

Università degli Studi di Perugia
Laurea Triennale in Informatica

Reti di calcolatori: protocolli

Sergio Tasso



sergio.tasso@unipg.it

Reti di Calcolatori: Protocolli

Scopo del corso

Fornire conoscenze delle principali tipologie di reti telematiche e strutture dati ad esse correlate ed effettuare esperienze sulla loro gestione e sul loro controllo.

L'argomento

- La trasmissione dei dati e i protocolli che ne gestiscono l'implementazione sulle reti
- installazione e configurazione degli apparati di instradamento e dei principali servizi
- controllo, monitoraggio e i sistemi di sicurezza

Reti di Calcolatori: Protocolli

Programma del corso

PRIMA PARTE

- Introduzione
 - Informazione e sua misura
 - Topologie di rete
 - I protocolli
 - Il codice e l'errore
 - Sistemi sincroni e asincroni.
- La trasmissione dati
 - Segnali analogici e digitali
 - La modulazione
 - La multiplazione
 - I modem
 - Le interfacce

Reti di Calcolatori: Protocolli

- Le reti per la trasmissione dati
 - Strutture di reti
 - Rete commutata e rete dedicata,
 - Sistemi point to point e multipoint,
 - Tipologie di reti wan
- Il secondo livello ISO-OSI
 - Specifiche dei protocolli
 - Il protocollo BSC
 - I protocolli HDLC e SDLC
 - Il protocollo PPP

SECONDA PARTE

- Il terzo livello ISO-OSI
 - Il protocollo IP
 - Definizione di sottoreti e interfacce
 - Configurazione del routing (minimale, statico e dinamico)

Reti di Calcolatori: Protocolli

- Servizi di rete

- La gestione dei nomi (Host table e DNS)
- L'accesso a risorse in rete
- La posta elettronica (aliases e il servizio sendmail)

- Servizi di controllo e gestione delle reti

- Sicurezza delle reti

- Criteri di valutazione dei rischi
- Strumenti per il controllo dei rischi
- Limitazione degli accessi
- TCP wrapper
- Firewall
- Strumenti di monitoraggio

Libri di testo

Dispense del docente disponibili su Unistudium

Siti internet

Testi consigliati:

Bruno Checcucci – *Reti di calcolatori* – Sarapar Editore

Gary Govanus - TCP/IP - Per configurare, implementare e gestire TCP/IP
sulla vostra rete - Mc GrawHill

Modalità d'esame

- Test individuale on-line
- Progetto di configurazione e di gestione di una rete aziendale
 - Max 2 studenti

INTRODUZIONE AL NETWORKING

Il settore delle reti di calcolatori e dei sistemi telematici è in fortissima crescita. Tale evoluzione è legata a molteplici aspetti

- sviluppo telecomunicazioni
- sviluppo micro-nano tecnologie
- sviluppo sensori + efficienti
- sviluppo soluzioni software
- sviluppo soluzioni combinate hardware/software
 - necessità di trasferire dati, voce, video insieme, in tempo reale

Si è passati da sistemi centralizzati a sistemi di elaborazione distribuita, con tecnologie che permettono di spedire quantità di dati sempre maggiori con segnali sempre più veloci.

COMUNICAZIONE DATI

Calcolatori di ogni tipo possono oggi comunicare e interagire su scala planetaria, ovvero scambiare informazioni a livello locale o remoto.

Si può parlare di processo comunicativo quando coesistono:

- Una sorgente di informazione
- Un mezzo che consente l'invio dell'informazione (cammino fisico)
- Un destinatario (dispositivo ricevente)

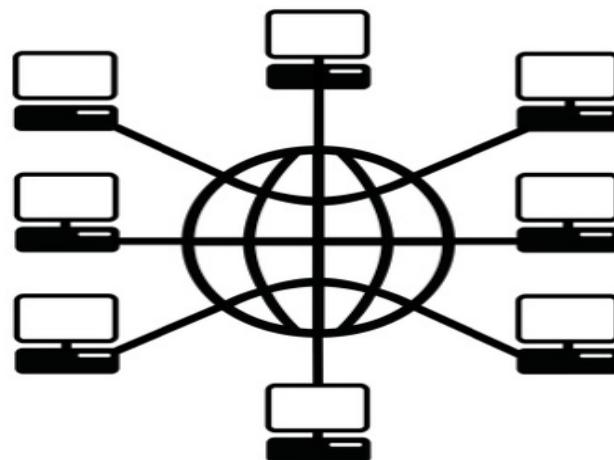
Per **comunicazione** dati si intende lo **scambio di informazione fra due (o più) dispositivi grazie all'utilizzo di mezzo trasmissivo**.

Affinché la comunicazione abbia luogo è necessario che gli stessi siano parte di un **sistema di comunicazione**, composto sia di hardware che di software.

PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE

Un componente fondamentale del sistema di comunicazione è il **PROTOCOLLO** ovvero un insieme di regole che consentono la comunicazione.

- **Senza un protocollo, due (o più) dispositivi possono essere connessi ma non riuscire comunque a comunicare.**

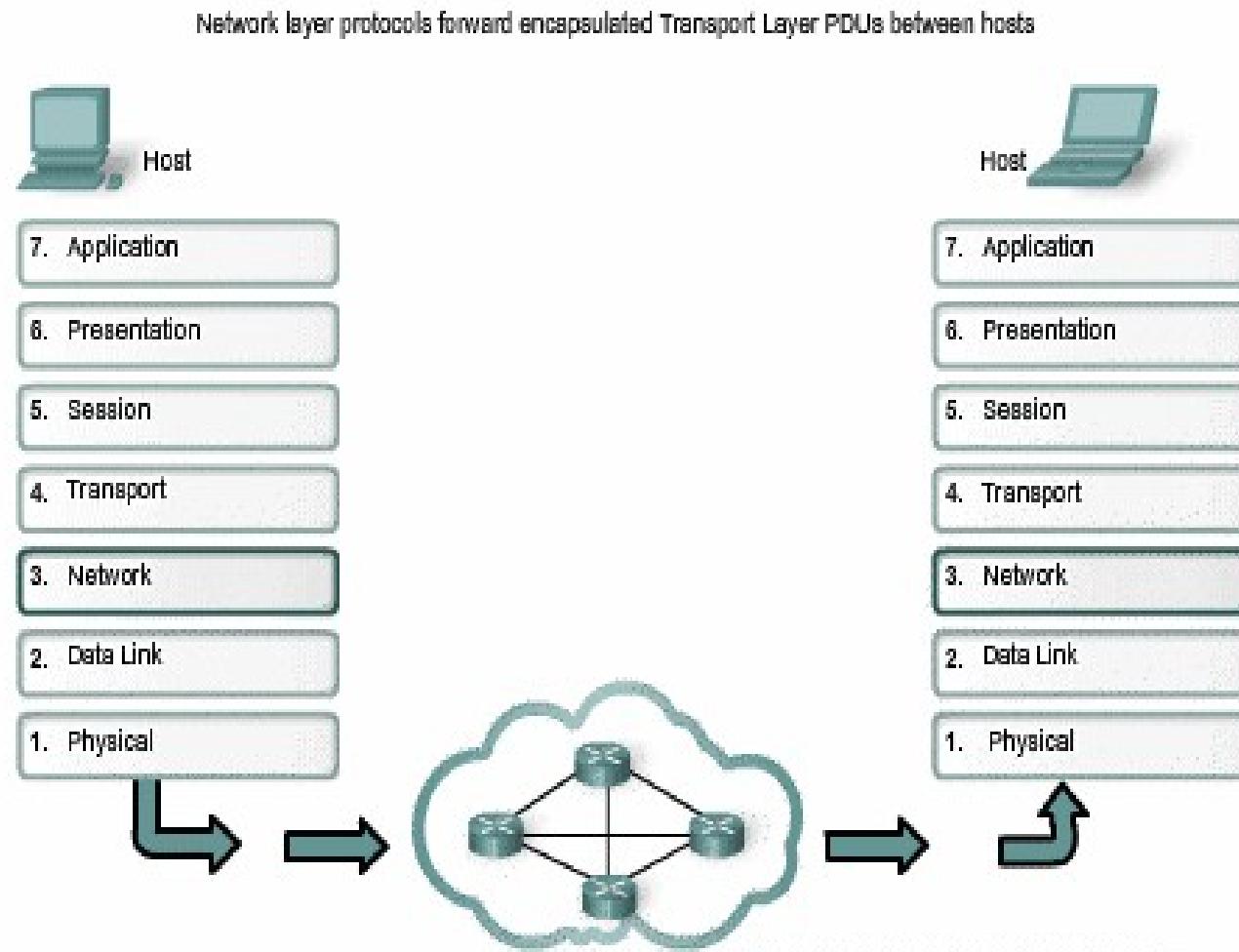


ISO REFERENCE MODEL *

Application	Layer 7
Presentation	Layer 6
Session	Layer 5
Transport	Layer 4
Network	Layer 3
Data Link	Layer 2
Physical	Layer 1

*CCITT Recommendation X.200

ISO/OSI REFERENCE MODEL



L'INFORMAZIONE E LA SUA MISURA

L'informazione è una grandezza misurabile, avente come unità di misura il bit. Vale inoltre che:

$$Q = \log_2 M$$

se M è il numero degli stati possibili di un dato sistema,
 Q saranno i bit necessari per distinguerli.

In sintesi, finalità di un sistema di comunicazione è il trasferimento dell'informazione tra sistemi remoti sotto il controllo di programmi applicativi.

CODICI

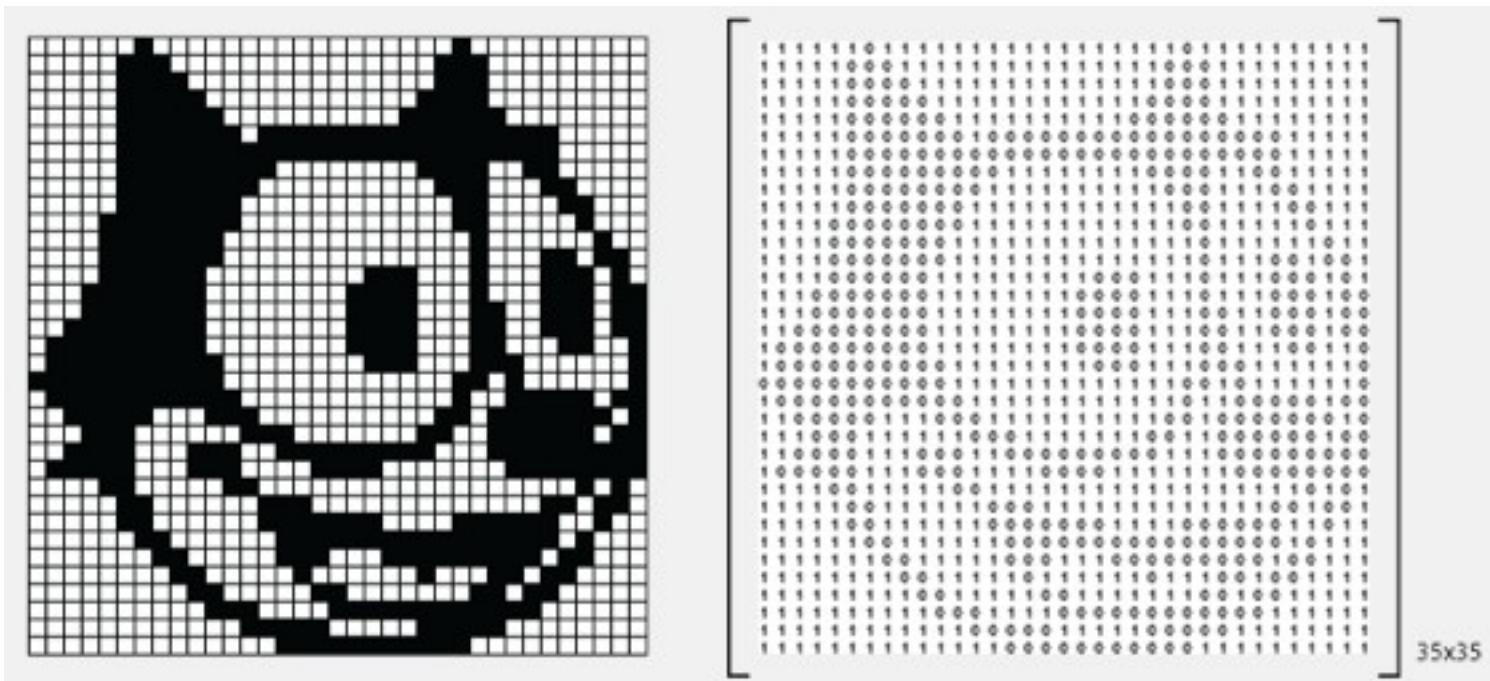
In un sistema elaborativo, il “carattere” può essere associato al bit: di conseguenza, sequenze significative di caratteri divengono collezioni di bit esistenti all'interno di *codici*, fra cui:

- BCD (Binary Decimal Code),
- AIKEN,
- Gray,
- EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Code),
- ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*)

A seconda della natura dell'informazione possiamo associare diverse quantità di bit.

CODICI

Ad esempio, un'immagine è rappresentabile tramite matrice di pixel: se ogni sequenza di bit rappresenta pixel e rispettivo colore, un'immagine a colori richiederà una quantità di bit superiore rispetto ad una in bianco e nero, ove un solo bit diventa sufficiente per rappresentare il colore dei pixel.



CODIFICA DEI DATI PER LA TRASMISSIONE

I due codici più usati sono:

- ASCII (American Standard Committee for Information Interchange)
 - codice a 7 bit
 - codice a 8 bit → **ASCII Extended**
- EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code)
 - codice a 8 bit

CODICE ASCII

CODICE ASCII Extended

Char	Dec	Hex	Keystrokes	Char	Dec	Hex	Keystrokes	Char	Dec	Hex	Keystrokes
128	80	<op>u	A	'	171	AB	<op><sh>e	+	214	D6	<op>/
129	81	<op><sh>a	"	''	172	AC	<op><sh>u	◊	215	D7	<op><sh>v
130	82	<op><sh>c	#	≠	173	AD	<op>=	ÿ	216	D8	<op>u y
131	83	<op>e	E	Æ	174	AE	<op><sh>'	Ý	217	D9	<op>u Y
132	84	<op>n	N	Ø	175	AF	<op><sh>o	/	218	DA	<op><sh>1
133	85	<op>u	O	∞	176	B0	<op>5	¤	219	DB	<op><sh>2
134	86	<op>u	U	±	177	B1	<op><sh>=	<	220	DC	<op><sh>3
135	87	<op>e	a	≤	178	B2	<op>,	>	221	DE	<op><sh>4
136	88	<op>`	a	≥	179	B3	<op>.	fi	222	DD	<op><sh>5
137	89	<op>i	a	¥	180	B4	<op>y	fl	223	DF	<op><sh>6
138	8A	<op>u	a	µ	181	B5	<op>m	‡	224	E0	<op><sh>7
139	8B	<op>n	a	ð	182	B6	<op>d	-	225	E1	<op><sh>9
140	8C	<op>a	Σ	183	B7	<op>w	,	226	E2	<op><sh>0	
141	8D	<op>c	Π	184	B8	<op><sh>p	„	227	E3	<op><sh>w	
142	8E	<op>e	e	π	185	B9	<op>p	%e	228	E4	<op><sh>r
143	8F	<op>`	e	ƒ	186	BA	<op>b	Â	229	E5	<op><sh>m
144	90	<op>i	e	“	187	BB	<op>9	Ê	230	E6	<op>i E
145	91	<op>u	e	”	188	BC	<op>0	Á	231	E7	<op>y
146	92	<op>e	i	Ω	189	BD	<op>z	Ê	232	E8	<op>u E
147	93	<op>`	i	æ	190	BE	<op>‘	Ê	233	E9	<op>` E
148	94	<op>i	i	ø	191	BF	<op>o	í	234	EA	<op><sh>s
149	95	<op>u	i	ł	192	C0	<op><sh>/	í	235	EB	<op><sh>d
150	96	<op>n	n	ı	193	C1	<op>1	ı	236	EC	<op><sh>f
151	97	<op>e	o	¬	194	C2	<op>l	ı	237	ED	<op>` I
152	98	<op>`	o	√	195	C3	<op>v	Ó	238	EE	<op><sh>h
153	99	<op>i	o	f	196	C4	<op>f	Ó	239	EF	<op><sh>j
154	9A	<op>u	o	=	197	C5	<op>x	apple	240	F0	<op><sh>k
155	9B	<op>n	o	Δ	198	C6	<op>j	Ó	241	F1	<op><sh>l
156	9C	<op>e	u	«	199	C7	<op>\	Ú	242	F2	<op><sh>;
157	9D	<op>`	u	»	200	C8	<op><sh>\	Ú	243	F3	<op>i U
158	9E	<op>i	u	...	201	C9	<op>;	Ú	244	F4	<op>` U
159	9F	<op>u	u		202	CA	<op><sp>	ı	245	F5	<op><sh>b
160	A0	<op>t	À	203	CB	<op>` A	~	246	F6	<op><sh>i	
161	A1	<op><sh>8	Ã	204	CC	<op>n A	~	247	F7	<op><sh>n	
162	A2	<op>4	Õ	205	CD	<op>n O	~	248	F8	<op><sh>,	
163	A3	<op>3	Œ	206	CE	<op><sh>q	~	249	F9	<op><sh>.	
164	A4	<op>6	œ	207	CF	<op>q	~	250	FA	<op>h	
165	A5	<op>8	—	208	D0	<op>-	~	251	FB	<op>k	
166	A6	<op>7	—	209	D1	<op><sh>-	~	252	FC	<op><sh>z	
167	A7	<op>s	“	210	D2	<op>[~	253	FD	<op><sh>g	
168	A8	<op>r	”	211	D3	<op><sh>[~	254	FE	<op><sh>x	
169	A9	<op>g	‘	212	D4	<op>]	~	255	FF	<op><sh>t	
170	AA	<op>2	’	213	D5	<op><sh>]	~				

Codice EBCDIC

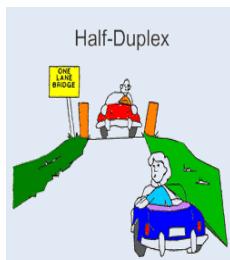
		4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1			
		3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1			
		2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1			
		1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1			
8	7	6	5																
0	0	0	0	NUL	SOH	STX	ETX	PF	HT	LC	DEL		SMM	VT	FF	CR	SO	SI	
0	0	0	1	DLE	DC1	DC2	DC3	RES	NL	BS	IL	CAN	EM	CC		IFS	IGS	IRS	IUS
0	0	1	0	DS	SOS	FS		BYP	LF	EOB	PRE		SM			ENQ	ACK	BEL	
0	0	1	1			SYN		PN	RS	UC	EOT				DC ₄	NAK		SUB	
0	1	0	0	SP									¢	.	<	(+		
0	1	0	1	&									!	\$	*)	;	¬	
0	1	1	0	-	/								,	%	-	>	?		
0	1	1	1										:	#	@	,	=	"	
1	0	0	0	a	b	c	d	e	f	g	h	i							
1	0	0	1	j	k	l	m	n	o	p	q	r							
1	0	1	0		s	t	u	v	w	x	y	z							
1	0	1	1																
1	1	0	0	A	B	C	D	E	F	G	H	I							
1	1	0	1	J	K	L	M	N	O	P	Q	R							
1	1	1	0		S	T	U	V	W	X	Y	Z							
1	1	1	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9					□	

FLUSSI TRASMISSIVI

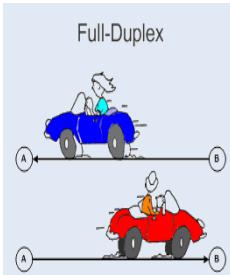
Tra mittente e destinatario il flusso trasmittivo può essere di 3 tipi:



- **Simplex** : solo uno dei dispositivi può spedire informazione mentre l'altro dispositivo può solo ricevere (radio)



- **Half Duplex** : ogni dispositivo può sia trasmettere che ricevere, ma non contemporaneamente (walkie-talkie)



- **Full Duplex** : entrambi i dispositivi possono spedire e ricevere l'informazione contemporaneamente, ottenendo bidirezionalità tramite 2 collegamenti fisici.

DTE, DCE e CPE

L'applicazione utente risiede nel **Data Terminal Equipment (DTE)** un dispositivo informatico che permette la comunicazione dati (es. computer).

Al fine di connessione alla linea si rende necessario un

DCE (*Data Circuit Terminating Equipment*)

(anche conosciuto come **Data Communication Equipment**)

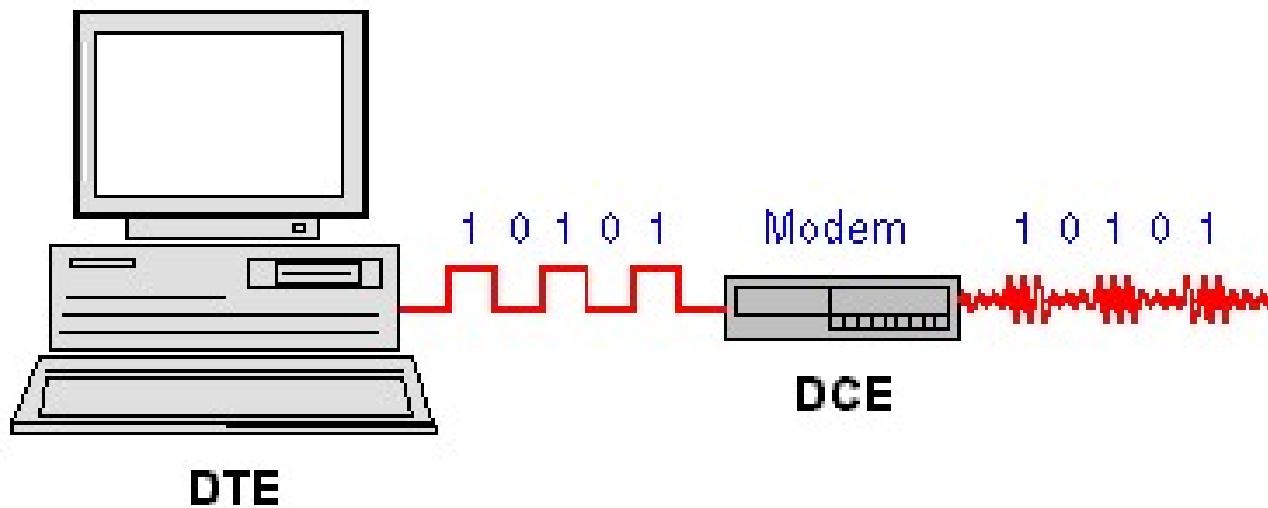
dispositivo che consente di convertire i segnali nella forma migliore per l'invio sul canale di comunicazione (es. modem).

Qualora sia richiesto un dispositivo di pertinenza dell'utente, solitamente inserito nell'abitazione del medesimo (es. x reti ISDN, wireless o voice over IP), si parla di

CPE (*Customer Premises Equipment*).

Il percorso tra due DTE è identificato dalla rete di comunicazione.

DTE e DCE



LE RETI ED IL LORO MONDO

Si parla di **rete** intendendo un insieme di dispositivi connessi da canali di comunicazione.

Una rete presenta uno o più nodi capaci di inviare o ricevere dati generati o da altri dispositivi o da altri nodi.

Si parla di:

- **Reti ad elaborazione concentrata**
- **Reti ad elaborazione distribuita**

Il primo tipo di rete è il modello nativo per le reti telematiche: un potente DTE viene messo a disposizione di uno o più DTE che ne sfruttano le capacità di calcolo.

Nel modello ad elaborazione distribuita invece di essere un solo DTE a svolgere un compito, quest'ultimo viene diviso in varie parti, ognuna svolta da un nodo della rete.

LE RETI ED IL LORO MONDO

Per entrambi i modelli proposti il trasferimento dell'informazione tra DTE può dare luogo a tre differenti procedure di colloquio:

- **Inquiry**

- tipica forma di interrogazione ad uno o più servizi messi a disposizione dal sistema elaborativo

- **Conversazionale**

- applicazione che permette al DTE di inviare *tutte e sole* quelle applicazioni previste secondo regole e formati d'immissione preimpostate

- **Interattivo**

- risponde ad applicazioni flessibili; al DTE è permesso inviare tutte le applicazioni che consentono pieno sfruttamento di tutte le risorse elaborative.

ASPETTI DI VALUTAZIONE

La bontà della rete viene valutata in base a:

- Affidabilità
- Sicurezza
- Prestazioni

ASPETTI DI VALUTAZIONE: AFFIDABILITÀ

L'**affidabilità** di una rete è definita come la capacità della rete di:

- consegnare l'informazione priva di errori
- porre rimedio a malfunzionamenti
- essere robusta in situazioni critiche.

ASPETTI DI VALUTAZIONE: SICUREZZA

La **sicurezza** di una rete ha come caratteristica principale la **protezione** dei dati che vengono gestiti all'interno della rete, al fine di impedire:

- accesso non autorizzato
- modifiche non autorizzate
- perdite di dati.

ASPETTI DI VALUTAZIONE: PRESTAZIONI

Le prestazioni di una rete possono essere valutate misurando:

- Ritardo
 - misurazione del **tempo** di transito dei dati, ovvero tempo necessario a un dato messaggio per raggiungere la destinazione partendo dalla sorgente
- Tempo di risposta
 - **tempo** intercorrente tra il momento in cui si effettua una richiesta e il momento in cui arriva risposta
- Throughput
 - quantità effettiva di dati spediti nell'unità di tempo (**velocità**).

Le prestazioni dipendono anche da:

- numero di DTE
- la tipologia dei mezzi trasmittivi utilizzati
- efficienza del software che gestisce la comunicazione.

PRESTAZIONI: BANDA

- **Banda**

- banda passante di frequenze che può essere utilizzata per la trasmissione di segnale attraverso canale di comunicazione.

Essendo collegata alla quantità d'informazione che può essere inviata tramite quel segnale nell'unità di tempo, **la banda può essere definita come massima velocità alla quale è possibile trasmettere informazioni.**

Si parla di **Broadband** intendendo insieme di tecnologie che consentono di fornire all'utente collegamenti di velocità notevolmente superiore rispetto alla normale linea telefonica.

In presenza di disparità tra zone che dispongono o meno di accesso alla banda larga si parla di ***digital divide***.

STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA'- PING

ping

Il comando ping indica se un host remoto può essere raggiunto. Può anche essere utilizzato per riportare statistiche sui pacchetti persi e sul tempo di spedizione. Ping usa l'**Echo message** del protocollo **Internet Control Message Protocol (ICMP)** per forzare un host remoto a rispedire indietro all'host locale un pacchetto a lui inviato.

ping 141.250.5.2

```
PING 141.250.5.2 (141.250.5.2): 56 data bytes
64 bytes from 141.250.5.2: icmp_seq=0 ttl=64 time=0.352 ms
64 bytes from 141.250.5.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.474 ms
^C
--- 141.250.5.2 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 0.352/0.413/0.474/0.061 ms
```

Ping riporta il tempo di trasmissione in millisecondi (ms)

ESERCITAZIONE:

- **PROVATE A FARLO VOI:** Si interrompe da solo o con i tasti **Ctrl + c** o **Ctrl + z**
- **PROVATE A MODIFICARE L'HOST:** **ping 8.8.8.8 ... cosa cambia?**

STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA'- PING

Se però si controlla un host che non è raggiungibile darà:

ping 26.40.0.17

sendto: Network is unreachable

Oppure se non esiste si blocca e dopo averlo interrotto darà:

ping 141.250.233.1

ping 141.250.233.1

PING 141.250.233.1 (141.250.233.1): 56 data bytes

^C

--- 141.250.233.1 ping statistics ---

131 packets transmitted, 0 packets received, 100% packet loss

ESERCITAZIONE:

PROVATE A FARLO VOI.

STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA'- PING

Riprendendo il ping che funziona:

ping 141.250.5.2

```
PING 141.250.5.2 (141.250.5.2): 56 data bytes
64 bytes from 141.250.5.2: icmp_seq=0 ttl=64 time=0.352 ms
64 bytes from 141.250.5.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.474 ms
^C
--- 141.250.5.2 ping statistics ---
2 packets transmitted, 2 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 0.352/0.413/0.474/0.061 ms
```

è necessario prestare attenzione a due parametri: il Packet Loss ed il Round Trip Time.

Il **Packet Loss** dovrebbe sempre essere pari a zero, in caso contrario ci potrebbe essere un problema alla connessione oppure, più probabilmente, che il sito contattato sia congestionato o, al limite, disconnesso dalla rete.

Per quel che riguarda il **Round Trip Time**, il suo valore, per una buona connessione Internet, dovrebbe essere dell'ordine di qualche millisecondo, se questo parametro dovesse assumere valori a due cifre, questo indicherebbe un problema della vostra connessione Internet o uno più generalizzato sulla rete.

STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA'- TRACEROUTE

Traceroute (o tracert)

Il comando dice quale instradamento prendono i pacchetti in uscita dal nostro sistema verso un sistema remoto. Traceroute ci mostra tutti i dispositivi di rete attraversati (nome e indirizzo tra parentesi) per arrivare a destinazione e ci dà l'idea della “distanza” (in termini numero di dispositivi attraversati - [hops](#)) che ci separa da essa.

traceroute 141.250.1.3

```
traceroute to 141.250.1.3 (141.250.1.3), 64 hops max, 40 byte packets
1 gw25.dipmat.unipg.it (141.250.25.3) 2.556 ms 3.264 ms 4.534 ms
2 141.250.115.77 (141.250.115.77) 4.220 ms 2.844 ms 2.996 ms
3 fe.r.unipg.it (141.250.253.1) 3.856 ms 17.168 ms 3.464 ms
4 sw-cs.r.unipg.it (141.250.253.21) 3.758 ms 2.281 ms 3.709 ms
```

ESERCITAZIONE:

PROVATE A FARLO VOI CON: traceroute 141.250.5.3 oppure tracert 141.250.5.3

STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA' - speedtest

Per verificare la velocità effettiva della nostra connessione possiamo utilizzare un sito web molto noto www.speedtest.net

Come funziona Speed Test?

Sul territorio italiano sono sparsi vari server di test, se ne sceglie uno, il più vicino a noi, e si dà avvio alla prova.

In un minuto otterremo il risultato del test, con ping, e velocità in download e in upload.

Il server di test può essere scelto anche automaticamente a seconda del ping: per farlo basta cliccare su “Inizia Test” e sarà direttamente il sistema a scegliere il server migliore.

STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA' - speedtest

Per avere una misura attendibile delle caratteristiche della vostra connessione Internet è buona norma scegliere sempre il server a voi geograficamente più vicino: in questo modo dovreste ottenere un ping a livelli accettabili (al di sotto dei 60-80 ms) e la velocità della vostra connessione ne risentirà di meno.

ESERCITAZIONE:

PROVATE A TESTARE LA VELOCITA' SU www.speedtest.net.

STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA' - speedtest

speedtest.net



GARR
141.250.206.194



Aruba S.p.A.
Arezzo
[Change Server](#)

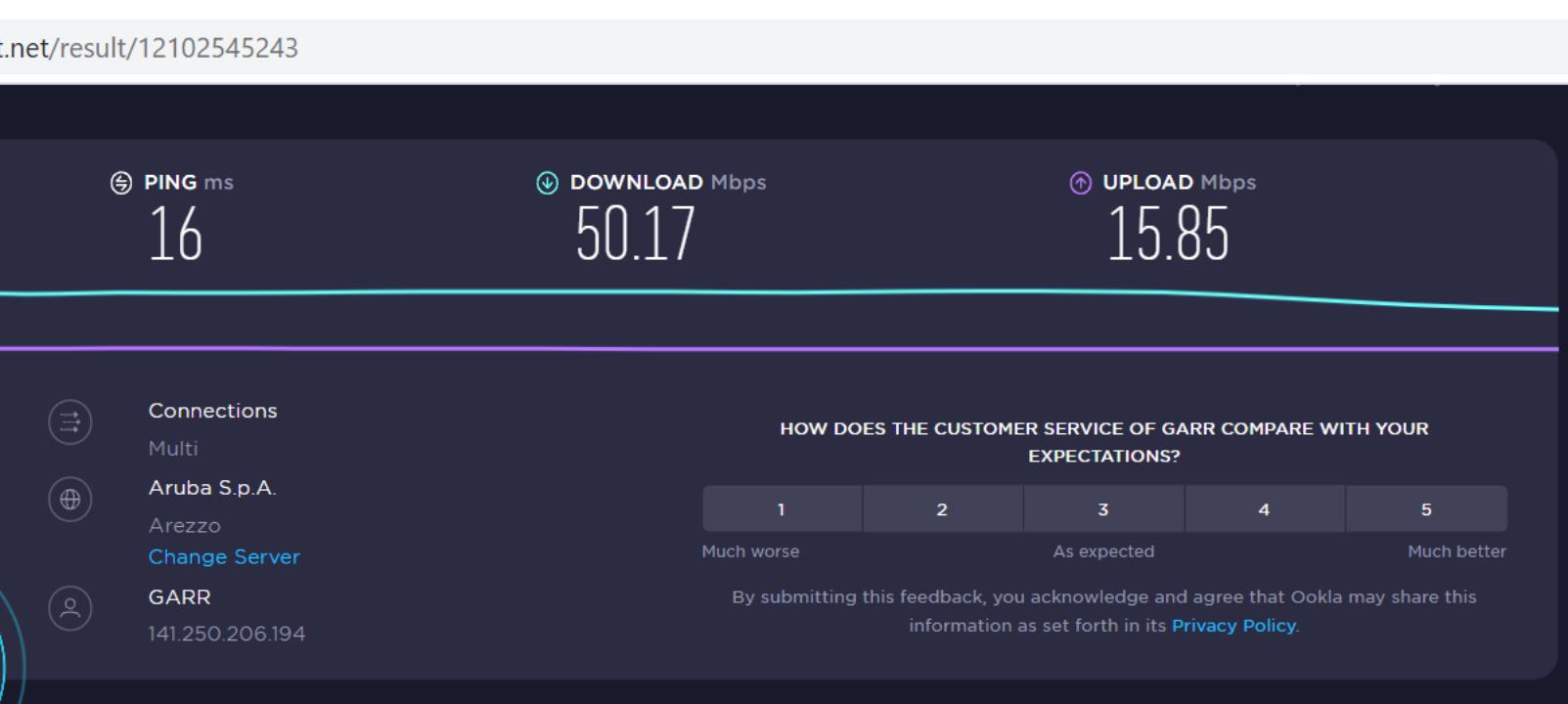
Connections

Multi



Single

STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA' - speedtest



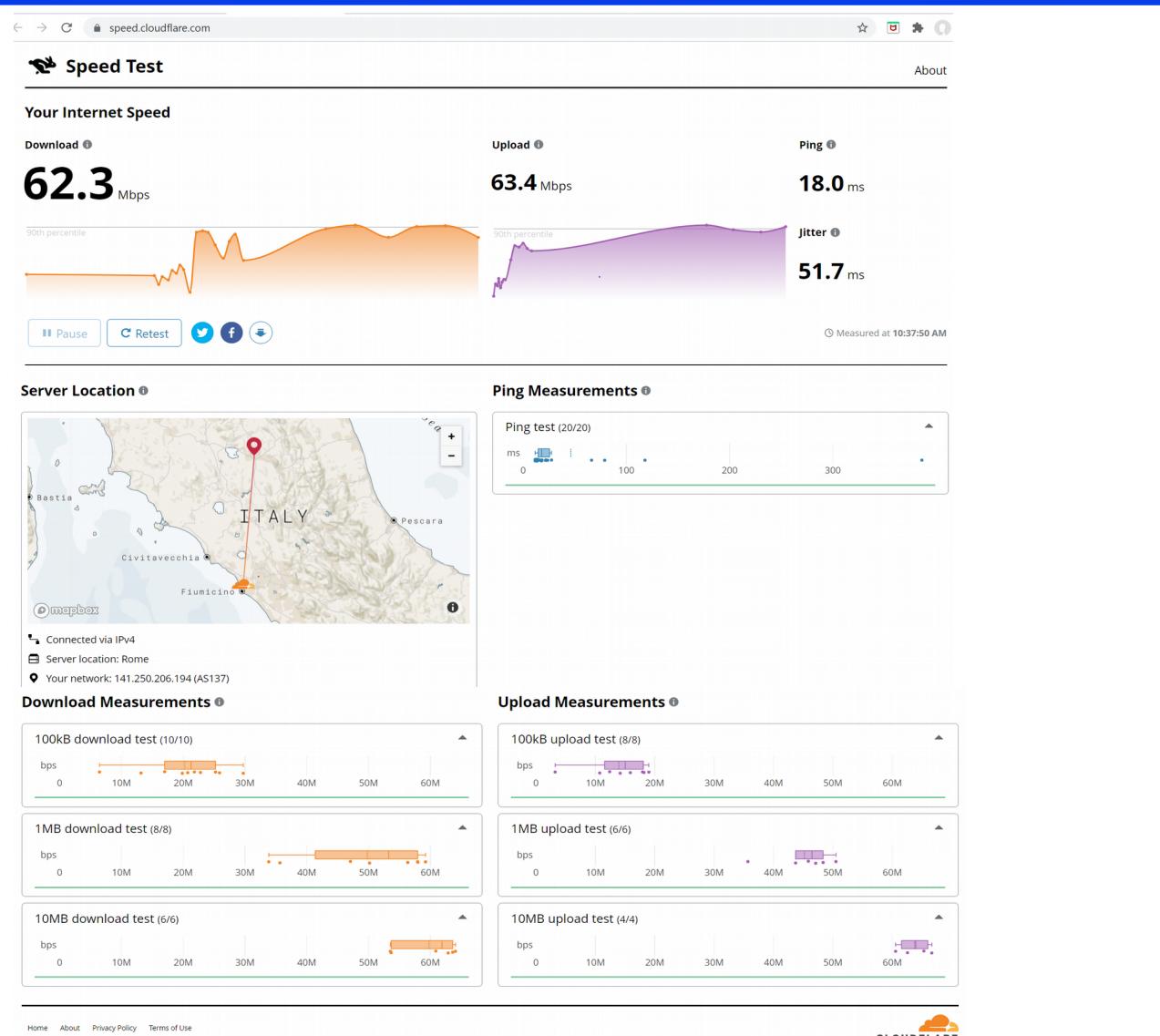
STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA' - pingtest

Ma, come detto, ci sono anche altri fattori, oltre al Ping, che possono influenzare la qualità della vostra connessione a Internet. Come ad esempio il Jitter ed altro. Il sito web <https://speed.cloudflare.com/> sulla falsariga di SpeedTest, offre il test gratuito della vostra rete

ESERCITAZIONE:

PROVATE A TESTARE LA VELOCITA' SU
<https://speed.cloudflare.com/>

STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA' – <https://speed.cloudflare.com>



STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA' - NetIndex

Ookla Net Media, proprietario di speedtest.net, fornisce anche NetIndex, una tra le migliori fonti per le statistiche sulla banda larga realizzate utilizzando dati raccolti dallo stesso Speedtest.net

ESERCITAZIONE:

PROVATE A CONTROLLARE LE STATISTICHE SULLA VELOCITA' SU [NetIndex](#).

STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA' - NetIndex

[OOKLA](#) [SPEEDTEST](#) [PINGTEST](#) [NETINDEX](#)

The Global Standard In Internet Metrics

OOKLA **NET INDEX**

[GO TO MY LOCATION](#)

[FEEDBACK](#) [FAQ](#)

GLOBAL BROADBAND

DOWNLOAD	UPLOAD	QUALITY	VALUE	PROMISE
22.1	10.0	84.8	\$5.41	87.0 %
Mbps	Mbps	R-Factor	USD	

GLOBAL MOBILE

DOWNLOAD	UPLOAD
11.4	4.7
Mbps	Mbps

HOUSEHOLD DOWNLOAD INDEX

ITALY

9.2 Mbps

BROADBAND

DOWNLOAD	UPLOAD	QUALITY	VALUE	PROMISE
9.2	1.9	84.3	5.75	61.0
Mbps	Mbps	R-Factor	Dollars	Percent

MOBILE

DOWNLOAD	UPLOAD
13.0	4.9
Mbps	Mbps

MAP OF ITALY

STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA' – Ne.Me.Sys di Agcom

I test degli strumenti visti non sono però ufficialmente riconosciuti dai gestori telefonici (Internet Service Provider) e non hanno alcun valore legale. Fortunatamente Agcom, l'Autorità Garante per le Telecomunicazioni, ha realizzato MisuralInternet, un sistema di tool e software gratuiti – tra cui Ne.Me.Sys – che permettono di misurare la velocità e altri parametri della rete. In questo caso il test ha valore ufficiale e potrebbe essere utilizzato come “prova” nel caso in cui vogliate recedere dal vostro contratto per “giusta causa”.

ESERCITAZIONE:

Andate sul sito di Agcom [MisuralInternet](#) . ATTENZIONE: il test non si può fare se siete su VPN (reti virtuali private).

STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLA VELOCITA' – Ne.Me.Sys di Agcom

The screenshot shows the homepage of misurainternet.it/info_nemesys/. The header features the AGCOM logo and a blue navigation bar with links for 'Misura', 'Compara', 'Approfondisci', 'Bisogno di aiuto?', and 'Come fare reclamo'. On the left, there's a section for 'Misurainternet' with a logo and the text 'Misura la qualità di internet in Italia'. In the center, the AGCOM logo is displayed with the text 'AUTORITÀ PER LE GARANZIE NELLE COMUNICAZIONI'. To the right, there are logos for 'Iscom' and 'FUB Ricerca e Innovazione'. The background has a dark blue gradient.

Home / Approfondisci / La misura certificata con Ne.Me.Sys.



TIPI DI CONNESSIONE

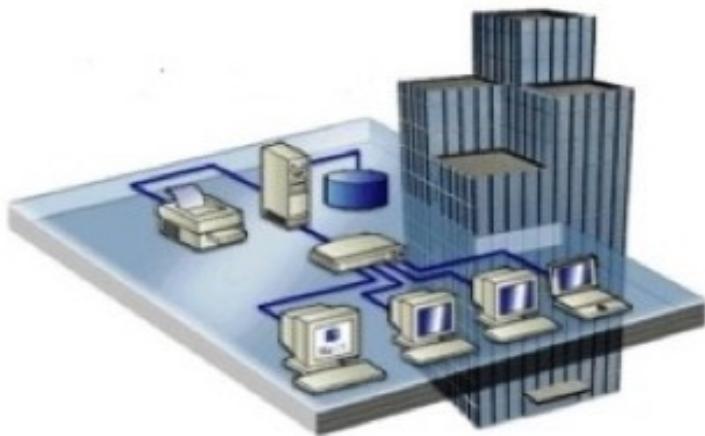
- Point-to-point
 - collegamento tra due DTE ottenuto mediante linea telefonica o dedicata
- Multi-punto
 - collegamento condiviso tra più DTE
 - ★ l'intera capacità del canale va condivisa fra tutti i DTE;
 - ★ la condivisione può avvenire:
 - temporalmente se l'accesso al mezzo trasmissivo è esclusivo (a turni), oppure
 - condivisione dello spazio del canale qualora sia ammesso uso simultaneo.

CLASSIFICAZIONE FISICA DELLE RETI

Le reti sono classificate in base alla dimensione fisica:

- Reti geografiche o **WAN** (Wide Area Network)
- Reti locale o **LAN** (Local Area Network)
- Reti metropolitane o **MAN** (Metropolitan Area Network)
- Reti per applicazioni mobili (**wireless**).

CLASSIFICAZIONE FISICA DELLE RETI



LAN



LE RETI WAN

Le reti **WAN** hanno le caratteristiche seguenti:

- grandi senza limitazioni
- i DTE possono essere molto distanti tra di loro
- uso di linea telefonica
- velocità da 1200 bit/sec ai Gbit/sec

LE RETI LAN

Le reti **LAN** hanno le caratteristiche seguenti:

- tipicamente non superano 1 o 2 Km di estensione
- solitamente ad uso privato
- allocata in un singolo ufficio
- velocità da qualche Mbps a migliaia di Mbps (Gbps)
- spesso vengono progettate per condividere risorse (stampanti, dischi, software, ecc.)
- è possibile che ci siano DTE che fungono da *server*
- solitamente una LAN utilizza un solo tipo di mezzo trasmittivo.

LE RETI WLAN

Le reti **WLAN** sono **LAN wireless** senza fili :

- Reti locali da interno o interconnessione di edifici
- Copertura di aree pubbliche tramite uso di *hotspot*
- Lo spettro radio sostituisce il cavo
- Velocità di 140Mbps e 20 MHz di canale.



LE RETI MAN

Le reti **MAN** sono reti a livello cittadino:

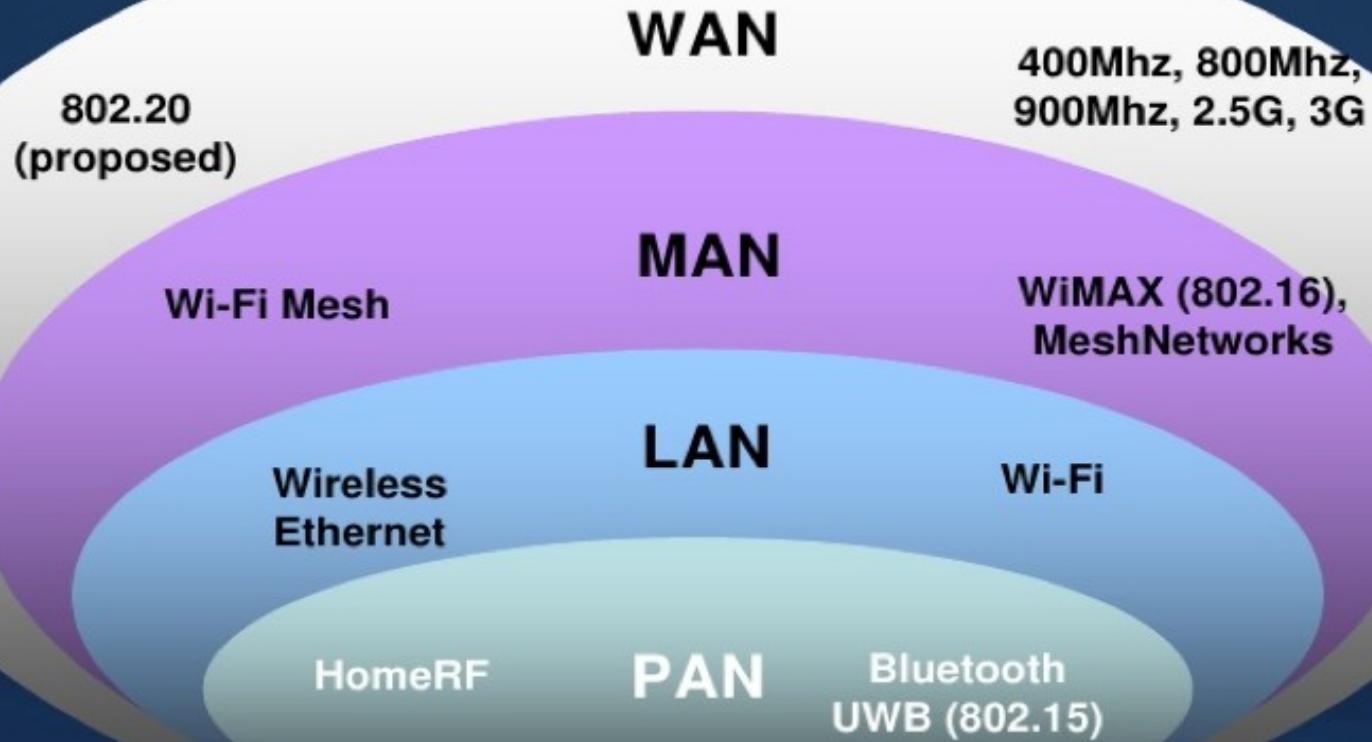
- solitamente fibra ottica
- Vengono utilizzate come reti ad alta velocità per interconnettere centrali tra differenti quartieri

LE RETI WIRELESS

Le reti **wireless** sono reti di comunicazione mobili private o reti di comunicazione mobili pubbliche. Comprendono:

- WLAN (IEEE 802.11 – Wireless LAN (Wi-Fi))
- WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access o IEEE 802.16x)
- IEEE 802.20 per applicazioni nomadi
- CDPD (Cellular Digital Packet Data) per accesso wireless al router di un ISP con i protocolli:
 - HSPDA (High Speed Downlink Packet Access)
 - HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)
 - LTE (Long Term Evolution)

LE RETI WIRELESS



TOPOLOGIA DELLE RETI

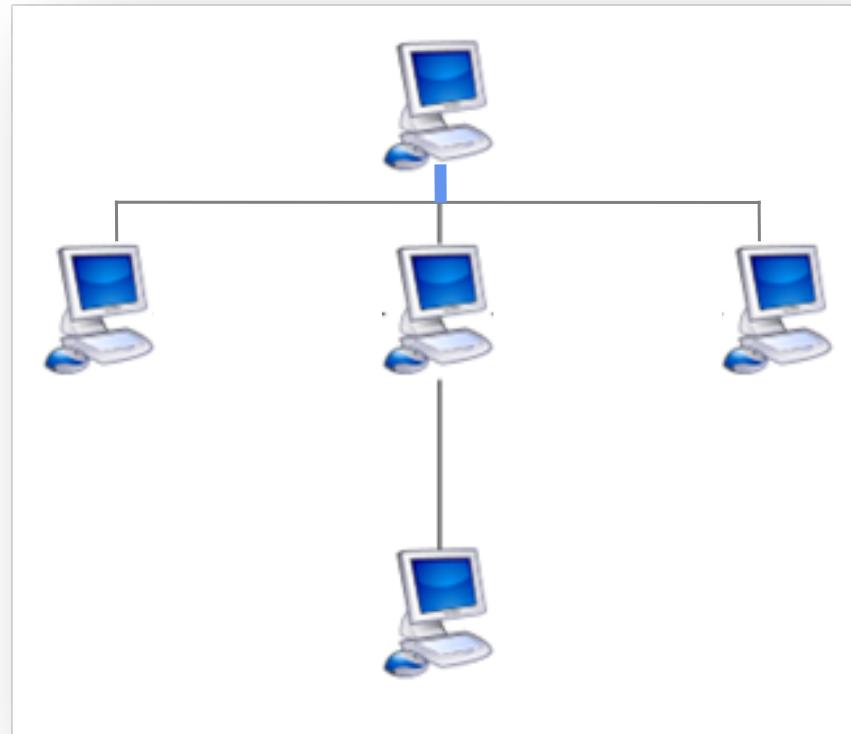
La **topologia** di una rete è la configurazione geometrica dei collegamenti fra i vari componenti della rete.

Le varie topologie sono volte al conseguimento dei seguenti obiettivi:

- massima stabilità
- alto rendimento complessivo
- minimizzazione costi

RETE AD ALBERO

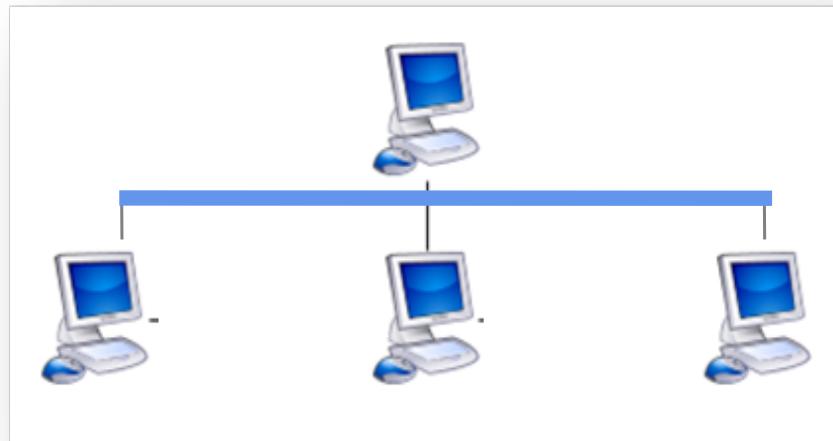
Stazioni a vari livelli: livello centrale di massima importanza; fornisce struttura semplice ma vulnerabile.



RETE A DORSALE

Collegamento multi punto, ambito LAN, rete *broadcast* su [ethernet](#), caratterizzata da facilità di installazione.

In pratica il cavo formava la spina dorsale fisica (backbone).



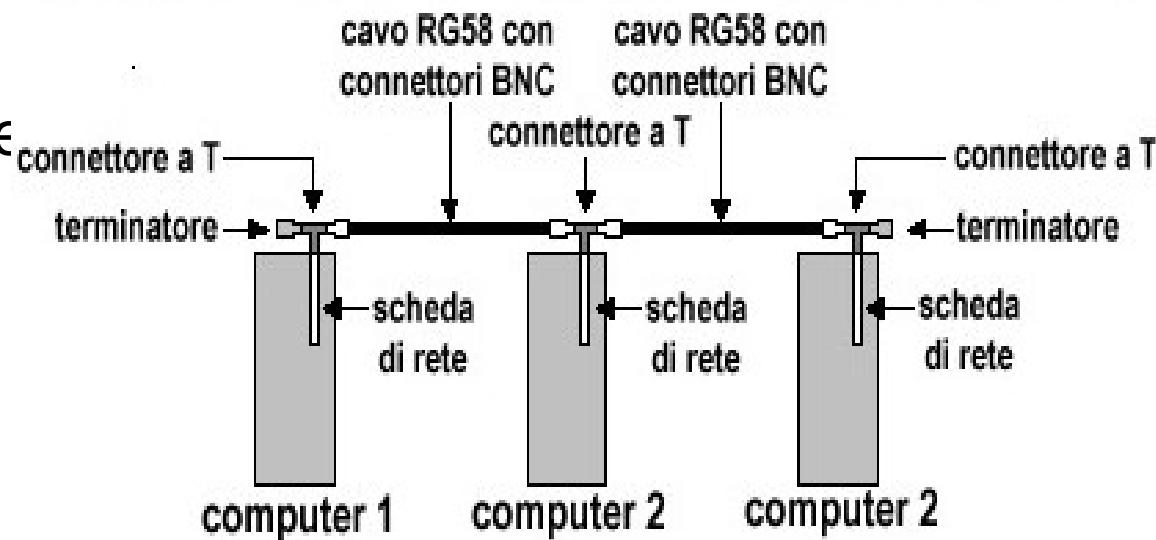
RETE A DORSALE

Esempio di vecchio schema di ethernet LAN con cavo 10BASE-2

Dove 10 = 10Mb/s chiamato thin-net.

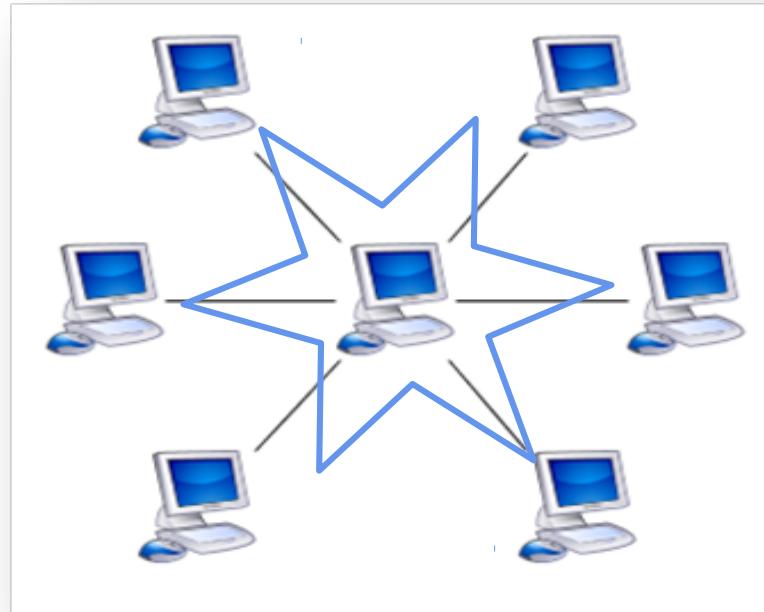
Queste reti richiedevano anche che una speciale terminazione (una impedenza da 40 o 50 Ohm) fosse installata alla fine dei segmenti del cavo. Se questi attacchi venivano accidentalmente rimossi o si guastavano, quell'intero segmento di rete smetteva di funzionare.

Queste tecnologie cablate richiedevano giunti metallici di discrete dimensioni denominati connettori BNC.



RETE A STELLA

Ogni nodo è connesso con un collegamento punto-a-punto ad un dispositivo centrale, è simile alla rete ad albero. Risulta più economica di quella a maglia completa (mesh). Se un collegamento si interrompe, solo il nodo collegato ne subisce le conseguenze.

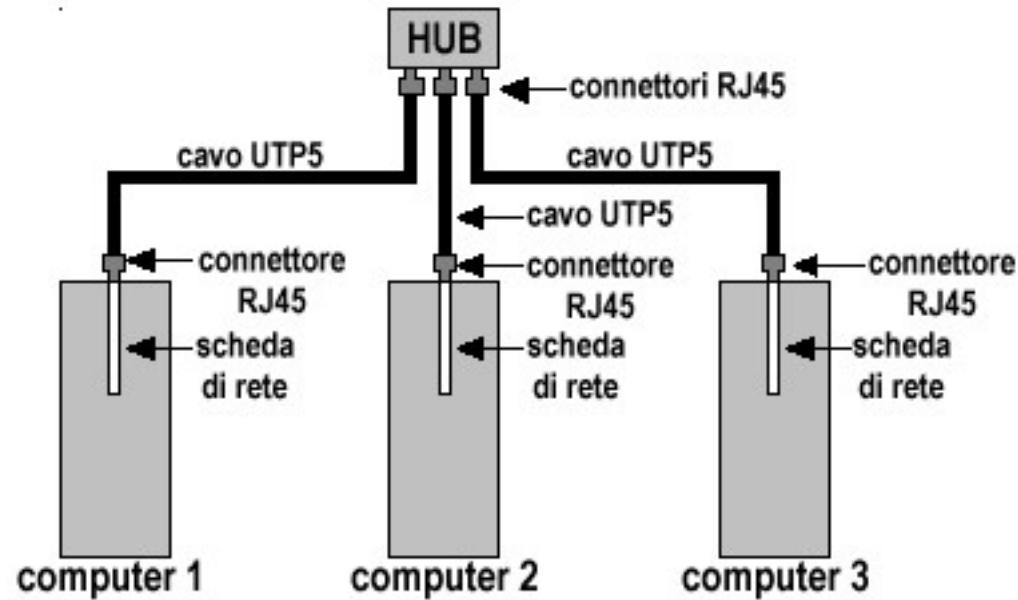


RETE A STELLA

Es.: **Ethernet** con topologia a stella - 100baseT e 1000baseT.

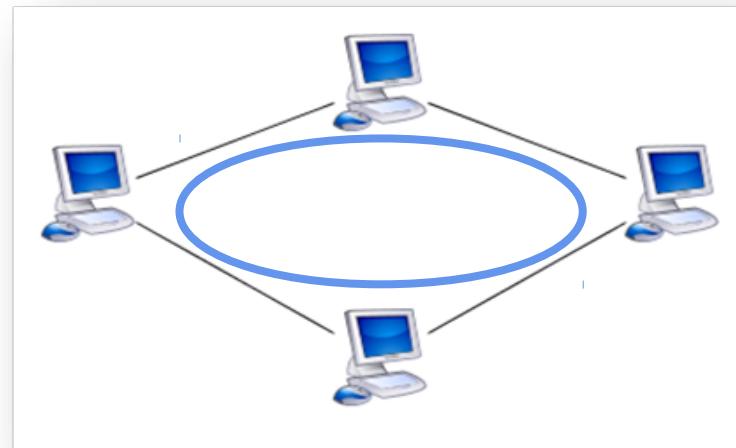
Dove T indica l'introduzione del doppino ritorto non schermato UTP (Unshielded Twisted Pair) e cavi terminati con connettori plastici RJ45, l'hub divenne di fatto il nuovo backbone.

Lavorare con i cavi di tipo UTP si dimostrò non solo molto più semplice ma talmente più produttivo, che l'UTP divenne ben presto lo standard indiscusso su tutte le nuove installazioni.



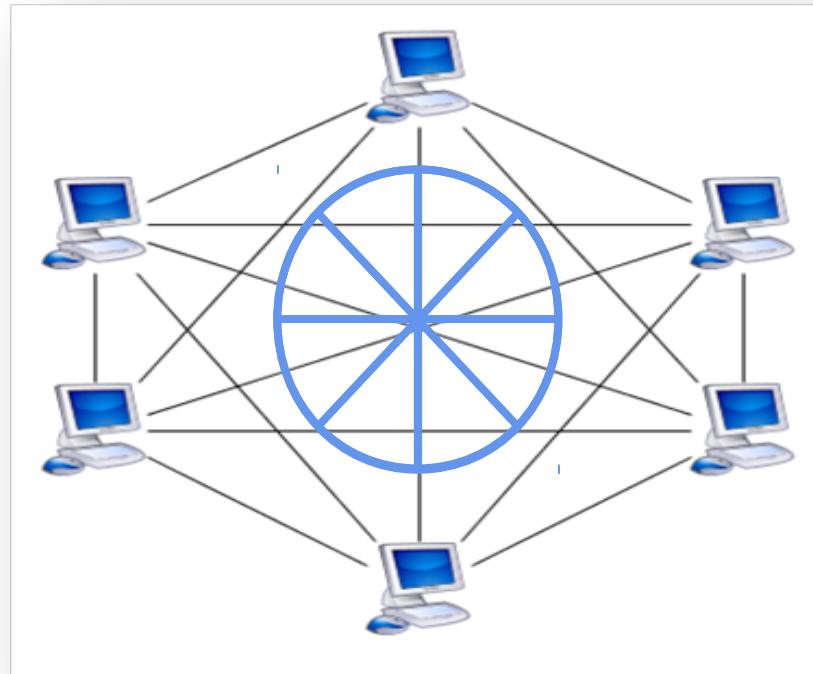
RETE AD ANELLO

Molto utilizzata in passato in ambito LAN, come *token ring* IEEE802.5: ogni nodo ha un collegamento punto-a-punto con solo due altri nodi (precedente e successivo). Trasmissione unidirezionale: ogni nodo ha un ripetitore che rigenera segnale; di facile installazione e configurazione, con semplice isolamento guasti; tuttavia se il collegamento principale si interrompe, la rete diventa non utilizzabile. Si noti che si può ovviare a quest'ultima eventualità prevedendo un secondo anello interno.



RETE A MAGLIA (MESH)

Tutti i nodi sono collegati tra di loro (maglia completa), con un fattore di costo pari a $N(N-1)/2$, poiché ogni nodo ha collegamento punto-a-punto con gli altri. Ogni apparato è allo stesso tempo in grado di trasmettere, ricevere e inoltrare dati.



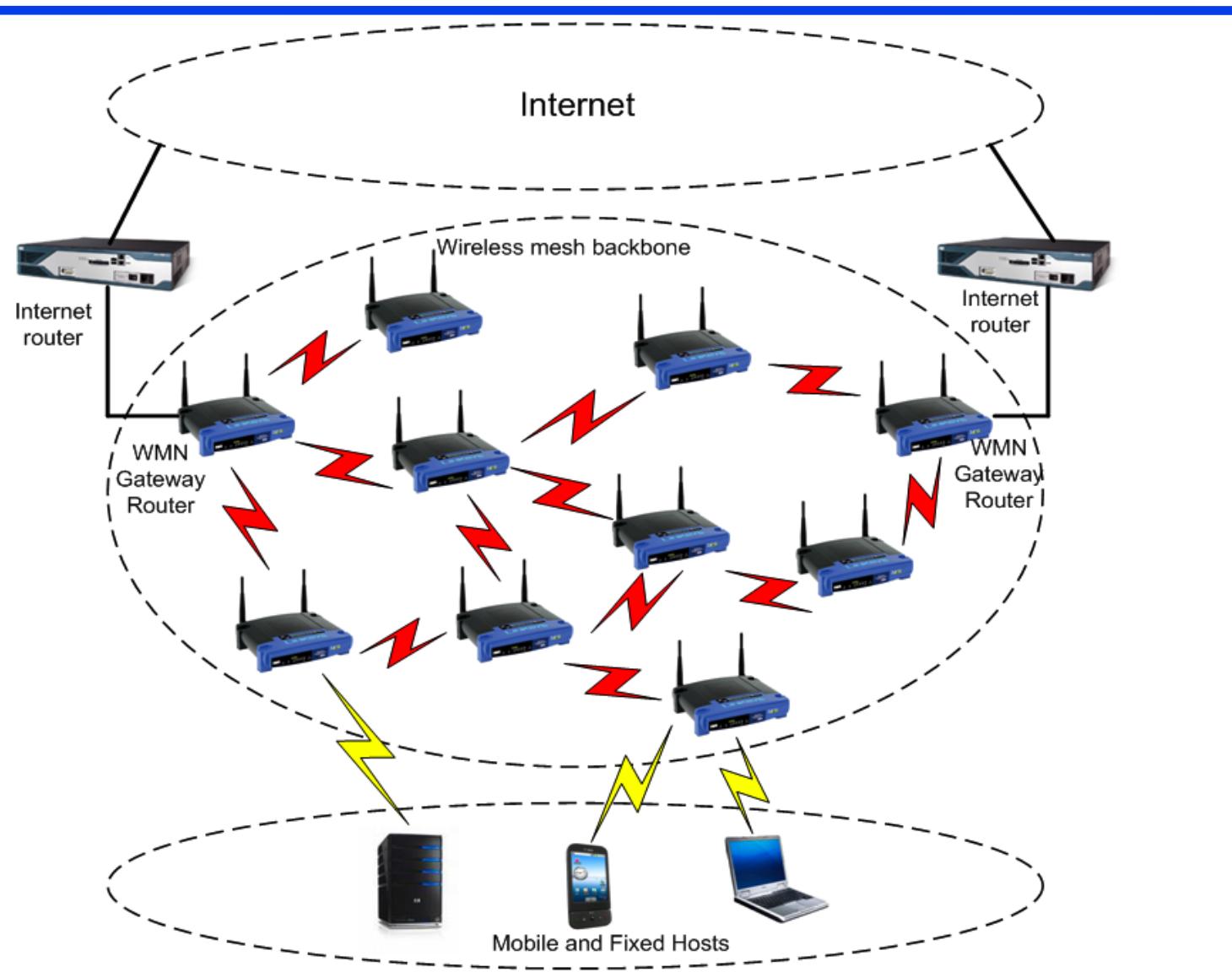
RETI MESH

Reti realizzate con combinazione di nodi fissi e mobili interconnessi tra di loro con link wireless per formare una rete auto-configurante multi-hop. Le apparecchiature utente hanno una parte attiva, potendo operare da terminali ma anche come *router* per altri nodi, estendendo copertura di rete.

Grande affidabilità dovuta alla **capacità di gestire in maniera dinamica il malfunzionamento sia di collegamenti radio che di componenti hardware della rete.**

Monitoraggio in tempo reale dei percorsi disponibili per raggiungere una determinata stazione, selezionando in tempo reale il percorso ottimale per raggiungerla.

RETI MESH



RETI MESH

Il mezzo di trasmissione radio è soggetto ad altissimo tasso di errore, rendendo necessario lo sviluppo di protocolli di routing ottimizzati per il mondo wireless.

La *maglia* realizzata tra i wireless routers e gli access points forma il ***wireless backhaul multihop***, sistema di comunicazione che fornisce ad ogni utente mobile servizi a basso costo di interconnessione *multihop* a banda larga con un numero limitato di punti di accesso ad Internet.

Backhaul network = rete di comprendente i nodi intermedi tra dorsale e nodi periferici

Mesh quindi fa riferimento a tecnologia nata per **fornire una soluzione di comunicazione wireless in mobilità e a larga banda**

RETI MESH

Mesh risolve le seguenti esigenze:

- Trasmissione in movimento a oltre 400 Km/h
- Trasmissione simmetrica (fra *uplink* e *downlink*)
- Limiti della banda in strutture ad albero
- Reti *ad-hoc* senza infrastruttura
- Configurazione automatica
- Radiolocalizzazione senza GPS
- Resistenza alle interferenze
- 100% degli IP utilizzabili (in opposizione alle reti con IP specifici deputati a funzioni di broadcast o altro)
- Sicurezza nelle comunicazioni

WI-FI vs MESH

Nelle reti WiFi un guasto di un nodo di rete implica indisponibilità del servizio per tutti gli utenti sotto al nodo:
invece

nelle reti Mesh si ha maggiore tolleranza ai guasti, maggiore flessibilità nella pianificazione e realizzazione.

Di fatto, l'infrastruttura Mesh fornisce una soluzione attraente dal punto di vista economico per realizzazione di reti wireless stabili *broadband* su larga scala.

I PROTOCOLLI SECONDO ISO-OSI

Il colloquio tra due DTE o DCE è governato da un insieme di regole che vanno sotto il nome di protocolli.

