

Appunti di Reti di telecomunicazioni

Nicola Ferru

Indice

1	Introduzione	9
1.1	Sommario	9
1.1.1	Alcune osservazioni	9
1.2	I segnali	10
1.2.1	Rappresentazione dell'informazione	10
1.2.2	Osservazione	10
1.2.3	Classificazione di segnali	11
1.3	Segnali	11
1.3.1	Segnali analogici	11
1.3.2	Segnali digitali	11
1.3.3	Pregi e difetti	11
1.3.4	Il binario	12
1.3.5	Confronto	13
1.4	Sistemi di comunicazione	14
1.4.1	Classificazione di sistemi	14
1.4.2	Rete di telecomunicazioni	14
1.4.3	Classificazione per servizi	15
1.4.4	Classificazione per mobilità	15
1.4.5	Classificazione per estensione	15
1.4.6	Interconnessione di reti	15
1.4.7	Classificazione per posizione	16
1.4.8	Soggetti implicati	16
1.4.9	Teoria dei grafi	16
2	Livelli architetturali bassi	17
2.1	Gestione degli errori	17
2.1.1	Rivelazione di errore	17
2.1.2	Controllo di parità	17
3	Reti in area Locale e geografica	19
3.1	Reti in area locale	19
3.2	Il modello IEEE 802	19
3.2.1	IEEE 802.3: Ethernet	20
3.2.2	Livello fisico	20
3.2.3	Cablaggi	20
3.2.4	Cablaggi a coppie simmetriche	21
3.2.5	Repeater (hub)	21
3.2.6	Bridge/switch	22
3.2.7	La differenza tra HUB e Switch	22
3.2.8	Domini di collisione	22
3.2.9	Livello DL: Indirizzamento	22

3.2.10	Livello DL: Pacchetti	22
3.2.11	Procedura di emissione/ricezione	23
3.2.12	Tabella di switching	23
3.2.13	Wireless LAN (WLAN)	24
3.2.14	Modalità di funzionamento	24
3.2.15	Caratteristiche del servizio	24
3.2.16	Livello MAC	24
3.2.17	Associazione dei terminali	24
3.2.18	Sicurezza in WLAN	26
3.2.19	Collisioni	27
3.2.20	Esempio	27
3.2.21	Protocollo CSMA/CD	27
3.2.22	Algoritmo di <i>backoff</i>	27
3.2.23	Protocollo MAC 802.11	28
3.3	Reti in area geografica	28
3.3.1	Velocità di trasferimento di una WAN	29
3.3.2	Caratteristiche e classificazione	29
3.3.3	Reti a commutazione di circuito	29
3.3.4	Reti a commutazione di pacchetto	30
3.3.5	Implementazioni	30
4	Applicazione delle reti	31

Elenco delle tabelle

1.1	Somma tra A e B	13
1.2	Confronto tra il modulo e segno, complemento 1 & 2	14
3.1	Come è composto l'indirizzo	22
3.2	Come è composto il pacchetto	22

Elenco delle figure

3.1	Reti a commutazione di circuito	29
3.2	Reti a commutazione di pacchetto	30

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Sommario

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

- Informazione e segnali;
 - a) L'informazione sussiste solo se il ricevente della trasmissione non conosce il contenuto della suddetta;
 - b) Per esistere una trasmissione devono esserci:
 1. Comunicazione;
 2. mezzo di trasmissione;
 3. informazione.
- Informazioni analogiche e digitali.
 - Informazioni analogiche: 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)

By Wikipedia

- Informazioni Digitali: 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)

By Wikipedia

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, per esempio la differenza tra lo standard VHS e lo standard CD/DVD/Blue Ray.

Bisogna anche dire che le trasmissioni vengono comunque trasmessi tramite dei canali fisici (**Analogici**), semplicemente all'interno dei dispositivi che si occupano di convertire da analogico a digitale e viceversa.

1.1.1 Alcune osservazioni

- Non tutte le informazioni costituiscono informazione
 - 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 Osservazione

- L’associazione informazione-segnale può essere arbitraria, tecnologie permettendo
- Esempi
 - valore costante → segnale a frequenza costante evento → segnale ad ampiezza costante
- Occorre quindi chiaramente distinguere tra stati, andamenti ed eventi del segnale e del fenomeno (*cioè dell’informazione*) da esso descritto.

1.2.3 Classificazione di segnali

- | | | |
|--|--|--|
| <p>a) In base alla loro natura fisica
[grandezza fisica \rightarrow trasduttore \rightarrow segnale elettrico]</p> <ul style="list-style-type: none"> • elettrici; • acustici; • etc. | <p>b) In base a come vengono rappresentati</p> <ul style="list-style-type: none"> • analogici; • digitali. | <p>c) Segnali elettrici</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trasmissione di informazione tramite una variazione di corrente elettrica o di tensione all'interno di un conduttore oppure in un punto di un circuito elettrico o elettronico. • grazie ai trasduttori qualsiasi segnale fisico può diventare elettrico • Esempio: segnale acustico (<i>vibrazione</i>) |
|--|--|--|

1.3 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 importante

- 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.

