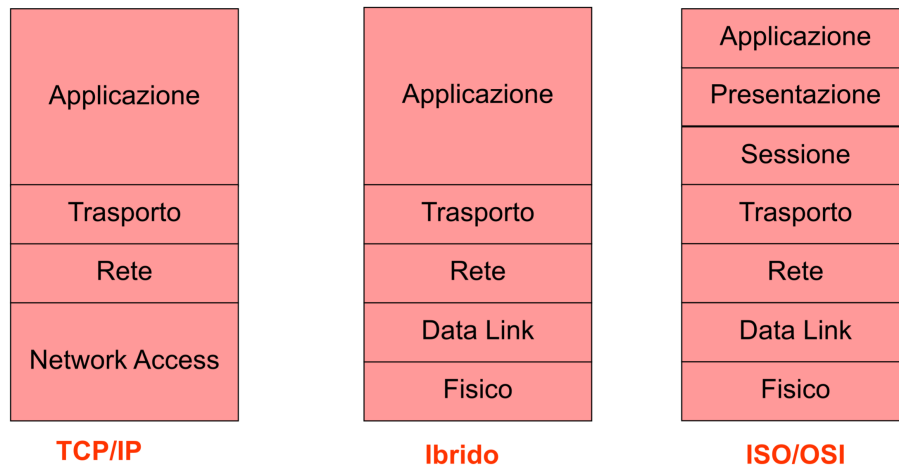


Figure 2.5: Confronto tra stack ISO-OSI, TCP/IP e modello ibrido



## **Chapter 3**

# **Livello 4 trasporto - TCP**

## **Chapter 4**

### **Livello 3 rete - IP**

## Chapter 5

# Livello 3 rete - algoritmi di routing

## Chapter 6

# Livello 2 data link - Ethernet