Compito dei protocolli è:

- Gestire il flusso dei dati e i loro scambi
- Controllare gli errori di trasmissione e provvedere alle correzioni
- Provvedere alla sincronizzazione fra due DTE
- Dare una struttura formale ai dati trasmessi che permetta di distinguerli da quelli di controllo.

I PROTOCOLLI SECONDO ISO-OSI

A seconda che la relazione tra stazioni DTE remote sia di tipo primario/secondario, alla pari o un ibrido tra le due, è possibile dividere i protocolli in:

- Ambito primario/secondario:
 - Polling>Selecting
 - BSC
 - HDLC
 - SNRM
 - RTS/CTS
 - Xon/Xoff
 - Stop and Wait
 - ARQ

I PROTOCOLLI SECONDO ISO-OSI

- Ambito delle relazioni ibride:
 - HDLC
 - PPP
 - MPLS
- Ambito delle relazioni *peer to peer*:
 - TDM, Time Division Multiplexing
 - FDM, Frequency Division Multiplexing
 - SDH, Synchronous Digital Hierarchy

IL PROTOCOLLO RTS-CTS

Request-to-Send/Clear-To-Send

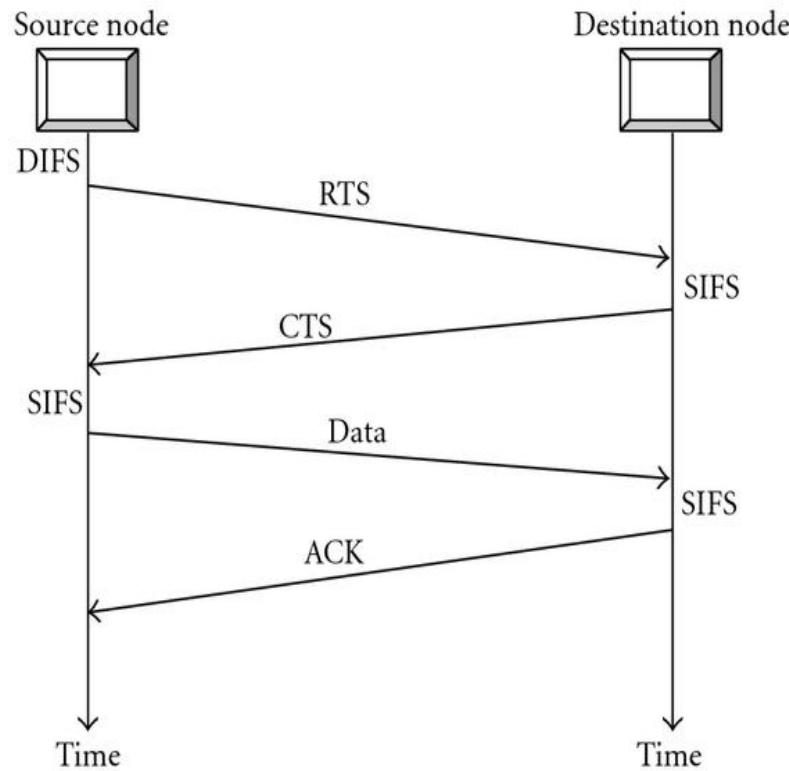
si basa su interfaccia RS-232 (interfaccia seriale):

una stazione che vuole trasmettere invia una apposita richiesta alla stazione master (attivando segnale RTS), se il master può asservire tale richiesta, autorizza la stazione a trasmettere (risposta CTS) sia il suo primo messaggio che quelli successivi.

Questa procedura, che si basa sulla rispondenza tra segnali con corretta temporizzazione è chiamata **handshake**.

Durante la trasmissione il master conserva la possibilità di interrompere il flusso per una qualsiasi ragione: rimuovendo lo stato RTS.

IL PROTOCOLLO RTS-CTS

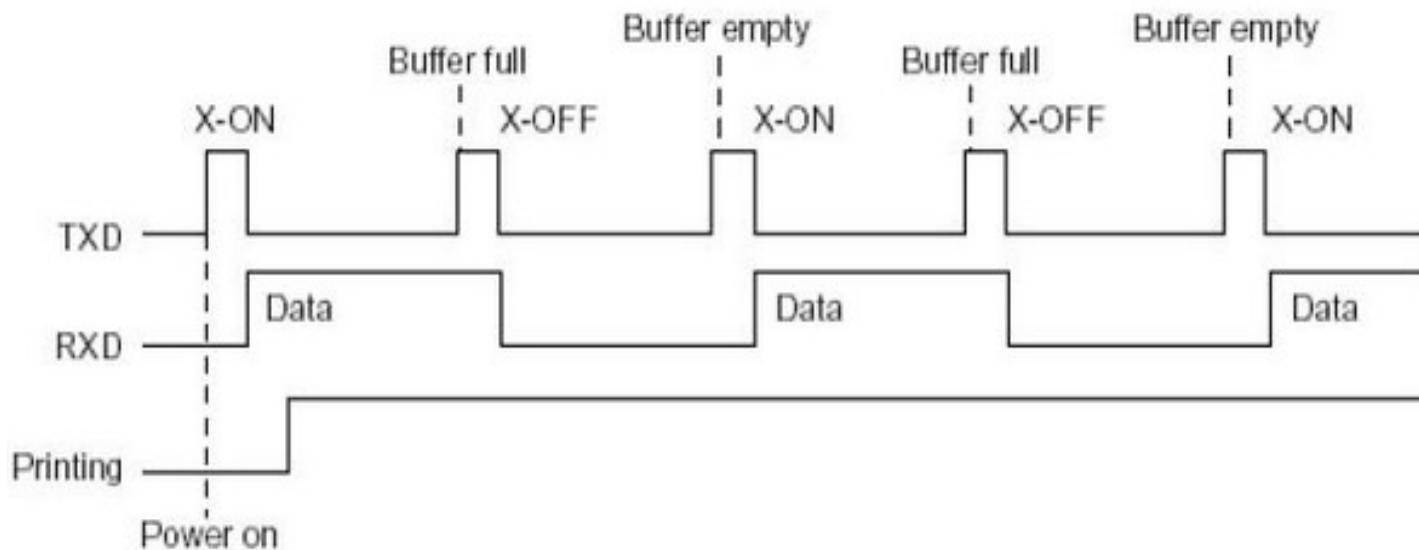


IL PROTOCOLLO XON-XOFF

Tipicamente usato tra computer e terminali posti vicini tra loro:
i codici Xon e Xoff corrispondono a 2 distinte configurazioni del codice ASCII, usato dalle stazioni.

La stazione primaria invia dati ad un terminale, questi ultimi vengono memorizzati dal terminale per essere utilizzati: se la memoria del terminale si riempie, il terminale stesso invia il carattere XOFF che impedisce l'emissione di nuovi blocchi; appena il DTE ritorna in grado di memorizzare, invia il carattere XON e la stazione primaria torna a trasmettere.

IL PROTOCOLLO XON-XOFF



IL PROTOCOLLO ARQ

Automatic Repeat ReQuest altrimenti noto come Automatic Repeat Query è un protocollo Full Duplex.

Utilizzando il concetto di finestra (scorrevole) può migliorare l'efficienza della trasmissione, cioè sfruttarne meglio il canale.

Il messaggio spedito viene diviso in sequenze di frame: il protocollo prevede di spedire più frames prima di ricevere un qualsiasi riscontro. Quest'ultimo potrebbe essere costituito da due numeri di sequenza (0 e 1), poiché è sufficiente distinguere solo un frame da quello successivo.

Nel caso di più frames inviati contemporaneamente, occorrono m bit che permettono di distinguere fino a 2^m sequenze (da 0 a 2^m-1).

IL PROTOCOLLO ARQ

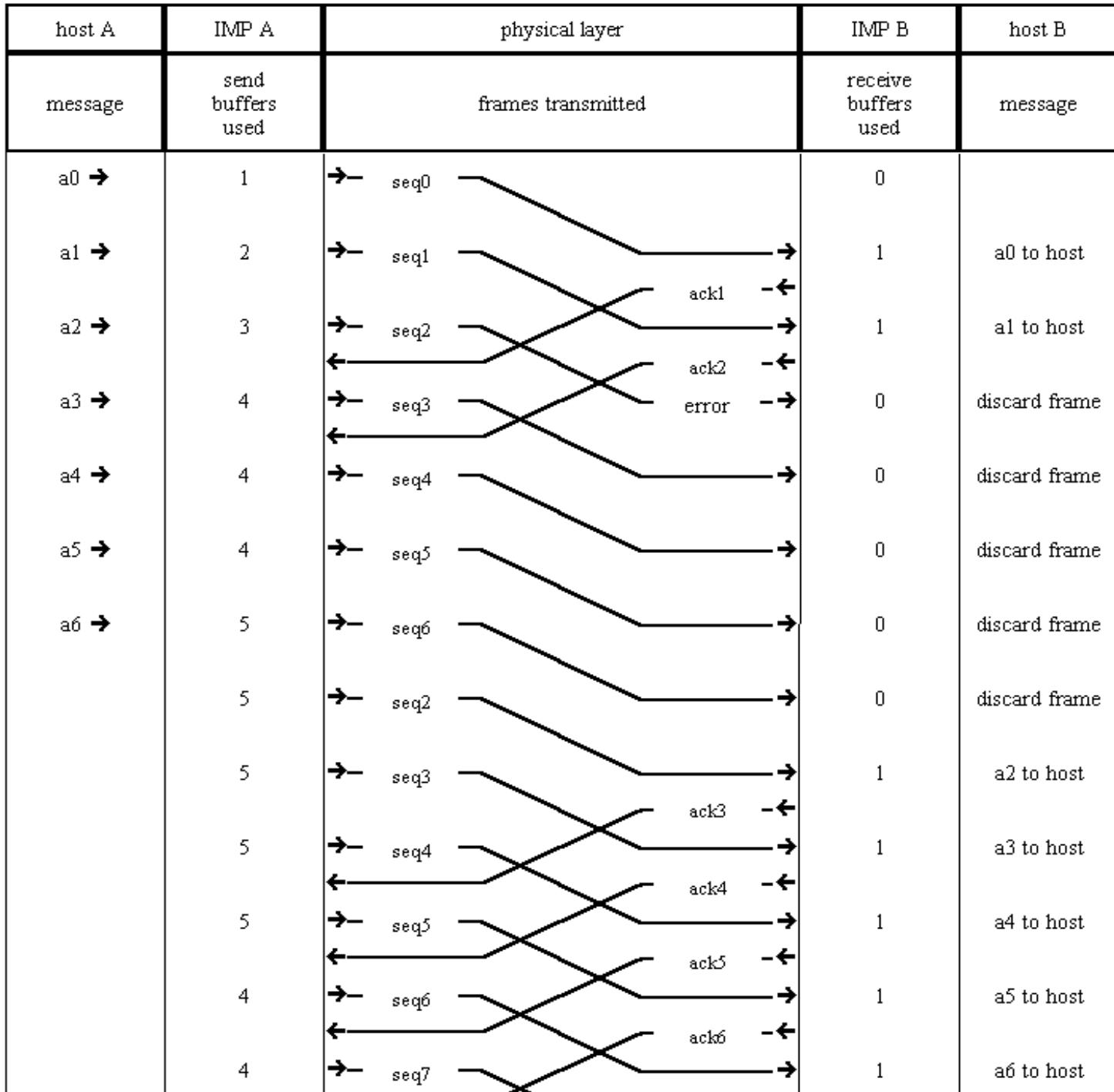
La finestra del mittente specifica i frame che il mittente può spedire in quel momento, di contro la finestra del destinatario specifica i frame che il destinatario può ricevere nel dato momento.

Nelle metodologie di gestione dell'errore, è possibile adottare:

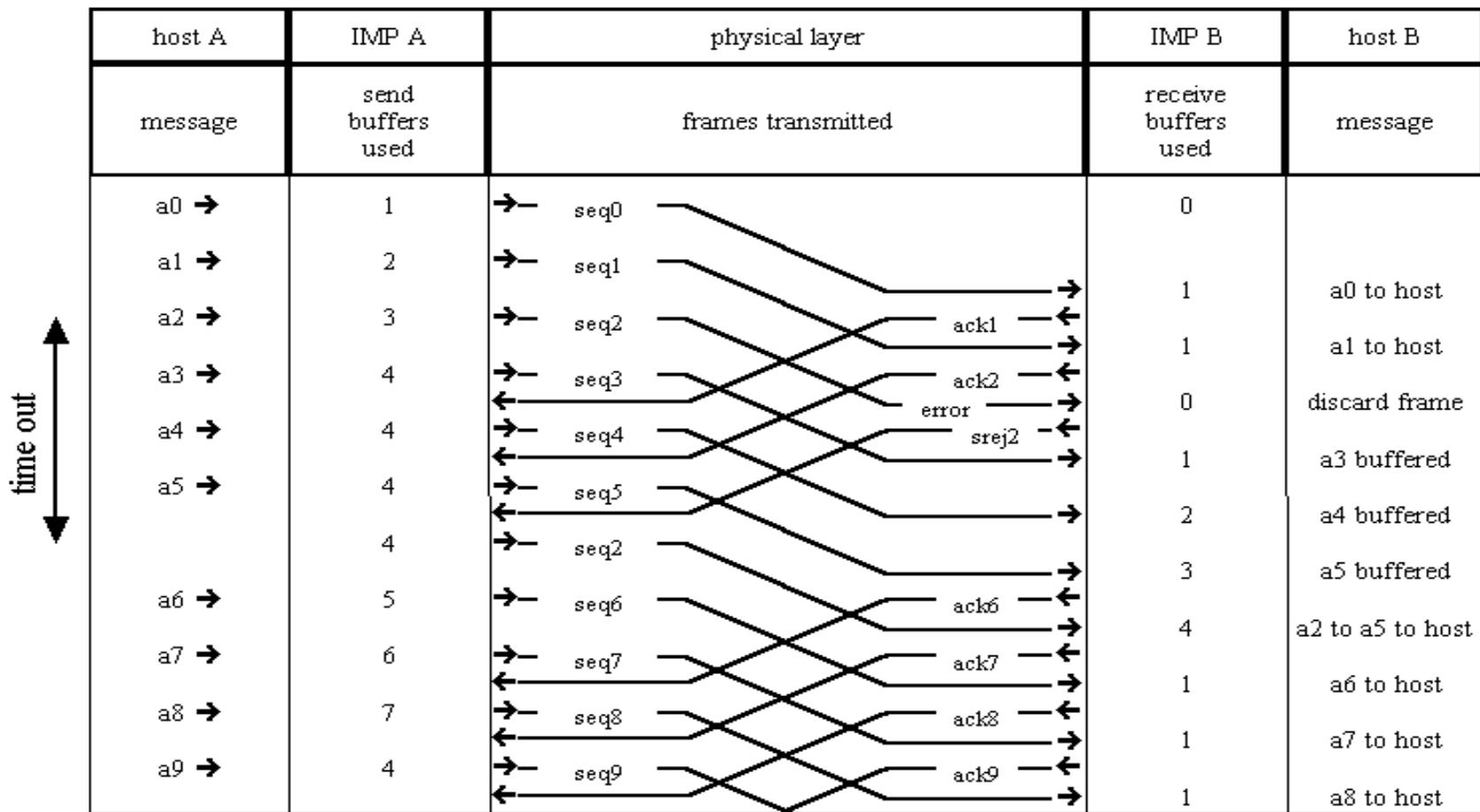
- Metodo ***Go-back-N***: un frame danneggiato implica ritrasmissione di N frame
- Metodo ***selettivo***: vengono ritrasmessi solo i frames danneggiati.

IL PROTOCOLLO ARQ: Go-back-N

↑ time out ↓



IL PROTOCOLLO ARQ: *Selettivo*



LA TRASMISSIONE DATI

La principale funzione dello **strato fisico** è quello di **trasportare dati**. Per far ciò i segnali devono essere in qualche modo adattati al trasporto.

Si ricorda prima di tutto che i segnali possono essere sia *analogici* che *digitali*:

- analogico è un segnale inteso come una rappresentazione continua nel tempo,
- digitale si riferisce ad una rappresentazione discreta.

Ogni tipo di dato può essere rappresentato nei due modi, ma nei DTE si usa una rappresentazione digitale: ogni dato viene trascritto sotto forma di sequenze di 0 e di 1.

LA TRASMISSIONE DATI

Il trattamento cui sottoporre questi dati è di due tipi:

- conversione in un differente tipo di segnale digitale
- conversione in un segnale analogico (modulazione)

Come i dati che rappresentano, anche i segnali possono essere sia analogici che digitali:

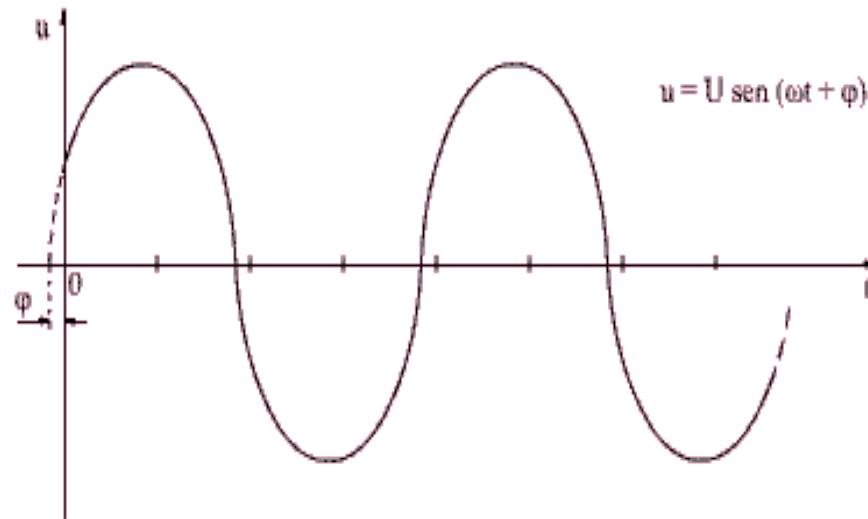
- un segnale analogico avrà per definizione infiniti livelli di intensità,
- un segnale digitale avrà solo i livelli 0 e 1

SEGNALI SINUSOIDALI

Un segnale sinusoidale è un segnale che varia nel tempo secondo una legge del tipo: $U = U \sin(\omega t + \Phi)$

dove t è il tempo trascorso, ω è la velocità angolare e il Φ è il cosiddetto sfasamento o fase.

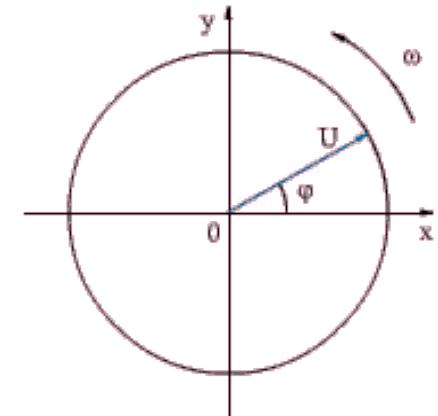
La curva descritta dal segnale nel tempo prende il nome di sinusoide.



SEGNALI SINUSOIDALI

Applicando le proprie conoscenze di trigonometria si giunge facilmente a riconoscere che tale curva rappresenta istante per istante il valore del seno dell'angolo descritto da un segmento che ruota con un estremo vincolato all'origine degli assi cartesiani, in senso antiorario e con velocità di rotazione angolare ω . Come si può notare U rappresenta l'ampiezza del segmento e quindi l'ampiezza massima del segnale. La quantità ϕ rappresenta il cosiddetto sfasamento, cioè l'angolo che il segmento rotante forma con l'asse x all'istante 0.

Questo valore determina quanto vale il segnale all'istante. Ad esempio, all'istante $t = 0$ avremo: $U(0) = U \sin(\omega t + \phi) = U \sin \phi$

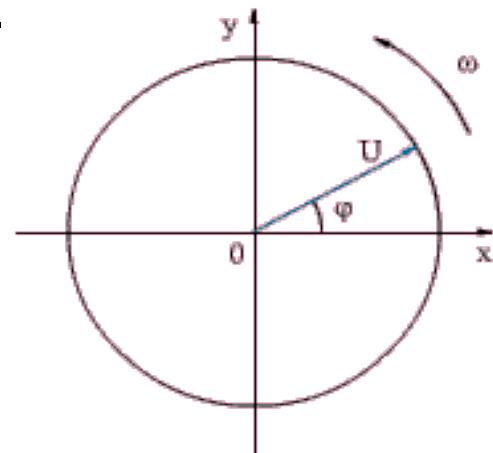


SEGNALI SINUSOIDALI

Poiché il segmento ruota, ritornerà ad un certo punto nella posizione di partenza per cui il segnale sinusoidale riassumerà gli stessi valori.

La velocità di rotazione angolare determina quindi il numero di volte che in un secondo il segmento effettua un giro completo e il segnale si ripete identicamente.

Il numero di volte che il segmento effettua un giro completo prende anche il nome di **frequenza** f e la sua unità di misura è dunque l'inverso del tempo e prende anche il nome di **Hertz** = $1/t$.

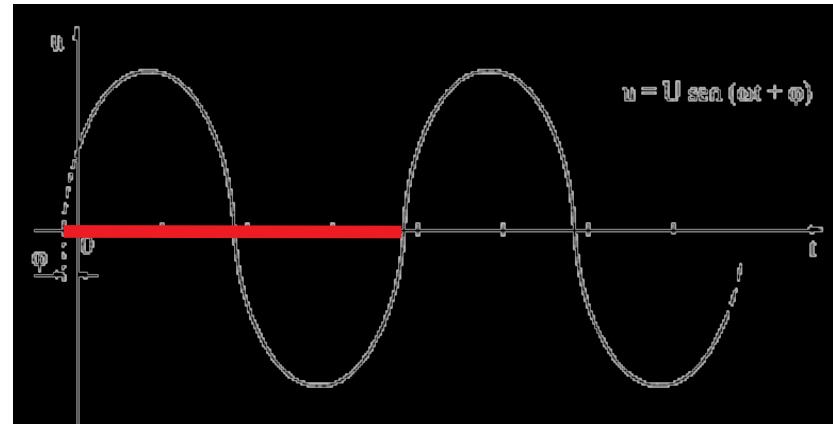


SEGNALI SINUSOIDALI

Dire che un segnale ha una frequenza di un kilohertz significa ad esempio che il segmento che ne descrive il comportamento nel tempo percorrerà al circonferenza completa 1000 volte al secondo e quindi il segnale sinusoidale si ripeterà 1000 volte al secondo.

Poiché un angolo completo è pari a 2π allora la velocità con cui il segmento percorre la circonferenza è data da $2\pi f$.

L'intervallo di tempo che passa prima che il segnale si ripeta identicamente prende il nome di **periodo**.



SEGNALI SINUSOIDALI

Chiaramente il numero di periodi è pari alla frequenza per cui la durata di ogni periodo è data dall'unità di tempo diviso la frequenza cioè $T = 1/f$. Ad esempio un segnale con frequenza pari ad 1KHz ha periodo di 1/1000 secondi = 1 millisecondo.

Altra caratteristica fondamentale di un segnale

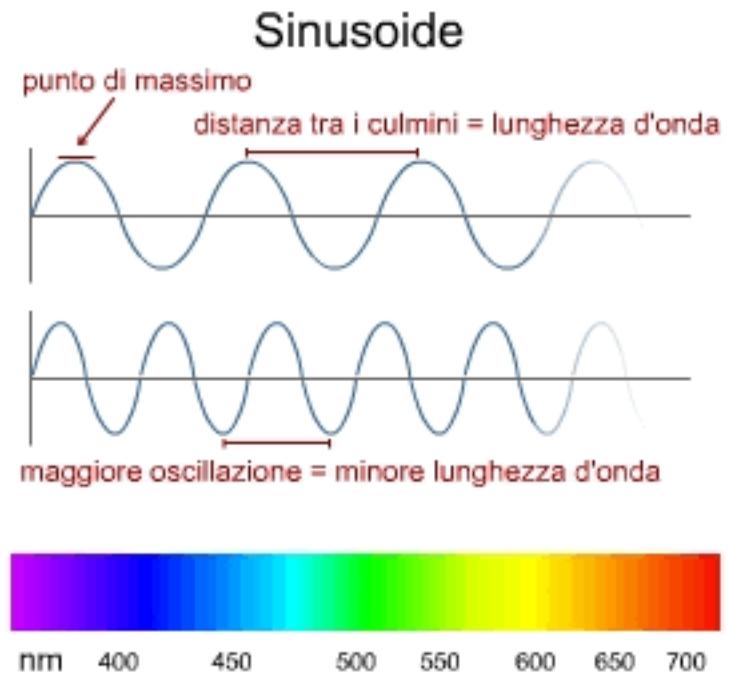
è la sua **lunghezza d'onda** λ che mette in

relazione la frequenza e la velocità di

trasmissione, secondo $\lambda = \frac{c}{f}$

dove c è la velocità di propagazione del segnale

(quella della luce è 300.000 Km/sec).

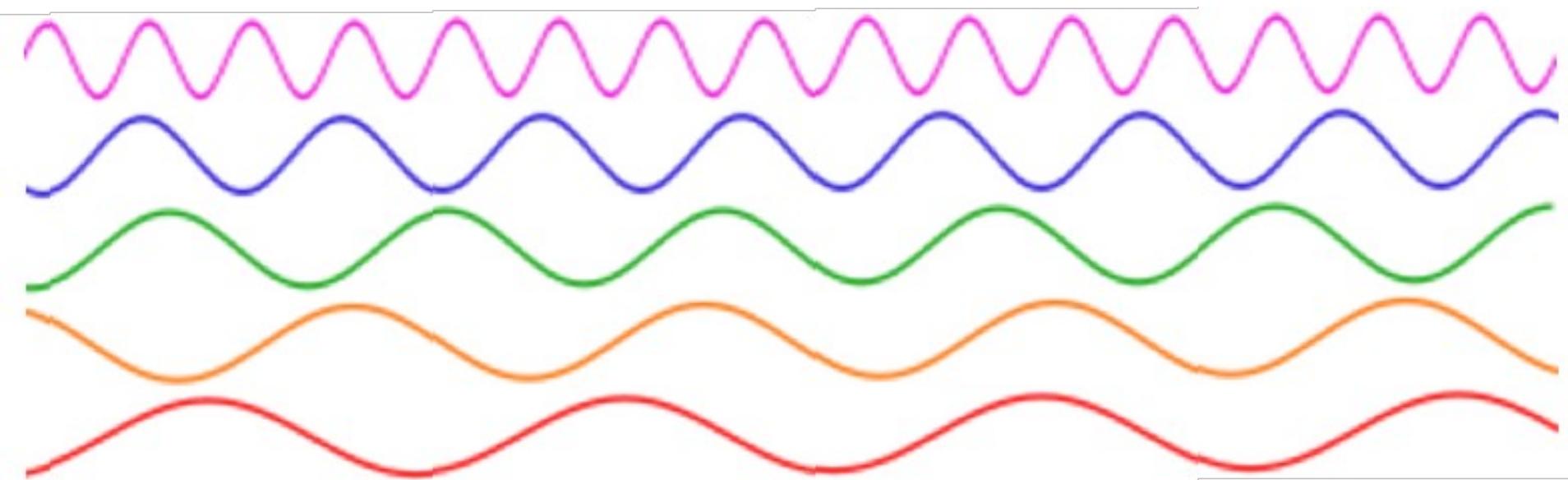


nm 400 450 500 550 600 650 700

SEGNALI SINUSOIDALI

Si può aggiungere che per un segnale elettrico si può anche parlare di **spettro** e di **larghezza di banda**.

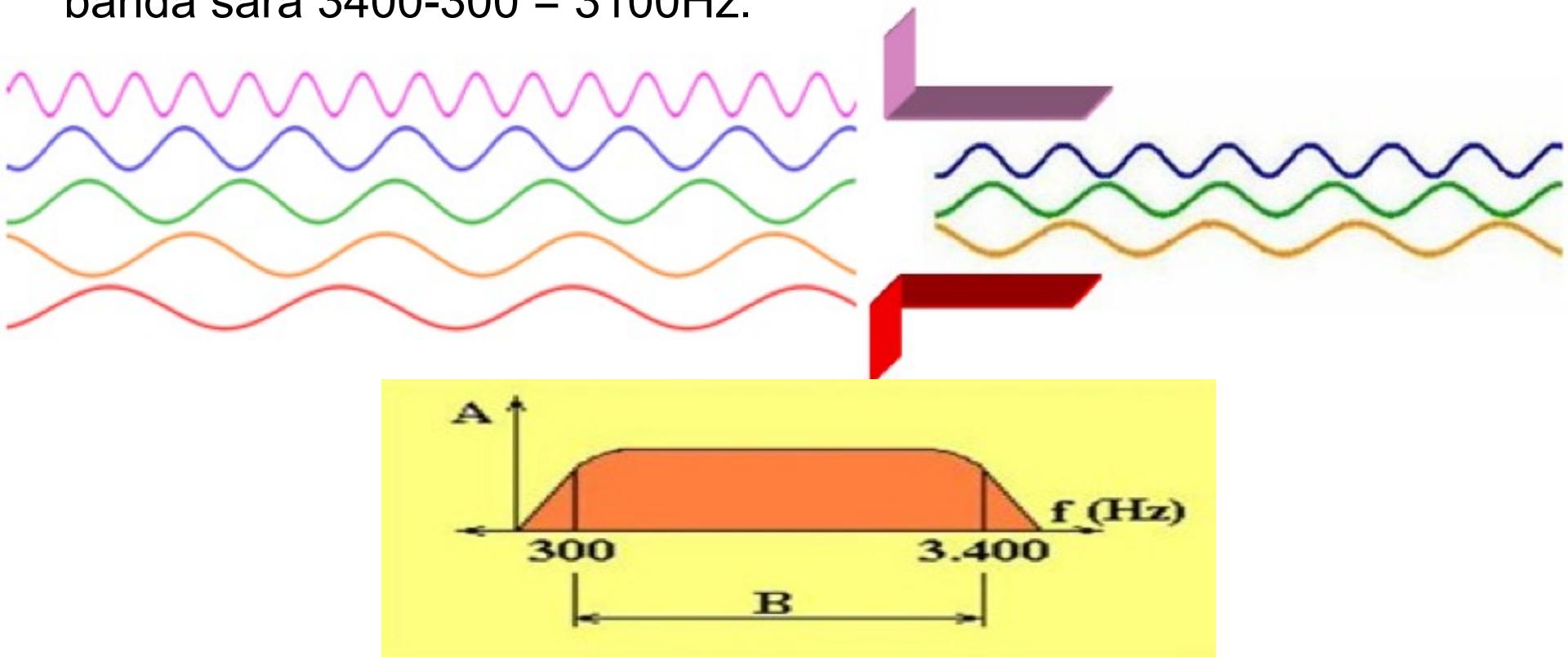
Lo **spettro** è l'insieme delle frequenze che il segnale contiene.



SEGNALI SINUSOIDALI

La **larghezza di banda** è l'intervallo delle frequenze contenute in un segnale composto.

Se un segnale trasmette da 300Hz a 3400Hz, la sua larghezza di banda sarà $3400 - 300 = 3100\text{Hz}$.