Digitale**Pregi**

- a) Rappresentazione esatta di simboli di un alfabeto finito;
- b) Semplicità e robustezza dei circuiti di gestione ed elaborazione;
- c) Elevata immunità ai disturbi.

Difetti

- a) Gli errori possono stravolgere l’informazione;
- b) Servono molti bit per rappresentare informazioni ricche;
- c) Le informazioni intrinsecamente continue vanno convertite.

1.3.4 Il binario

- Due stati previsti e possibili:
 - 1 = Vero “TRUE” = ON = HIGH “*Livello alto*”
 - 0 = Falso “False” = OFF = Low “*Livello basso*”
- Logica positiva o negativa;
- Rappresentazione necessaria per un calcolatore.
- Rappresentazione senza segno
 - base b e lunghezza n ;
 - conversione in base 10;
 - con n bit rappresento qualsiasi decimale senza segno tra 0 e $2^n - 1$

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

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

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

- Rappresentazione in modulo e segno
 - il bit più significativo rappresenta il segno (0 = positivo e 1 = segno negativo), mentre i restanti rappresentano il modulo;
 - scomoda per operazioni aritmetiche (due modi per scrivere 0);
 - la somma tra due numeri A e B si svolge come da tabella

		Segno di B	
		+	-
Segno di A	+	$A + B$	$a - B $
	-	$B - A $	$ A + B $

Tabella 1.1: Somma tra A e B

- Rappresentazione in complemento a 1
 - il bit più significativo rappresenta (come prima) il segno
 - stesso intervallo di valori rappresentabili con modulo e segno.
 - un numero negativo si ottiene dal suo positivo e cambiando tutti i bit
 - esempio a 4 bit: 0110 corrisponde a 6, mentre, 1001 corrisponde a -6
 - nella operazione aritmetiche (*ad esempio la somma*) si utilizza l'eventuale riporto in fase di somma.
 - esempio: $22+3=25$

	riporto	1100	
	0001	0110	(22)
+	0000	0011	(3)
<hr/>			
	0001	1001	(25)

- Rappresentazione in complemento a 2
 - vantaggio: unica rappresentazione per lo zero; b) si ignora l'overflow;
 - esempio: $31-5=26$

	riporto	1111	1110	
	0001	1111		(31)
+	0000	1011		(-5)
<hr/>				
	0001	1010		(26)

1.3.5 Confronto

- | | | |
|--|---|---|
| <p>a) Rappresentazione in modulo e il segno</p> <ul style="list-style-type: none"> • il bit più significativo rappresenta il segno (1 = negativo) e i restanti il modulo. • scomoda per operazioni aritmetiche | <p>b) Rappresentazione in complemento a 1</p> <ul style="list-style-type: none"> • si complementano tutti i bit • utilizzo del riporto in fase di somma | <p>c) Rappresentazione in complemento a 2</p> <ul style="list-style-type: none"> • si complementano tutti i bit e si somma 1 • unica rappresentazione per lo zero |
|--|---|---|

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

1.4 Sistemi di comunicazione

Trasmissione

Sorgente fisica \rightarrow Trasduttore \rightarrow TX \rightarrow Al canale di comunicazione

Recezione

Dal canale di comunicazione \rightarrow RX \rightarrow Trasduttore \rightarrow Utente finale

- TX = Trasmittente
- RX = Ricevitore

1.4.1 Classificazione di sistemi

a) Punto-Punto

- 1 trasmettitore
- 1 o più ripetitori intermedi
- 1 ricevitore
- ad ogni tratta vengono associati uno o più mezzi fisici di propagazione del segnale
- il canale è una risorsa dedicata al collegamento

b) Multi-utente

- 1 o più trasmettitori iniziali
- 1 o più ripetitori
- il canale è una risorsa condivisa tra i diversi trasmettitori e/o ricevitori presenti nel sistema
- *broadcast* se coinvolge tutti gli utenti come ricevitori.

