



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DIEE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA ED ELETTRONICA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA ELETTRICA INDUSTRIALE

RETI DI TELECOMUNICAZIONI

edited by

NICOLA FERRU

Unofficial Version

2022 - 2023

[This page is intentionally left blank]

Indice

1	Introduzione	5
1.1	Sommario	5
1.1.1	Informazione e segnali	5
1.1.2	Informazioni analogiche e digitali	5
1.1.3	Alcune osservazioni	6
1.2	I segnali	6
1.2.1	Rappresentazione dell'informazione	6
1.2.2	Classificazione di segnali	6
1.3	Spiegazione sui segnali	7
1.3.1	Segnali analogici	7
1.3.2	Segnali digitali	7
1.3.3	Pregi e difetti	7
1.4	Il sistema numerico binario	8
1.4.1	La rappresentazione	8
1.4.2	Rappresentazione del modulo e del segno	8
1.4.3	Rappresentazione di complemento a 1	8
1.4.4	Rappresentazione di complemento a 2	9
1.4.5	Confronto	9
1.5	Sistemi di comunicazione	9
1.5.1	Trasmissione e ricezione	10
1.5.2	Classificazione di sistemi	10
1.5.3	Rete di telecomunicazione	10
1.5.4	Classificazione per servizi	11
1.5.5	Classificazione per mobilità	11
1.5.6	Classificazione per estensione	11
1.5.7	Interconnessione di reti	12
1.5.8	Classificazione per posizione	12
1.5.9	Soggetti implicati	12
1.6	Rami e nodi	12
1.6.1	Definizione di grafo	13
1.6.2	Topologie	14
1.6.3	Topologia Elementari	14
1.6.4	Topologia a bus: unicast vs broadcast	16
1.6.5	Topologia generale di una rete	16
1.6.6	Sezione d'accesso	17
1.6.7	Sezione interna	17
1.6.8	Principali organismi	18
1.7	Unità informative (UI)	18
1.7.1	Tipi di informazione/traffico	18
1.7.2	Informazione di controllo	19
1.7.3	Informazione di gestione	19
1.7.4	Ritardo	19
1.8	Errori e perdite	21

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Sommario

Qui di seguito sono riportati i concetti fondamentali trattati all'interno del documento

1.1.1 Informazione e segnali

L'informazione sussiste solo se il ricevente della trasmissione non conosce il contenuto della suddetta. Per esistere una trasmissione devono esserci:

1. Comunicazione;
2. Mezzo di trasmissione;
3. Informazione.

1.1.2 Informazioni analogiche e digitali

Visto che è un argomento ricorrente all'interno del programma è giusto dare quanto meno, una definizione anche se stringata, quindi:

Definizione 1.1.1. *si dicono grandezze analogiche quelle che possono assumere tutti i valori intermedi all'interno di un dato intervallo; Si dicono grandezze digitali quelle che vengono espresse in modo numerico, senza possibilità di discriminare valori intermedi tra due cifre consecutive. Ulteriori approfondimenti presenti in (1.3.1)*¹

Definizione 1.1.2. *Con digitale o numerico, in informatica ed elettronica, ci si riferisce a tutto ciò che viene rappresentato con numeri o che opera manipolando numeri, contrapposto all'analogico. Ulteriori approfondimenti presenti in (1.3.2)*²

Osservazione 1.1.1. *Tipicamente quando si tratta di strumenti di misurazione entrambi i tipi di informazione entrano in gioco per poter funzionare. Ad esempio una sonda per un forno prende in ingresso in informazione analogica "la temperature" e poi la converte tramite l'apposito ADC a un informazione digitale per poterla campianare ed elaborare tarmite una centralina di gestione.*

Oggi ormai utilizziamo il digitale perché effettivamente i calcolatori elettronici gestiscono meglio una codifica rispetto a dei numeri reali. Per di più costa meno produrre un dispositivo che gestisca segnali digitali rispetto ad un dispositivo che gestisce mezzi analogici. Ad esempio la differenza tra lo standard VHS e lo standard CD/DVD/Blue Ray, infatti, il VHS era uno standard basato su un nastro magnetico, cosa che negli ultimi suoi anni di vita si mescolò anche con il digitale ma uno dei limiti veri restava proprio il supporto fisico, infatti, il nastro magnetico è molto fragile e incline ad avere tantissimi problemi anche di prestazioni in utilizzi di archiviazione dati.

¹<https://it.wikipedia.org/wiki/Analogico>

²[https://it.wikipedia.org/wiki/Digitale_\(informatica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Digitale_(informatica))

1.1.3 Alcune osservazioni

- Non tutte le informazioni costituiscono un vero e proprio contenuto informativo
 1. La notizia comunicata deve per noi essere eclatante;
 2. una persona noiosa non apporta informazione perché ripete continuamente gli stessi argomenti.
- Problema di misurazione del contenuto informativo
 - **Claude E. Shannon** (1916-2001), fondatore della *Teoria Matematica dell'Informazione*, è stato il primo ad introdurre la distinzione tra forma e significato nel processo comunicativo.

I risultati di Shannon

- Non è possibile definire la quantità di informazione associata ad un messaggio già ricevuto, ma piuttosto la quantità di informazione associata ad un papabile messaggio
 - “*information is that which reduces uncertainty*”
- La quantità di informazione associata ad un messaggio è tanto più alta quanto più esso è inatteso
 - il messaggio “**domani sorgerà il sole**” ha un bassissimo contenuto informativo perché è assolutamente scontato e banale
 - il messaggio “**Domani scoppierà la guerra**” ha un alto contenuto informativo.

1.2 I segnali

- Grandezze fisiche variabili nel tempo a cui è associata un'informazione;
- L'informazione è associata ad una variazione (*aleatorio* e non deterministica) della grandezza fisica;
- Aleatorio (dal latino “alea”, gioco di dadi) è sinonimo di non predicibile a priori (in contrapposizione con deterministico).

1.2.1 Rappresentazione dell'informazione

- Associazione tra caratteristiche (di valore e temporali) dei segnali e le informazioni che essi rappresentano;
- Le caratteristiche sono impresse dal dispositivo generatore del segnale;
- Quali caratteristiche?
 - valore, andamento temporale ed eventi del segnale (es. superare una soglia), etc.

