

---

# 1. Fondamenti della Trasmissione Dati

La trasmissione dei dati è il processo mediante il quale le informazioni digitali vengono convertite in segnali compatibili con il mezzo fisico, garantendo la comunicazione tra dispositivi.

## 1.1 Basi Teoriche della Comunicazione

- **Larghezza di Banda:**

Indica l'intervallo di frequenze disponibili per la trasmissione, misurato in Hertz (Hz). Una maggiore larghezza di banda permette di trasmettere più informazioni, ma il suo utilizzo dipende anche dalle tecnologie e dai metodi di codifica impiegati.

- **Throughput:**

È la quantità di dati che riesce effettivamente a transitare su un canale in un determinato intervallo di tempo. A causa di limitazioni tecniche ed inefficienze, il throughput reale è sempre inferiore al bit rate teorico.

- **Bit Rate:**

Indica la velocità di trasmissione dei bit, espressa in bit per secondo (bps). Rappresenta la capacità del canale di inviare dati e costituisce il parametro base per la progettazione dei sistemi di comunicazione.

## 1.3 Il Livello Fisico

Il livello fisico è responsabile della codifica, modulazione e trasmissione dei segnali sul mezzo. In questa fase, i dati digitali vengono convertiti in segnali elettrici, ottici o radio, a seconda della tecnologia utilizzata. Tecniche di codifica, modulazione e conversione (ad esempio, dalla rappresentazione decimale a quella esadecimale per l'indirizzamento hardware) sono essenziali per garantire la corretta trasmissione e la minimizzazione degli errori.

(Approfondimenti nel materiale "Tutto Livello Fisico")

---

# 2. Tecniche di Trasmissione

Le tecniche di trasmissione definiscono come i dati vengono inviati attraverso il mezzo fisico, ottimizzando l'uso delle risorse e garantendo affidabilità e efficienza.

## 2.1 Multiplexing

Il multiplexing consente a più flussi di dati di condividere lo stesso canale:

- **FDM (Frequency Division Multiplexing):**

Il canale viene suddiviso in sotto-bande di frequenza. Ogni utente dispone di una banda fissa, garantendo l'assenza di interferenze, ma in presenza di traffico variabile può risultare uno spreco di risorse.

- **TDM (Time Division Multiplexing):**

Il canale viene diviso in intervalli temporali (slot) assegnati a ciascun utente. Questa tecnica richiede una sincronizzazione precisa, poiché ogni dispositivo trasmette solo nel proprio intervallo, migliorando l'efficienza in ambienti con traffico uniforme.

- **WDM (Wavelength Division Multiplexing):**

Utilizzato soprattutto nelle reti in fibra ottica, sfrutta diverse lunghezze d'onda per trasmettere simultaneamente più flussi di dati. Esistono varianti come CWDM e DWDM, che differiscono per densità e capacità trasmissiva.

## 2.2 Tecniche di Commutazione

Le tecniche di commutazione determinano come i dati vengono instradati attraverso la rete:

- **Commutazione di Circuito:**

Prevede la creazione di un percorso fisso e dedicato tra mittente e destinatario per l'intera durata della comunicazione. Questo metodo garantisce una banda costante, ma utilizza in modo inefficiente le risorse, poiché il canale resta riservato anche se non attivamente usato.

- **Commutazione di Pacchetto:**

I dati vengono suddivisi in pacchetti indipendenti che possono seguire percorsi differenti nella rete. I pacchetti vengono riordinati a destinazione per ricostruire il messaggio originario. Questa tecnica sfrutta al meglio la banda disponibile e aumenta la resilienza a guasti e congestioni.

(Approfondimenti nel documento "ISO/OSI e Tipi di Trasmissione")

---

## 3. Algoritmi di Accesso al Mezzo

In una rete condivisa, è necessario gestire l'accesso al mezzo trasmissivo in modo da evitare collisioni e massimizzare l'efficienza.