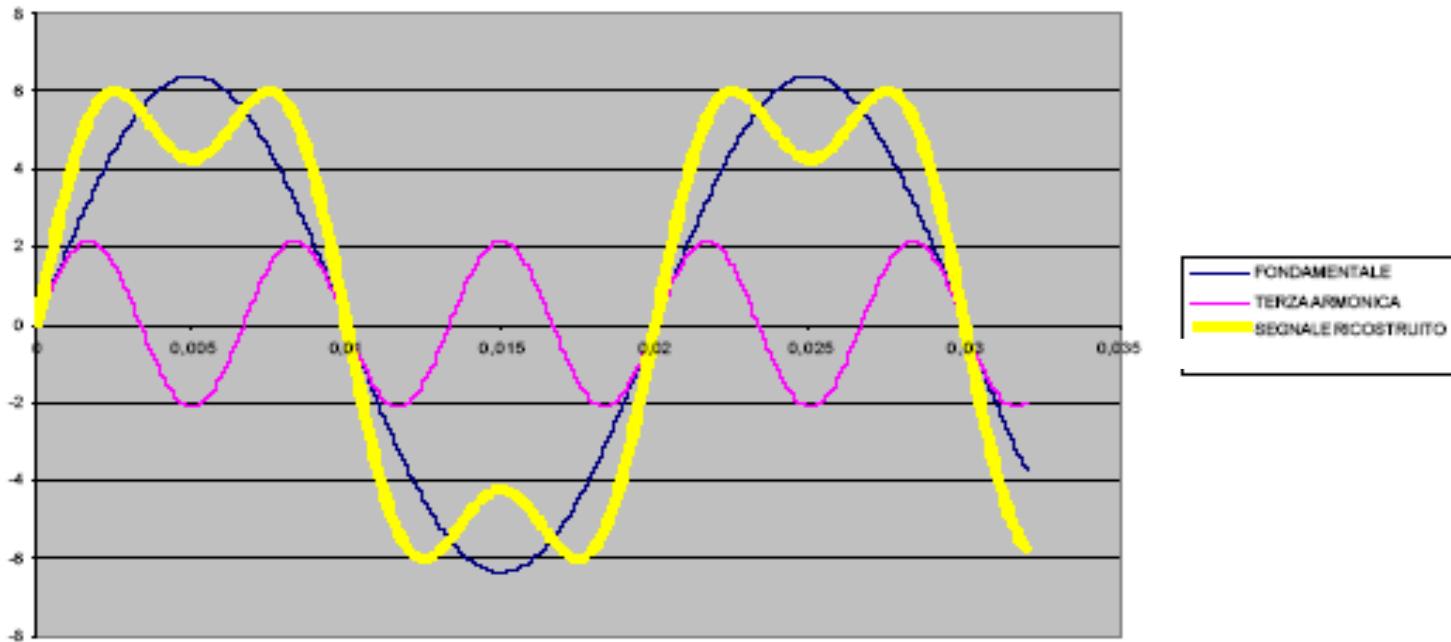
SVILUPPO IN SERIE DI FOURIER

I segnali sinusoidali sono importanti perché sono molto semplici da trattare quando si studia un circuito ed inoltre esiste un teorema detto di Fourier che dice fondamentalmente che un segnale periodico qualsiasi può essere considerato come la somma d'infinte sinusoidi con caratteristiche diverse. Matematicamente si ha una relazione del tipo:

$$S(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(2\omega t + \varphi_2) + A_3 \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots$$

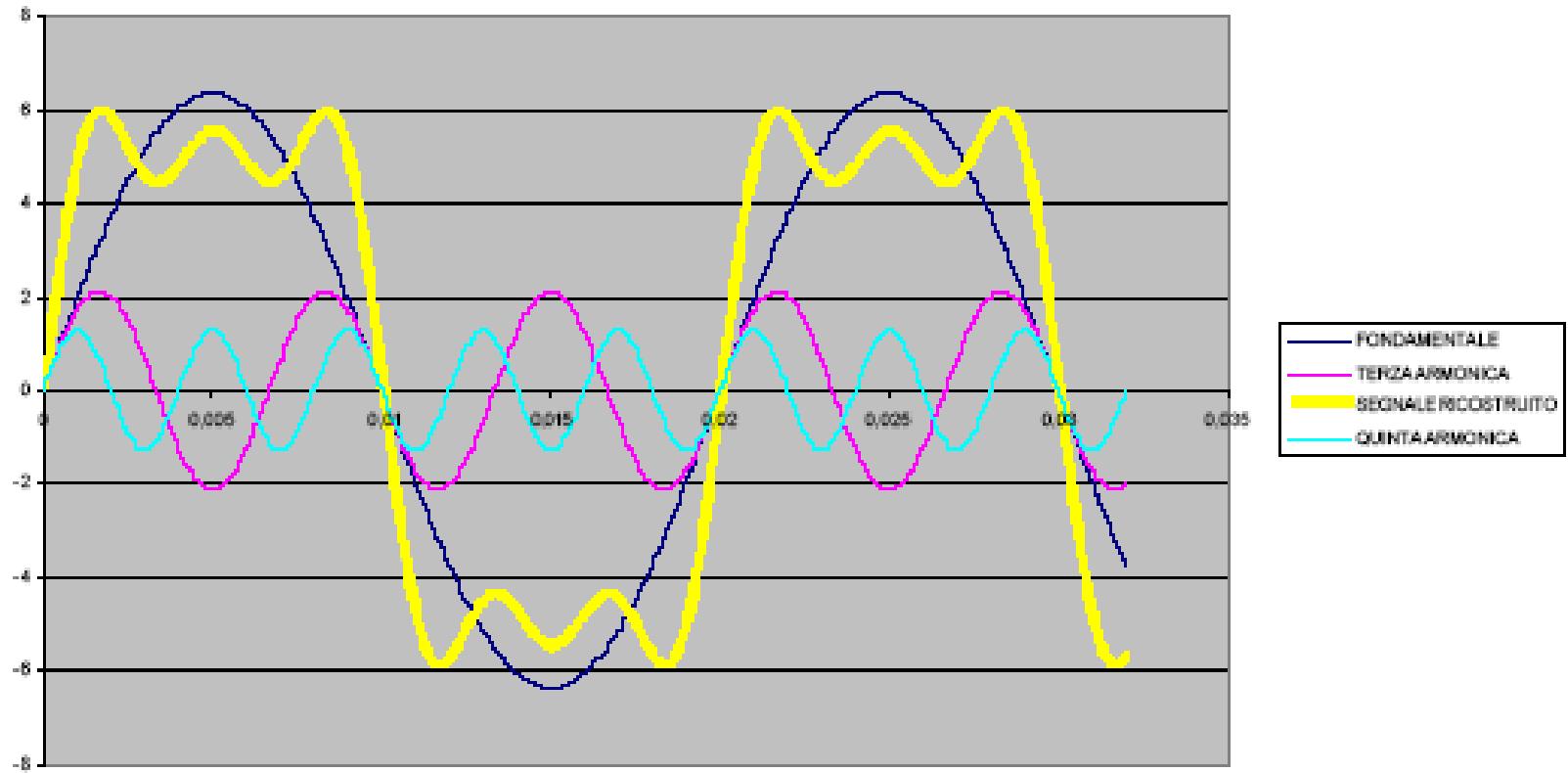
Dalle seguenti figure vediamo, ad esempio, come, utilizzando un numero sempre maggiore di opportuni segnali sinusoidali, otteniamo in maniera sempre più precisa un'onda quadra

SVILUPPO IN SERIE DI FOURIER



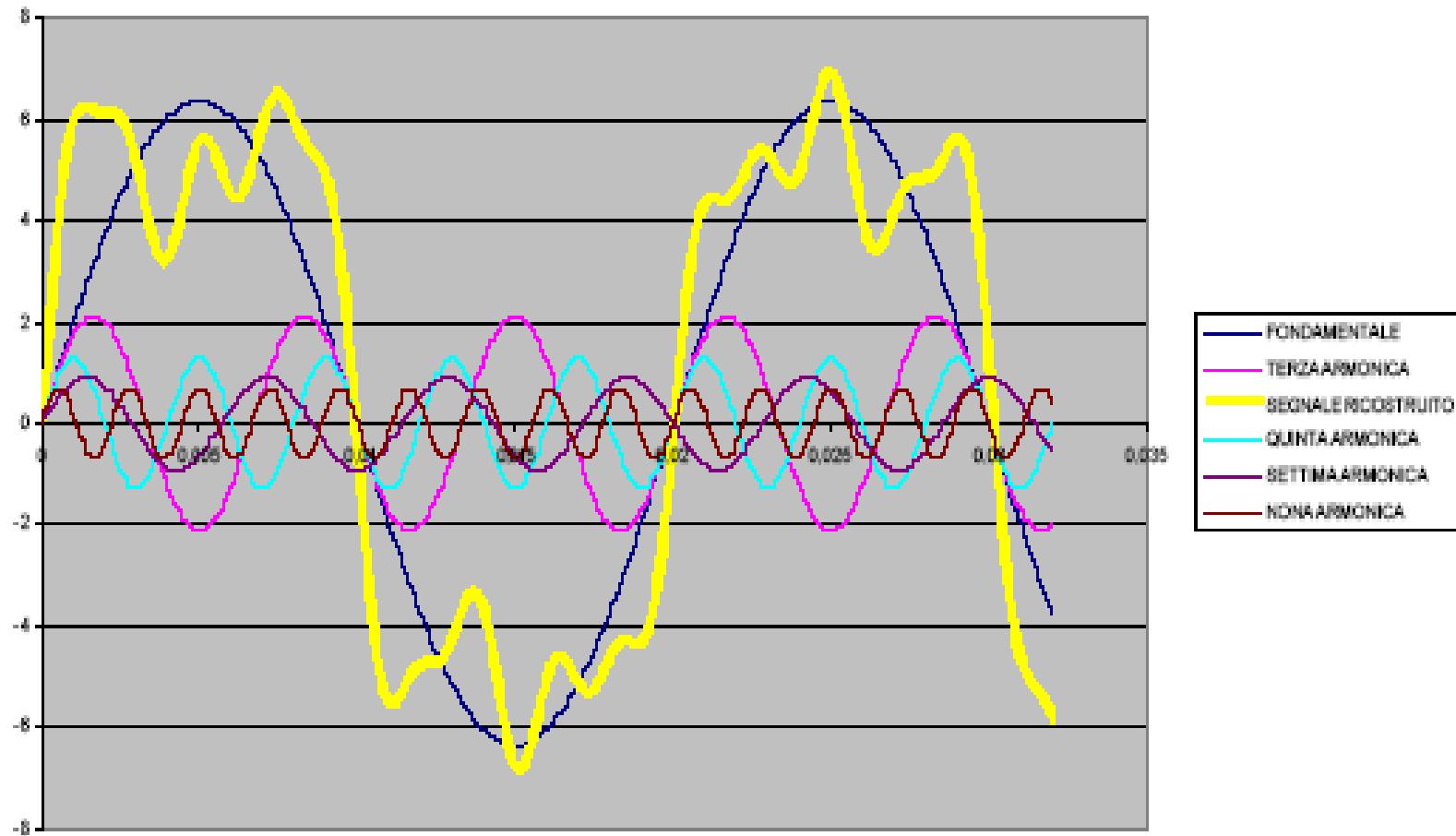
Rappresentazione di un segnale digitale (giallo) ottenuto mediante analisi sino alla terza armonica

SVILUPPO IN SERIE DI FOURIER



Rappresentazione di un segnale digitale (giallo) ottenuto mediante analisi sino alla quinta armonica

SVILUPPO IN SERIE DI FOURIER



Rappresentazione di un segnale digitale (giallo) ottenuto mediante analisi sino alla nona armonica

SVILUPPO IN SERIE DI FOURIER

Nel caso che il segnale sia una pura sinusoide quest'ultimo viene rappresentato nel dominio delle frequenze da un'unica armonica: utilizzando un numero maggiore di segnali sinusoidali possiamo ottenere una più accurata rappresentazione del segnale originale.

Il numero di armoniche utilizzate varia a seconda della potenza del segnale da rappresentare: generalmente, si tende a considerare l'armonica sino a che la sua ampiezza sia un decimo della componente fondamentale.

SVILUPPO IN SERIE DI FOURIER

L'analisi di Fourier ricorda che un segnale digitale è un segnale analogico composto da banda teoricamente infinita: il problema è come trasmettere una digitalizzazione del segnale analogico tra due punti.

Le possibilità sono sostanzialmente due:

- Trasmissione del segnale di base
- Trasmissione con modulazione del segnale

FILTRI

Un filtro è un sistema che tratta in modo specifico le componenti di un segnale a frequenze diverse: generalmente blocca o lascia passare determinati range di frequenze, permettendo di separare informazioni condivise dallo stesso segnale; oppure di eliminare il disturbo (qualora avesse frequenze diverse da quelle del segnale portante).

I filtri possono essere attivi o passivi, a seconda dei componenti presenti nel circuito che li costituisce: com'è intuitibile, se presentano solo componenti passivi, quali resistori o condensatori, il filtro sarà passivo; in caso contrario, con l'uso di amplificatori operazionali e transistori, il filtro sarà attivo.

FILTRI

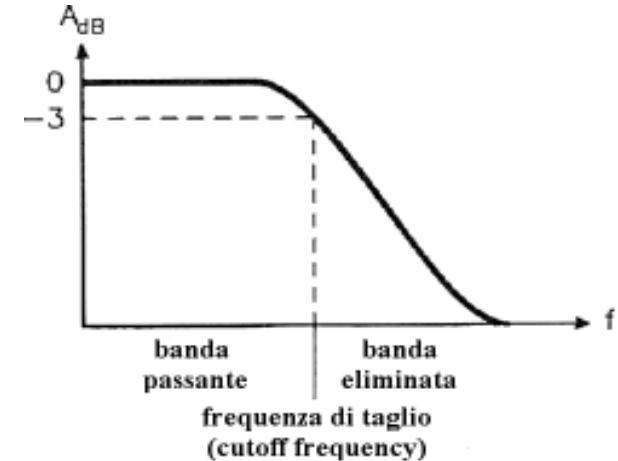
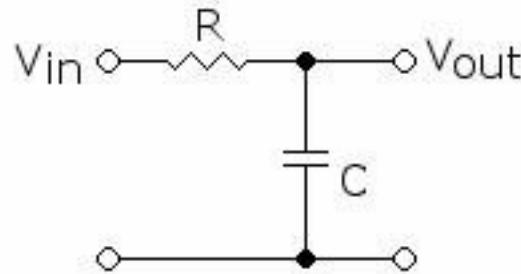
Si può parlare di quattro tipi di filtri:

- Filtri passa basso
- Filtri passa alto
- Filtri passa banda
- Filtri elimina banda

FILTRO PASSA BASSO

Un **filtro passa basso** è un filtro che permette il passaggio di frequenze al di sotto di una determinata frequenza detta *frequenza di taglio*. Come frequenza di taglio viene presa quella in cui sussiste la seguente relazione: $V_{\text{out}} / V_{\text{in}} = 1/(2)^{1/2}$ dove V_{out} è il segnale di uscita e V_{in} il segnale di ingresso al filtro. In uscita, il segnale è attenuato di circa il 30% rispetto al segnale di ingresso.

Un filtro passa basso è realizzabile con un circuito CR (resistore-condensatore) in serie

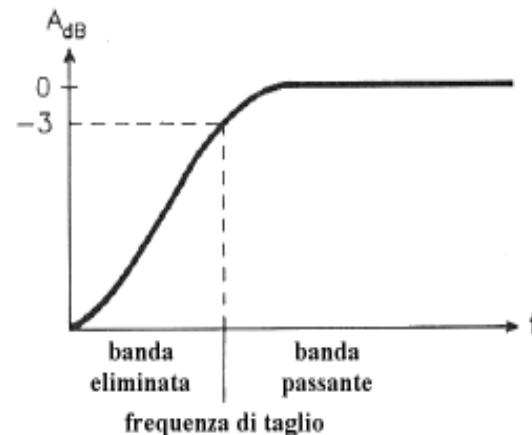
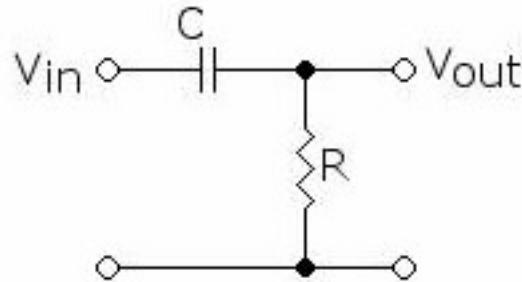


FILTRO PASSA ALTO

Un **filtro passa alto** è un filtro che permette il passaggio di frequenze al di sopra della *frequenza di taglio*.

Un filtro passa alto è realizzabile con un circuito CR (condensatore-resistore) in serie, e ha la caratteristica di far passare tutte le componenti di frequenza comprese tra quella di taglio (che dipende dai componenti utilizzati) e la frequenza (in teoria) infinita.

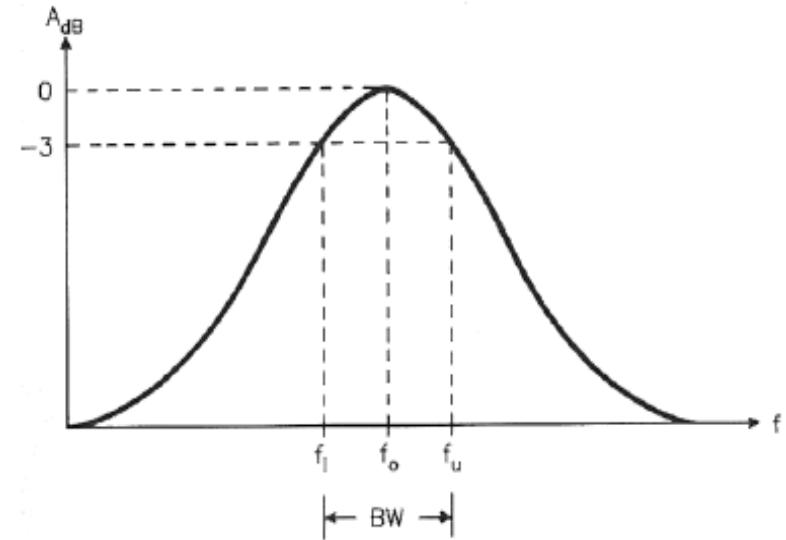
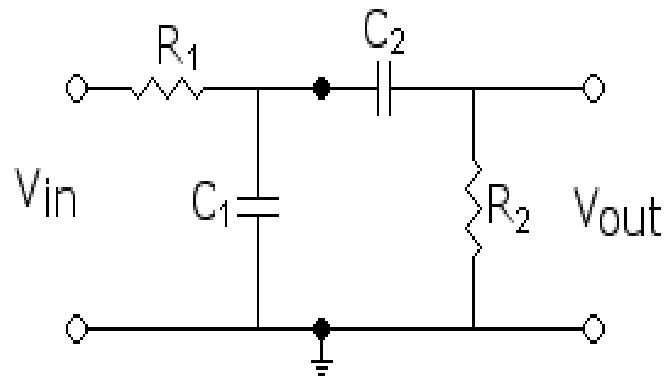
Sotto la frequenza di taglio, le componenti del segnale sono attenuate.



FILTRO PASSA BANDA

Un **filtro passa banda** è un dispositivo che ha la caratteristica di far passare le frequenze all'interno di un dato intervallo (detto *banda passante*) ed attenua le frequenze al di fuori di esso.

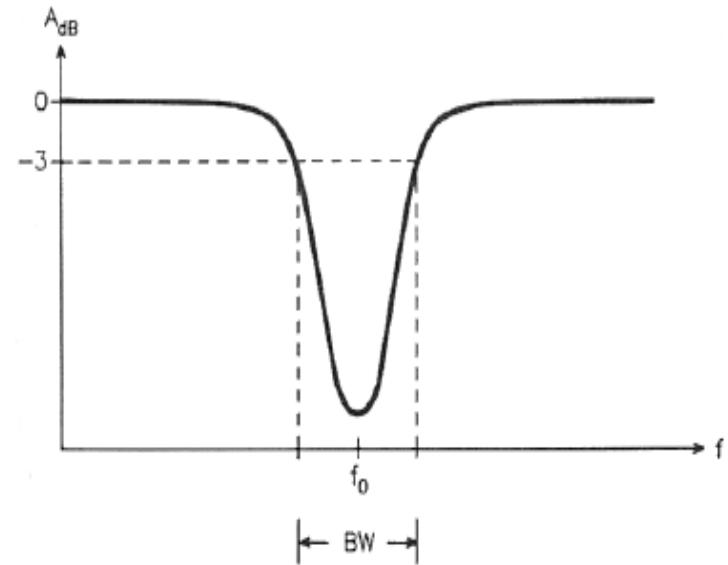
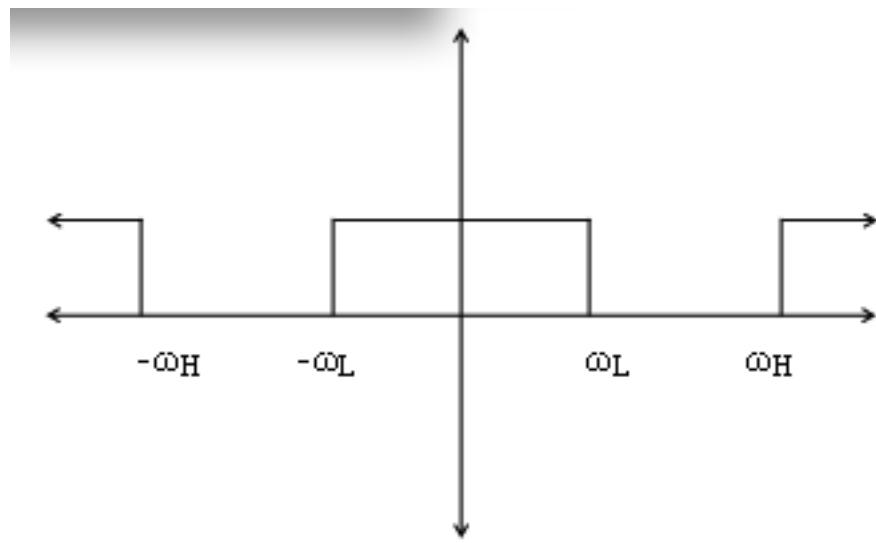
I più semplici filtri passa banda possono essere realizzati da due filtri passa basso e passa alto opportunamente collegati.



FILTRO ELIMINA BANDA

Un **filtro elimina banda** o **filtro notch** è un dispositivo che non permette il passaggio di frequenze in un dato intervallo.

Il suo funzionamento è l'opposto di un filtro passa banda:
elimina una banda ($\omega_L - \omega_H$).



MODULAZIONE DI UN SEGNALE

Il DTE sorgente immette nel canale trasmissivo un segnale digitale che è caratterizzato da una distribuzione di energia troppo ampia per poter essere contenuta in un canale telefonico: di conseguenza l'informazione sorgente deve essere convertita in una maniera idonea ad essere inviata nella linea telefonica con una banda predefinita.

La modulazione è un'operazione reversibile, secondo la quale un segnale, definito **portante**, viene modificato in uno dei suoi parametri essenziali (frequenza, ampiezza o fase) in accordo al segnale informativo d'ingresso, chiamato **modulante**.

MODULAZIONE DI UN SEGNALE

Operiamo una prima classificazione tra:

- **modulazione ad onda continua e**
- **modulazione impulsiva.**

MODULAZIONE AD ONDA CONTINUA

La modulazione ad onda continua vede sostanzialmente tre tipi di modulazione analogica:

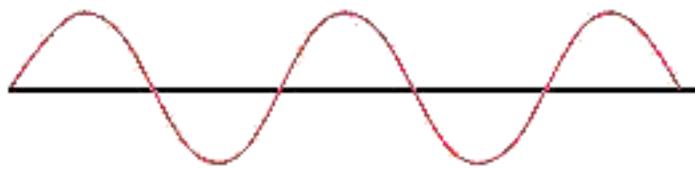
- AM (Amplitude Modulation) modulazione di ampiezza
- FM (Frequency Modulation) modulazione di frequenza
- PM (Phase Modulation) modulazione di fase.

MODULAZIONE DI AMPIEZZA

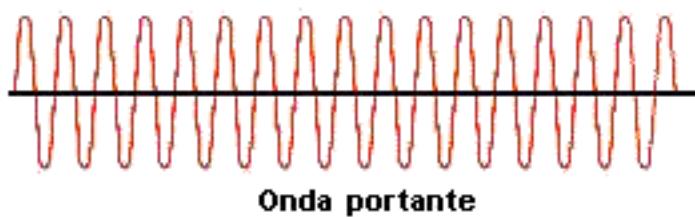
Per modulazione di ampiezza si intende un sistema per il quale si modula l'ampiezza del segnale che si intende utilizzare per la trasmissione (portante) in maniera proporzionale al segnale che si ha intenzione di trasmettere (modulante). Il segnale modulato ha la stessa frequenza del segnale portante. Per quanto riguarda la trasmissione digitale, lo 0 è associato a bassa potenza, mentre l'1 è associato a potenza alta. Supponendo di voler trasmettere un segnale modulante del tipo: $v_m(t) = V_m \cos(\omega_m t + \Phi)$ in cui per semplicità poniamo $\Phi=0$, Mentre la portante con frequenza maggiore sia: $v_p(t) = V_p \cos \omega_p t$. Il segnale modulato in ampiezza assume l'espressione:

$$v(t) = [V_p + K a V_m \cos(\omega_m t)] \cos(\omega_p t)$$

MODULAZIONE DI AMPIEZZA



Segnale modulante



Segnale portante



Modulazione di ampiezza (AM)

Segnale modulato in ampiezza

MODULAZIONE DI FREQUENZA

La modulazione AM è molto sensibile al rumore. Infatti l'informazione da trasmettere risiede nella variazione dell'ampiezza del segnale modulato. Il rumore che cade nella banda del segnale modulato si somma ad esso, degradando così il contenuto informativo

Per modulazione di frequenza si intende il processo secondo il quale l'ampiezza resta standard, ma la frequenza del segnale cambia: l'onda si infittisce all'aumento dell'onda modulante e si rarefà quando l'onda modulante discende.

Ha un'efficienza molto maggiore rispetto alla modulazione di ampiezza e risente meno dei disturbi, tuttavia necessita di circuiti molto più complicati per essere trasmessa.

In Italia la modulazione di frequenza è usata ad es. per le trasmissioni radiofoniche nella banda di frequenze che va dagli 87,5 ai 108 MHz.

MODULAZIONE DI FREQUENZA

Consiste nel far variare la pulsazione della portante, e quindi la sua frequenza, proporzionalmente al valore istantaneo del segnale modulante, lasciandone inalterata l'ampiezza V_p .

$$v_m(t) = V_M \sin \omega_m t \quad (\text{Sinusoidale per semplicità di analisi})$$

$$v_p(t) = V_p \sin \omega_p t \quad (\text{Per convenienza la portante è di tipo seno})$$

Il segnale modulato in frequenza assume l'espressione:

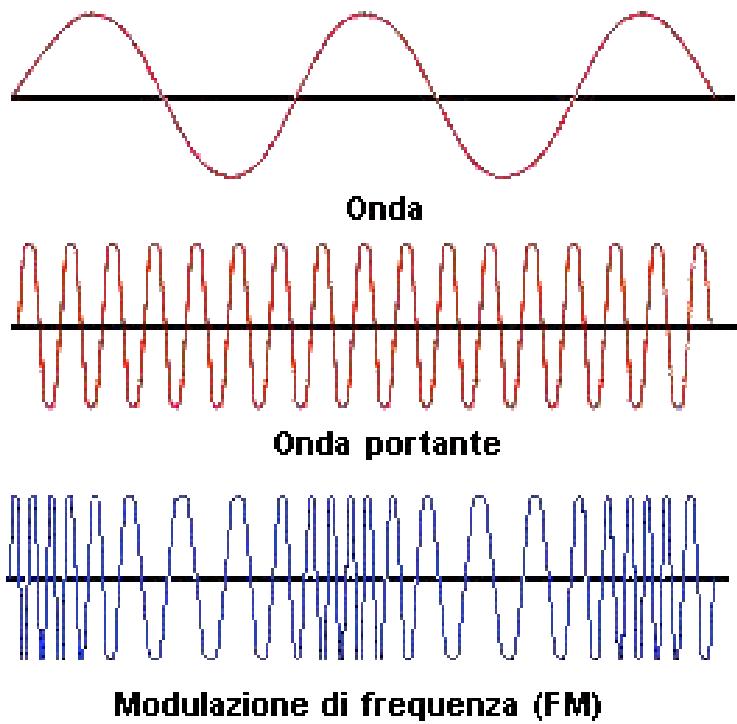
$$v_{FM}(t) = V_p \sin(\omega_p t + m_f \sin \omega_m t)$$

dove:

$$m_f = \frac{K_f V_M}{\omega_m} = \frac{K_f V_M}{2\pi f_m} = \frac{\Delta f}{f_m}$$

prende il nome di indice di modulazione di frequenza e dipende sia dall'ampiezza sia dalla frequenza del segnale modulante.

MODULAZIONE DI FREQUENZA



Segnale modulante

Segnale portante

Segnale modulato in frequenza

MODULAZIONE DI FASE

Per modulazione di fase si intende una modulazione molto simile alla modulazione di frequenza, entrambe infatti vanno sotto il nome di *modulazioni angolari*.

Si distinguono solitamente per le bande di frequenza del segnale modulato e per il fatto che la frequenza portante nella modulazione di fase è più stabile di quella della modulazione di frequenza.

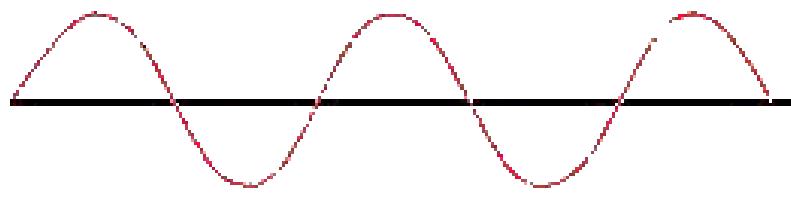
Il sistema in modulazione di fase, che consiste nella variazione della fase dell'onda portante in base alla forma del segnale modulante da trasmettere, è spesso utilizzato per ottenere l'amplificazione del segnale in sistemi in modulazione di frequenza

MODULAZIONE DI FASE

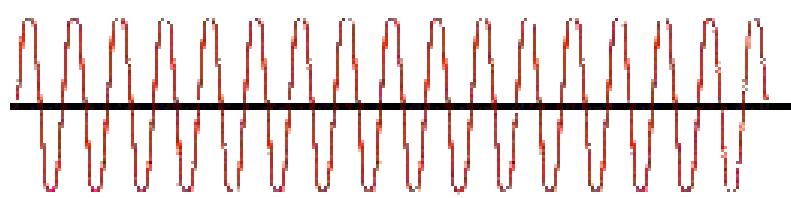
Nella modulazione di fase si fa variare la fase della portante in modo direttamente proporzionale all'ampiezza della modulante:

$$V_{PM}(T) = V_p \cos(\omega_p t + K_p V_m \sin \omega_p t)$$

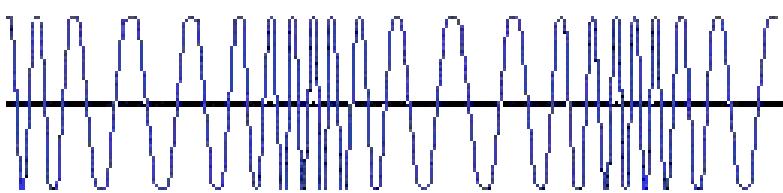
MODULAZIONE DI FASE



Segnale modulante



Segnale portante



Segnale modulato in fase

MODULAZIONE IMPULSIVA

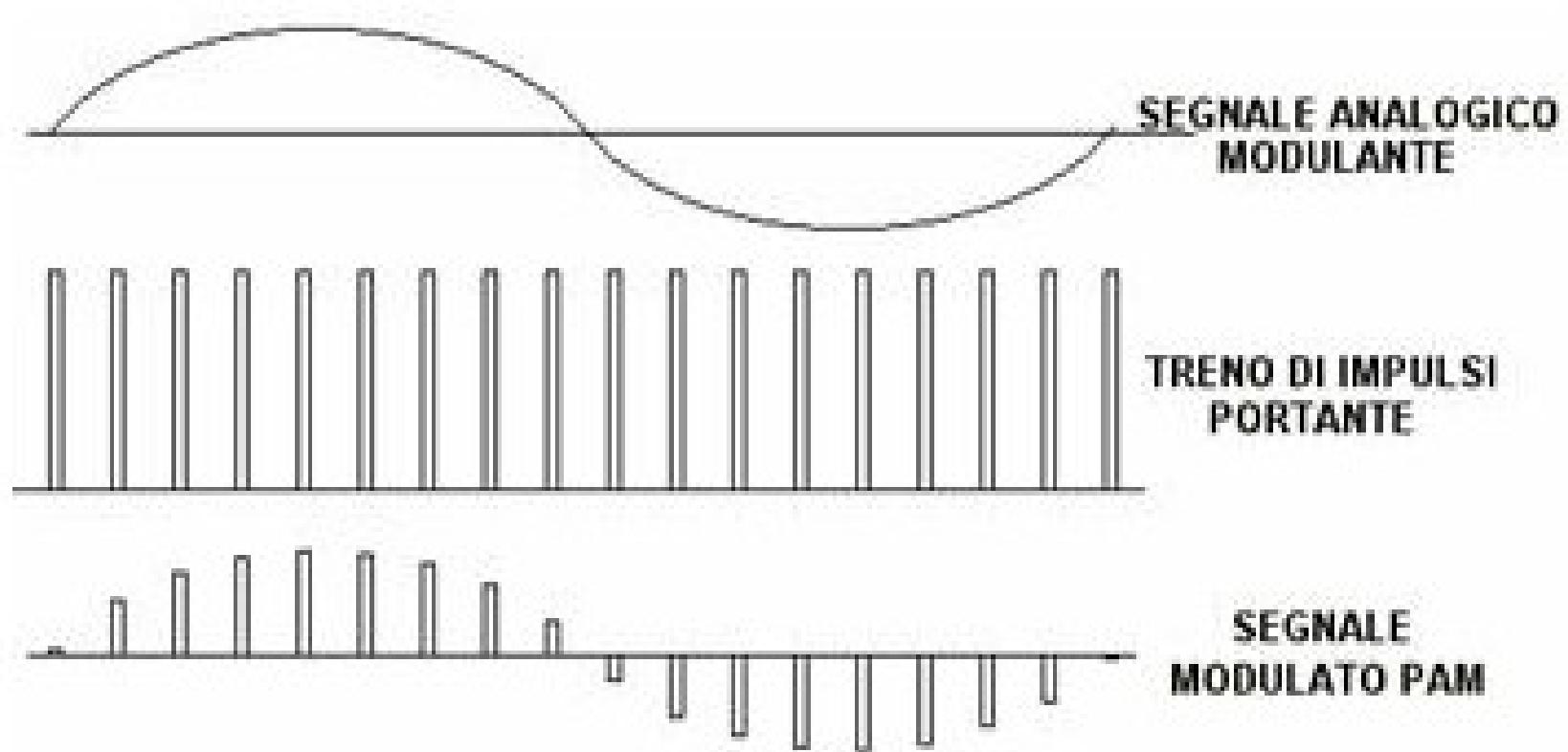
La modulazione impulsiva è un tipo di modulazione in cui l'informazione è codificata in una serie di impulsi.

I principali tipi di modulazione impulsiva sono:

- PAM (Pulse Amplitude Modulation) modulazione ad ampiezza di impulso
- PWM (Pulse Width Modulation) modulazione a larghezza di impulso
- PPM (Pulse Position Modulation) modulazione a posizione di impulso
- PCM (Pulse Code Modulation) modulazione codificata di impulsi

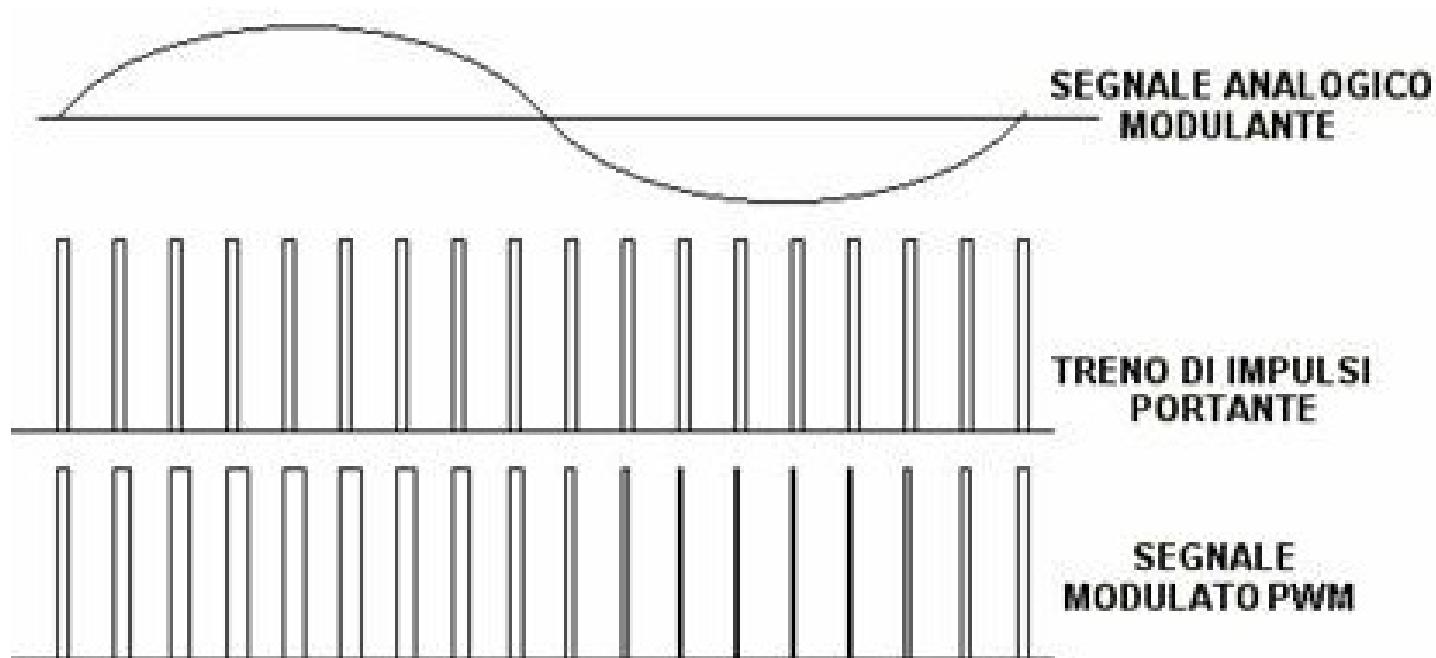
PAM (PULSE AMPLITUDE MODULATION)

La **modulazione ad ampiezza di impulso** o PAM è una modulazione
In cui il segnale analogico modulante va a variare l'ampiezza del treno
Di impulsi che costituisce la portante.