1.2.2 Classificazione di segnali

I segnali vengono classificati in base alla loro natura e alle loro caratteristiche. Tipicamente per il campionamento avviene il seguente processo:

Grandezza fisica → trasduttore → segnale elettrico

Quindi prendendo come base questa affermazione, possiamo dire che un segnale che sia di natura elettrica, acustica o qualunque altra natura fisica, può essere campionato da uno strumento che tramite il suo trasduttore converterà in un'istruzione “tipicamente definita pacchetto di istruzioni o di informazioni” che a sua volta verrà convertito in un segnale elettrico che seguendo lo standard di comunicazione del modello³ di riferimento potrà essere trasmesso o elaborato da un computer o da una centralina dedicata a scopo di analisi oppure per inviarlo altrove. Ad esempio, se noi campioniamo una chitarra elettrica sfruttando un pickup magnetico, il processo sarà il seguente:

Vibrazione della corda [*pickup*] → scheda audio → segnale elettrico che il computer può leggere

Ed ecco come associare un caso di quotidiano all'argomento, infatti, la pratica qui illustrata è un aspetto molto presente nella nostra vita, molti degli oggetti che circondano la vita dell'individuo seguono questa logica.

³una variazione della corrente elettrica o di tensione all'interno di un conduttore oppure in un punto di un circuito elettrico o elettronico.

1.3 Spiegazione sui segnali

1.3.1 Segnali analogici

- il valore dell'informazione rappresentata è una funzione continua della grandezza significativa;
- rappresentazione attraverso un numero reale (*con precisione teoricamente infinita*)
- generati da sensori o trasduttori che creano una corrispondenza tra la grandezza fisica che è oggetto di informazione (**esempio temperatura**) e il segnale (**esempio tensione elettrica**)

Esempi

- **Temperatura:** altezza in mm del mercurio nel termometro;
- **Acustico:** variazione di pressione ad un microfono;
- **Elettrico:** tensione ai capi di un conduttore.

1.3.2 Segnali digitali

- rappresentazione come sequenza di numeri presi da un insieme di valori discreti, ovvero appartenenti a uno stesso insieme ben definito e circoscritto;
- rappresentazione “a fasce”

Osservazione 1.3.1. *L'attributo “analogico” o “digitale” non si riferisce a caratteristiche intrinseche del segnale ma a caratteristiche dell'informazione da esso rappresentato: **I segnali digitali nascono come analogici***

1.3.3 Pregi e difetti

Analogico

Pregi

- | | |
|--|---|
| a) Sono più “naturalì”, le leggi della fisica classica operano tipicamente nel “continuo”; | b) Il rumore deforma ma non stravolge il segnale (errori proporzionali all'entità del disturbo “ in onde media la radio analogica la senti, anche se con un forte rumore bianco di fondo. ”) |
|--|---|

Difetti

- | | |
|--|---|
| a) Dispositivi di elaborazione relativamente poco precisi, poco stabili nel tempo “maggiormente predisposti ai guasti, alle intemperie e anche a potenziali variazioni atmosferiche” e poco immuni alle perturbazioni;
(esempio: il video registratore VHS “M-matic” o sony U-matic, sono apparecchi estremamente complessi, soprattutto gli ultimi per metà digitali con tante funzionalità e tasti programmabili per fasce orarie, perfetti per registrare le trasmissioni in modo autonomo.) | b) Le elaborazioni su di essi sono poco flessibili e producono degrado. |
|--|---|

1.4 Il sistema numerico binario

Definizione 1.4.1. *il sistema numeri Binario è un sistema di numerazione utilizzato per i calcolatori elettronici e sviluppato per sopperire a lato prestazionale di calcolo per i suddetti⁴. Infatti, nel segnale digitale esiste il seguente caso:*

- 1 sta al Vero logico, in gergo “TRUE” oppure livello alto, in gergo “HIGH”.
- 0 sta al Falso logico, in gergo “FALSE” oppure livello basso, in gergo “LOW”.

Il vantaggio di questo sistema è che con la logica positiva o negativa, risolve molti casi, tra cui il fatto che il singolo termine “bit” non sia segnato⁵, questo lo si vedrà nel dettaglio nei dettagli in (??)

1.4.1 La rappresentazione

La cosa comoda del sistema binario è il fattore di conversione, infatti, questa codifica permette di rappresentare un qualunque numero decimale senza segno compreso tra 0 e $2^n - 1$ tramite una sommatoria per posizione, come spressa nella seguente formula:

$$(a_{n-1}, \dots, a_1, a_0)_2 \rightarrow \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot 2^i \quad (1.1)$$

Dove (a_{n-1}) è la cifra più significativa e a_0 è quella meno significativa.

$$(10101110)_2 \Leftrightarrow (174)_{10} \Leftrightarrow (AE)_{16} \quad (1.2)$$

1.4.2 Rappresentazione del modulo e del segno

Il bit più significativo viene utilizzato per la rappresentazione del segno, mentre il resto viene utilizzato per il modulo.

Nota 1.4.1. *questo sistema fa perdere un bit di rappresentazione quindi il valore rappresentato è pari a $N-1$, ad esempio su 8 bit che consentono di rappresentare fino al valore $(255)_{10}$ se andiamo ad applicare il bit segnato avremmo 7bit di rappresentazione per il modulo e 1bit per il segno cosa che porta la rappresentazione possibile al massimo a $(\pm 127)_{10}$*

Ma per essere più specifici meglio utilizzare una somma in forma tabellare per mostrare l'esito dei segni in una somma tra due numeri A e B :

$$\begin{array}{c|cc} & \text{Segno di } B \\ & + & - \\ \text{Segno di } A & \begin{array}{cc} + & - \\ + & A+B & A-|B| \\ - & B-|A| & |A|+|B| \end{array} \end{array} \quad (1.3)$$

1.4.3 Rappresentazione di complemento a 1

Il bit più significativo rappresenta il segno, come nel caso di qui sopra

- stesso intervallo di valore rappresentabili con modulo e segno.

Un numero negativo si ottiene dal positivo cambiando tutti i bit:

- Il numero 6 in binario si scrive 0110 prendono un caso a 4 bit segnati ma se noi vediamo come si scrive il -6 il risultato è il seguente 1001 l'esatto inverso del numero positivo.

nelle operazioni aritmetiche si utilizza l'eventuale riporto necessario a compensare la mancanza di altri simboli al di fuori dello 0 e del 1.