### 3.1 Protocollo ALOHA

- **ALOHA Puro:**

Le stazioni trasmettono i dati immediatamente quando sono pronte, senza controllare lo stato del canale. In caso di collisione, la stazione attende un intervallo casuale prima di ritrasmettere. L'efficienza teorica di questo approccio è intorno al 18%, a causa dell'elevato rischio di collisioni.

- **Slotted ALOHA:**

Il tempo è suddiviso in slot di durata fissa. Le stazioni possono trasmettere solo all'inizio di uno slot, riducendo l'intervallo in cui le collisioni possono verificarsi e migliorando l'efficienza fino al 37%.

## 3.2 Protocolli CSMA

I protocolli CSMA (Carrier Sense Multiple Access) richiedono alle stazioni di "ascoltare" il canale prima di trasmettere:

- **CSMA 1-persistente:**

Se il canale è libero, la stazione trasmette immediatamente; tuttavia, non essendo considerato il tempo di propagazione, possono verificarsi collisioni se le stazioni sono distanti.

- **CSMA non persistente:**

Se il canale è occupato, la stazione attende un intervallo casuale prima di riprovare, riducendo il rischio di collisioni, anche se aumentando il ritardo.

- **CSMA p-persistente:**

Adatto a canali suddivisi in slot, in questo schema la stazione trasmette con una probabilità  $p$  quando il canale è libero, altrimenti attende il successivo slot.

- **CSMA/CD (Collision Detection):**

Utilizzato nelle reti Ethernet, questo protocollo permette alle stazioni di rilevare le collisioni durante la trasmissione. In caso di collisione, la trasmissione viene interrotta immediatamente e si attua un algoritmo di backoff esponenziale per ritentare l'invio. (Per ulteriori dettagli, consultare "Livello MAC e Algoritmi di Contesa")

- **Altri Algoritmi:**

Esistono soluzioni che eliminano del tutto le collisioni, come il Basic Bitmap e il Binary Countdown, nonché protocolli a contesa limitata come l'Adaptive Tree Walk, che permettono di individuare in modo rapido la stazione che deve trasmettere, ottimizzando l'uso del canale.

---

## 4. Reti Wireless e Mobili

L'evoluzione delle reti wireless ha permesso la mobilità e una copertura sempre più ampia, trasformando il modo in cui comunichiamo.

### 4.1 Architettura Cellulare

- **Celle e Stazioni Base:**

Un'area geografica viene divisa in celle, ciascuna coperta da una stazione base. La forma ideale della cella è esagonale, in modo da ottimizzare il riutilizzo delle frequenze e garantire una copertura omogenea.

- **Handoff:**

Quando un utente si sposta da una cella all'altra, è necessario trasferire la connessione in modo da evitare interruzioni.

- **Hard Handoff:** Il collegamento viene interrotto prima di stabilire quello nuovo, causando una breve interruzione del servizio (tipico dei sistemi GSM).
- **Soft Handoff:** Permette di mantenere contemporaneamente più connessioni durante la transizione, garantendo una continuità maggiore (tipico dei sistemi CDMA).

## 4.2 Reti Satellitari

Le reti satellitari offrono la possibilità di una copertura globale sfruttando satelliti posizionati in orbite differenti:

- **GEO (Geostationary Earth Orbit):**

I satelliti GEO orbitano a circa 35.786 km e rimangono fissi rispetto alla Terra, offrendo un'ampia copertura. Tuttavia, la latenza è elevata (circa 250 ms) e i costi sono alti.

- **MEO (Medium Earth Orbit):**

Questi satelliti, utilizzati ad esempio per i sistemi di navigazione (GPS, Galileo), rappresentano un compromesso tra copertura e latenza.

- **LEO (Low Earth Orbit):**

I satelliti in orbita LEO operano a quote molto inferiori (160–2000 km), garantendo una latenza ridotta. Richiedono però una costellazione numerosa e gestioni frequenti di handoff.