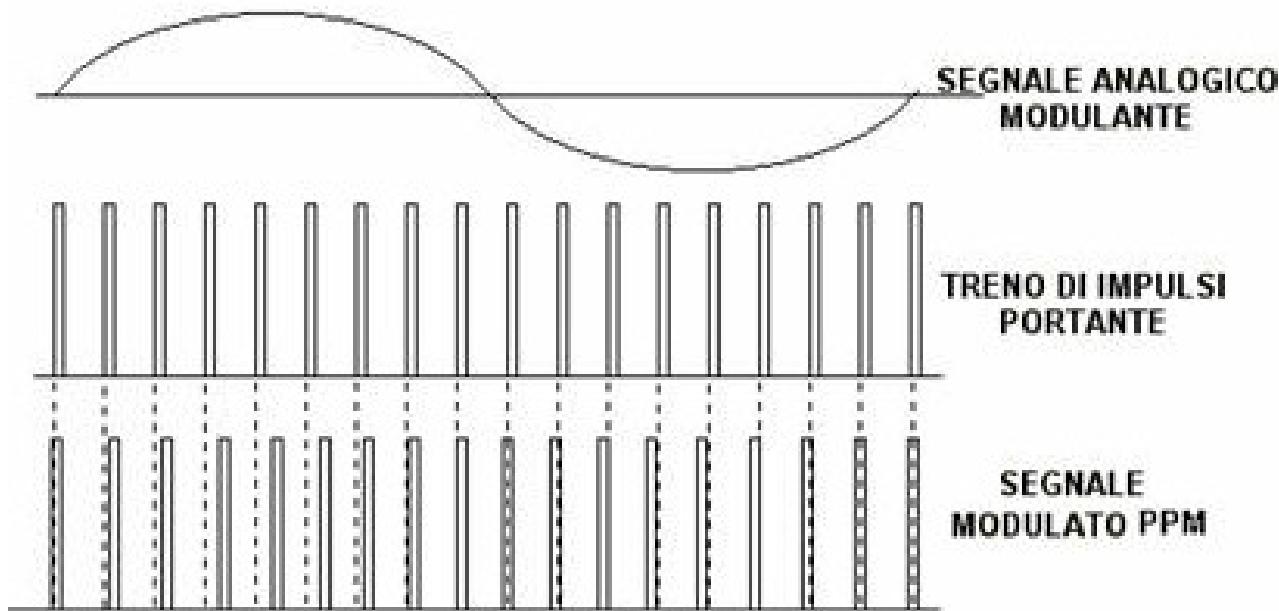
PWM (PULSE WIDTH MODULATION)

La modulazione a larghezza di impulso o PWM prevede l'informazione codificata sotto forma di durata temporale degli impulsi di un segnale: il segnale modulante va a variare la larghezza (ovvero la durata) degli impulsi.



PPM (PULSE POSITION MODULATION)

Nella modulazione a posizione di impulso o PPM le ampiezze e le durate degli impulsi sono identiche, ma è modificata la loro posizione in base al segnale della modulante. Quanto più il segnale analogico è positivo, tanto più è ritardata la posizione degli impulsi rispetto a quella di riposo, e viceversa.



PCM (PULSE CODE MODULATION)

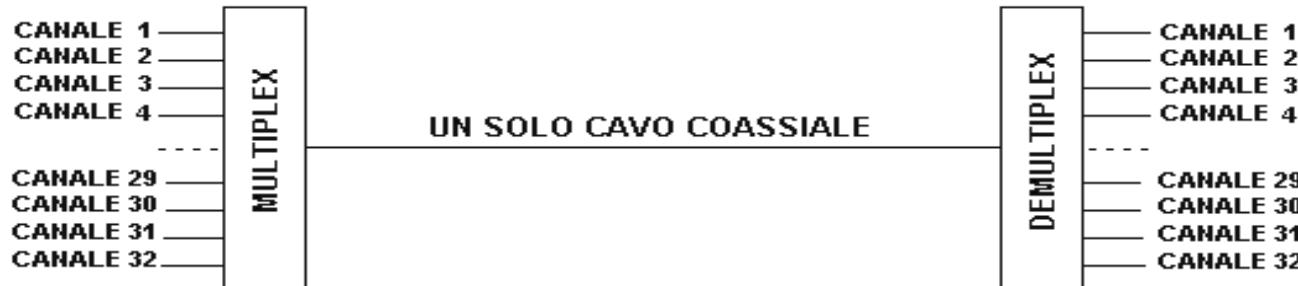
Intorno agli anni quaranta nacque l'esigenza di aumentare il numero di collegamenti telefonici interurbani.

Questa esigenza però si scontrava con la grande complicazione e il considerevole costo di impianto di grandi fasci di conduttori, ingombranti e difficili da connettere.

Si pensò allora a multiplare un gran numero di collegamenti telefonici su un solo cavo coassiale. Esisteva già a quell'epoca una tecnica per risolvere questo problema e si chiamava FDM(Frequency Division Multiplexing = multiplex a divisione di frequenza), ma presentava alcuni difetti e limitazioni.

Nacque allora la più moderna TDM (Time Division Multiplexing = multiplex a divisione di tempo) e si tentò di realizzarla per mezzo delle tecniche impulsive PAM, PWM, PPM, che però costituirono solo una fase di passaggio, in quanto furono tutte presto superate dalla modulazione codificata PCM (Pulse Code Modulation = modulazione codificata ad impulsi). Esiste oggi un PCM Americano, un PCM Europeo, un PCM giapponese.

PCM (PULSE CODE MODULATION)



Questo rappresentato sopra è uno schema del PCM telefonico europeo a 32 canali.

Il PCM si applica ai canali telefonici e, il tipo europeo, consente di far transitare su un solo cavo coassiale 30 telefonate contemporaneamente senza naturalmente che interferiscano fra loro e indirizzarle, in ricezione ciascuna all'utente richiesto come schematizzato nella figura di sopra.

Dei 32 canali multiplexati, 30 sono canali vocali e 2 sono di servizio.

PCM (PULSE CODE MODULATION)

Per realizzare la tecnica PCM si effettuano tre operazioni a partire dal segnale microfonico di partenza:

- CAMPIONAMENTO
- QUANTIZZAZIONE
- CODIFICA

CAMPIONAMENTO

In base al teorema di SHANNON, un segnale a banda limitata, compresa fra le frequenze f_1 ed f_2 ($f_2 > f_1$) può essere rappresentato mediante una successione di campioni prelevati con una frequenza pari almeno a $2f_2$.

In telefonia, ossia in rete PSTN (*Public Switched Telephone Network*)

si assume come frequenza di campionamento il valore di:

$f_c = 8 \text{ KHz}$ superiore di 1,2 KHz al valore minimo $2f_2 = 6,8 \text{ KHz}$ stabilito dal teorema di SHANNON.

Il periodo di campionamento corrisponde, naturalmente all'inverso della frequenza di campionamento, e cioè:

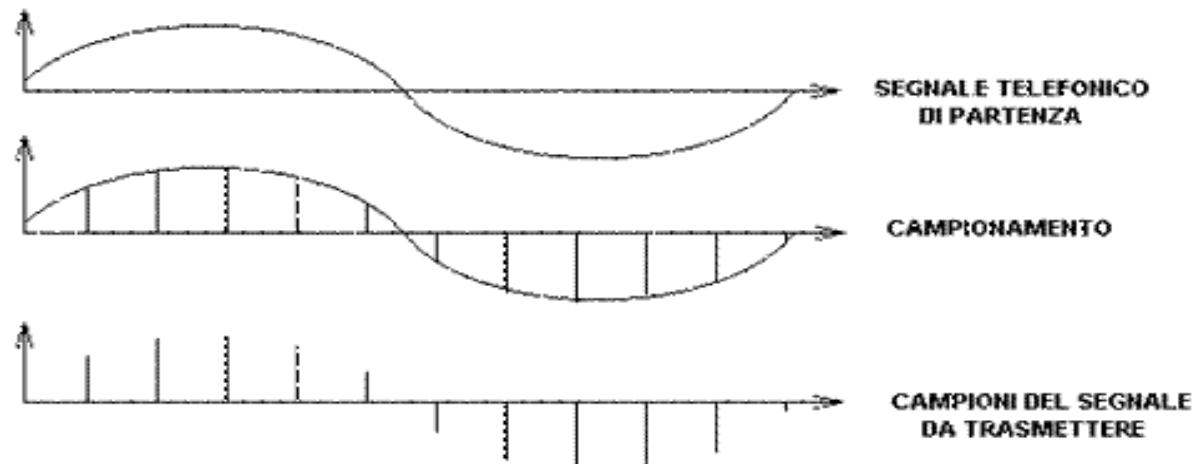
$$T = \frac{1}{f_c} = \frac{1}{8000} = 125 \mu\text{sec}$$

CAMPIONAMENTO

Partendo dal teorema di Shannon, si definisce la minima frequenza necessaria per campionare un segnale senza perdere informazione, ovvero frequenza di Nyquist o cadenza di Nyquist.

La minima frequenza di campionamento è pari al doppio della banda.

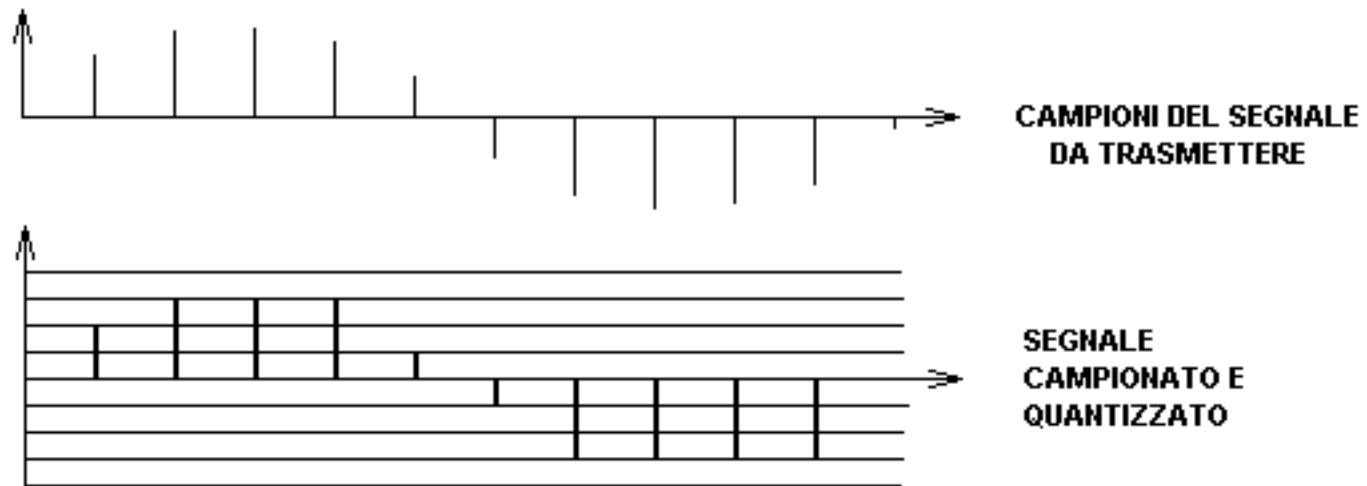
Il segnale telefonico viene dunque per prima cosa campionato, poi viene sostituito dalla sequenza di impulsi PAM, ottenuti come in figura.



QUANTIZZAZIONE

Affinché un dato possa essere trasmesso, deve essere quantizzato: bisogna cioè far in modo che possa assumere solo determinati valori discreti finiti.

Si definisce inizialmente un minimo e un massimo, poi si passa a dividere l'intervallo così creato.



QUANTIZZAZIONE

Nel caso della quantizzazione uniforme ogni sotto intervallo è uguale a ogni altro sotto-intervallo.

Detto n il numero di bit utilizzati:

- il suo numero di livelli sarà $M = 2^n$
- l'ampiezza di ogni livello sarà $q = \frac{V_{pp}}{M}$
- la varianza sarà $q^2 / 12$.

Nella realtà, l'ampiezza dei livelli segue una funzione logaritmica.

Considerando che la quantizzazione è un processo irreversibile, occorre tenere conto che nello svolgerla si compie un errore, definito appunto errore di quantizzazione; com'è intuitivo, il segnale vocale può assumere infiniti valori, mentre la sua discretizzazione no. Tuttavia è provato che utilizzando 256 livelli di discretizzazione, l'equivalente di 8 bit, l'orecchio umano non percepisce sostanziali differenze.

CODIFICA

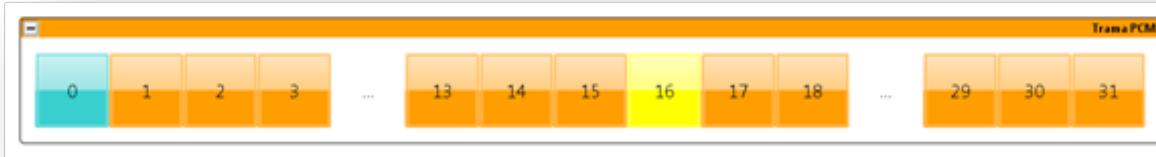
Terza ed ultima fase è la codifica. In questa fase gli impulsi, campionati e quantizzati, vengono trasformati in sequenze di bit, cioè la loro ampiezza viene trasformata in una sequenza di bit secondo un codice binario.

Ad es. se l'ampiezza del primo impulso è 5V, verrà rappresentata dalla sequenza binaria 101.

Nel PCM europeo occorrono 8 bit (256 livelli).

Tra una sequenza di 8 bit e l'altra, ce ne sono 31 di 8 bit, dirette ognuna ad un canale telefonico.

CODIFICA



Esempio: se vengono spediti 96 impulsi, il n. 0, il n. 32, il n. 64 saranno da vedersi consequenziali, come il 5, il 37 ed il 69; di questi 32 impulsi il

n. 0 serve per dettare il sincronismo, mentre il n. 16 per il controllo della bontà di trasmissione degli altri canali.

I canali “vocali” utili sono quindi 30, 2 sono di servizio.

Vengono trasmessi 32 canali con 8000 campioni al secondo: ogni canale contiene 8 bit, ogni secondo quindi vengono trasmessi:

$$V_{\text{bit}} = 32 * 8000 * 8 = 2048 \text{ Mbit/s}$$

CODIFICA

E' possibile anche raggruppare più canali.

Ad esempio raggruppando 4 gruppi da 30 e trasmettendo così 120 canali, costituendo un supergruppo del primo ordine.

Si può operare similmente con gruppi da 48, 1920, 7680 canali

MODULAZIONI DIGITALI

Si intendono tecniche che modulano segnali digitali, ossia 0 e 1 oppure -1 e +1.

Modulazione per modem in banda base: quando si parla di collegamenti tra due DTE, si parla non propriamente di modulazione, ma in maniera più esatta di **codifica volta ad eliminare segnali di bassa frequenza e segnali in componente continua**; il segnale rimane in digitale, ma con delle modifiche fatte alla portante rispetto al segnale modulante.

MODULAZIONI DIGITALI

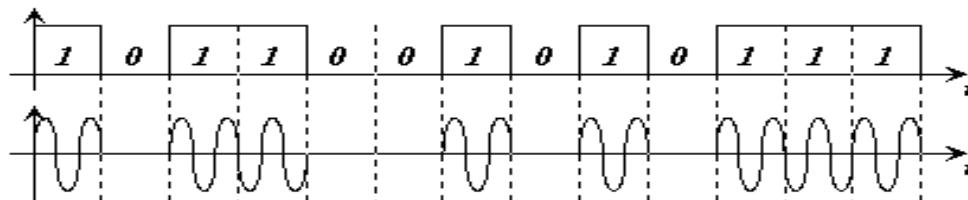
I principali tipi di modulazione digitale sono:

- ASK (Amplitude-Shift Keying) , modulazione digitale di ampiezza
- FSK (Frequency-Shift Keying), modulazione digitale a spostamento di frequenza
- PSK (Phase-Shift Keying), modulazione digitale di fase
- BPSK (BiPolar-Shift Keying), modulazione digitale (bipolare) di fase
- DPSK (Differential Phase-Shift Keying), modulazione digitale (differenziale) di fase
- QAM (Quadrature Amplitude Modulation), modulazione di ampiezza in quadratura
- Trellis

MODULAZIONE D'AMPIEZZA ASK

Nella modulazione ASK l'ampiezza della portante sinusoidale viene fatta variare in correlazione al segnale digitale modulante.

Nel caso più semplice e più comune in corrispondenza dello zero logico il segnale modulato ha ampiezza zero ed in corrispondenza dell'uno logico ha ampiezza pari a quella della portante non modulata. In questo caso si parla di modulazione OOK (On-Off Keying).

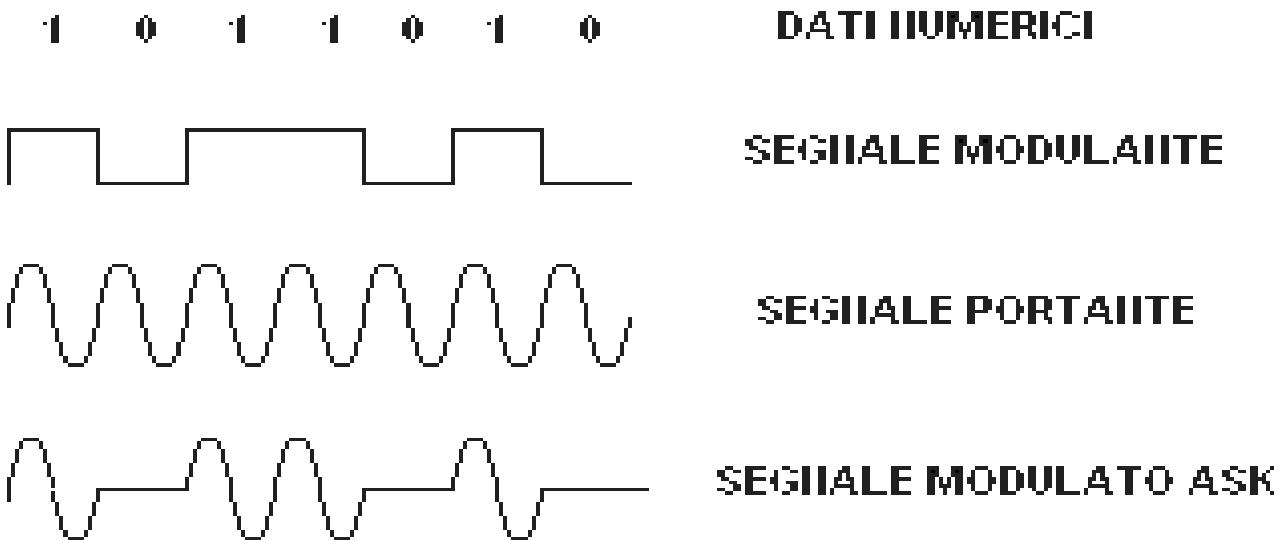


Esempio di modulazione ASK-OOK

Questo tipo di modulazione, derivato in maniera diretta dall'AM, è abbastanza semplice da realizzare ma non molto utilizzato per le trasmissioni dati a grande distanza a causa della sua notevole sensibilità al rumore.

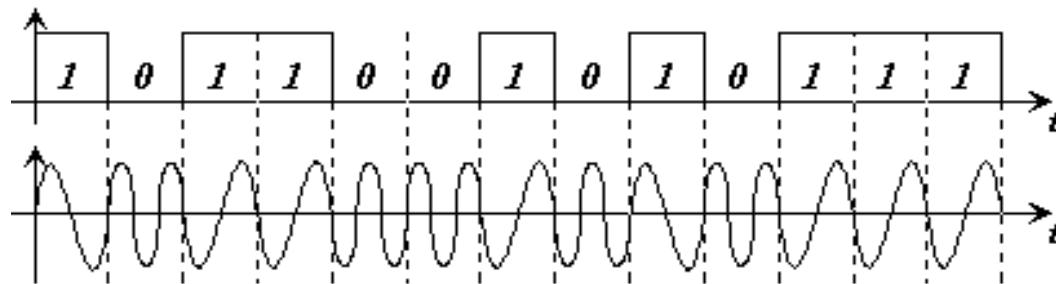
MODULAZIONE D'AMPIEZZA ASK

Questo tipo di modulazione, di facile realizzazione sia nei modulatori che nei demodulatori, è stata usata sempre nelle telescriventi e in qualche tipo di ponte radio a breve distanza.



MODULAZIONE DI FREQUENZA FSK

Nella modulazione digitale di frequenza FSK ad ogni simbolo logico viene assegnata una frequenza di valore compreso all'interno della banda passante del mezzo trasmittivo.



Esempio di modulazione FSK

Ad esempio all'uno logico può essere assegnata una frequenza f_A mentre allo zero una frequenza f_B che solitamente è di valore maggiore rispetto f_A .

MODULAZIONE DI FREQUENZA FSK

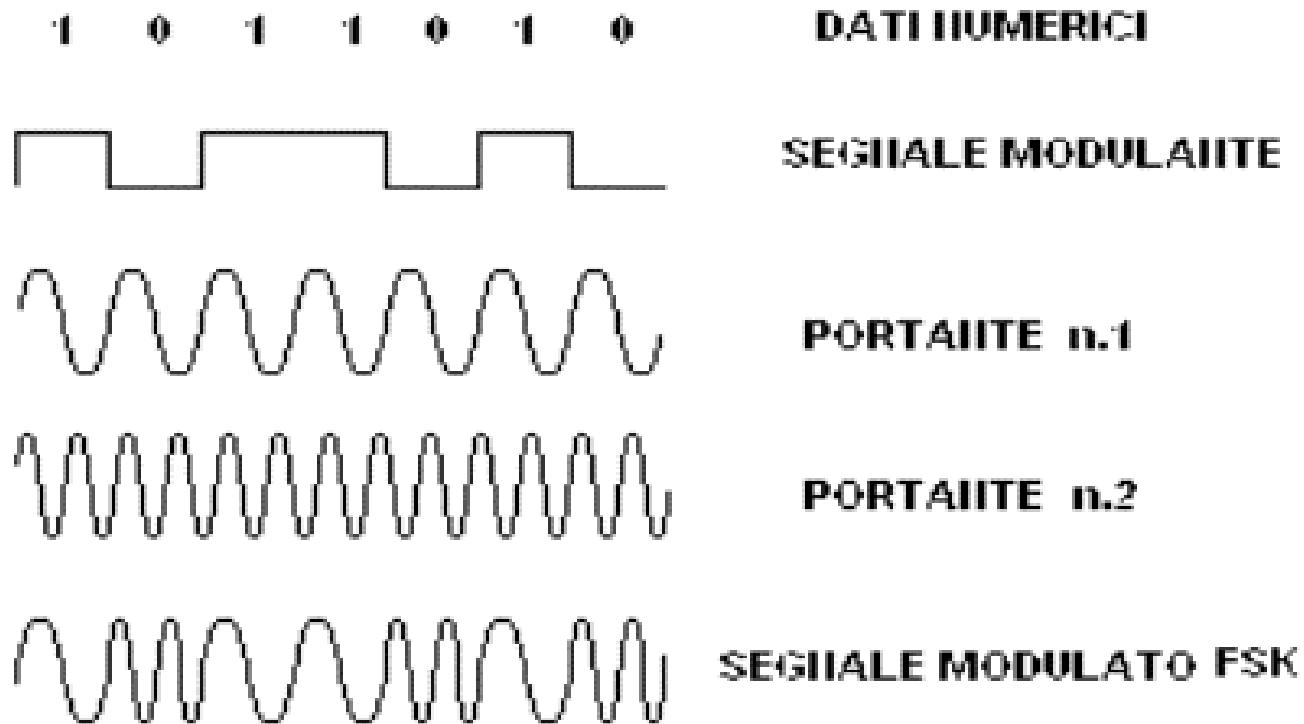
La scelta delle due frequenze deve essere fatta in modo da realizzare il migliore compromesso tra quattro diverse esigenze:

- limitare l'occupazione della banda;
- ottenere una sufficiente separazione tra le due frequenze in modo da evitare l'interferenza intersimbolica;
- mantenere il periodo relativo alle due sinusoidi minore o uguale alla frequenza di bit dell'informazione digitale
- mantenere una continuità di fase nelle variazioni di stato.

Quest'ultima condizione, assolutamente necessaria, è richiesta per il corretto funzionamento del circuito di demodulazione, il quale, essendo solitamente costituito da un rivelatore di passaggio per lo zero, deve essere in grado di identificare con massima precisione il salto di frequenza.

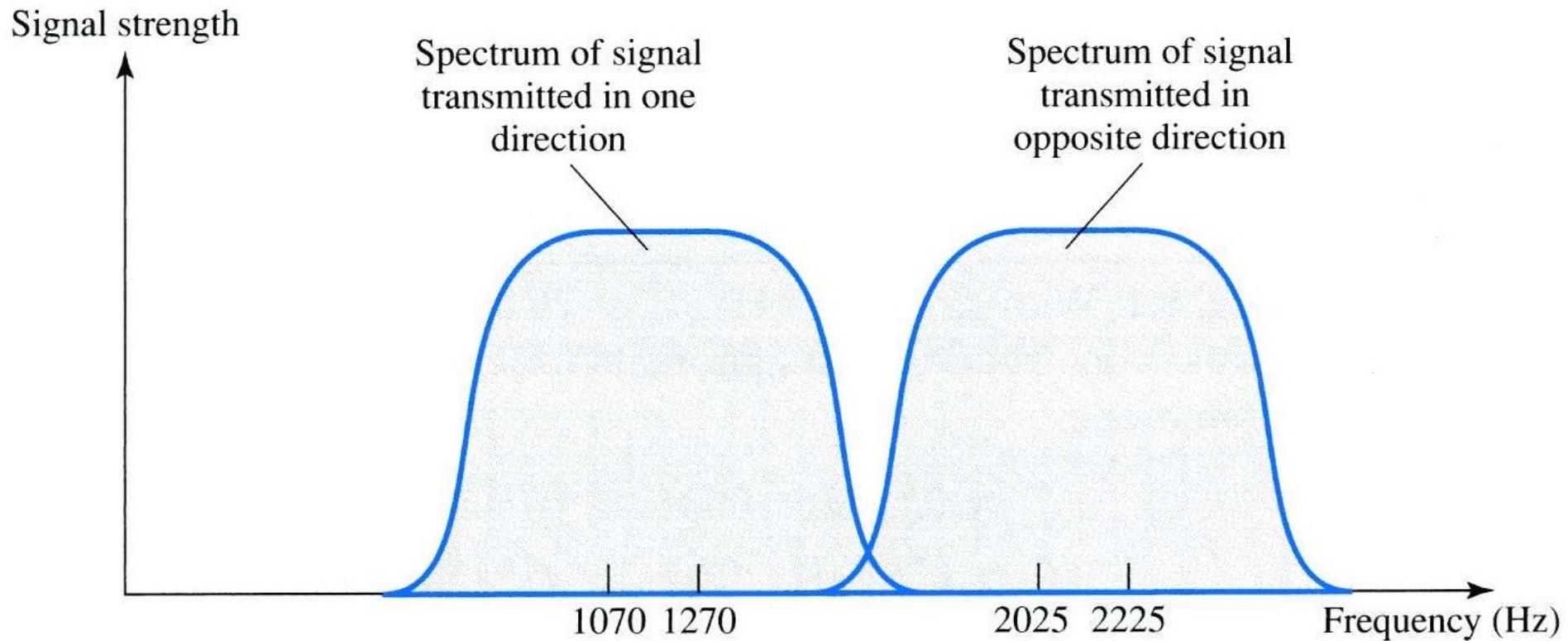
MODULAZIONE DI FREQUENZA FSK

Questo tipo di modulazione è stata usata nei primi modem, V21 e V23 molto lenti rispetto a quelli odierni, ed è tuttora usata nei ponti radio e nelle trasmissioni fra cellulari del tipo GSM.



MODULAZIONE DI FREQUENZA FSK

FSK Full Duplex su una linea telefonica



MODULAZIONE DI FASE PSK

La modulazione PSK è una modulazione digitale di fase direttamente derivante dalla PM analogica.

Nella PSK la portante è trasmessa con valori di frequenza e ampiezza costanti, mentre ciò che viene variato in relazione all'informazione digitale modulante è il valore della fase.

La modulazione digitale di fase può essere applicata in vari modi, il più

semplice è quello denominato 2-PSK (o B-PSK - bipolar PSK) ma si utilizzano molto spesso anche la 2-DPSK, la 4-PSK, la 4-DPSK, la 8 PSK e la 8-DPSK, ognuna delle quali può essere realizzata a sua volta con diverse modalità.

MODULAZIONE DI FASE BPSK (2-PSK)

Nella modulazione 2-PSK la portante mantiene valori costanti per ampiezza e frequenza, ma assume due valori di fase a seconda del valore logico del bit del segnale modulante.

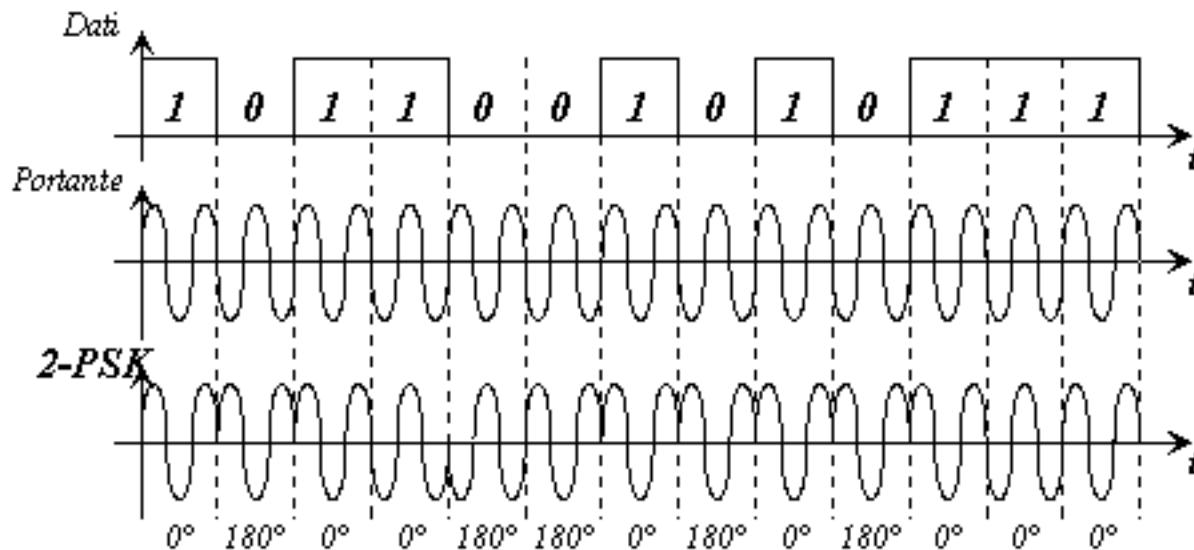
Per garantire la massima protezione dal rumore e dalle interferenze vengono scelti i due valori di fase estremi 0° e 180° .

L'assegnazione di questi valori si può effettuare, ad esempio, in questo modo:

Bit	Φ
1	0°
0	180°

MODULAZIONE DI FASE BPSK (2-PSK)

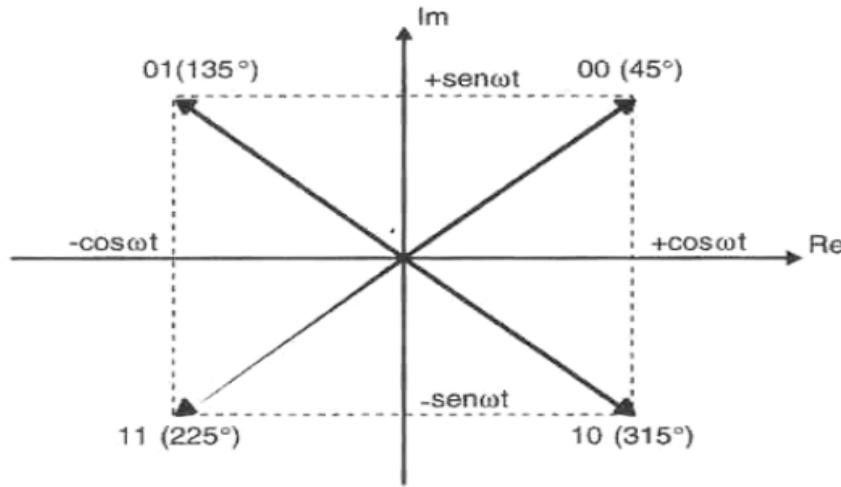
La modulazione BPSK viene realizzata mediante il modulatore bilanciato con modulante numerica binaria: in tale modulatore quando il segnale modulante cambia stato (transizione 0-1 o 1-0) il segnale modulato cambia fase.



Esempio di modulazione BPSK

MODULAZIONE DI FASE 4-PSK

Nella modulazione digitale a quattro fasi (denominata anche QPSK, quadrature PSK) i bit del segnale dati vengono riuniti in coppie (dibit) utilizzate per modulare in fase la portante sinusoidale.