⁴Un calcolatore elettronico riesce a processare più velocemente casi che possono avere poche possibilità, il binario per singola posizione può avere solo due possibilità 0 o 1

⁵Non è positivo o negativo, per avere il corrispettivo decimale con il segno si usa una codifica sacrificando un bit per attribuirgli la funzione di segno, se esso è pari a 0 il numero, mentre, se il bit di segno è pari a 1 il numero è negativo.

Esempio 1.4.1. Prediamo una semplice somma come $22 + 3 = 25$, in questo caso per rappresentare l'operazione in colonna sono stati disposti 8 bit nonostante i numeri non sfiorino i 6.

$$\begin{array}{rcl}
& & \text{1100} \\
& 0001 & 0110 \quad (22) \\
+ & 0000 & 0011 \quad (3) \\
\hline
& 0001 & 1001 \quad (25)
\end{array} \tag{1.4}$$

I bit in rosso sono il riporto, infatti in questo caso è bastato solo un complemento a 1 in cui il riporto non sfiora dal numero di bit stimati, in gergo tecnico si tratta di un overflow, cosa che se avviene all'interno di un programma sul proprio computer può causare dei problemi, che siano di memoria perché satura la ram, potrebbe compromettere un altro processo se va a scrivere in un'area di memoria non adibita al suddetto processo oppure semplicemente se è un calcolo esso verrà tagliato e quindi parliamo di perdita di informazione.

1.4.4 Rappresentazione di complemento a 2

Il complemento a 2 è molto simile al complemento a 1 visto nel capitolo (1.4.3) con due sostanziali differenze – La prima è un vantaggio, infatti, in questo caso esiste un'unica rappresentazione per lo zero, mentre, la seconda è il fatto che si ignora l'overflow visto che i riporti molte volte supereranno il valore rappresentabile.

Esempio 1.4.2. Prendendo una semplice somma $31 - 5 = 26$, andiamo a fare il complemento a due sfruttando in questo caso gli 8 bit pieni per il riporto, anche in questo caso le basi dei due addendi non superano i 6 bit ma per una questione di convenzione “si usano basi multipli di 2, quindi il numero di bit devono essere 4, 8, 16, 32, 64, etc...”

$$\begin{array}{rcl}
& \textcolor{red}{1111} & \textcolor{red}{1110} \\
& 0001 & 1111 & (31) \\
+ & 0000 & 1011 & (-5) \\
\hline
& 0001 & 1010 & (26)
\end{array} \tag{1.5}$$

La differenza tra l'operazione (1.4) e la (1.5) sono poche ma significative, come si vede, i bit di riporto arrivano fino a sfiorare gli 8 bit nonostante ciò il risultato si ferma giustamente al quinto bit che in quest caso è il più significativo e l'effetto del riporto sull'uno nella quarta posizione a partire da sinistra resta immutato proprio in virtù di quel principio.

1.4.5 Confronto

Stringa	rappresentazione			
	senza segno	modulo e segno	complemento a 1	complemento a 2
000	0	0	0	0
001	1	1	1	1
010	2	2	2	2
011	3	3	3	3
100	4	0	-3	-4
101	5	-1	-2	-3
110	6	-2	-1	-2
111	7	-3	0	-1

Tabella 1.1: Confronto tra il modulo e segno, complemento 1 & 2

1.5 Sistemi di comunicazione

Per poter rendere utile l'informazione è necessario per forza di cose che esistano degli standard per poter comunicare, dei canali di comunicazione e dei sistemi dedicati alle comunicazioni, ad esempio un libro consente di acquisire delle informazioni mediante la scrittura che è codificata con dei caratteri in una determinata lingua oppure un esempio ancora più immediato, prendiamo una comunicazione verbale tra due persone, in quel caso il sistema di comunicazione è composto dai due individui, dall'aria che è il canale di comunicazione e dalla lingua che è la codifica, se anche solo uno dei punti non è soddisfatto la comunicazione non è efficace "se i due individui parlano lingue diverse non si va da nessuna parte" non avviene proprio "in assenza d'aria non si può parlare"

1.5.1 Trasmissione e ricezione

Il sistema di comunicazione per essere efficiente prevede due elementi; la trasmissione e la ricezione che funziona nel seguente modo:

La trasmissione

Come visto in (1.2.2) l'acquisizione di una informazione avviene mediante un trasduttore che consente una conversione in un formato comprensibile al calcolatore dopo che viene fatto questo processo di trasformazione tramite il trasduttore sarà anche possibile diffonderlo tramite un canale di comunicazione.

Sorgente fisica → Trasduttore → TX → Al canale di comunicazione

Come chiaro dai passaggi, il TX "dispositivo adito alla trasmissione" è posto dopo il trasduttore per motivi puramente essenziali, il messaggio per poter essere inviato deve essere prima trasformato o per meglio dire tradotto in una codifica che sia chi sta trasmettendo sia chi poi dovrà ricevere il suddetto messaggio devono conoscere, altrimenti la comunicazione non riesce. Ovviamente il segnale nel canale di comunicazione rispetterà criteri analogici e fisici per essere trasmesso, poi del riportare l'istruzione alla forma leggibile ci penserà il ricevitore.

La ricezione

Il processo di ricezione è l'esatto opposto di quello di trasmissione, infatti, presuppone che ci sia uno strumento in ascolto per catturare il segnale emesso, infatti, il primo step nella catena di ricezione è proprio il canale di comunicazione

Dal canale di comunicazione → RX → Trasduttore → Utente finale

In questo caso il RX è il dispositivo in ascolto, poi ci sarà il trasduttore che trasformerà il segnale in un formato leggibile e poi l'utente finale che usufruirà dell'informazione acquisita.