1.4.2 Rete di telecomunicazioni

- Piattaforma tecnologica
- Obiettivi
 - effettuare comunicazione a distanza tra *due* o più utenti
 - trasferire informazione (servizio di telecomunicazioni) caratterizzata da diversi parametri (durata, qualità, etc.)
 - 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 su

1. gamma dei servizi supportati
2. grado di mobilità del terminale
3. estensione fisica
4. posizione

1.4.3 Classificazione per servizi

a) Rete **dedicata** a un servizio

- fornitore di un singolo servizio
- possono essere utilizzate con alcune limitazioni anche per un insieme ristretto di altri servizi
- esempio: la rete telefonica fissa e le prime generazioni di reti mobili (GSM)

b) Rete **integrata nei servizi**

- fornitura di una vasta gamma di servizi
- prestazioni complessive di qualità e di costo decisamente migliori rispetto a quella ottenibile con le reti dedicate
- esempio: Internet e le reti mobili dalla generazione 2G in poi.

1.4.4 Classificazione per mobilità

a) Rete *fissa*

- gli utenti accedono alla rete da postazioni fisse, oppure si muovono in un interno relativamente ristretto
- “punto di accesso” fisso, terminale può essere mobile
- esempio: terminali Wi-Fi che accedono alla rete Internet

b) Rete *mobile*

- gli utenti possono muoversi senza limitazioni ai loro spostamenti (anche tramite veicoli) “Ovviamente nei limiti prevista dalla copertura del ISP”
- gli utenti possono cambiare “punto di accesso” alla rete che gestisce ciò rendendoli sempre raggiungibili (*handever*)
- esempio: reti cellulari

1.4.5 Classificazione per estensione

a) PAN

- area personale (*circa 1m*)
- Bluetooth

b) LAN

- Area locale (*edifici nel raggio di qualche km*)
- Ethernet, Wi-Fi

c) MAN

- Area relativamente estesa (città, decina di km)
- WiMAX

d) WAN

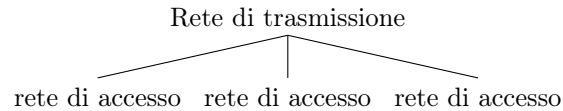
- Area molto estesa (nazione, centinaia di km)
- Internet, rete telefonica

1.4.6 Interconnessione di reti

- Più reti possono essere interconnesse tra di loro in modo da formare una rete più estesa
- Questo è in generale possibile se
 - Le reti componenti sono di tipo omogeneo
 - si aggiungono opportuni meccanismi e protocolli comuni operanti sopra le varie reti componenti.

(PAN ↔ PAN ↔ PAN) LAN

1.4.7 Classificazione per posizione



Rete di trasporto

- 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”

Rete di accesso

interconnette tra loro i terminali presenti in un’area limitata e questo con una rete di trasmissione.

1.4.8 Soggetti implicati

- | | | |
|---|---|--|
| a) Gestore di rete | b) Fornitore del servizio | c) Cliente del servizio |
| <ul style="list-style-type: none"> • <i>Network operator</i>: attiva e mantiene operativa la piattaforma di rete per assicurare la fruizione dei servizi | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Service Provider</i>: rende fruibile il servizio al cliente secondo modalità (e.g. costo, durata) predefinite (<i>Service Agreement</i>) | <ul style="list-style-type: none"> • Soggetto della comunicazione (sorgente e/o destinatario) |

1.4.9 Teoria dei grafi

Capitolo 2

Livelli architetturali bassi

2.1 Gestione degli errori

Visto che i mezzi fisici possono generare degli errori di trasmissione o ricezione, sono stati inventati dei metodi per riuscire a comprendere se l'informazione trasmessa sia arrivata a destinazione integra. I due metodi principali sono:

1. Controllo e correzione d'errore;
2. Recupero d'errore.

2.1.1 Rivelazione di errore

- Normalmente si basa sull'aggiunta di ridondanza in trasmissione
 - utilizzata in ricezione per rivelare (**ma non correggere**) gli errori;
 - la ridondanza richiesta per la rivelazione è molto più contenuta rispetto a quella che sarebbe richiesta per la correzione (*16-32bit*)
- Può essere alla base di un'eventuale correzione/recupero
- Differenti meccanismi di gestione del codice di rivelazione di errore
 - controllo di parità (a blocchi), somma completo a 1 (*checksum*), etc.
- un codice di rivelazione di errore deve rilevare solo modifiche casuali.

2.1.2 Controllo di parità

- Per ogni blocco di bit viene aggiunto un bit pari se il numero di 1 nel blocco è dispari, altrimenti viene aggiunto uno 0 (parità pari)
 - il numero di bit di parità generato è pari al numero di blocchi
 - tali bit possono essere singolarmente aggiunti di seguito a ciascun blocco o tutti insieme in punti precisi delle UI (ad esempio alla fine).
- Il bit di parità permette di riconoscere errori in numero dispari.

Ovviamente questi sistemi hanno un margine di errore, infatti, rilevano bene tutti gli errori dispari, ma nel caso degli errori pari non li rilevano sempre, proprio per questo motivo si parla di tolleranza d'errore di un algoritmo di correzione.