Esempio di distribuzione delle fasi nella 4-PSK

MODULAZIONE DI FASE 4-PSK

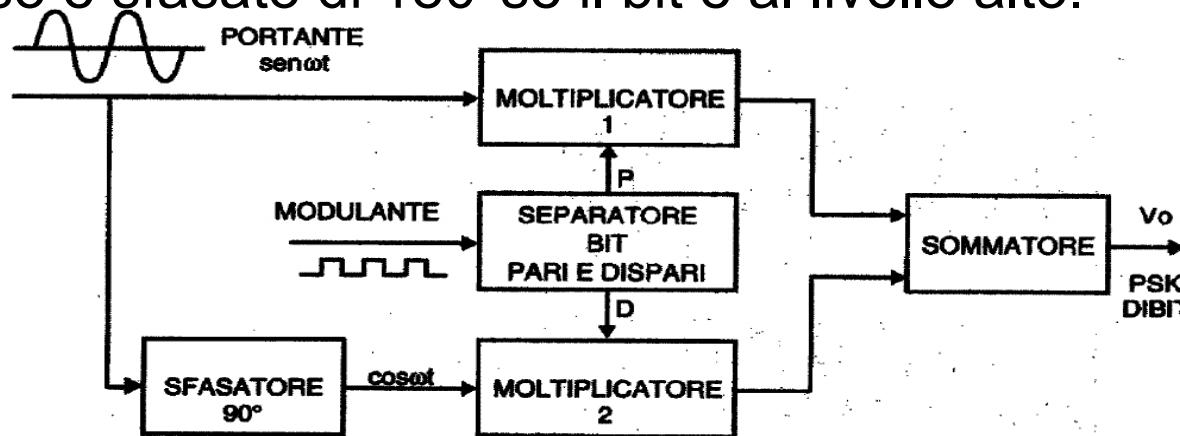
Nei modulatori il flusso di dati in ingresso viene suddiviso in dabit da un convertitore seriale/parallelo (registro); i due bit di ogni coppia generano due flussi separati, a velocità dimezzata rispetto a quella del segnale dati originario, che costituiscono i segnali modulanti inviati in ingresso a due modulatori bilanciati. Le due portanti di modulazione hanno medesima frequenza ma le loro fasi differiscono di 90° (per questo vengono dette in quadratura).

In pratica la fase del segnale in uscita dal primo modulatore può assumere i valori 0° e 180° , mentre quella del segnale in uscita dal secondo assume i valori 90° e 270° .

Infine le due portanti vengono sommate originando un segnale che può assumere quattro fasi diverse (45° , 135° , 225° , 315°).

MODULAZIONE DI FASE 4-PSK

Il circuito sfasatore ha il compito di sfasare di 90° il segnale portante. Al blocco di separazione è applicato in ingresso il segnale modulante V_i che viene separato in bit pari e bit dispari; i bit di ordine pari P vengono inviati al moltiplicatore 1, mentre quelli di ordine dispari D vengono inviati al moltiplicatore 2. Il separatore inoltre associa allo stato logico basso il valore +1 e a quello alto il valore -1. In questo modo in uscita di ogni moltiplicatore otteniamo un segnale in fase con quello di entrata se il bit è al livello basso e sfasato di 180° se il bit è al livello alto.

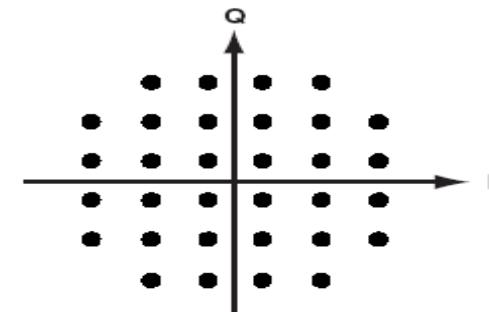


DIAGRAMMI A COSTELLAZIONE

E' una rappresentazione teorica del segnale, utilizzata solamente per una comprensione dello stato del segnale.

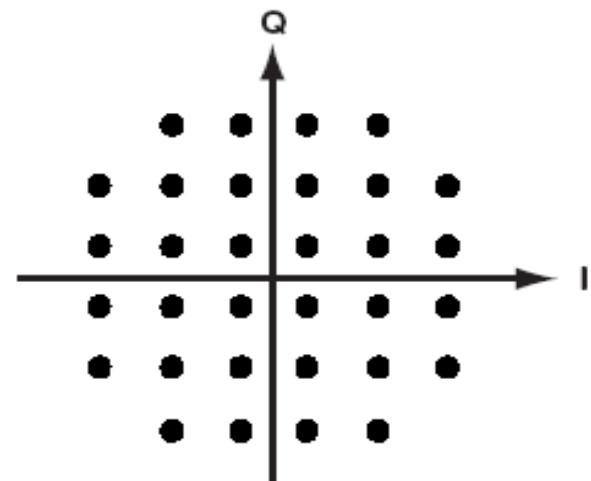
Il segnale trasmesso in digitale è suddiviso in due segnali modulati che non interferiscono tra di loro perché in quadratura, denominati I e Q (Infase e Quadratura).

Si crea un diagramma con un piano cartesiano i cui assi saranno I e Q. A seconda dello schema di modulazione prescelto, i punti in cui il vettore si può trovare assumono la forma di una costellazione con punti più o meno fitti nel diagramma IQ.



DIAGRAMMI A COSTELLAZIONE

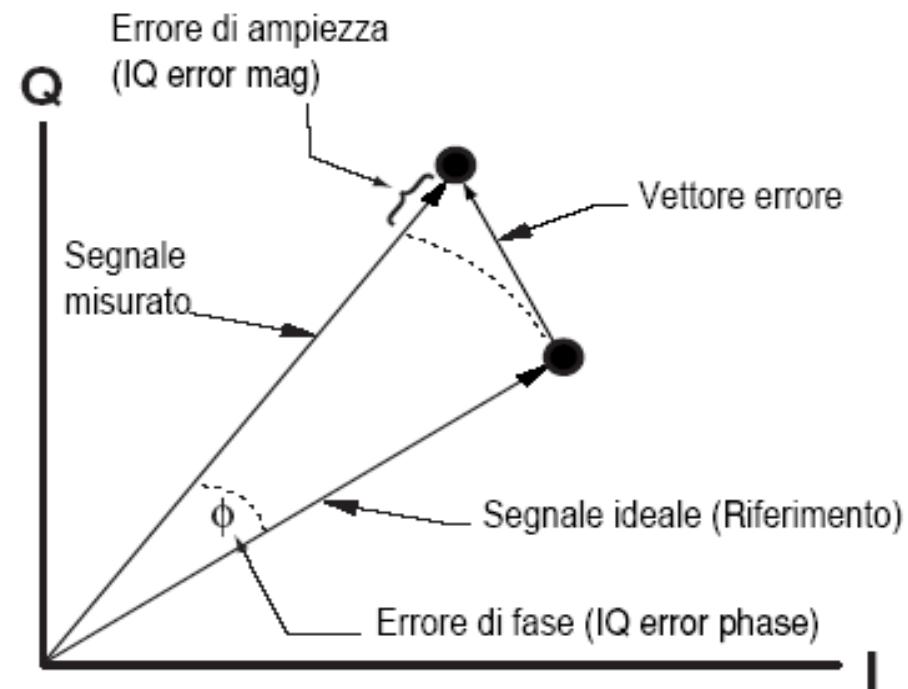
Il problema è che, a causa del rumore o di altri fenomeni interferenti, nel momento della decisione da parte del ricevitore il vettore che rappresenta il segnale modulato ricevuto non si trova esattamente in uno dei punti della costellazione previsti teoricamente, ma un po' spostato da esso, tanto più spostato quanto più forti sono i disturbi o le non linearità della catena di trasmissione.



DEFINIZIONE DI VETTORE ERRORE

Il 'vettore errore' rappresenta la **differenza tra il punto teorico** in cui si sarebbe dovuto trovare il segnale nel piano IQ nel momento della decisione del ricevitore e **il punto reale** in cui si trova quando viene visto dal ricevitore stesso.

Il vettore errore, come tutti i vettori, può essere descritto e caratterizzato dal suo **modulo** e dalla sua **fase**. Ripetendo la stessa osservazione per ogni simbolo trasmesso, si può ricavare un vettore errore per ogni simbolo trasmesso.



DEFINIZIONE DI VETTORE ERRORE

I vettori errore descrivono di quanto 'balla' il segnale ricevuto nei dintorni del punto teorico nel quale dovrebbe trovarsi e, rappresentati sul diagramma IQ, formano una 'nuvola' nei dintorni di ogni punto teorico della costellazione.

Misurando tanti vettori errore, uno per ogni simbolo ricevuto, e prendendo in considerazione **il valore quadratico medio del modulo** degli stessi, si ricava il parametro che meglio descrive la qualità intrinseca della modulazione.

EVM

Tale parametro si chiama EVM (Error Vector Magnitude) ed esprime in **valore percentuale** quanto è grande l'errore rispetto al segnale.

Valori % più grandi di EVM indicano valori peggiori della qualità del Segnale.

Attenzione, però, al fatto che l'EVM può essere definito, anziché come forma percentuale, anche come rapporto tra potenze.

In tal caso, viene calcolato come rapporto espresso in dB tra il valore quadratico medio della potenza del vettore errore e il valore quadratico medio della potenza del segnale ideale di riferimento.

EVM

Sebbene anche in questo caso valori più grandi di EVM indichino valori peggiori della qualità del segnale, ricordatevi però che essendo i valori dell'EVM in generale piuttosto piccoli (l'errore nei sistemi reali è più piccolo del segnale utile, almeno si spera!), il rapporto espresso in dB diventa un numero negativo, tanto più negativo quanto migliore è il segnale.

Riassumendo:

un valore EVM% di 0,10 (10%) rappresenta un segnale peggiore rispetto ad un altro con EVM% di 0,05 (5%)

un valore EVM di -10 dB rappresenta un segnale peggiore rispetto ad un altro con EVM di -20dB

EVM

Infatti si ricorda che:

Il **Bel** è definito come il logaritmo del rapporto tra una grandezza X e il suo valore di riferimento X_0 .

1 **Decibel** è pari a 1/10 di Bel e il decibel relativo ad una grandezza X generica viene espresso nella forma:

osservando che:

quando $x=0 \Rightarrow$ logaritmo=- infinito

quando $x=1 \Rightarrow$ logaritmo=0

quando $x=\text{valore della base} \Rightarrow$ logaritmo=1

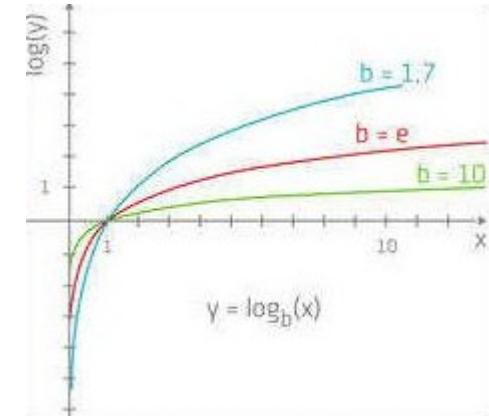
E ricordando le proprietà:

$$\log_a(A / B) = \log_a(A) - \log_a(B)$$

$$\log_a(A^b) = b \cdot \log_a(A)$$

E facile intuire come valori sempre più negativi di EVM sono migliori

$$dB_x = 10 \log\left(\frac{X}{X_0}\right)$$



EVM

Con quale strumento si misura l'EVM?

Sul mercato esistono numerose soluzioni, identificate con nomi anche diversi: analizzatore di segnali, analizzatore di modulazione, analizzatore vettoriale e così via.

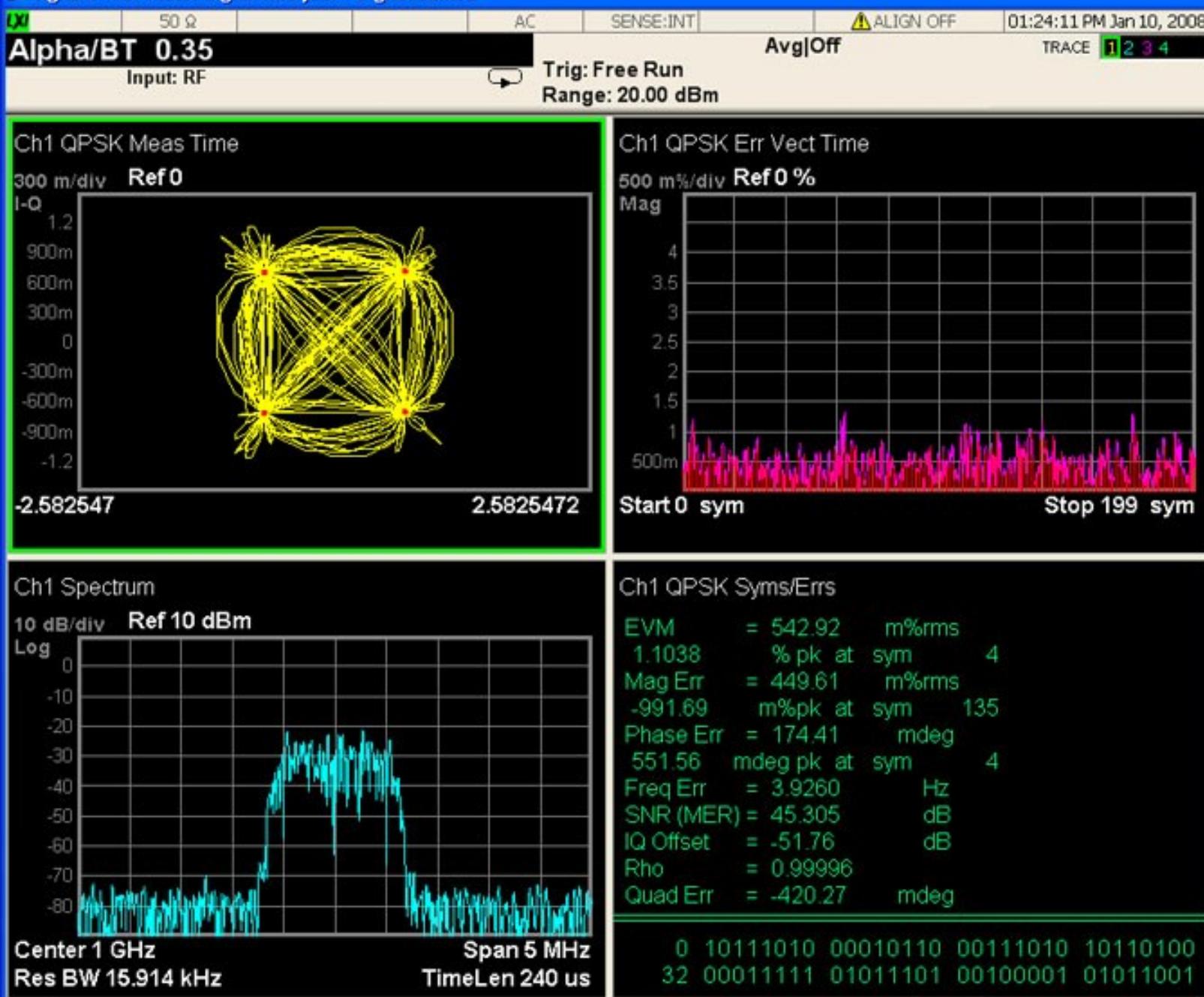
Molto comune è anche la versione software, in pratica un applicativo che viene utilizzato su analizzatori di spettro, digitalizzatori od oscilloscopi.

Il principio di funzionamento degli strumenti che misurano l'EVM è però simile: il segnale viene demodulato, dai dati demodulati lo strumento ricostruisce via software il segnale ideale che avrebbe dovuto essere ricevuto, dopodichè per differenza è in grado di ottenere il 'segnaletutto', la cui elaborazione matematica porta al risultato EVM cercato.

EVM

A seconda dello strumento, l'EVM può essere riportato in forma sintetica tabellare, in valore percentuale o in dB, oppure come grafico della sua evoluzione nel dominio del tempo al quale è associato il valore dell'EVM di ogni simbolo. Inoltre, alcuni strumenti riportano solo informazioni sul modulo del vettore errore, altri sono in grado di analizzare anche la fase del vettore errore.

Gli strumenti più sofisticati presentano spesso l'analisi dell'EVM insieme ad altri 'domini' per comprendere meglio i fenomeni di modulazione, come il diagramma a costellazione o l'analisi spettrale del vettore errore stesso.



Demod Setup

Meas Filter

RRC

Ref Filter

Raised Cosine

Alpha / BT

0.35

Burst / Sync

Search

Advanced

Dig Demod

More

2 of 2

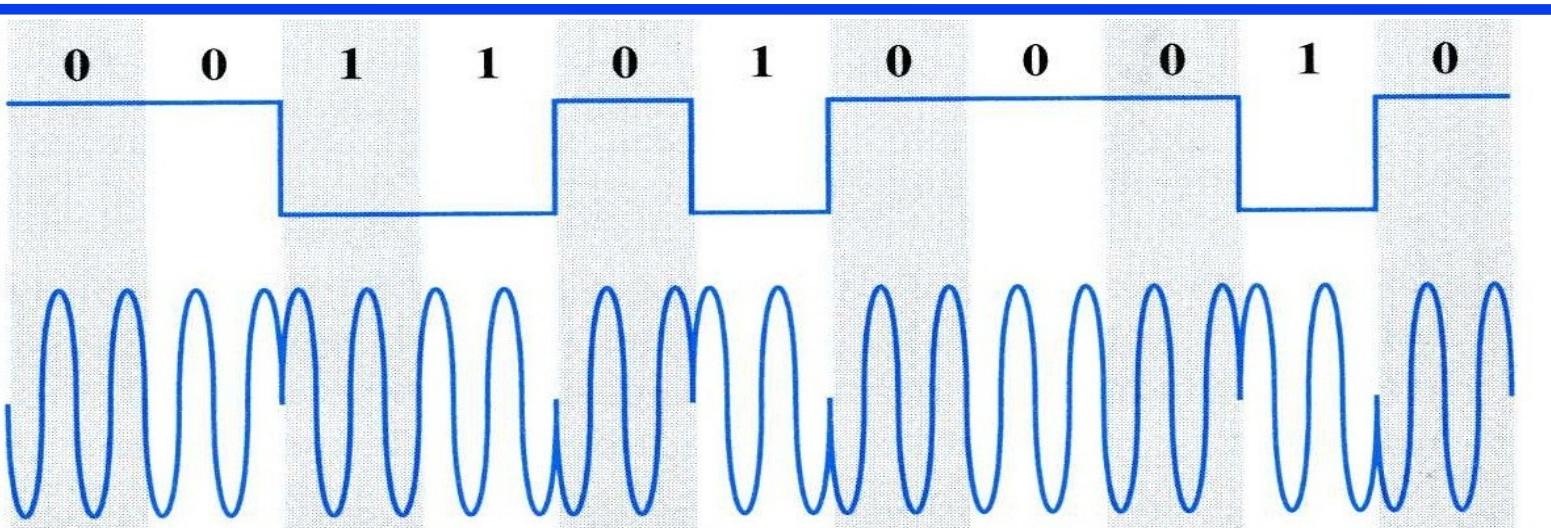
CODIFICA DIFFERENZIALE DPSK

Per evitare le enormi complicazioni che sarebbero necessarie per ottenere una fase di riferimento assoluta (0°) nel ricevitore, di norma si utilizza una modulazione differenziale, ovvero sono i salti di fase che codificano i bit di informazione e non i valori assoluti. Nella modulazione a spostamento di fase differenziale, in sigla DPSK, si fa corrispondere ai due livelli binari rispettivamente nessuna variazione di fase o variazione di 180° rispetto alla segnalazione precedente. Il problema di individuare il valore della prima cifra ricevuta è facilmente risolto dall'invio di una sequenza prestabilita prima della comunicazione vera e propria.

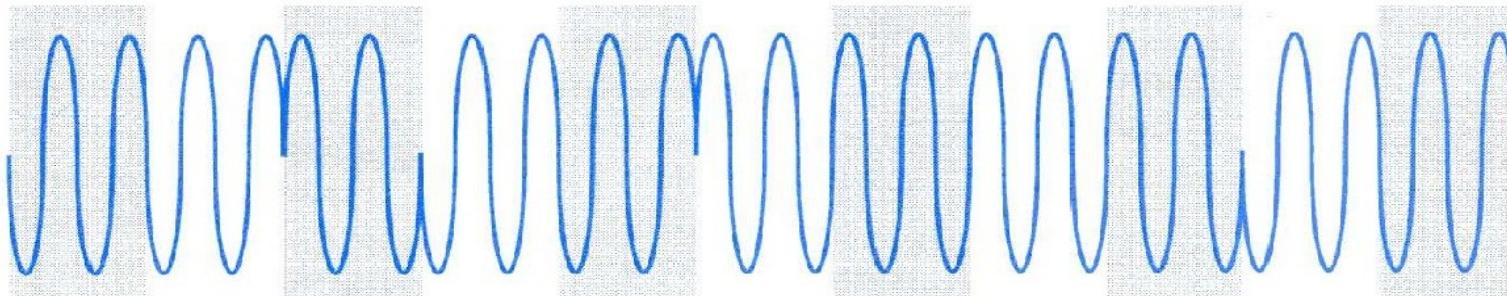
Naturalmente un segnale DPSK, avendo lo stesso andamento di un segnale PSK, conserva le stesse caratteristiche spettrali di quest'ultimo. Quindi si può associare la codifica dei due bit come segue:

00=nessun salto di fase, 01= 90° , 10= 180° , 11= -90° o $+270^\circ$.

CODIFICA DIFFERENZIALE DPSK



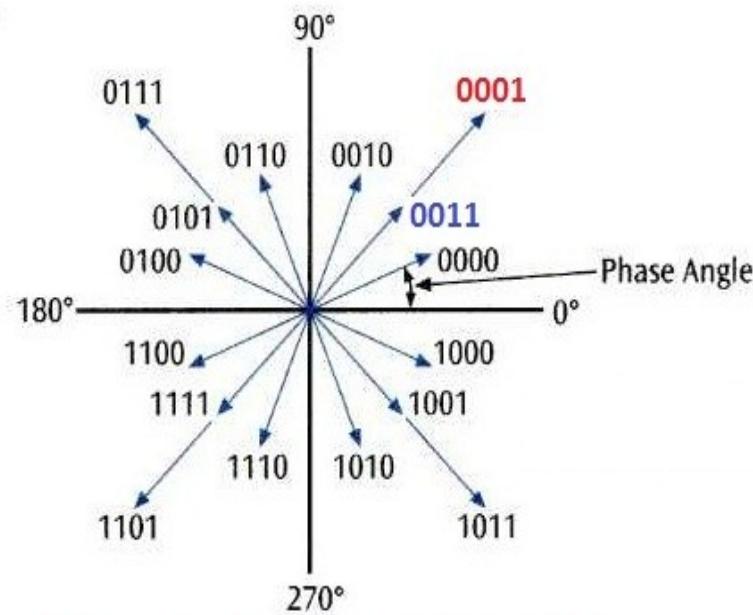
PSK usa 2 fasi per rappresentare i cambiamento da 0 a 1



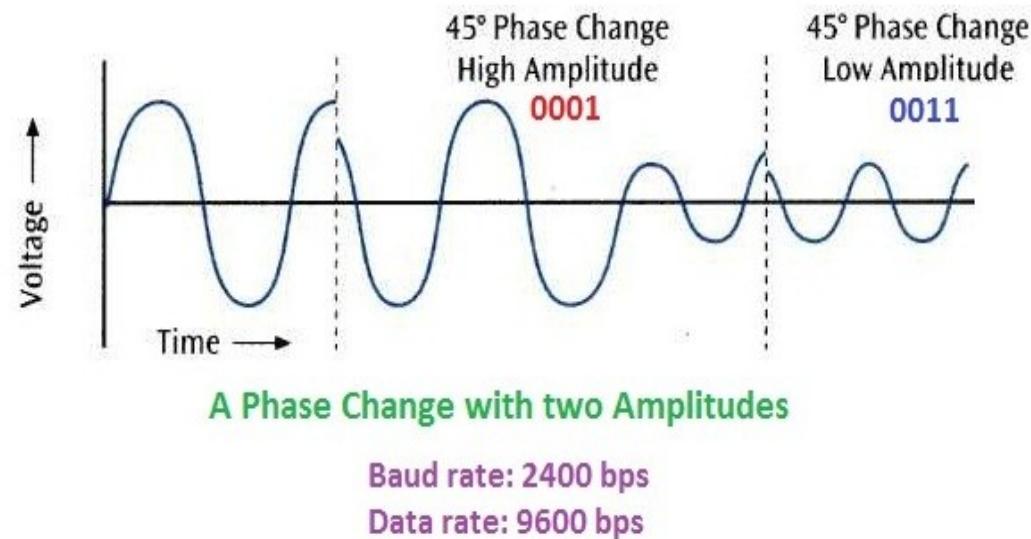
DPSK se 0 non cambia fase, se 1 cambia fase

MODULAZIONE QAM

Combinando la modulazione ASK e la PSK, si ottiene la modulazione di ampiezza in quadratura, chiamata così perché si può ottenere modulando in ampiezza due portanti della stessa frequenza, sommate in quadratura di fase (cioè sfasate di 90°); permettendo una codifica



12 Phase Angles, 2 Amplitudes, 4 bits

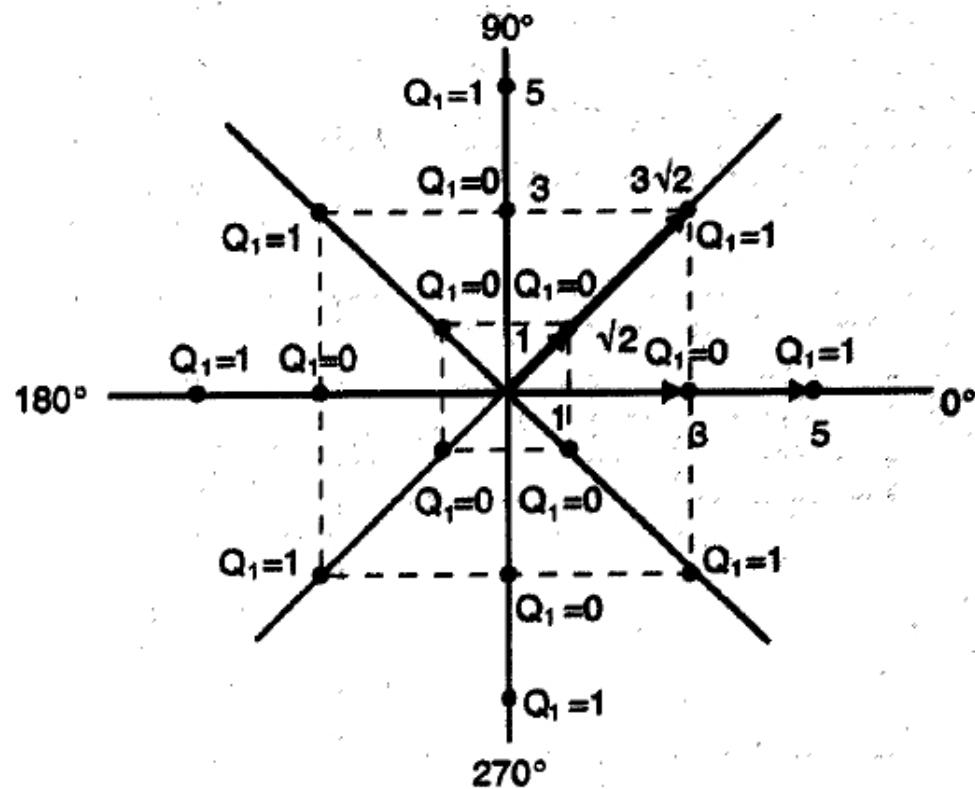


MODULAZIONE 16-QAM

Nella modulazione 16-QAM (QAM a 16 livelli) i dati da trasmettere sono divisi in gruppi di quattro bit (quadribit). Per effettuare una modulazione 16-QAM si fa variare la fase della portante (con la regola della 8-DPSK) a seconda dei tre ultimi bit componenti il quadribit, mentre il primo lo si utilizza per operare una modulazione di ampiezza sul segnale già modulato in fase. Così facendo si ottengono $2^3=8$ salti di fase, ad ognuno dei quali può essere associata un'ampiezza corrispondente all'uno o allo zero logico del primo bit. L'ampiezza relativa al segnale modulato nelle varie fasi è descritta nelle raccomandazioni V.29 del C.C.I.T.T. e riportata nella tabella riportata nella prossima pagina.

MODULAZIONE 16-QAM

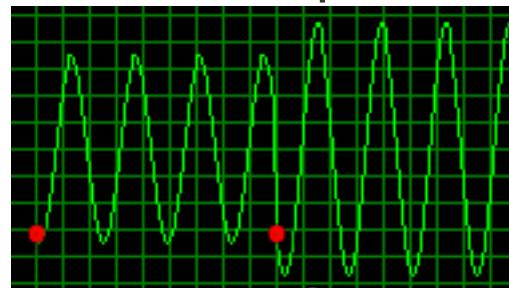
n. stati	Configurazione binaria				Ampiezza A	Fase $\Delta\varphi$
	Q ₄	Q ₃	Q ₂	Q ₁		
1	0	0	1	0	3	0°
2	0	0	1	1	5	0°
3	0	0	0	0	$\sqrt{2}$	45°
4	0	0	0	1	$3\sqrt{2}$	45°
5	0	1	0	0	3	90°
6	0	1	0	1	5	90°
7	0	1	1	0	$\sqrt{2}$	135°
8	0	1	1	1	$3\sqrt{2}$	135°
9	1	1	1	0	3	180°
10	1	1	1	1	5	180°
11	1	1	0	0	$\sqrt{2}$	225°
12	1	1	0	1	$3\sqrt{2}$	225°
13	1	0	0	0	3	270°
14	1	0	0	1	5	270°
15	1	0	1	0	$\sqrt{2}$	315°
16	1	0	1	1	$3\sqrt{2}$	315°



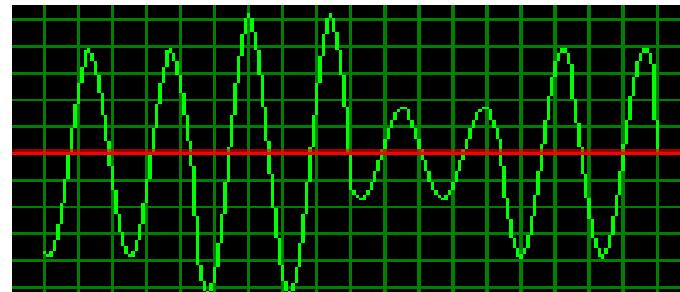
MODULAZIONE 16-QAM

Il primo diagramma temporale rappresenta la codifica 00100011.

Il primo quadribit differisce dal secondo solamente per l'ampiezza della portante mentre la fase, indicata dal punto rosso, rimane la stessa.



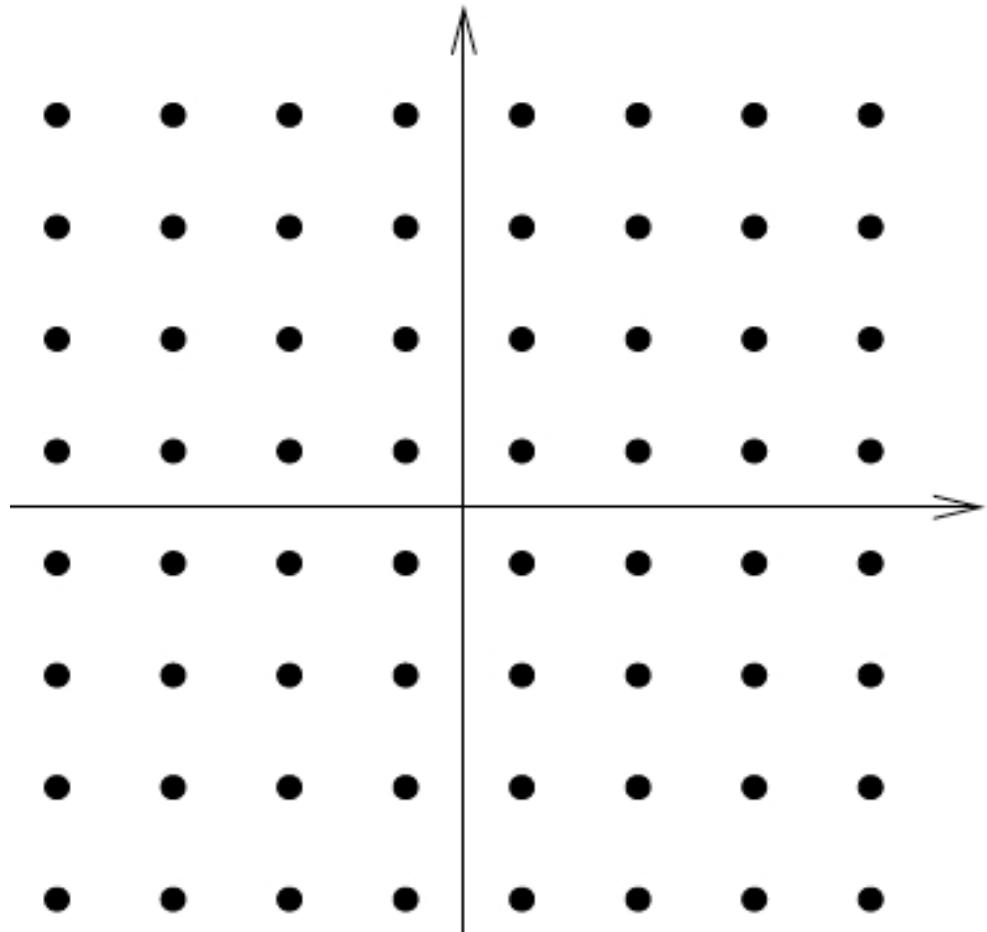
Il secondo diagramma temporale di figura rappresenta la codifica 0010001100000001. Le ampiezze dei quadribit sono rispettivamente 3, 5, $\sqrt{2}$, $3\sqrt{2}$ V mentre le fasi sono, come da tabella precedente, 0° e 45° .