1.5.2 Classificazione di sistemi

Punto-Punto	Multi-utente
1 trasmettitore	1 o più trasmettitori iniziali
1 o più ripetitori intermedi	1 o più ripetitori
1 ricevitore	Il canale è una risorsa condivisa tra i diversi trasmettitori e/o ricevitori presenti nel sistema
Ad ogni tratto vengono associati uno o più mezzi fisici di propagazione del segnale	broadcast se coinvolge tutti gli utenti come ricevitori.
Il canale è una risorsa dedicata al collegamento	

Tabella 1.2: Classi di sistemi

1.5.3 Rete di telecomunicazione

Quando si parla di reti di telecomunicazioni si pensa sempre alla piattaforma tecnologica su cui è basata, gli obiettivi e le modalità di comunicazione.

Obiettivi

1. Effettuare comunicazione a distanza tra due o più utenti;
2. Trasferire informazione (servizio di telecomunicazioni) caratterizzata da diversi parametri (durata, qualità, etc.);
3. Gestire le sue parti componenti e i servizi supportati

Ci sono diverse modalità (e dunque topologie) per realizzare tale trasferimento: vantaggi/svantaggi.

Criteri di classificazione di reti La classificazione può essere basata sui seguenti criteri:

1. La gamma dei servizi supportati;
2. Grado di mobilità del terminale;
3. l'Estensione fisica della rete;
4. la posizione.

1.5.4 Classificazione per servizi

Le reti vengono classificate anche per il criterio del servizio, infatti, esistono reti dedicate, che svolgono solamente quel servizio e le reti integrate nei servizi che consentono di svolgere più servizi con la stessa rete. Le differenze sono le seguenti:

Rete Dedicata ad un servizio	Reti integrata nei servizi
Fornitore di un singolo servizio	Fornitura di una vasta gamma di servizi
Possono essere utilizzate con alcune limitazioni anche per un insieme ristretto di altri servizi.	Prestazioni complessive di qualità e di costo decisamente migliori rispetto a quella ottenibile con le reti dedicate.
L'esempio: la rete telefonica fissa generazioni di reti mobili (<i>GSM</i>)	L'esempio: Internet e le reti mobile della generazione 2G in poi.

Tabella 1.3: Classificazione per servizi

Osservazione 1.5.1. *Al giorno d'oggi è più diffusa la seconda categoria di rete perché costa meno e può svolgere più di un servizio e con il fatto che restano solo pochi sistemi anche la manutenzione costa meno e si possono investire i fondi per rendere tutto più stabile e tollerante ai guasti.*

1.5.5 Classificazione per mobilità

Rete fissa	Rete mobile
Gli utenti accedono alla rete da postazioni fisse, oppure si muovono in un interno relativamente ristretto	gli utenti possono muoversi senza limitazioni al loro spostamenti (anche tramite veicoli)
Il punto di accesso fisso, terminale può essere mobile	Gli utenti possono cambiare "punto di accesso" alla rete che gestisce ciò rendendoli sempre raggiungibili (handover)
ad esempio terminali Wi-Fi che accedono ad Internet	ad esempio i cellulari

Tabella 1.4: Classificazione per mobilità

Nota 1.5.1. *Le reti mobili hanno il vantaggio della portabilità del servizio ma hanno alcuni limiti, tra cui la copertura del proprio ISP (*Internet Service Provider*) e le prestazioni sono inferiori rispetto a quello cablato.*

1.5.6 Classificazione per estensione

Le reti di telecomunicazioni si suddividono anche per portata massima, questa nomenclatura viene utilizzata per le reti internet e VoIP, partendo dalla più piccola per portata la PAN alla più estesa la WAN.

PAN	LAN	MAN	WAN
Area personale (circa 1m)	Area locale (max pochi km)	Area relativamente estesa (Città, decina di km)	Area molto estesa (nazione, centinaia di km)
Bluetooth	Ethernet, Wi-Fi	WiMAX	Internet, rete telefonica

Tabella 1.5: Classificazione per estensione

1.5.7 Interconnessione di reti

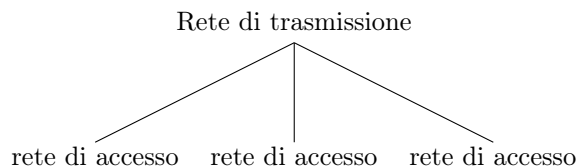
Uno dei fondamenti delle telecomunicazione è proprio l'interconnessione cioè la possibilità di connettere più reti a sieme, infatti, esiste la possibilità di unire più reti PAN in una rete LAN.

$$(PAN \longleftrightarrow PAN \longleftrightarrow PAN) LAN$$

Con questo sistema si ottengono reti di tipo omogeneo e si aggiungono opportuni meccanismi e protocolli comuni operanti sempre le varie reti componenti.

1.5.8 Classificazione per posizione

Le reti di trasmissione interconnette tra di loro le reti di accesso permettendo le comunicazioni tra terminali di utenti remoti collegati a differenti reti di accesso. In riferimento alla rete più grossa di cui fa parte, viene anche chiamata "Core Network".



Nel caso delle reti di accesso interconnette tra di loro i terminali presenti in un'area limitata e questo con una rete di trasmissione.

1.5.9 Soggetti implicati

Gestore di rete	Fornitore del servizio	Cliente del servizio
Network operator: attiva e mantiene operativa la piattaforma di rete per assicurare la fruizione del servizio	Service Provider: rende fruibile il servizio al cliente secondo modalità (e.g. costo, durata)	Soggetto della comunicazione (sorgente e/o destinatario)

Tabella 1.6: Soggetti implicati nella gestione del servizio di rete

1.6 Rami e nodi

Definizione 1.6.1. *La rete è un insieme di nodi e di rami quindi nel tempo sono nate diverse topologie per sopperire alle esigenze. Al momento le topologie più diffuse sono:*

- A maglia;
- A Stella o Grafo;
- Ad Nello.

Ne esistono anche delle altre ma non sono altrettanto diffuse. Alcune topologie non sono più utilizzate in quanto frutto dei primi esperimenti a riguardo ma non efficienti, altre non si sono diffuse per un puro andamento di mercato. Tra l'altro le topologie prima citate in un caso reale vengono mescolate per poter ottenere una maggiore tolleranza ai guasti.