Esempio

Possiamo usare il vecchio e classico metodo con il bit di parità a blocchi, in questo caso utilizziamo quello a blocchi di 8 bit.

$$\begin{array}{ll}
 m=10010010 & 10100011 \\
 m_1=10010010 & m_2=10100011 \\
 x_1=10010010\mathbf{1} & x_2=10100011\mathbf{0} \\
 x=10010010\mathbf{1} & 10100011\mathbf{0}
 \end{array}$$

Quindi per convenzione quando il messaggio si presenterà in questo modo: ($x = 1001001010100011\mathbf{10}$). Per convenzione il valori di check sono collocati nel pacchetto o all'inizio o alla fine (**tipicamente alla fine**)

Capitolo 3

Reti in area Locale e geografica

3.1 Reti in area locale

a) Una rete in area locale (*Local Area Network, LAN*) è un sistema di comunicazione che permette di interconnettere apparecchiature indipendenti in un'area limitata

b) Caratteristiche

- velocità trasmissiva elevata
- basso tasso di errore
- mezzi trasmissivi condivisi
- utilizzo di particolari protocolli di accesso al mezzo
- facilità di installazione e gestione
- sotto la proprietà di una singola organizzazione che la gestisce

3.2 Il modello IEEE 802

Interfaccia unificata verso il livello di rete

Livelli superiori (OSI 3-7)		
Collegamento	Logical Link Control (LLC)	recupero errori, controllo flusso, gestione della connessione logica controllo di accesso, indirizzamento, <i>framing</i> , controllo di errore
	Medium Access control (MAC)	
Fisica	Fisico	codifica, sincronizzazione, interfaccia con il mezzo trasmissivo
Modello OSI	Modello IEEE 802	Cosa viene gestito

3.2.1 IEEE 802.3: Ethernet

a) Caratteristiche

- Protocollo più diffuso a livello mondiale
- Nascita negli anni 70 (*laboratori Xeros*), standard IEEE nel 1983
- Tipologia logica a *BUS*
- Velocità di trasmissione da 10 Mb/s fino a 1 Gb/s
- Protocollo di accesso al mezzo denominato **CSMA/CD**
- Dimensione minima di un pacchetto 64B (per rivelare le collisioni)

b) Funzioni

- Indirizzamento dei nodi sorgente e destinazione, identificazione dei nodi sorgente e destinazione, identificando anche il protocollo utente (di strato superiore)
- Invio di UI a datagramma tra stazioni terminali, con o senza nodi intermedi
- Utilizzo di un mezzo *broadcast* condiviso (accesso al mezzo)
- Rivelazione di errore e scarto delle UI errate (non recupero)

3.2.2 Livello fisico

a) Topologia base di strato fisico a BUS

- tutte le stazioni collegate direttamente ad una unico *bus* (cavo coassiale, fibra ottica);
- il *bus* e le stazioni di collegate formano un singolo segmento di rete;
- non sono necessari nodi intermedi.

b) Opzionalmente, più segmenti di rete possono essere interconnessi tramite nodi intermedi di livello fisico

- topologia ad albero
- instradamento *broadcast*

3.2.3 Cablaggi

a) Nomenclatura con

- Velocità (in Mb/s)
- Trasmissione in banda base
- lunghezza (in centinaia di metri)

b) 10Base5: cavo coassiale grosso (thick-RG213)

c) 10Base2: cavo coassiale fine (thin-RG58)

d) 10BaseT: doppino intrecciato (fino a 100m)

e) 10BaseF: fibra ottica (fino a 2 km)

3.2.4 Cablaggi a coppie simmetriche

- | | | |
|--|--|---|
| a) Cavi a 4 coppie simmetriche e intrecciate | b) Realizza solo collegamenti punto-punto | c) Caratteristiche: |
| <ul style="list-style-type: none"> • i due conduttori trasportano lo stesso segnale in controfase • entrambi i conduttori lo stesse interferenze elettromagnetiche • utilizzo di connettori di tipo RJ45/RJ46 | <ul style="list-style-type: none"> • richiede l'adozione di apparati di rete per collegare più stazioni | <ul style="list-style-type: none"> • Lunghezza massima consigliata 100m (90m di cablaggio strutturato e 10m di cavetti di patch) • prestazioni inferiori al cavo coassiale (su lunghe distanze) • basso costo e facilità di posa e connessione (connettori RJ45) |

Fast e Gigabit Ethernet

- | | |
|--|---|
| a) Fast Ethernet | b) Gigabit Ethernet |
| <ul style="list-style-type: none"> • 100BaseT • stesso accesso al mezzo dello standard originale ma velocità dieci volte superiore • distanze dieci volte inferiori (stessa lunghezza del pacchetto) • compatibilità a livello di scheda con 10BaseT | <ul style="list-style-type: none"> • formato e dimensione del pacchetto uguali a Ethernet 10 al 100Mb/s • offre i vantaggi tipici di Ethernet • facile evoluzione (<i>e costi contenuti</i>) a partire da LAN già esistenti. |

Perché le coppie dei cavi sono intrecciati?