## 4.3 Evoluzione delle Reti Mobili

L'evoluzione tecnologica ha determinato una progressiva trasformazione delle reti mobili:

- **1G:** Reti analogiche, limitate a trasmissioni vocali con scarse misure di sicurezza.
- **2G (GSM):** Introduce la digitalizzazione, il supporto agli SMS e una crittografia basilare.
- **3G (UMTS):** Abilita trasmissioni dati ad alta velocità, permettendo videochiamate e applicazioni multimediali.
- **4G (LTE):** Reti completamente all-IP, capaci di offrire banda larga mobile, bassa latenza e velocità elevate.
- **5G:** La generazione più avanzata, che prevede latenza ultra-bassa, massive connessioni IoT, network slicing e tecnologie come il Massive MIMO, raggiungendo velocità fino a 20 Gbps.

---

## 5. Standard e Protocolli

La comunicazione tra dispositivi eterogenei è resa possibile grazie agli standard e protocolli, che definiscono le regole per l'interoperabilità.

## 5.1 Modello ISO/OSI

Il modello OSI (Open Systems Interconnection) divide la comunicazione in 7 livelli, ciascuno con funzioni specifiche:

**1. Fisico:**

Trasmette i bit sul mezzo e definisce le proprietà fisiche del canale.

**2. Data Link:**

Si occupa del framing, del controllo degli errori e dell'accesso al mezzo. È suddiviso in due sottolivelli:

- **LLC (Logical Link Control):**

Gestisce l'interfaccia con il livello di rete, incapsulando i dati in frame e identificando il protocollo di livello superiore tramite i campi DSAP e SSAP.

- **MAC (Media Access Control):**

Regola l'accesso concorrente al mezzo, assegna un indirizzo fisico univoco (MAC address) e gestisce la costruzione dei frame, includendo i campi per l'indirizzamento e il controllo degli errori.

**3. Rete:**

Responsabile dell'indirizzamento logico e dell'instradamento dei pacchetti (es. protocolli IP).

**4. Trasporto:**

Garantisce la corretta trasmissione dei dati, segmentando e ri assemblando i messaggi, con protocolli orientati (TCP) o non orientati (UDP).

**5. Sessione:**

Gestisce la comunicazione e la sincronizzazione tra le applicazioni, stabilendo e terminando le sessioni.

**6. Presentazione:**

Cura la formattazione, la codifica e la crittografia dei dati per garantire che il messaggio sia interpretato correttamente da chi lo riceve.

**7. Applicazione:**

Fornisce l'interfaccia diretta con l'utente, permettendo l'utilizzo di applicazioni come browser, client di posta e altri software di comunicazione.

(Vedi i "Concetti sul Livello 2 OSI")

## 5.2 Protocollo TCP/IP

Il modello TCP/IP ha rivoluzionato le comunicazioni su Internet ed è composto da quattro livelli:

- **Application:**

Copre le funzioni applicative, integrando i livelli Applicazione, Presentazione e Sessione

del modello OSI.

- **Transport:**  
Responsabile della segmentazione e della trasmissione affidabile (TCP) o non affidabile (UDP) dei dati.
- **Internet:**  
Si occupa dell'instradamento dei pacchetti attraverso il protocollo IP, permettendo la comunicazione tra reti diverse.
- **Network/Physical:**  
Definisce le specifiche fisiche e il collegamento col mezzo trasmissivo.

Questo modello, grazie alla sua semplicità ed efficienza, ha permesso l'interconnessione di reti eterogenee e il consolidamento di Internet come infrastruttura globale.

(Approfondimenti in [□cite□turn0file1□](#))

## 5.3 Enti di Standardizzazione

Diversi enti internazionali contribuiscono alla definizione degli standard:

- **IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers):**  
Responsabile dello sviluppo degli standard per le reti locali, come l'IEEE 802.3 (Ethernet) e l'IEEE 802.11 (Wi-Fi).
- **ITU (International Telecommunication Union):**  
Coordina la gestione delle frequenze radio e definisce standard per le telecomunicazioni a livello globale.
- **IETF (Internet Engineering Task Force):**  
Elabora le specifiche tecniche e i protocolli Internet, pubblicando le RFC (Request for Comments).
- **ISO (International Organization for Standardization):**  
Definisce standard internazionali per garantire l'interoperabilità e l'uniformità dei sistemi, come nel caso del modello OSI.