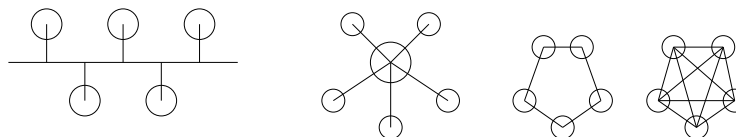


Figura 1.1: Topologie a bus, a stella, ad anello e a maglie

Osservazione 1.6.1. *La topologia a bus era la prima topologia prevista per lo standard TCP/IP, infatti, funzionava tramite cavo coassiale cablato direttamente da una scheda di rete all'altra, questo sistema non sopravvisse a lungo per il semplice motivo che era poco efficiente ma soprattutto il coassiale è un cavo semirigido e facilmente incline alla rottura, per non parlare dei connettori che hanno una tenuta non solida come gli attuali RJ45 e RJ14 per le linee telefoniche, come molti standard di questo tipo vengono dritti dal Bell Labs di AT&T.*

I significato

Definizione 1.6.2. Il nodo è il mezzo di scambio tra due o più rami, o terminazione degli stessi, in questa categoria fanno parte sia le terminazioni fisiche di rete che gli apparati di comunicazione.

Definizione 1.6.3. Il ramo per definizione è il percorso diretto che l'informazione segue per essere trasferita tra due nodi, in questa categoria rientrano sia il mezzo trasmissivo che la giunzione fisica/logica tra due apparati di rete.

Nodi intermedi e terminali

Il nodo intermedio (nodo di commutazione o relay)

- Il nodo di scambio, modulazione/demultiplazione;
- A seconda dei casi viene chiamato Gateway, router, switch, digital cross connector, hub, repeater, etc.
- Concetto simile a quello di parcheggio scambiatore.

Nodi terminali (*end system*)

- I sorgente/destinazione della comunicazione;
- Il mezzo attraverso cui un utente usufruisce di uno o più servizi di telecomunicazione;
- La variazione di forma: TV, telefono fisso/mobile, PC, elettrodomestici

A seconda del livello di astrazione, un nodo può assumere una funzione o l'altra.

1.6.1 Definizione di grafo

Definizione 1.6.4. I grafi sono strutture matematiche discrete che rivestono interesse sia per la matematica che per un'ampia gamma di campi applicativi. In ambito matematico il loro studio, la teoria dei grafi, costituisce un'importante parte della combinatoria; i grafi inoltre sono utilizzati in aree come topologia, teoria degli automi, funzioni speciali, geometria dei poliedri, algebre di Lie. I grafi si incontrano in vari capitoli dell'informatica (ad esempio per schematizzare programmi, circuiti, reti di computer, mappe di siti). Essi inoltre sono alla base di modelli di sistemi e processi studiati nell'ingegneria, nella chimica, nella biologia molecolare, nella ricerca operativa, nella organizzazione aziendale, nella geografia (sistemi fluviali, reti stradali, trasporti), nella linguistica strutturale, nella storia (alberi genealogici, filologia dei testi)⁶.

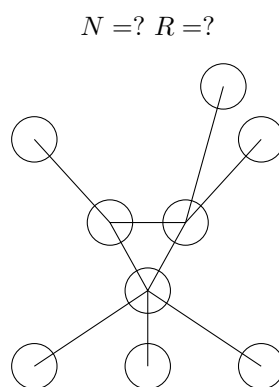


Figura 1.2: esempio di grafo

- Per definire il Grafo si utilizza la formula:

$$G = (V, A) \quad (1.6)$$

- Insieme dei nodi (vertici)

$$V \text{ con } N = |V| \quad (1.7)$$

⁶<https://it.wikipedia.org/wiki/Grafo>

- Insieme dei rami (archi)

$$A \text{ con } R = |A| \quad (1.8)$$

- Grafo orientato: si fa distinzione sul verso di percorrenza dei rami

1.6.2 Topologie

Come descritto nel paragrafo esistono differenti topologie, nati per esigenze diverse e anche in contesti diversi, con peculiarità relative alla costituzione fisica e logica delle suddette e anche con formule matematiche adite a calcolare eventuali nodi massimi, la portata della banda passante, etc.

1.6.3 Topologia Elementari

Topologie lineari semplici

- Ciascun nodo è collegato a due nodi adiacenti con un solo ramo

Topologie lineari complesse (a struttura gerarchica)

- Per ogni coppia di nodi esiste un solo percorso di collegamento
- Ogni nodo è collegato con uno o più rami ai nodi di gerarchia inferiore

Topologie magliate

- Ogni nodo è connesso direttamente agli altri nodi, usando per ciascun collegamento un ramo dedicato

Topologie a bus

- Tutti i nodi condividono lo stesso unico collegamento

Topologia a maglia completa

In questa topologia ogni nodo è collegato a tutti gli altri presenti, per questo motivo ha un alta tolleranza ai guasti ma il grosso difetto è l'elevato numero di nodi e quindi anche i costi di mantenimento e di realizzazione.

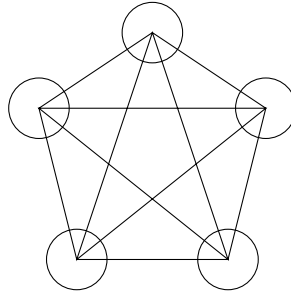


Figura 1.3: Esempio di topologia a maglia

Osservazione 1.6.2. Per le sue caratteristiche questa topologia è utilizzata dagli ISP per i collegamenti stradali, infatti, per evitare che un'intera zona resti senza servizio solo perché un cavo si è rotto il metodo migliore risulta proprio il creare più di una strada per portare l'informazione, infatti, come precedentemente spiegato nei capitoli precedenti la topologia davvero utilizzata in molti casi è ibrida.

$$R = \sum_{i=1}^N (N - i) = \sum_{i=1}^N N - \sum_{i=1}^N i = N^2 - \frac{N(N+1)}{2} = \frac{N(N-1)}{2} \quad (1.9)$$

Topologia a stella

La topologia a stella è una versione semplificata di una topologia ad albero, infatti, è una topologia a albero composto da un solo livello oltre alla radice. Come tutte le topologie ad albero soffre di un problema devastante, una bassissima tolleranza ai guasti, se il centro della rete si guasta o smette di funzionare la rete non è più operativa, creando un disservizio ma questo modello ha anche pregi, infatti, ha dei costi decisamente inferiori per l'allestimento e la manutenzione, è facile da instradare e i nodi sono pochi.