La risposta è un semplice motivo fisico, infatti, i cavi producono di loro dei disturbi “diafonia” e intrecciarli il fenomeno si riduce, oltre tutto esistono anche due categorie di cavi, UTP e STP, il primo non presenta ulteriori schermature e risulta anche più economico, ideale per il 90% dei cablaggi ma in alcuni casi serve di più, ecco perché sono nati i cavi STP perfetti anche per quei contesti, industriali “per officine e industrie con macchinari che creano rumore che potrebbero disturbare la trasmissione e tanto altro”.

3.2.5 Repeater (hub)

- | | |
|---|--|
| a) Ripete e rigenera di una sequenza di bit ricevuti da una porta su tutte le altre porte (<i>retiming</i>) | b) <i>Repeater</i> quando è costituito da 2 porte |
| c) <i>Multiport repeater</i> quando è costituito da più di 2 porte | d) <i>Hub</i> per cablaggi a coppie simmetriche con connettore RJ45 |
| e) Rilevazione di una collisione <ul style="list-style-type: none"> • ripetizione sulle altre porte viene interrotta; • viene trasmesso una sequenza di <i>jamming</i>. | f) L' <i>hub</i> deve poter anche rilevare una collisione che avviene al suo interno invece che su un segmento |
| g) In caso di collisioni consecutivi deve partizionare le porte interessate. | |

3.2.6 Bridge/switch

- a) Nascono per sezionare le LAN in differenti domini di broadcast a livello fisico
- b) Apparati centro-stella in sostituzione degli hub
- traffico tra coppie di stazioni confinato su coppie di rami
 - banda aggregata molto superiore a quella su coppie di rami
 - molte trasmissioni in contemporanea tra segmenti

3.2.7 La differenza tra HUB e Switch

Gli HUB e gli switch esteriormente sono molto simili, ma se andiamo a vedere su quale livello di comunicazione lavorano, andremo a notare che il primo manda a tutte le porta lo stesso messaggio in broadcast e poi la scheda di rete presente in ogni dispositivo verifica se il pacchetto è rivolto a lei, mentre, lo switch al primo avvio funziona allo stesso modo, ma poi dopo associa il MAC delle schede di rete presenti all'interno della rete che sta gestendo e andrà ad inviare il pacchetto solo al diretto interessato evitando di mandarlo a tutti, tramite un apposito algoritmo.

3.2.8 Domini di collisione

- a) Al crescere del numero di stazioni e/o del traffico aumenta la probabilità di collisioni e quindi diminuisce l'efficienza della rete
- b) È possibile suddividere la rete in più sottoreti in modo che la contesa del mezzo avvenga soltanto tra le stazioni appartenenti ad una singola sottorete
- singolo dominio di *broadcast* a livello fisico o dominio di collisione

3.2.9 Livello DL: Indirizzamento

B1	B2	B3	B4	B5	B6
assegnato dall'IEEE			assegnato dal costruttore		

Tabella 3.1: Come è composto l'indirizzo

- a) Al Livello PH le UI vengono inviate a tutte le stazioni
- b) Al Livello DL le UI vengono ricevute sulla base dell'indicazione
- c) Indirizzi Ethernet o MAC
- d) Rappresentazione esadecimale
- individuale (ad esempio 01-00-5e-12-34-56)
 - broadcast (ff-ff-ff-ff-ff-ff)

3.2.10 Livello DL: Pacchetti

7+1B	6B	6B	2B	0-1500B	0-46B	4B
preambolo + SFD	DSAP	SSAP	L/T	SDU	PAD	FCS

Tabella 3.2: Come è composto il pacchetto

- Preambolo: alternanza di 1 e 0 per la sincronizzazione

- Start Frame Delimiter (SFD): valore 10101011 che indica l'inizio trama
- Indirizzo di destinazione (DSAP)
- Indirizzo di sorgente (SSAP)
- Lunghezza del campo dati (IEEE 802.3) o Protocol Type (Ethernet)
- SDU: PDU di strato LLC
- PAD: per garantire che la trama abbia una lunghezza minima di 64 byte
- Frame Check Sequence (FCS): CRC

3.2.11 Procedura di emissione/ricezione

a) Emissione

1. Accettare i dati dello strato superiore (*ad esempio LLC*) e l'indirizzo di destinazione
2. Formare la PDU
 - indirizzamento
 - controllo della lunghezza minima (*riempimento se inferiore*)
 - calcolo del CRC
3. Presentare un flusso di dati seriale allo strato fisico di dati seriale allo strato fisico per la codifica e per la successiva emissione

b) Ricezione

1. Ricevere un flusso seriale di dati dallo strato fisico
2. Elaborare la PDU
3. controllo di integrità della PDU tramite il CRC
4. controllo dell'indirizzo di destinazione della PDU
5. Presentare allo strato superiore le PDU indirizzate al terminale locale.