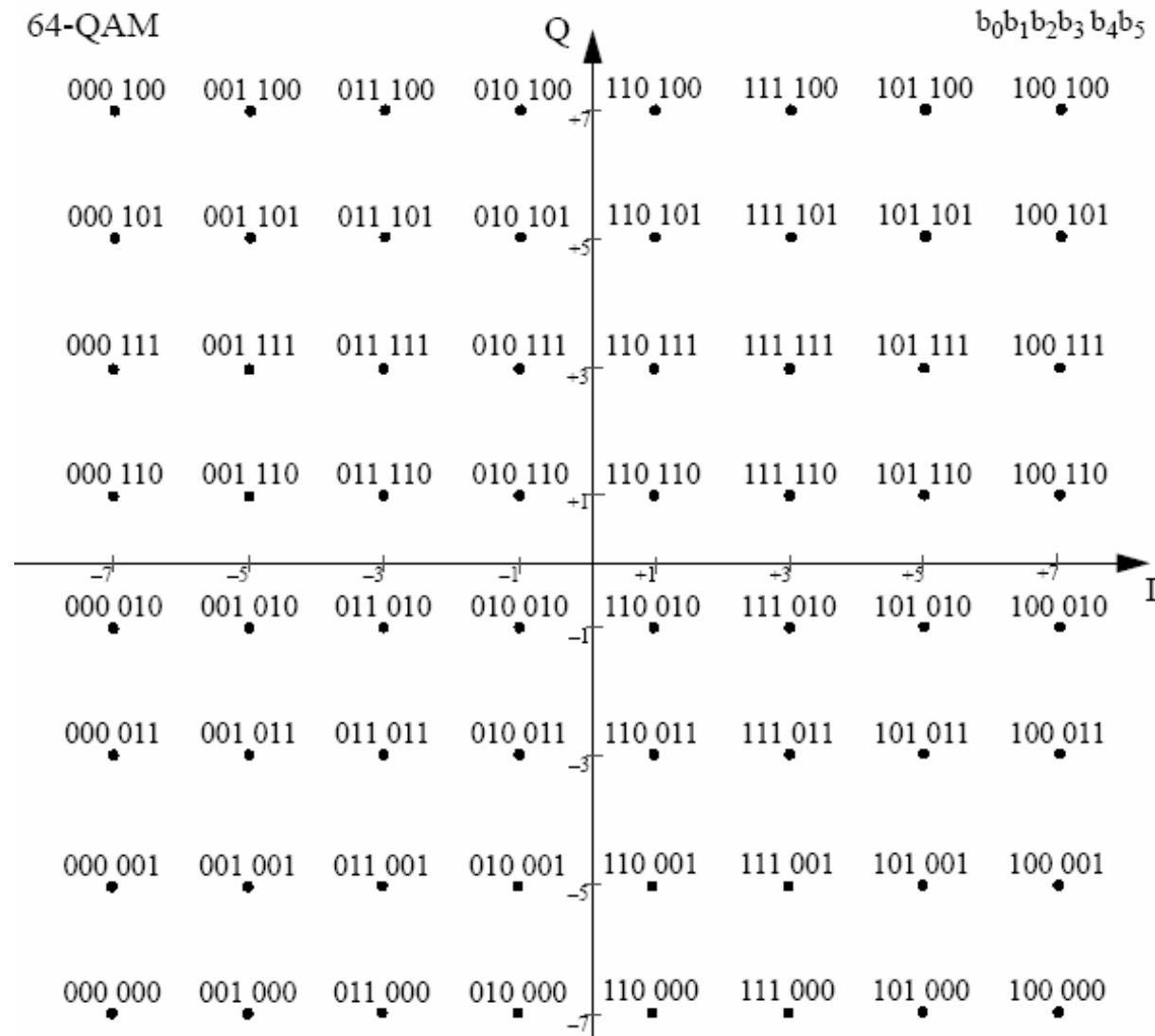
MODULAZIONE 64-QAM

E' anch'essa una modulazione bidimensionale, che risulta dalla combinazione di due PAM modulate con portanti seno e coseno (ortogonali fra di loro).

QAM-64 è usata nell'ADSL.



MODULAZIONE 64-QAM

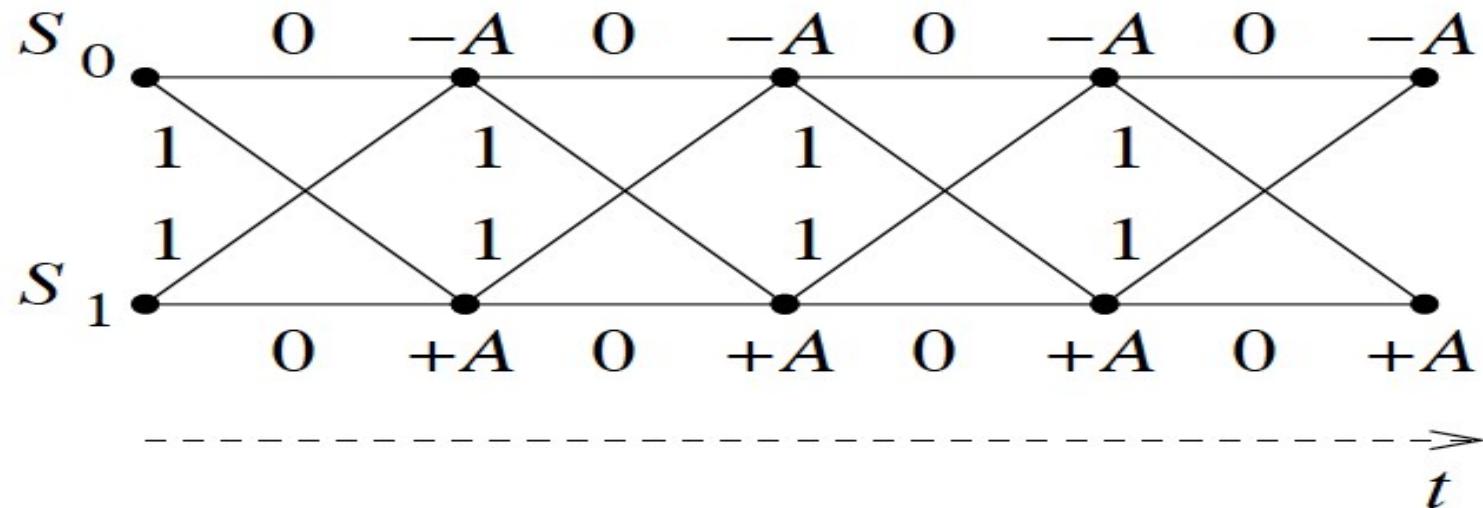


CODIFICA TRELLIS

La modulazione binaria con memoria può essere rappresentata come una macchina a due stati S_0 e S_1 ; allo stato S_0 è associato il livello $-A$, mentre allo stato S_1 è associato il livello $+A$ (supponendo di avere un segnale PAM).

Il bit 0 non fa cambiare stato, mentre il bit 1 fa cambiare stato.

L'andamento temporale del segnale può essere rappresentato con un diagramma a “traliccio” (in inglese, trellis).



ALTERAZIONE DEL SEGNALE

Con alterazione del segnale si intendono tutti i processi di modifica del suddetto che lo portano a differenziarsi dal segnale originale.

Le principali cause di deterioramento sono:

- Attenuazione
- Distorsione
- Rumore
- Interferenza

ATTENUAZIONE

Per **attenuazione** si intende una perdita di energia del segnale, problema che può essere superato utilizzando dispositivi quali amplificatori; l'attenuazione (o la variazione in genere) del segnale è

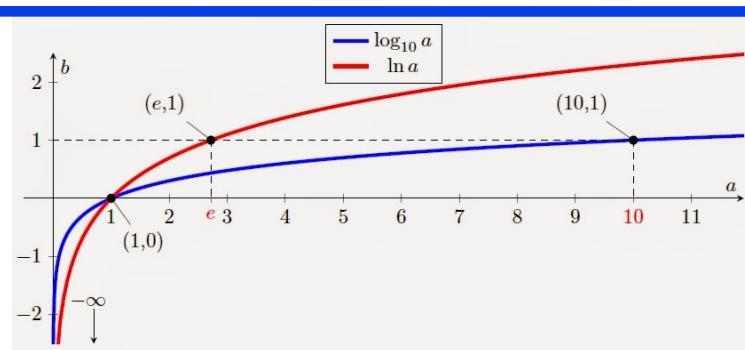
misurata in decibel, secondo: $dB = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$

dove P1 rappresenta la potenza iniziale, mentre P2 rappresenta la potenza finale.

Similmente è possibile ottenere la legge che governa la definizione di decibel per la tensione: $dB = 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1}$

Dove V1 è la tensione iniziale del mezzo trasmittivo, mentre V2 quella finale.

ATTENUAZIONE



Esempio di interpretazione:

Attenuazione su ADSL “classica”: fino a 8 Mbps in download

fino a 20 dB: perfetto, non si può ottenere di meglio

20 - 30 dB: eccellente

30 - 40 dB: molto buono

40 - 50 dB: buono/discreto

50 - 60 dB: appena sufficiente, si possono verificare disconnessioni

oltre 60 dB: pessimo, disconnessioni frequenti.

ATTENUAZIONE e RIGENERAZIONE

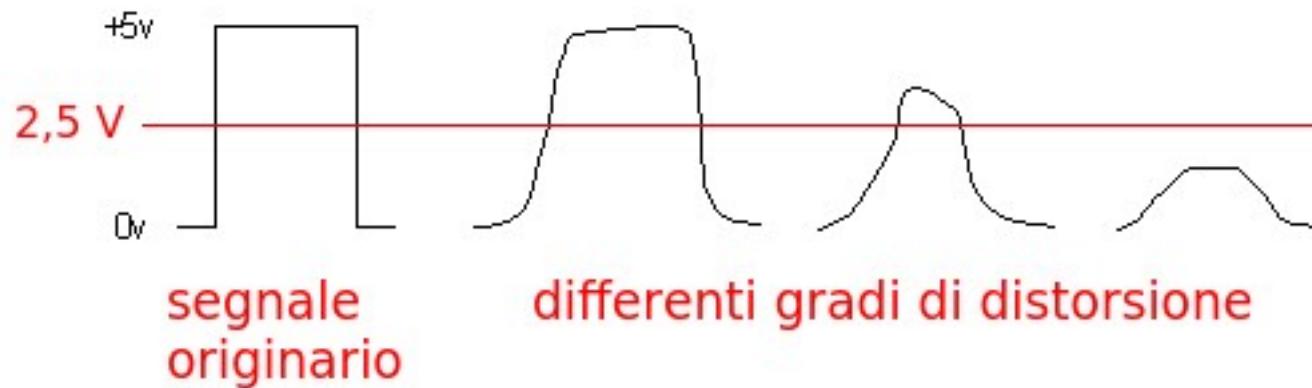


DISTORSIONE

La **distorsione** è un cambiamento della forma del segnale, è tipica di un segnale costituito da varie frequenze.

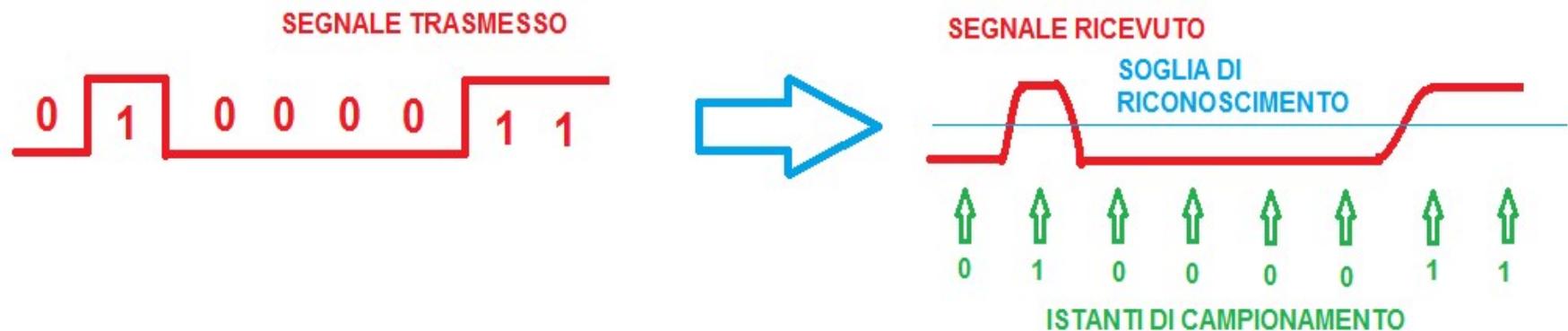
Ogni componente di un segnale può avere un suo ritardo all'arrivo, perciò si possono creare notevoli differenze tra la forma del segnale inviato e la forma del segnale giunto a destinazione.

Essendo un disturbo intrinseco al sistema, svanisce quando questo è spento.



DISTORSIONE

Interpretazione del segnale ricevuto con distorsione e campionato in base alla soglia di riconoscimento



RUMORE

Il **rumore** è considerato l'insieme di segnali indesiderati che si sovrappongono al segnale utile: generalmente causati da processi naturali interni e/o esterni al sistema; la causa più comune della creazione del rumore è il rumore termico causato dai componenti elettronici del sistema.

Spesso viene utilizzato il rapporto segnale/rumore definito **SNR** (*Signal to Noise Ratio*) o **S/N**: è la grandezza che mette in relazione la potenza del segnale utile rispetto a quella del rumore:

$$SNR = \frac{P_{\text{segnale}}}{P_{\text{rumore}}}$$

RUMORE

Esempio di interpretazione dei valori di SNR su ADSL “classica” (fino a 8 Mbps in download)

fino a 6 dB: segnale assente/intermittente

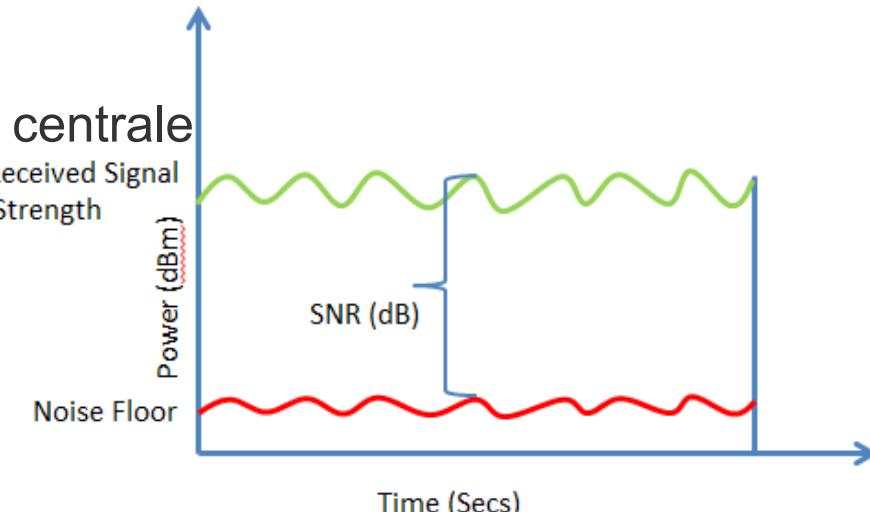
7 - 10 dB: pessima qualità, difficile avere una connessione stabile

11 - 15 dB: segnale sul livello di soglia, controllare impianto telefonico e filtri

16 - 20 dB: segnale pulito, nessuna anomalia

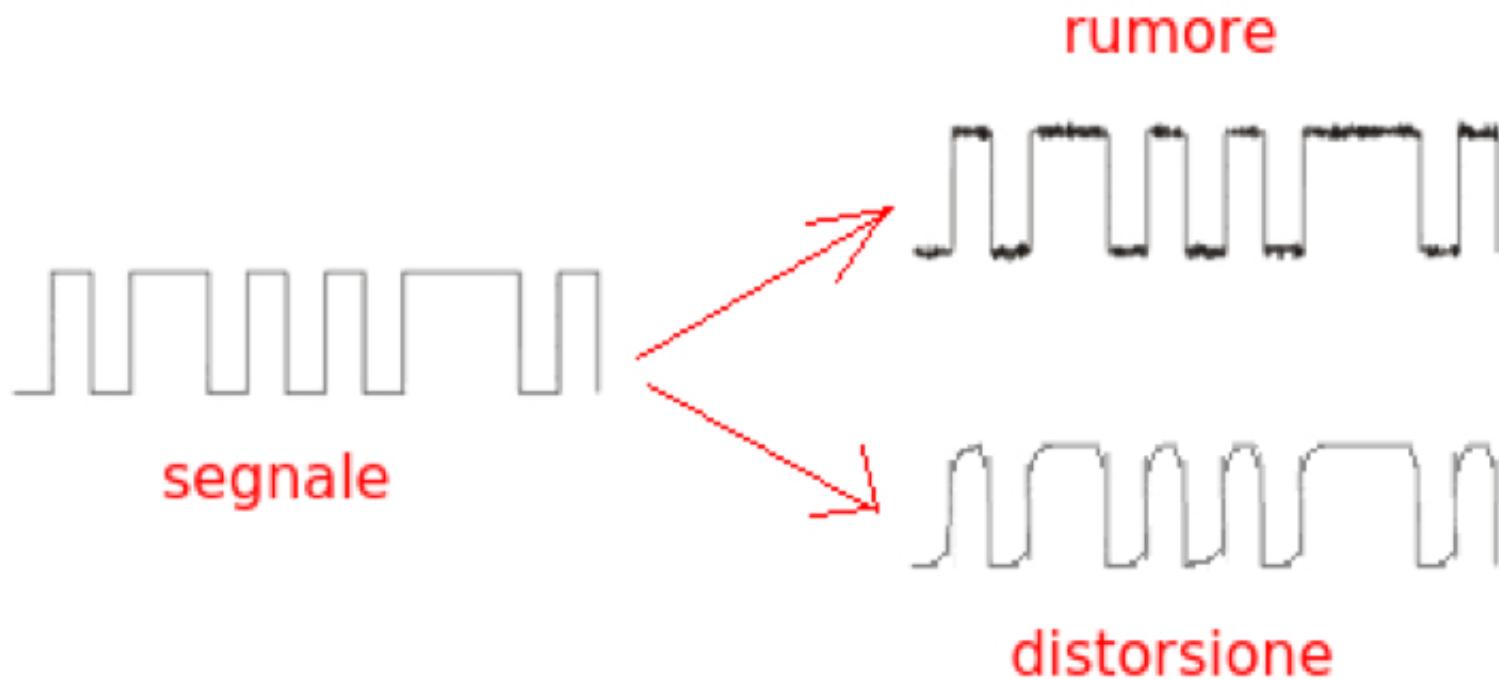
20 - 28 dB: segnale ottimo

oltre 28 dB: eccellente, siete molto vicini alla centrale



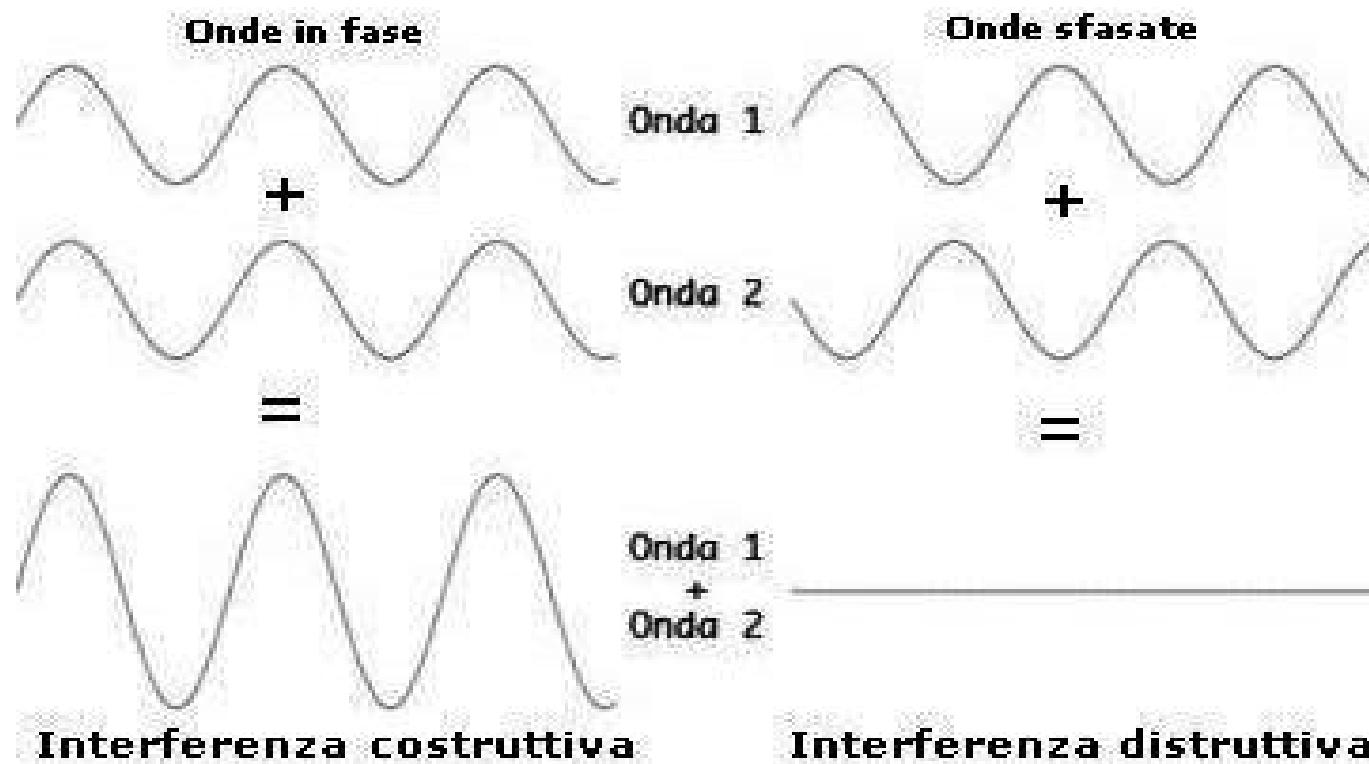
DISTORSIONE E RUMORE

Effetti del rumore e della distorsione sul segnale di partenza



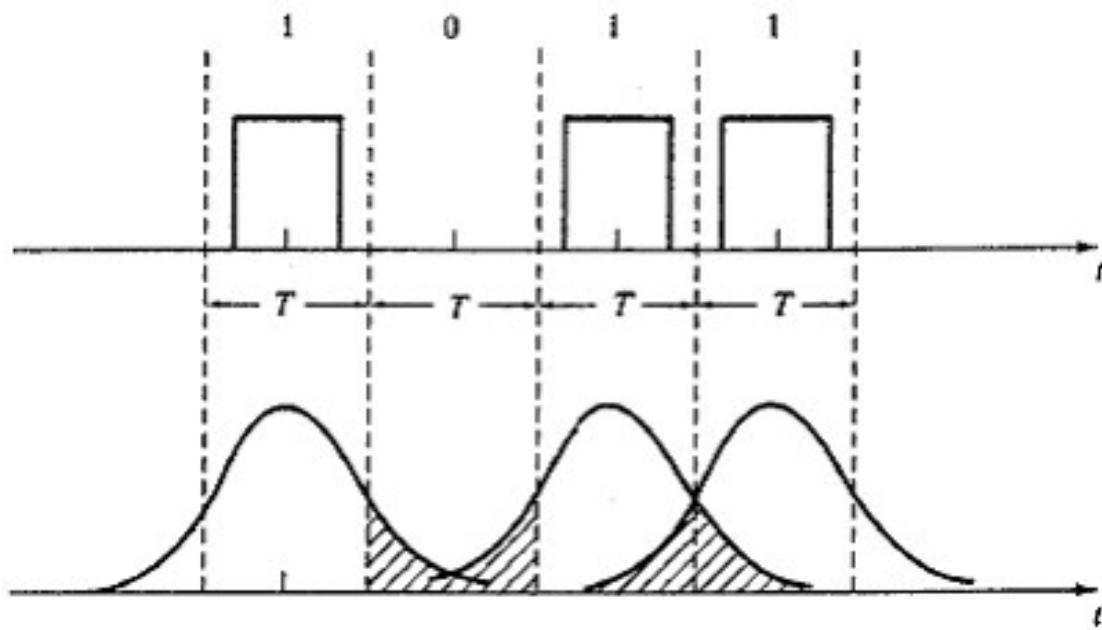
INTERFERENZA

L'**interferenza** è la sovrapposizione di informazioni non desiderate che crea disturbo nella corretta interpretazione di informazione; solitamente per interferenza di intende la contaminazione da parte di segnali esterni.



INTERFERENZA

L'**Interferenza ISI** (*Inter Symbol Interference*) o **Intersimbolica** è invece causata dalle limitazioni della banda, e provoca un arrotondamento dei segnali rettangolari emessi da un DTE.



LIMITI DI VELOCITA' NEL TRASFERIMENTO

Un parametro molto usato in comunicazione dati è la velocità di trasferimento espressa in bit/sec.

Supposto di lavorare su **canali telefonici**, si definiscono:

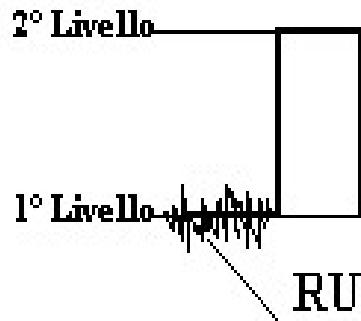
- canali **perfetti**,
 - ossia senza distorsioni o ritardi nella propagazione del segnale
- canali **ideali**,
 - con solo un ritardo costante nella propagazione
- canali **reali**,
 - con attenuazioni e ritardi in funzione della frequenza dei segnali.

LIMITI DI VELOCITA' NEL TRASFERIMENTO

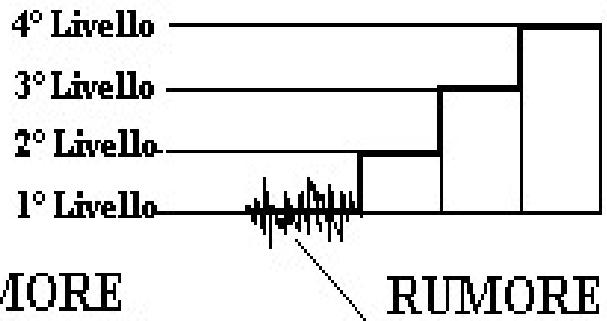
Nyquist ha espresso un teorema che lega la larghezza di banda di un canale alla quantità di informazione trasportabile: $\text{Massimo Data Rate} = 2B * \log_2 V$ dove B è la larghezza di banda del segnale, V il numero di livelli di tensione differenti presenti nel segnale.

In teoria, aumentando V si potrebbe aumentare il data rate, ma nella pratica aumentando i livelli si riduce l'affidabilità della comunicazione.

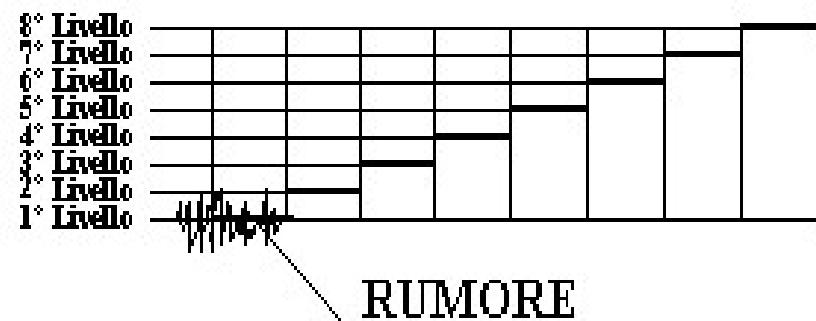
CODIFICA
A DUE
LIVELLI



CODIFICA
A QUATTRO
LIVELLI



CODIFICA
A OTTO
LIVELLI



LIMITI DI VELOCITA' NEL TRASFERIMENTO

Shannon tiene conto anche del rumore:

$$\text{Massimo Data Rate} = C = B \log_2(1+S/N)$$

dove B è ancora una volta la larghezza di banda, S e N rispettivamente la potenza del segnale e la potenza del rumore.

Nella pratica si utilizza **prima Shannon** per valutare il Massimo Data Rate che **poi** viene sostituito in **Nyquist** per ricavare il numero opportuno di livelli (V) da usare in un canale telefonico.

ESEMPIO

Supponiamo di considerare un canale telefonico con banda 300 a 3400 Hz. Usando una codifica multilivello la massima velocità teorica che può essere raggiunta sul canale è data da: $C_{max} = 2B \log_2(V) = 6200 \times \log_2(V)$ dove $2B = 2(3400-300) = 6200$ b/s

Ciò però è possibile solo per un canale assolutamente privo di rumore. Supponiamo invece che sul nostro canale si abbia un rapporto segnale rumore $SNR = 36$ dB. Abbiamo dunque $SNR=36dB = 10 \log_{10}(S/N)$ da cui ricaviamo $S/N = 10^{36/10} = 3981$.

Usando quindi la formula di Shannon per canali rumorosi troviamo:

$$C_{rummax} = B \log_2(1+S/N) = 3100 \times \log_2(1+3981) = 37073 \text{ bit/s.}$$

Per sapere quanti livelli sarebbero in teoria necessari per raggiungere la velocità massima teorica di Shannon possiamo calcolare:

$$C_{rummax} = C_{max} \quad \text{da cui } 37073 \text{ bit/s} = 2B \log_2(V) = 6200 \log_2(V)$$

$$\text{da cui } \log_2(V) = 37073/6200 \approx 6$$

In pratica occorrerebbe avere $V \approx 64$, cioè ben 64 livelli per raggiungere la velocità massima teorica prevista dalla formula di Shannon.

LIMITI DI VELOCITA' NEL TRASFERIMENTO

Si tratteranno di seguito altri importanti concetti nella definizione dei limiti della velocità di trasferimento, quali:

- Throughput
- Latenza
- Jitter

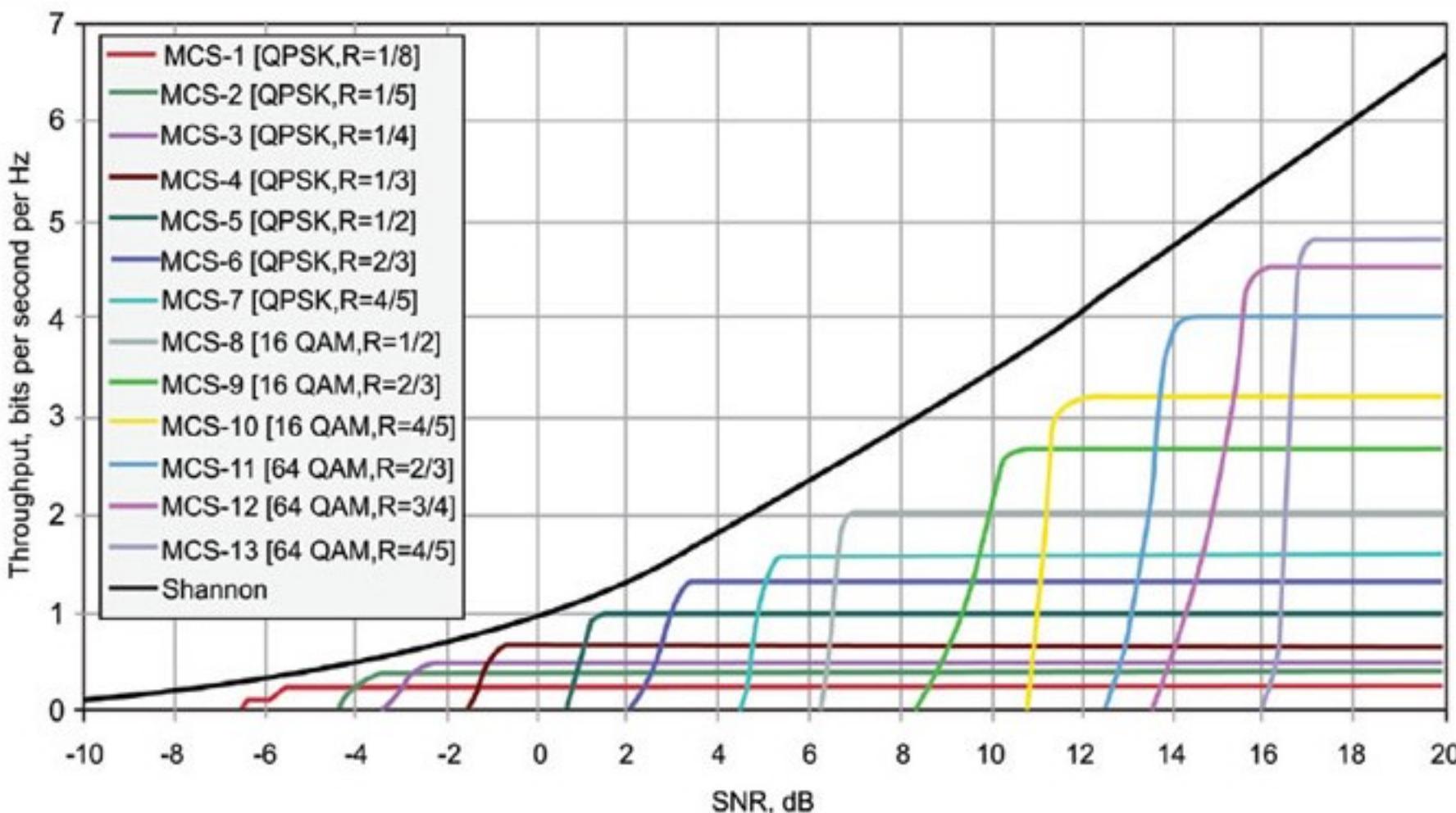
THROUGHPUT

Il **throughput** considera quanto velocemente si possono spedire dati (in bit/s) attraverso una determinata (reale) rete.

La velocità trasmissiva è invece la massima velocità teorica del collegamento.

Il throughput tiene conto di come l'informazione possa essere veramente smaltita, non solo inviata.