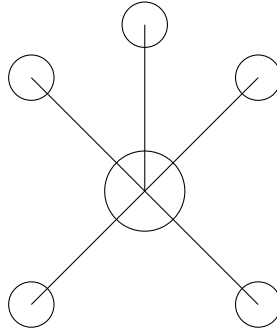


Figura 1.4: Esempio di topologia a stella

Osservazione 1.6.3. Questa topologia di rete è forse uno dei più diffusi, infatti, le reti domestiche sia ethernet sia Wi-fi funzionano proprio con un centro stella, il modem/router domestico svolge tante funzioni tra cui anche quello di switch e access point.

In questo caso per calcolare R basta calcolare il numero totale dei nodi-1, come esposto dalla seguente formula

$$R = N - 1 \quad (1.10)$$

Topologia a maglia non completa

Questo risulta già un caso più generale e risulta un compromesso tra una rete ad albero e una a maglia completa, i pregi sono una maggior tolleranza ai guasti rispetto al modello ad albero, un numero a piacere di rami. I difetti sono legati proprio alla topologia che risulta non regolare.

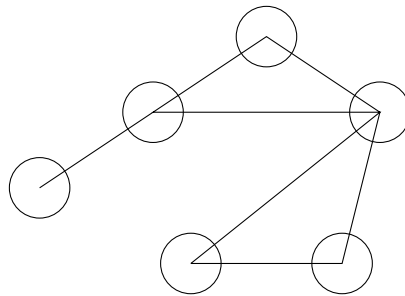


Figura 1.5: Esempio di topologia a maglia non completa

Osservazione 1.6.4. Questo è il modello più utilizzato dagli ISP perché risulta semplice sia in fase di manutenzione e anche il più versatile avendo la possibilità di scegliere il numero di rami, quindi si può optare per mettere più nodi in percorsi in cui la banda passante è maggiore e meno dove non è necessario una tale tolleranza.

In questo caso il valore R risulta compreso tra la condizione dei sistemi ad albero e quelli a maglia

$$N - 1 < R < \frac{N(N - 1)}{2} \quad (1.11)$$

Topologia ad anello

La rete ad anello non è molto diffusa, infatti, tipicamente viene utilizzata per le reti locali e metropolitane, essa può essere unidirezionale (*quindi il giro che fa l'informazione è sempre lo stesso sia se il nodo è in prossimità o se più distante*) che bidirezionale e quindi prende il percorso più efficiente per instradare l'informazione. Questa topologia non è particolarmente tollerante ai guasti e basta la rottura di un ramo

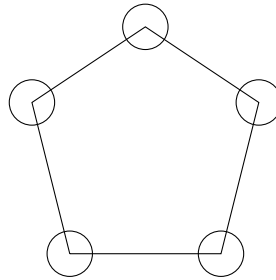


Figura 1.6: Esempio di topologia ad anello

per causare non poche rogne, soprattutto se il sistema è unidirezionale. In questo caso la formula che tutela R dipende esclusivamente dal numero di nodi.

$$R = N \quad (1.12)$$

1.6.4 Topologia a bus: unicast vs broadcast

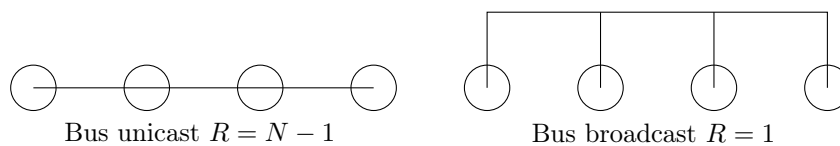


Figura 1.7: Topologia a bus unicast e broadcast

Unicast

- Connessione a bus attivo punto-punto;
- I nodi connessi in modo "lineare";
- Ogni nodo partecipa alla comunicazione tra le altre coppie di nodi;
- Usata soprattutto in reti con cavo

Broadcast

- Il collegamento tra i nodi avviene tramite un unico mezzo di diffusivo (fisico o virtuale) tipo broadcast
- Bus passivo
- La comunicazione avviene contemporaneamente da uno a tutti
- Usata principalmente in LAN e MAN (con e senza fili)

1.6.5 Topologia generale di una rete

In generale la topologia di una rete di telecomunicazione può essere una combinazione delle topologie precedenti (*topologia mista*)

- In alcuni casi una rete può essere anche rappresentata con una nuvola che interconnette i vari nodi terminali

1.6.6 Sezione d'accesso

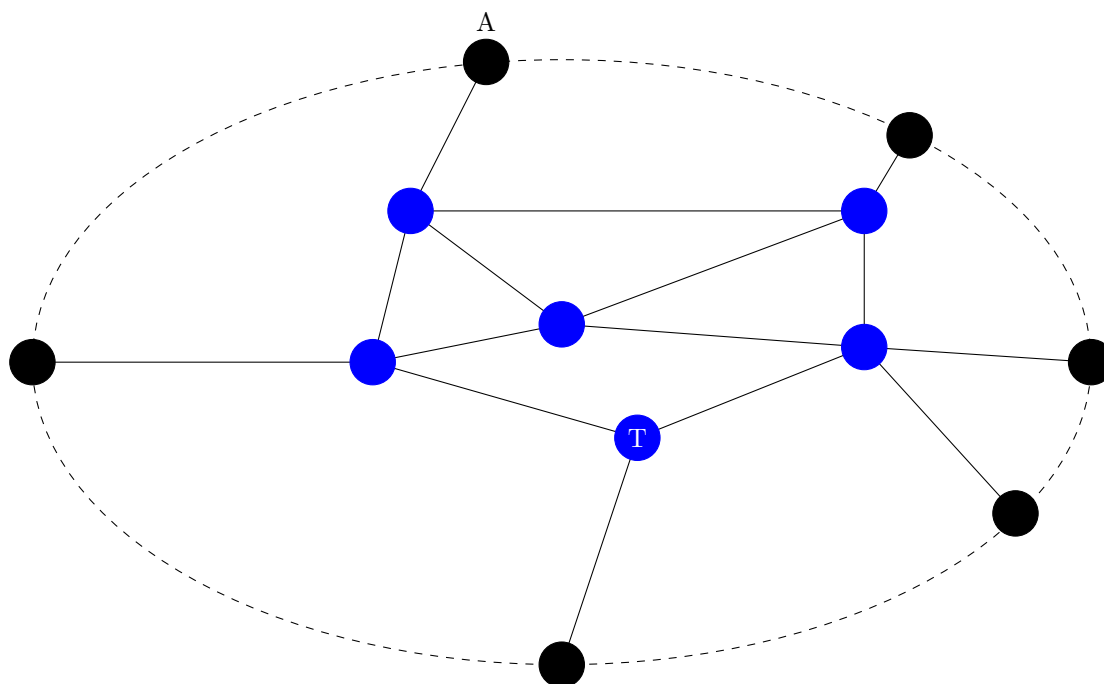
La sezione d'accesso ha il ruolo di consentire l'accesso alla rete ai suoi utenti, viene realizzata attraverso differenti mezzi e tecnologie