3.2.12 Tabella di switching

- I bridge/switch rilanciano le trame sulla base del loro indirizzo di destinazione
 - se è nota l'interfaccia attraverso la quale è raggiungibile la destinazione, la trama è rilanciata su questa interfaccia;
 - altrimenti, la trama è rilanciata su tutte le interfacce tranne quella di provenienza.
- I bridge/switch “apprendono” la struttura di rete osservando il campo “Source Address” delle trame ricevute
 - le tabelle di instradamento vengono aggiornate in accordo a tale informazione (*backward learning*)
- Tale approccio funziona solo su reti di tipologia ad albero
 - in caso di reti a maglia questa deve essere trasformata in albero con un algoritmo/protocollo di *spanning tree* (IEEE 802.1D)

3.2.13 Wireless LAN (WLAN)

a) IEEE 802.11a (2001)	b) IEEE 802.11g (2003)	c) IEEE 802.11n (2009)
<ul style="list-style-type: none"> • velocità massima 54 Mb/s (può essere ridotta), velocità reale circa 20 Mb/s • utilizza spazio di frequenze intorno ai 5 GHz (<i>banda riservata in molti paesi</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • stessa banda (2.4 GHz) dello standard IEEE 802.11b • capacità teorica 54 Mb/s, velocità reale 24,7 Mb/s • totalmente compatibile con lo standard 802.11b 	<ul style="list-style-type: none"> • velocità sino a 600 Mb/s (utilizzo di più antenne) • possibilità di operare sia intorno ai 2.4 GHz che 5 GHz

3.2.14 Modalità di funzionamento

a) Ad-hoc	b) Con infrastruttura
<ul style="list-style-type: none"> • solo stazioni all'interno del rispettivo raggio di copertura possono comunicare tra loro 	<ul style="list-style-type: none"> • ogni stazione invia e riceve tutti i pacchetti tramite un'unica stazione centrale chiamata AP (<i>Access Point</i>)

3.2.15 Caratteristiche del servizio

- **Basic Service Set (BSS)**
 - gruppo di stazioni sotto la stessa area di copertura
 - ogni stazione all'interno di una BSS potrebbe comunicare direttamente con un'altra
- **Extended Service Set (ESS)**
 - due o più BSS sono collegate tra loro tramite un sistema di distribuzione (Distribution System, DS)
 - gli Ap agiscono come bridge tra le BSS e il DS

3.2.16 Livello MAC

a) <u>Trame di management</u>	b) <u>Trame di controllo</u>
<ul style="list-style-type: none"> • associazione/disassociazione con un AP • sincronizzazione • autenticazione 	<ul style="list-style-type: none"> • gestione di contese ed accesso al mezzo
c) <u>Trame di dati</u>	

3.2.17 Associazione dei terminali

- a) Relazione da stabilire tra due stazioni (esempio: terminale e AP) prima che queste possano comunicare

b) Procedura

- tutti gli AP trasmettono periodicamente dei *beacon*
- il terminale ascolta eventuali *beacon* per identificare un eventuale AP
- il terminale sceglie il BSS in modi diversi, basati su preconfigurazione o su scelta dell'utente, ad sempio in base al nome della rete
- un terminale può anche inviare una trama per sollecitare uno specifico SSID (Service Set ID), che possono essere anche occultati tramite un impostazione del AP “semplicemente non apparirà nella lista dei wifi dei spositivi, se usiamo un programa che scansiona tutte le trasmissioni lo si becca comunque”
- dopo aver identificato l'AP, il terminale inizia una procedura di mutua autenticazione utilizzando diverse trame di controllo

3.2.18 Sicurezza in WLAN

a) Problematiche

- la trasmissione via radio può essere ricevuta da utenti non autorizzati
- è semplice ricevere il segnale di una WLAN
- gli AP danno accesso alle stazioni indipendentemente dalla loro posizione fisica e quindi risulta molto più agevole introdursi all'interno di una rete "con la giusta antenna si può effettuare un accesso anche da Km di distanza".

