

# 1. Fondamenti della Trasmissione Dati

## 1.1 Basi teoriche della comunicazione

La trasmissione dei dati si basa sulla conversione di informazioni digitali in segnali che possono essere trasmessi attraverso un mezzo fisico. I concetti fondamentali includono:

- **Larghezza di banda:** rappresenta l'intervallo di frequenze utilizzabile per la trasmissione, misurata in Hertz (Hz)
- **Throughput:** la quantità effettiva di dati che può essere trasmessa per unità di tempo
- **Bit rate:** velocità di trasmissione dei bit, misurata in bit per secondo (bps)

Il teorema di Nyquist stabilisce che la massima velocità di trasmissione su un canale ideale è:

$$V_{\max} = 2H \times \log_2 V \text{ bit/sec}$$

dove:

- H è la larghezza di banda in Hz
- V è il numero di livelli discreti del segnale

La formula di Shannon per canali rumorosi è:

$$C = H \times \log_2(1 + S/N)$$

dove:

- C è la capacità del canale in bps
- S/N è il rapporto segnale/rumore

## 2. Tecniche di Trasmissione

### 2.1 Multiplexing

Il multiplexing permette la condivisione efficiente del mezzo trasmissivo tra più utenti:

#### 2.1.1 FDM (Frequency Division Multiplexing)

- Divisione della banda in sotto-canali di frequenza
- Ogni utente ha una banda dedicata
- Nessuna interferenza tra canali

- Uso inefficiente della banda in caso di traffico variabile

### **2.1.2 TDM (Time Division Multiplexing)**

- Divisione temporale del canale
- Ogni utente ha slot temporali dedicati
- Necessità di sincronizzazione precisa
- Migliore efficienza con traffico uniforme

### **2.1.3 WDM (Wavelength Division Multiplexing)**

- Utilizzato nelle fibre ottiche
- Moltiplicazione di lunghezze d'onda diverse
- Elevata capacità di trasmissione
- Due varianti:
  - CWDM (Coarse WDM)
  - DWDM (Dense WDM)

## **2.2 Tecniche di Commutazione**

### **2.2.1 Commutazione di Circuito**

- Connessione dedicata end-to-end
- Garanzia di banda
- Utilizzo inefficiente delle risorse
- Esempio: rete telefonica tradizionale

### **2.2.2 Commutazione di Pacchetto**

- Suddivisione dei dati in pacchetti
- Routing indipendente dei pacchetti
- Migliore utilizzo delle risorse
- Due approcci:
  - Connectionless (datagram)
  - Connection-oriented (circuito virtuale)

## **3. Algoritmi di Accesso al Mezzo**

### **3.1 ALOHA**

Primo protocollo di accesso multiplo sviluppato per reti wireless:

#### **3.1.1 ALOHA Puro**

- Trasmissione immediata dei dati
- Ritrasmissione dopo tempo casuale in caso di collisione
- Efficienza teorica: 18%
- Implementazione semplice ma prestazioni limitate

### **3.1.2 Slotted ALOHA**

- Tempo diviso in slot discreti
- Trasmissione sincronizzata con gli slot
- Efficienza teorica: 37%
- Richiede sincronizzazione globale

## **3.2 CSMA (Carrier Sense Multiple Access)**

Evoluzione che introduce l'ascolto del canale:

### **3.2.1 CSMA non persistente**

- Ascolto del canale prima della trasmissione
- Attesa casuale se canale occupato
- Riduce probabilità di collisione
- Può introdurre ritardi significativi

### **3.2.2 CSMA p-persistente**

- Probabilità  $p$  di trasmissione se canale libero
- Compromesso tra collisioni e ritardi
- Parametro  $p$  ottimizzabile secondo il carico

### **3.2.3 CSMA/CD (Collision Detection)**

- Rilevamento attivo delle collisioni
- Interruzione immediata in caso di collisione
- Algoritmo di backoff esponenziale binario
- Base della tecnologia Ethernet

## **4. Reti Wireless e Mobili**

### **4.1 Architettura Cellulare**

La suddivisione in celle è il fondamento delle reti mobili:

#### **4.1.1 Concetto di Cella**

- Area geografica coperta da una stazione base

- Forma esagonale ideale
- Riutilizzo delle frequenze
- Dimensioni variabili (macro/micro/pico celle)

### 4.1.2 Handoff

Il processo di handoff gestisce il passaggio tra celle:

- **Hard Handoff:**
  - Break-before-make
  - Interruzione momentanea del servizio
  - Uso in sistemi GSM
- **Soft Handoff:**
  - Make-before-break
  - Connessione simultanea a più celle
  - Uso in sistemi CDMA

## 4.2 Reti Satellitari

Le reti satellitari forniscono copertura globale attraverso diverse orbite:

### 4.2.1 GEO (Geostationary Earth Orbit)

- Altitudine: 35.786 km
- Periodo orbitale: 24 ore
- Vantaggi:
  - Copertura ampia
  - Antenne fisse
- Svantaggi:
  - Latenza elevata (~250ms)
  - Costi elevati

### 4.2.2 MEO (Medium Earth Orbit)

- Altitudine: 2.000-35.786 km
- Applicazioni principali:
  - Navigazione satellitare (GPS, Galileo)
  - Comunicazioni regionali
- Compromesso tra copertura e latenza

### 4.2.3 LEO (Low Earth Orbit)

- Altitudine: 160-2.000 km

- Caratteristiche:
  - Latenza ridotta
  - Necessità di più satelliti
  - Handoff frequenti
- Esempi: Starlink, OneWeb

## **4.3 Generazioni di Reti Mobili**

### **4.3.1 Evoluzione Storica**

Ogni generazione ha introdotto miglioramenti significativi:

#### **1. 1G**

- Analogico
- Solo voce
- Nessuna sicurezza
- AMPS, TACS

#### **2. 2G (GSM)**

- Digitale
- Voce e SMS
- Velocità: 9.6-14.4 kbps
- Crittografia basilare

#### **3. 3G (UMTS)**

- Dati ad alta velocità
- Videochiamata
- Velocità: fino a 2 Mbps
- QoS migliorato

#### **4. 4G (LTE)**

- All-IP
- Banda larga mobile
- Velocità: fino a 1 Gbps
- Latenza ridotta

#### **5. 5G**

- Latenza ultra-bassa (<1ms)
- Network slicing
- Massive MIMO
- Velocità: fino a 20 Gbps
- Supporto IoT su larga scala

## **5. Standard e Protocolli**

## **5.1 IEEE 802**

Serie di standard per reti locali e metropolitane:

### **5.1.1 IEEE 802.3 (Ethernet)**

- CSMA/CD
- Velocità: da 10 Mbps a 400 Gbps
- Mezzi supportati:
  - Rame (twisted pair)
  - Fibra ottica

### **5.1.2 IEEE 802.11 (Wi-Fi)**

- CSMA/CA
- Bande: 2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz
- Standard principali:
  - 802.11ac (Wi-Fi 5)
  - 802.11ax (Wi-Fi 6)
  - 802.11be (Wi-Fi 7)

## **5.2 Enti di Standardizzazione**

### **5.2.1 ITU (International Telecommunication Union)**

- Gestione frequenze radio
- Standard telecomunicazioni
- Coordinamento internazionale

### **5.2.2 IETF (Internet Engineering Task Force)**

- Protocolli Internet
- RFC (Request for Comments)
- Sviluppo standard TCP/IP

### **5.2.3 ISO (International Organization for Standardization)**

- Modello OSI
- Standard internazionali
- Interoperabilità