- Cablate (*rame, fibra*) o senza fili
- punto-punto o *broadcast*

È la sede di risorse in alcuni casi dedicate ai singoli utenti/terminali – Comprende l'interfaccia utente-rete.

- Tecnologie e processi utilizzati nel segmento terminale di un sistema di collegamento;
- Ciò che permette il collegamento dell'utente con la rete;
- Tratta di cavo che connette le centrali telefoniche agli utenti finali
- **Essential facility**: elevati costi tecnologici
- liberalizzazione e nuovi concorrenti

1.6.7 Sezione interna



A: Nodi di accesso

T: Nodi di transito

Figura 1.8: Sezione interna

- Ha il ruolo di trasferire l'informazione tra nodi di accesso, se necessario, anche nodi di transito;
- È sede di risorse condivise⁷ con elevate prestazioni, in termini di velocità⁸ e affidabile.

⁷di trasferimento e di elaborazione

⁸trasmissione ed elaborativa

1.6.8 Principali organismi

International Telecommunication Union (ITU): Agenzia delle Nazioni Unite con il compito di armonizzare tutte le iniziative mondiali e regionali nel settore delle telecomunicazioni. Produce raccomandazioni con carattere volontario, ma di fatto linee guida fondamentali.

International Standard Organization (ISO): Ente delle Nazioni Unite creato con l'obiettivo di promuovere lo sviluppo della normativa internazionale per facilitare il commercio di beni e servizi nel mondo.

Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): Associazione internazionale di scienziati professionisti con l'obiettivo della promozione delle scienze tecnologiche, particolarmente attivo nella standardizzazione delle tecnologie per LAN e MAN.

Internet Engineering Task Force (IETF): È il gruppo preposto alla definizione degli standard nel mondo Internet. Chiunque può partecipare sottomettendo degli *Internet-draft*. Vengono prodotte le cosiddetto *Request For Comments* (RFC).

Third Generation Partnership Project (3GPP): 3GPP riunisce differenti organizzazioni e associazioni con l'obiettivo di produrre specifiche tecniche per la reti mobili di terza generazione.

European Telecommunication Standards Institute (ETSI): La preparazione degli standard è effettuata da trattano argomenti specifici e che riferiscono ad una assemblea tecnica.

1.7 Unità informative (UI)

Il mezzo attraverso il quale viene trasferita l'informazione, le UI possono essere:

- i singoli bit o byte ($1\text{B}=8\text{b}$);
- i blocchi/sequenze di bit o byte (di dimensione fissa o variabile);

Nota 1.7.1. *L'unità informativa può avere anche nomi alternativi: unità dati, pacchetti, messaggi, segmenti, trame, etc.*

1.7.1 Tipi di informazione/traffico

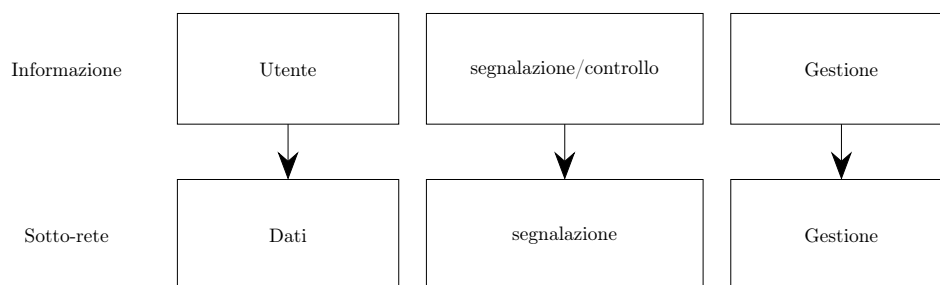


Figura 1.9: Tipi di informazione/traffico

Osservazione 1.7.1. *I diversi tipi di informazione possono in alternativa condividere la medesima infrastruttura di rete.*

Informazione di utente

- Obiettivo della comunicazione;
- Differenti media (*voce, dati, video*);
- Può essere inviata insieme a dell'extra-informazione aggiunta per scopi di controllo del trasferimento (*overhead*);

Esempio 1.7.1. *Indirizzi, campi di controllo di errore, etc.*

- Coinvolge le funzionalità di trasporto della rete.

1.7.2 Informazione di controllo

L'informazione di controllo è di supporto affinché possa avvenire la comunicazione, permette di

- Inizializzare una comunicazione;
- negoziarne le caratteristiche;
- controllare il trasferimento dei dati di utente

Coinvolge le funzionalità di controllo.

1.7.3 Informazione di gestione

L'informazione di gestione in genere scambiata tra nodi di rete, ha lo scopo di consentire operazioni di gestione delle risorse/apparati di rete – **Operation Administration Management (OAM)**

- informazione per operazioni di esercizio;
- informazioni per operazioni di amministrazione;
- informazione per operazioni di manutenzione.

Qualità del servizio

Il *Quality of Service (QoS)* sono un insieme di parametri usati per caratterizzare la qualità del servizio offerto dalla rete ed esempio: perdita di pacchetti e ritardo. Strumenti o tecniche per ottenere una qualità del servizio desiderata. Normalmente correlata:

- **negativamente** con il traffico offerto alla rete;
- **positivamente** con le risorse impegnate.

Parametri di QoS

- Consegna fuori ordine dei pacchetti;
- Errore di trasmissione;
- Ritardo subito;
- Perdita di pacchetti;
- *Throughput*.

1.7.4 Ritardo



Figura 1.10: Tipi di informazione/traffico

Il ritardo complessivo *end-to-end* è la somma dei ritardi introdotti dai singoli nodi e rami.