b) Meccanismi di protezione in 802.11

- MAC address filtering "tramite le impostazioni dell'access point è possibile impostare i MAC address dei dispositivi che possono accedere allo stesso, questo permette di bloccare l'attaccante dei primi 5 minuti, ovviamente con applicativi come Macchanger questa cosa può essere bypassata senza problemi, ovviamente cercando di capire quale mac address che sia autorizzato"
- Wired Equivalent Privacy (WEP): protocollo di crittografia piuttosto debole "era un protocollo della prima era delle reti WiFi, è facile da brutare (attacco dizionario, con un po' di forza bruta lo si rompe facendo accesso alla rete) anche con password mediamente complesse, questo ha causato la sua sostituzione con il WPA/-WPA2 che risultano sicuramente molto più sicuri rispetto a questo protocollo ancestrale"
- WPA/WPA2: un algoritmo di crittografia basato su AES che ha soppiantato il vecchio WEP, oggi giorno è il sistema più diffuso per evitare accessi non autorizzati agli access point. *"Per una password mediamente complessa ci possono volere anche dei mesi se non anni, cosa che rende sicuramente più affidabile questo sistema, ovviamente non ci deve essere attivo il WPS altrimenti la sicurezza non esiste, perché quelle poche cifre di cui è composta la chiave WPS li si copre appastanza facilmente (anche qui vale il sempre valido metodo della forza bruta con un dizionario)"*
- captive portal: autenticazione a livello applicativo tramite *browser* con filtraggio a livello Ethernet

3.2.19 Collisioni

- a) Due stazioni collidono se accedono al canale in istanti che distano tra loro un tempo inferiore a quello di propagazione tra le due stazioni.
- b) Lo strato MAC Ethernet NON deve terminare l'emissione completa di una trama prima che sia certo lo stato di NON collisione
- Lo strato MAC Ethernet NON deve terminare l'emissione completa di una trama prima che sia certo lo stato di NON collisione.
 - in caso di collisione chi trasmette può aggiungere alla trama in invio informazione che segnali l'evento.

3.2.20 Esempio

- Ethernet 100BaseT
 - velocità di 100Mb/s
 - lunghezza minima del pacchetto di 64B
 - tempo necessario a trasmettere tale trama di 5.12 microsecondi
 - propagazione nel cavo a circa 200'000Km/s

$$d_{max} < v \frac{L_{min}}{2R} = 2 * 10^8 \frac{512}{2 * 10^8} = 512m \quad (3.1)$$

3.2.21 Protocollo CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection



3.2.22 Algoritmo di *backoff*

- Algoritmo che controlla le ritrasmissioni in caso di collisioni attraverso un tempo casuale di attesa
- n tentativi di trasmissione (**al più 16**)
- **Idea:** ad ogni collisione rilevata l'intervallo entro cui scegliere il tempo casuale di attesa cresce esponenzialmente per ridurre la probabilità di collisione al nuovo tentativo

$$T = r * \tau \quad (3.2)$$

- $r \rightarrow$ intero casuale tra 0 e 2^k

$$k = \min\{n, 10\} \quad (3.3)$$

3.2.23 Protocollo MAC 802.11

Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)

- CSMA/CD di Ethernet non può essere usato
 - impossibile trasmettere e ascoltare in un canale radio nello stesso istante
 - problema dei nodi nascosti
- DCF sia in ad'hoc che con AP (deve essere sempre supportata)
- PCF solo in presenza di AP (opzionale)

MAC	<i>Point Coordination Function (PCF)</i>	senza contesa
	<i>Distributed Coordination Function (DCF)</i>	con contesa
	livello fisico	

DCF

- Collision avoidance è realizzato tramite trame di controllo *Request-To-Send* (RTS) e *Clear-To-Send* (CTS)
 - trame di controllo molto corte (rispettivamente 20B e 14B)
- Se avviene una collisione mentre si invia una trama RTS, il trasmettitore non riceve il corrispondente CTS, capisce c'è stata una collisione e inizia una procedura di *backoff esponenziale*
- L'algoritmo MAC risultante è equo, ma non garantisce un limite superiore al ritardo di trasmissione
- Un campo della PDU indica il tempo in cui il canale sarà occupato (ACK compreso)
- La priorità di accesso al canale dopo un periodo di occupato è controllato da un *InterFrame Space* (IFS) variabile a seconda del tipo di trama.

PCF

- L'AP (in ogni BSS) periodicamente interroga le stazioni e le abilita alla trasmissione (*polling*)
- PCF deve poter coesistere con DCF
- L'asse dei tempi è diviso in intervalli di accesso senza contesa (*Contention-Free Period*, CFP) alternati con intervalli con contesa (*Contention Period*, CP).
- All'istante di inizio nominale di un CFP l'AP ascolta il mezzo e se libero, aspetta un certo tempo prima di iniziare il CFP con una trama di *beacon*

3.3 Reti in area geografica

- *Wide Area Network* (WAN)
- Obiettivo: interconnessione senza limiti di distanza (almeno qualche km)
- Tecnologia tipicamente più costosa delle LAN
- Differenti velocità possibili
- Internet come interconnessione "opportuna" di LAN/MAN/WAN

3.3.1 Velocità di trasferimento di una WAN

a) 100m - 1km

- LAN ad alta velocità: **100Kb/s - 10Gb/s**
- LAN a bassa velocità: **1-10Mb/s**

b) 1km-1000km

- MAN ad alta velocità: **10Mb/s - 10Gb/s**
- MAN a bassa velocità: **100Kb/s - 10Mb/s**

3.3.2 Caratteristiche e classificazione

- Una LAN tipicamente interconnette sistemi terminali, mentre una WAN interconnette anche *switch*, *router* e *modem*
- Una LAN è proprietà dell'organizzazione che la utilizza, mentre una WAN è gestita da un operatore di telecomunicazioni (**ISP**)
- WAN punto-punto
 - collega due dispositivi di comunicazione tramite un mezzo trasmissivo (**cablato o senza fili**)
- WAN a commutazione (switched) → v. funzione di commutazione
 - due o più punti di terminazione
 - tipicamente usata nelle dorsali Internet
- *Internetwork* tra LAN tramite WAN

3.3.3 Reti a commutazione di circuito

- Tra due dispositivi è sempre possibile un collegamento dedicato (circuito)
- La *switch* che collega i due dispositivi può solo attivarlo/disattivarlo
- Efficiente solo quando utilizzate alla massima capacità

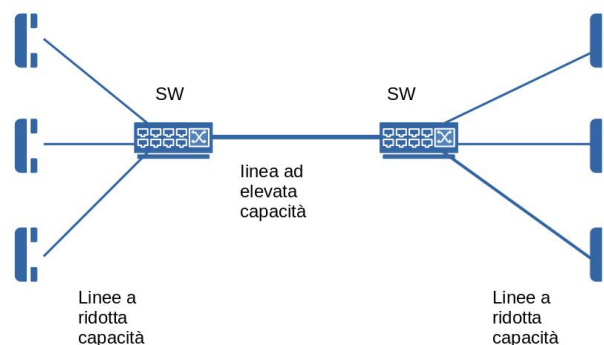


Figura 3.1: Reti a commutazione di circuito

3.3.4 Reti a commutazione di pacchetto

- Due dispositivi si scambiano blocchi di dati (**pacchetto**)
- Lo *switch* può memorizzare i pacchetti per inviarli successivamente
- più tipicamente funzione svolta dal *router*

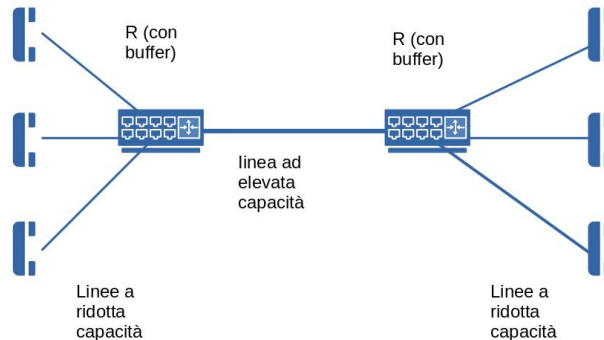


Figura 3.2: Reti a commutazione di pacchetto

3.3.5 Implementazioni

- Il sistema PDH non è univoco ovunque, ma prevede tre standard differenti
 - europeo (sistema analogo in india) con base a 32 canali
 - statunitense con base a 24 canali
 - giapponese con base a 24 canali
- Condividono lo stesso meccanismo di base ma differiscono per alcuni dettagli di funzionamento e per le gerarchie di multiplexazione
 - di fatto assenza di interoperabilità
 - di fatto poco usati oggi
 - * sostituiti da sistemi SDH (**che vedremo più avanti in questa lezione**)
 - * attivi solo nelle zone terminali delle reti per la multiplexazione di traffico telefonico

3.3.6 Canali telefonici digitali

- Modulazione a impulsi codificati
 - Pulse-Code Modulation (PCM)
 - anche in altre applicazioni come CD e DVD
- Campionamento + quantizzazione + rappresentazione binaria (ADC/DAC)
 - quantizzazione operazione rumorosa

- 8, 16, 20 o 24 bit per campione
- PCM lineare: i livelli quantizzazione sono linearmente uniformi
- PCM non lineare
 - i segnali maggiormente affetti dell'approssimazione sono quelli a bassa intensità (errore relativo maggiore)
 - quantizzazione non lineare: livelli più piccoli e ravvicinati nella regione di segnale debole e più distanziati nella regione in cui il segnale è più intenso

Capitolo 4

Applicazione delle reti