Ritardo di elaborazione

Definizione 1.7.1. *Il tempo richiesto dal nodo di rete per esaminare la UI (normalmente l'intestazione del pacchetto) e per determinare dove instradarla.*

- Può includere eventualmente il tempo per elaborare la UI stessa
 - controllare se sono presenti errori;
 - modificare le informazioni di instradamento.
- Può essere dell'ordine dei microsecondi (**o inferiore**);
- Tipicamente noto per specifica.

Ritardo di attraversamento

Definizione 1.7.2. *Il tempo che la UI trascorre in un nodo di rete prima di iniziare ad essere trasmesso sul collegamento di uscita.*

- Dipende dal tipo di attraversamento realizzato all'interno nel nodo
- Può dipendere dal grado di congestione del nodo (*traffico totale in ingresso e/o uscita*).

Ritardo di trasmissione

Definizione 1.7.3. *Il tempo necessario per trasmettere completamente la UI*

Questo ritardo va ad influenzare i seguenti fattori:

- il tempo di trasferimento della UI corrente;
- il ritardo di coda subito dalle UI seguenti;

Viene introdotto da ogni nodo che opera in modalità *store&forward*

$$t_{TX} = \frac{L_{UI}}{R} \quad \begin{array}{l} \longleftarrow \text{lunghezza in bit della UI} \\ \longleftarrow \text{bit rate in bit/s in uscita} \end{array}$$

Figura 1.11: Formula per il calcolo di t_{TX}

Ritardo di propagazione

Definizione 1.7.4. *Tempo di propagazione in un mezzo fisico (rame, etere, fibra ottica, semiconduttori e conduttori di altra natura)*

- Dipende dal mezzo di trasmissione;
- È proporzionale alla lunghezza dello stesso mezzo “Un doppino di rame più è lungo più la sua resistenza andrà ad attenuare il segnale”

$$t_p = \frac{L_m}{v} \quad \begin{array}{l} \longleftarrow \text{lunghezza del mezzo (in m)} \\ \longleftarrow \text{velocità di propagazione (in m/s)} \end{array}$$

Figura 1.12: Formula per il calcolo di t_p

Esempio 1.7.2. *Prendendo una rete a bus composta da 3 nodi, con un L_{UI} , $R = 100\text{Mb/s}$, $L_m = 100\text{m}$, $v = 200000\text{km/s}$, $T_B = 3\mu\text{s}$, bisogna trovare il $T_{AC} = ?$.*

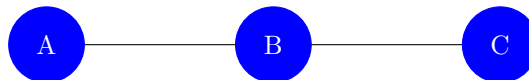


Figura 1.13: Esempio di rete a bus per il calcolo del t_{AC}

Soluzione *Partendo dalla formula per ricavare t_{AC} in cui AC sta per il tempo necessario per far percorrere all'informazione l'intera rete fino al nodo C partendo da A*

$$t_{AC} = 2t_{TX} + 2t_p + T_B$$

Come si denota dalla formula per svolgere l'esercizio è necessario in primo luogo trovare t_{TX} visto che il valore di t_B è già noto e risulta pari a $2\mu\text{s}$, quindi procediamo con il calcolo di t_{TX} .

$$t_{TX} = \frac{L_{UI}}{R} = \frac{8 \cdot 400}{100 \cdot 10^6} = 32\mu\text{s}$$

Quindi adesso bisogna calcolare t_p per completare la formula per ottenere t_{AC}

$$t_p = \frac{L_m}{v} = \frac{100}{2 \cdot 10^8} = 0.5\mu\text{s}$$

A questo punto è possibile svolgere l'operazione e quindi concludere l'esercizio, nel seguente modo:

$$t_{AC} = 2t_{TX} + 2t_p + T_B = 2(32) + 2(0.5) + 3 = 67\mu s$$

quindi l'informazione impiega $67\mu s$ a raggiungere la destinazione.

1.8 Errori e perdite

Durante il trasferimento di una UI questa può subire delle perdite o arrivare errata per x motivi

Le cause?

- Errori trasmissivi;
- Congestione della rete “sovraccarico di informazioni che rende impossibile o molto rallentata la comunicazione da un capo all'altro di un determinato nodo”
- Errori di protocollo, ad esempio errori nei protocolli, banchi nei programmi utilizzati per trasmettere e ricevere l'informazione, etc.

Come risolvere?

Tipicamente un errore o una perdita di informazione viene gestita tramite algoritmi di correzione e metodi di ritrasmissione, modato per cui l'informazione nelle trasmissioni odierne viene suddivisa in più pacchetti per permettere una ritrasmissione più contenuta e rapida in caso di problemi, alle volte invece, dentro l'header del pacchetto sono presenti delle informazioni per andare a correggere eventuali errori tramite un meccanismo automatico.

Osservazione 1.8.1. *Non tutti i metodi di trasmissione e servizi prevedono questo meccanismo, infatti, in sistemi che devono essere ad alta prestazioni, in cui non è incluyente la mancanza di un frame ad esempio, infatti, i sistemi di video streaming utilizzano sistemi senza controllo d'errore, perché al massimo ci sarebbe un istante di schermo nero o deformato nei casi peggiori, comunque un qualcosa di arginabile e insignificante per l'utente che adopera il servizio.*

1.8.1 Indicatori di prestazione

Integrità informativa

- Corrispondenza tra informazione emessa e ricevuta (sequenze binarie)
- Minimizzazione degli errori trasmissivi e delle perdite per congestione
- Può essere valutato attraverso un tasso di errore residuo sul bit o sulle UI (numero medio di errori)

Per BER (Bit Error Rate) si intende il rapporto tra i non ricevuti correttamente e quelli trasmessi, essendo in bit il numero è compreso tra 0 e 1, fornisce una misura della qualità dell'intero sistema di comunicazione

- $BER = 0.5$ significa che in media 1 bit ogni 2 è errato

Concetti analoghi: Frame Error rate (FER) o Packet Error Rate (PER)

Trasparenza temporale

- riguarda i ritardi di transito;
- minimizzazione ad equalizzazione del ritardo trasmissivo ed elaborativo
- valutato attraverso le statistiche dei ritardi (ritardo medio più variazione o *jitter*)