THROUGHPUT

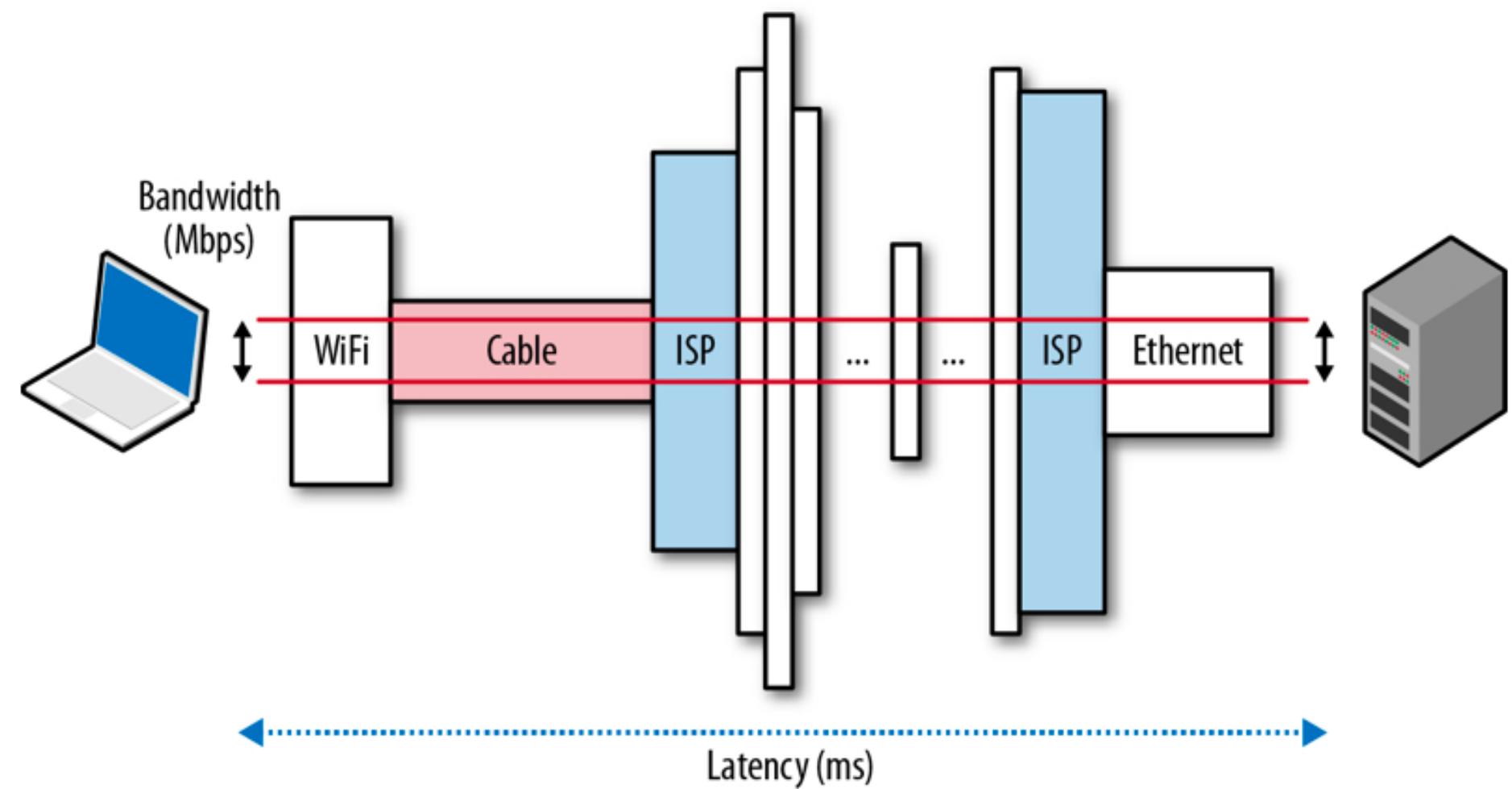


LATENZA

La **latenza** è il tempo necessario ad un messaggio per arrivare a destinazione. Tale tempo viene considerato dall'invio del primo bit alla ricezione dell'ultimo, e si tiene conto dei seguenti fattori:

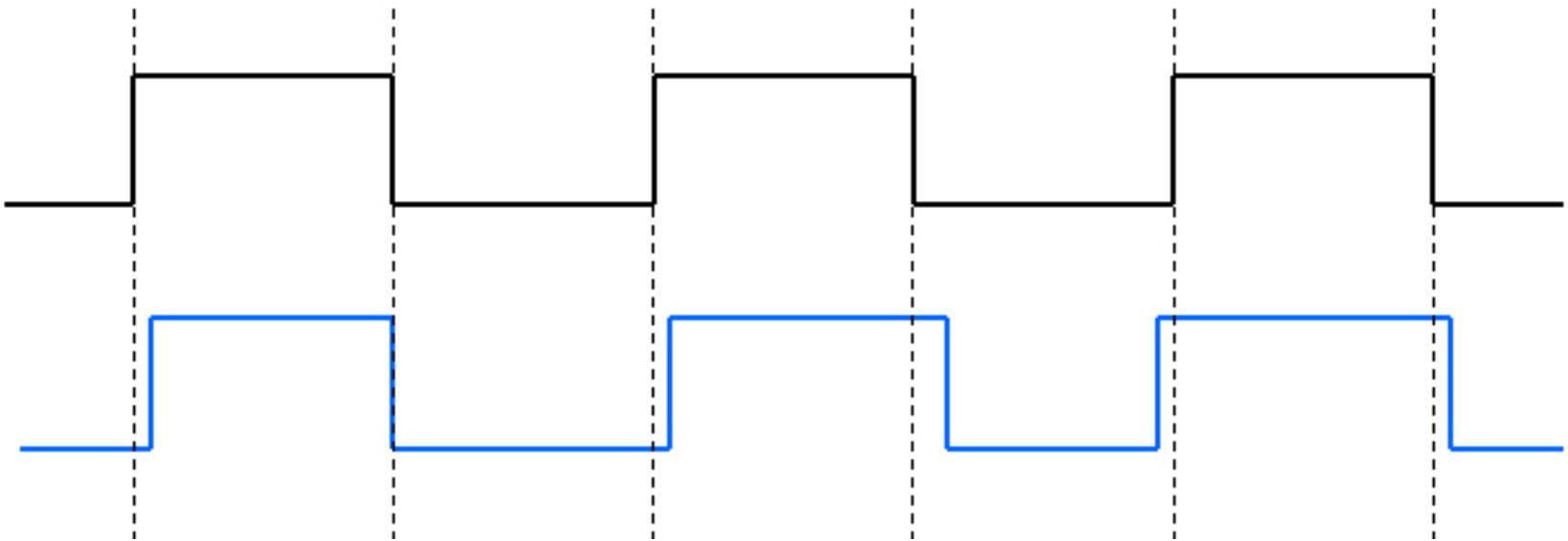
- **tempo di propagazione**: indica il tempo necessario al segnale per transitare sulla rete dal mittente al destinatario
- **tempo di trasmissione**: misura il tempo per immettere i bit sulla rete ed è espresso dal rapporto tra la dimensione del messaggio e la velocità trasmissiva
- **tempo di inoltro**: è il tempo necessario ai nodi della rete a consegnare il messaggio in transito; è legato ad hw e sw non al traffico
- **tempo di attesa**: esprime il tempo di attesa nelle code di rete; è dipendente dal carico di rete.

LATENZA



JITTER

Il **jitter** esprime la variabilità del ritardo con cui i pacchetti vengono consegnati in ricezione.



VELOCITÀ DI MODULAZIONE

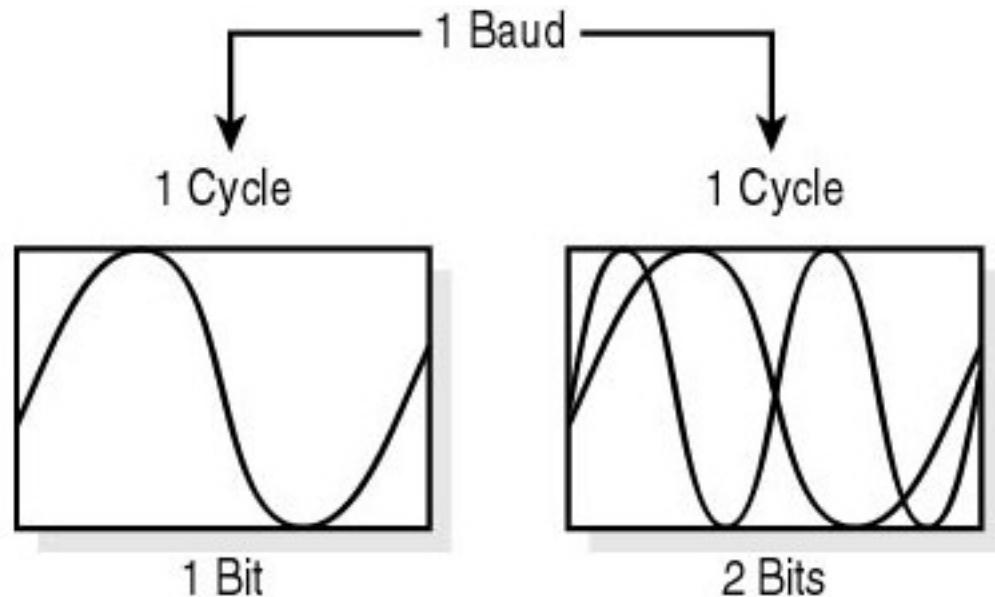
La velocità di modulazione indica il numero di simboli trasmessi in un secondo ed è espressa in **baud** (simboli/sec).

Il **baud rate** (tasso di simboli) esprime quanti simboli vengono trasmessi al secondo in un sistema di comunicazione numerico (modem).

Attenzione a non confonderla

con i bps, bit per second,

Poiché in un simbolo possono essere presenti più bits.



VELOCITÀ DI MODULAZIONE E DI TRASMISSIONE

Velocità di trasmissione e velocità di modulazione sono in relazione:

$$\text{Velocità di modulazione} = \frac{\text{Velocità di trasmissione}}{\log_2 n}$$

dove n indica il numero di livelli utilizzati per la modulazione;

Ad esempio nella QAM 16 ad una velocità di trasmissione di 9600 bps corrisponde una velocità di modulazione di 2400 baud

SCHEMI DI CONTROLLO TRASMISSIONE

I segnali digitali, per essere trasmessi tra due DTE, vanno ritrasformati in un altro segnale digitale ma con caratteristiche specifiche per un determinato tipo di trasmissione.

Prima di tutto si deve definire la differenza se siamo in presenza di una trasmissione sincrona o asincrona.

TRASMISSIONE ASINCRONA

Per trasmissione asincrona si intende una trasmissione non governata da un particolare segnale di clock, ma con segnali inviati a frequenze e fasi diverse.

La linea viene mantenuta in stato idle quando non vengono trasmesse informazioni (inviando ripetutamente il segnale 1), e, prima dell'invio di dati significativi viene inviato uno start-bit che consente di riportare in fase il sistema ricevitore.

Il ricevitore mantiene l'attenzione al canale per la durata del carattere, fino allo stop-bit: se dopo quest'ultimo non ci sono altri segnali da ricevere, il ricevitore torna in stato di riposo fino al successivo start-bit.

TRASMISSIONE ASINCRONA

Il vantaggio di questo tipo di trasmissione è in caso di trasmissioni irregolari, ma c'è da considerare che l'aggiunta di start e stop bit incide del 30% sui bit realmente trasmessi

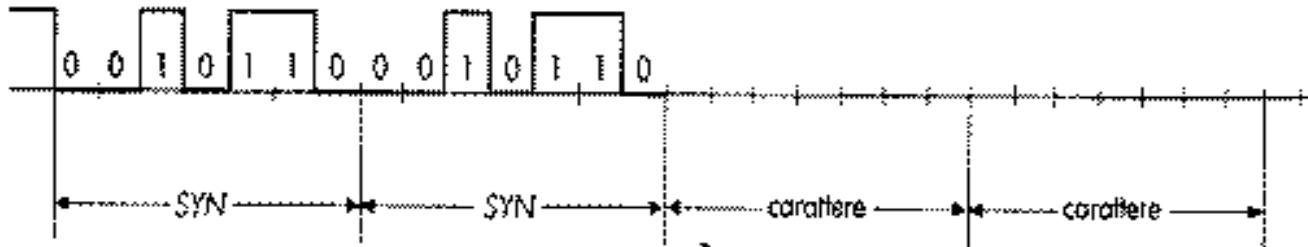


TRASMISSIONE SINCRONA

Nella trasmissione sincrona i caratteri di un messaggio vengono trasmessi back-to-back, dopo essere stati raggruppati in blocchi. I dispositivi si temporizzano secondo un segnale clock che dal trasmettitore (master) arriva al ricevitore (slave).

Il ricevitore deve avere un sincronismo di bit, come nel caso precedente, che viene estratto dal flusso dei dati in ricezione (detto trama); ma necessita anche di un sincronismo di carattere, che gli permetta di riconoscere i singoli caratteri nel flusso continuo di bit e che viene solitamente assicurato da un paio di caratteri di sincronismo (SYN) inviati all'inizio di ciascun blocco di trasmissione

TRASMISSIONE SINCRONA



Vi sono varie alternative per la propagazione del segnale di temporizzazione: ad esempio, inviando su linee separate il segnale di clock e il messaggio (soluzione sconsigliata), oppure ricavare clock in base al segnale ricevuto, oppure ancora ricavare clock in base ad un circuito di aggancio di fase, chiamato PLL (*Phase Lock Loop*. Si tratta della soluzione più usata).

Una delle tecniche di sincronizzazione è il codice bipolare alternato chiamato AMI (Alternate Mark Inversion).

CODIFICA DI CANALE (ENCODING)

Esistono varie tecniche di codifica utilizzate per la sincronizzazione, di seguito analizziamo le più comuni:

- **NRZ, Not Reduced Zero**
- **RZ, Return to Zero**
- **Manchester**
- **AMI, Alternate Mark Inversion**

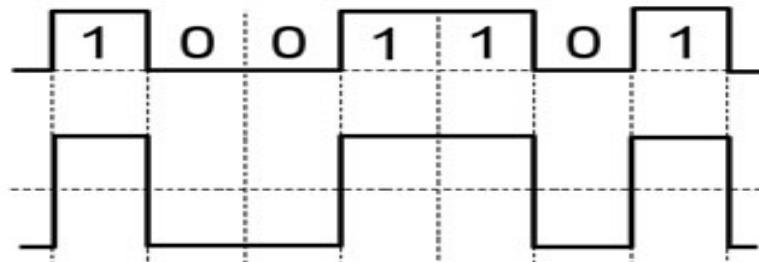
CODIFICA NRZ (Not Reduced Zero)

Lo stato digitale “1” è rappresentato con un segnale alto.

Lo stato digitale “0” è rappresentato con un segnale basso

Questo metodo è facilmente ottenibile e non richiede circuiti complicati anche perché non si tratta di una vera e propria codifica, visto che i dati vengono passati direttamente come tali in uscita.

Si ha inoltre una alta robustezza agli errori, anche se lunghe stringhe di “0” o di “1” potrebbero causare la perdita del sincronismo.



CODIFICA RZ (Return to Zero)

Lo stato digitale “1” è rappresentato con un segnale alto.

Lo stato digitale “0” è rappresentato con un segnale basso.

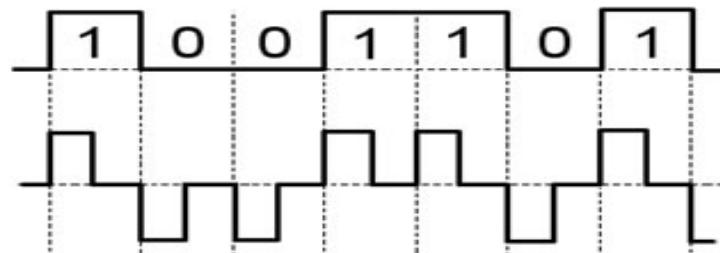
A metà durata dell'impulso il segnale torna sempre a zero.

Il clock ha frequenza doppia per ridurre al 50% la durata dell'impulso

Il ricevitore deve distinguere tra 3 livelli, anziché tra 2; quindi

la probabilità di errore è più grande rispetto a quella che si ha nell'NRZ.

Il vantaggio è che lunghe stringhe di “0” o di “1” non causano la perdita del sincronismo.



CODIFICA MANCHESTER

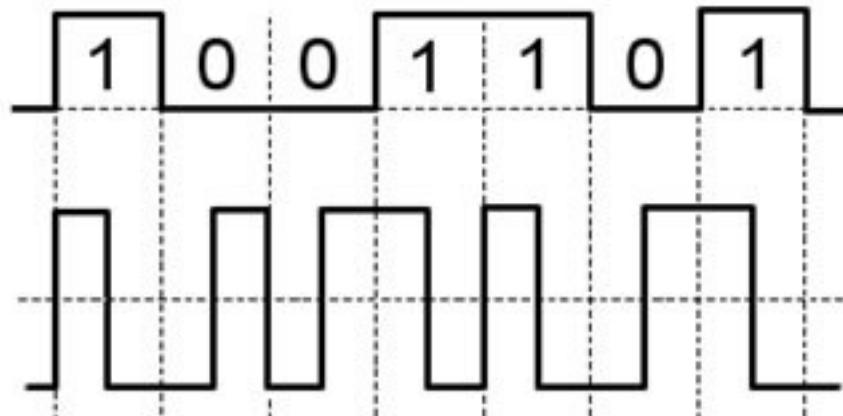
La codifica Manchester si basa sull'idea di dividere in 2 parti uguali il periodo di cifra, associando allo 0 logico una transizione dal basso verso l'alto a metà del bit, e similmente all'1 logico una transizione dall'alto verso il basso a metà del bit. Questo provoca un necessario raddoppio della banda necessaria a trasmettere l'informazione, poiché con questa codifica da ogni due bit trasferiti si ricava un bit di informazione.

È la codifica utilizzata nelle LAN perché la sincronizzazione dei clock ha valore medio nullo.

CODIFICA MANCHESTER

Come nell'RZ, in questo metodo lunghe stringhe di “0” o “1” non causano la perdita del sincronismo. Inoltre, lavorando con solo due livelli, viene garantita un’alta robustezza agli errori.

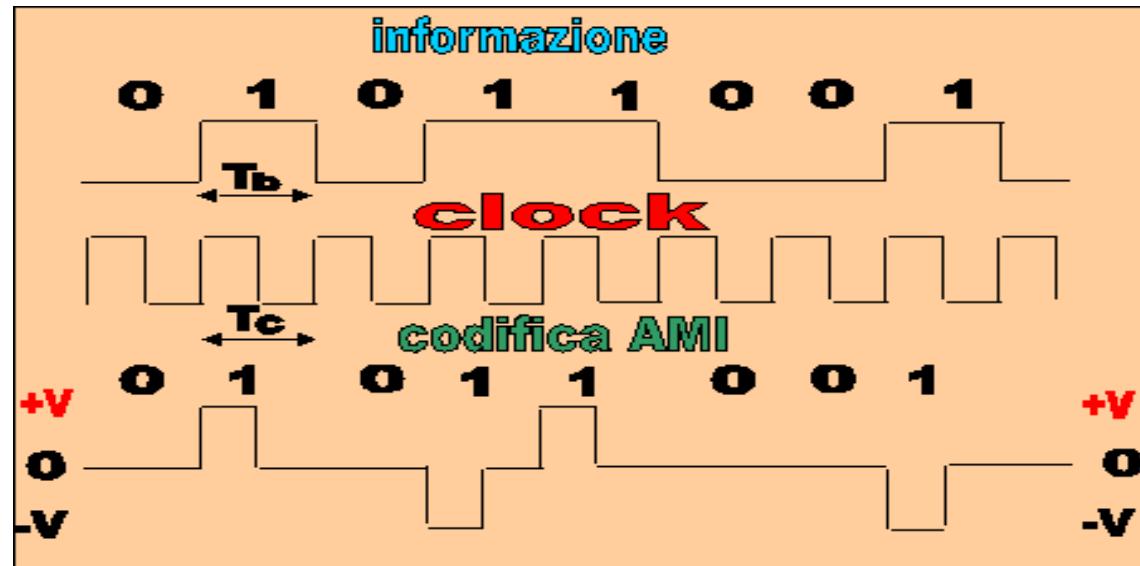
La codifica Manchester richiede un circuito più complicato rispetto a quelli per l'RZ e l'NRZ.



CODIFICA AMI (Alternate Mark Inversion)

Il codice AMI è un codice a tre livelli di tensione: +V, 0, -V ed è ottenuto dal codice RZ lasciando inalterato lo zero ed associando allo stato logico 1 alternativamente dapprima un valore +V e successivamente un valore -V

Questo codice viene utilizzato nella trasmissione PCM (Pulse Code Modulation) americana.



SCRAMBLING

Per ovviare ai problemi di trasmissione su lunga distanza è stato introdotto lo *scrambling*, in cui vengono cambiate le regole di codifica in modo da *mescolare* i bit: fa uso di registri a riciclo. Questo tipo di tecnica è utilizzata nella codifica 2B1Q (Two binary, one quaternary).

Il flusso di bit trasmesso su una coppia è sottoposto a precedente operazione di *scrambling* e organizzato in gruppi di due bit.

Ciascun gruppo, senza aggiunta di alcuna ridondanza, è codificato in uno di quattro possibili livelli:

BIT	SIMBOLO	TENSIONE (V)
00	-3	-2,5
01	-1	-0,833
10	+3	+2,5
11	+1	+0,833

SCRAMBLING

La codifica 2B1Q è utilizzata in ISDN (Integrated Services Digital Network) per l'accesso BASE e nelle reti HDSL (High data rate Digital Subscriber Line).

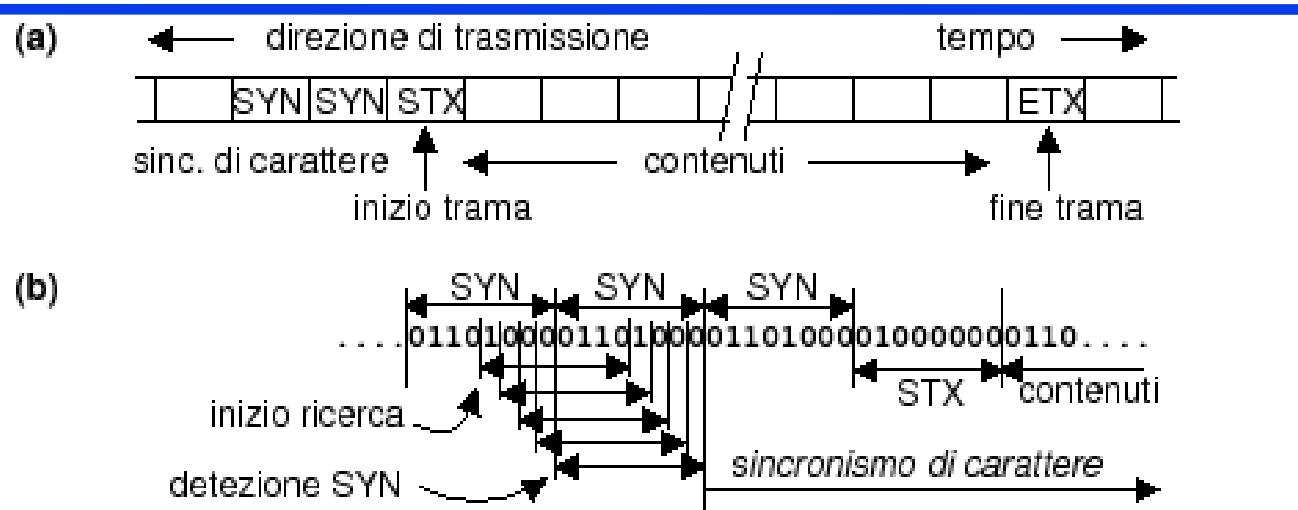
Lo scrambling è utile per mantenere attiva la linea, utilizzando codici che possono mantenere il segnale costante.

TRASMISSIONE ORIENTATA AL CARATTERE

La trasmissione orientata al carattere è usata principalmente nel caso di contenuti testuali, come per i file ASCII.

In assenza dei bit di start e di stop, la sincronizzazione di carattere è ottenuta per mezzo della trasmissione, prima dei dati veri e propri, di una sequenza di caratteri SYN (*Synchronous Idle*), che permettono sia di conseguire (o mantenere) il sincronismo di bit, che di consentire l'individuazione dei confini di carattere, e quindi il sincronismo di carattere.

TRASMISSIONE ORIENTATA AL CARATTERE



La figura mostra (a) che la sincronizzazione di trama è ottenuta come per il caso asincrono, racchiudendo il blocco da trasmettere entro una coppia di caratteri STX-ETX. Una volta che il ricevitore ha conseguito il sincronismo di bit, entra in un modalità di ricerca, verificando (fig(b)) se l'allineamento di 8 bit consecutivi corrisponde al carattere SYN, ed in caso negativo, ripete il tentativo bit a bit. Una volta individuato il SYN, il ricevitore ha conseguito l'allineamento sul carattere, ed inizia ad aspettare il carattere STX, che indica l'inizio della trama, che è terminata da un ETX.

TRASMISSIONE ORIENTATA AL CARATTERE

Nel caso in cui la trasmissione contenga caratteri qualunque, e dunque

L'ETX possa essere simulato dai dati, si ricorre alla stessa soluzione del caso asincrono, e cioè sia l'STX che l'ETX vengono fatti precedere da un DLE (*Data Link Escape – carattere di controllo*), ed all'interno dei dati si esegue il byte stuffing, sostituendo gli eventuali DLE simulati con una coppia di DLE.

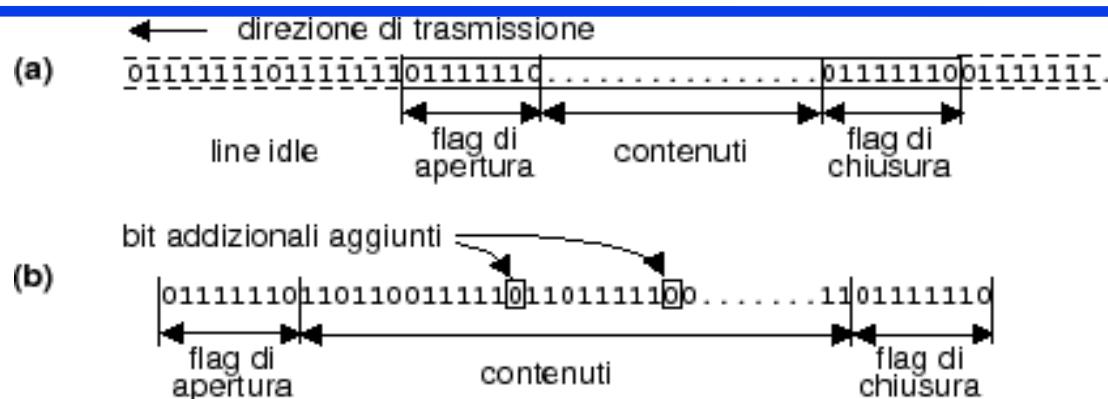
Per bit stuffing invece si intende: aggiungere uno 0 quando vi sono cinque 1 consecutivi. Tale tecnica è usata nella trasmissione orientata al bit.

TRASMISSIONE ORIENTATA AL BIT

Questa tecnica viene preferita sia nel caso in cui i dati da trasmettere non siano organizzati in caratteri, sia per ridurre l'inefficienza legata all'uso di caratteri di controllo aggiuntivi, nonché per evitare la dipendenza da quei particolari caratteri.

Nella trasmissione orientata al bit, la sincronizzazione di bit e di trama non impiega i caratteri SYN e STX, bensì degli *idle bytes* 01111111 nei periodi di inattività, e dei *flag bytes* 01111110 per indicare sia l'inizio che la fine di una trama.

TRASMISSIONE ORIENTATA AL BIT

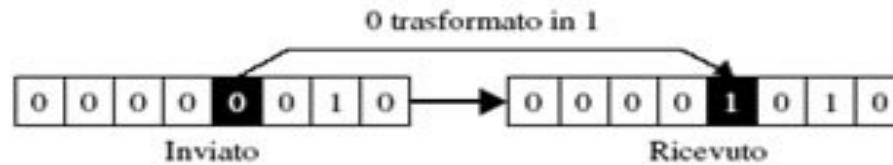


La figura seguente mostra in (a) un esempio di trama, ed in (b) la soluzione del bit stuffing, necessaria ad evitare che il flag byte possa essere simulato dal contenuto della trasmissione. Ora i dati trasmessi non devono essere necessariamente in numero multiplo della lunghezza di carattere, ed ogni qualvolta sono presenti 5 bit pari ad uno consecutivi, il trasmettitore inserisce forzatamente un bit pari a zero. In tal modo, quando il ricevitore osserva un bit pari a 0 preceduto da 5 bit pari ad uno consecutivi, lo rimuove, conseguendo così la trasparenza dai dati, e permettendo il corretto rilevamento del flag byte di fine trama. Ovviamente, la procedura di bit stuffing/destuffing è applicata solamente al contenuto della trama.

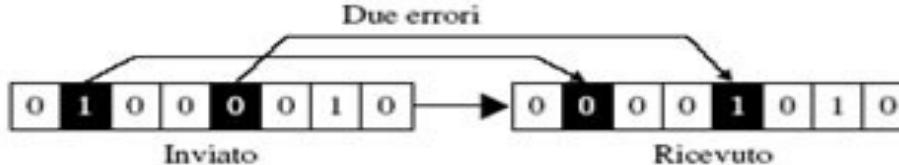
CONTROLLO DEGLI ERRORI

Gli errori che possono verificarsi durante la comunicazione sono di tre tipi:

- Errori single-bit (a bit singolo): coinvolgono un solo bit dell'unità dati (per esempio un byte) il cui valore viene trasformato da “0” a “1” o viceversa (vedi figura). Questo tipo di errore è il più comune.

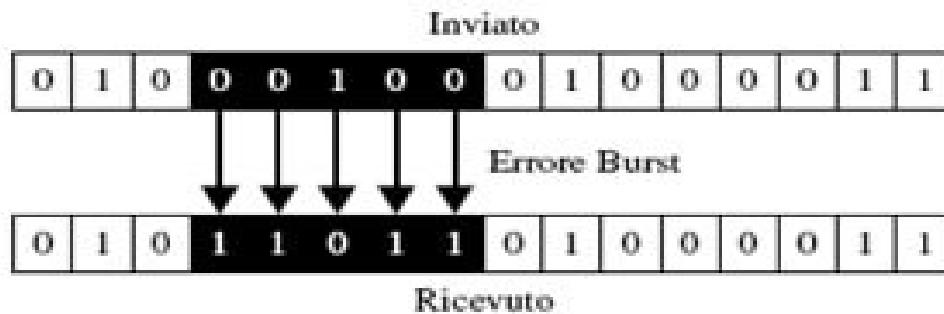


- Errori multiple-bit (a bit multiplo): coinvolgono due o più bit non consecutivi dell'unità dati, il cui valore viene trasformato da “0” a “1” o viceversa (vedi figura). Questo tipo di errore è abbastanza comune.



CONTROLLO DEGLI ERRORI

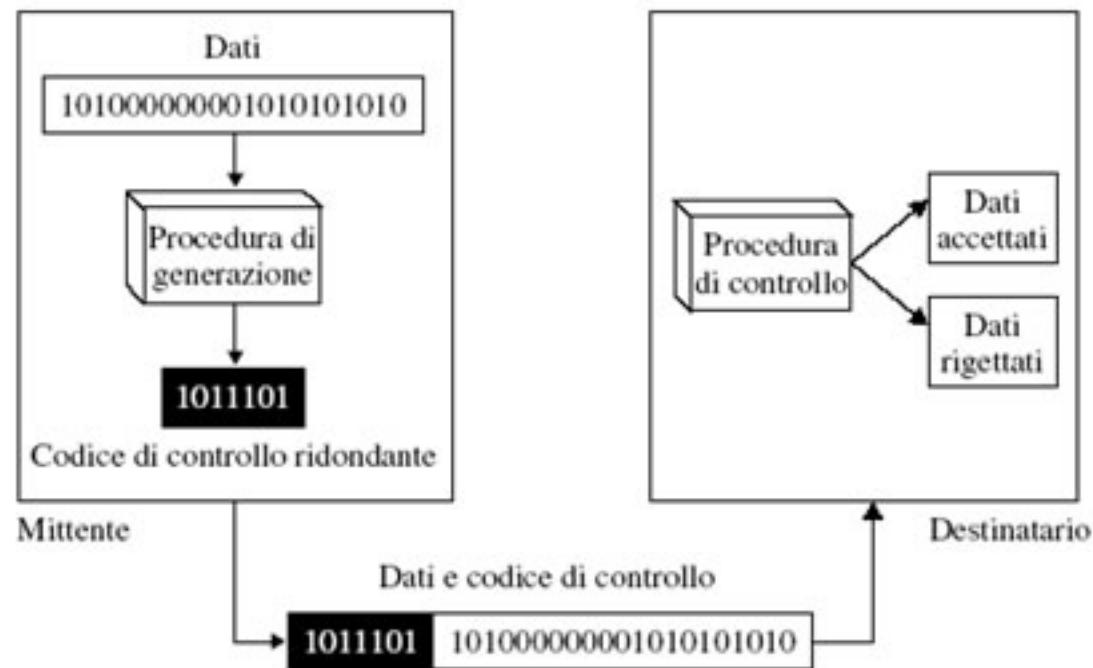
- Errori burst (a raffica): coinvolgono due o più bit consecutivi dell'unità dati, il cui valore viene trasformato da “0” a “1” o viceversa. Questo tipo di errore è il meno comune.



RILEVAMENTO DEGLI ERRORI

Per il rilevamento degli errori si usano altri metodi che si basano sull'aggiunta di pochi bit scelti in modo sapiente.

La tecnica che viene utilizzata da questi metodi è nota come ridondanza: i bit supplementari, infatti, sono a tutti gli effetti ridondanti e vengono distrutti non appena il sistema ricevente si sia accorto di una trasmissione corretta



RILEVAMENTO DEGLI ERRORI

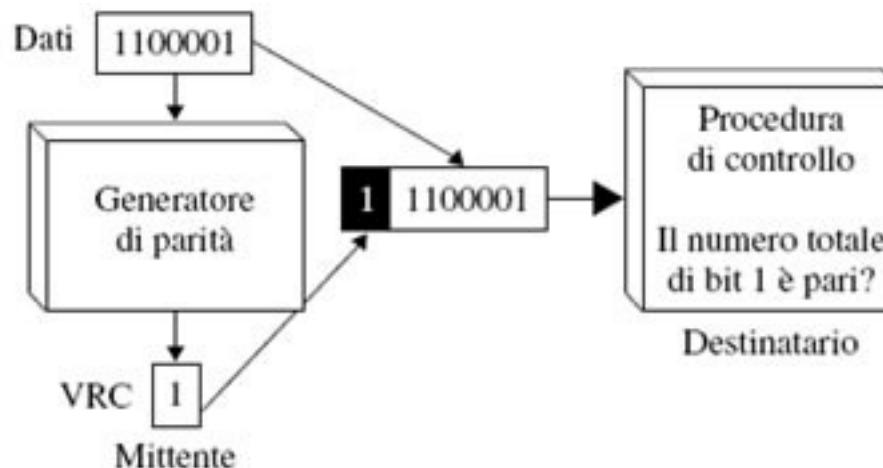
Tra gli algoritmi a controllo di ridondanza più diffusi si hanno:

- VRC (Vertical Redundancy Check - controllo di ridondanza verticale)
- LRC (Longitudinal Redundancy Check - controllo di ridondanza longitudinale)
- CRC (Cyclic Redundancy Check - controllo di ridondanza ciclica)

VRC (CONTROLLO DI RIDONDANZA VERTICALE)

Il VRC è il metodo più comune per il controllo d'errore: viene aggiunto un singolo bit supplementare all'unità dati in modo che il numero di bit uguali a “1” dell'intera unità, bit supplementare compreso, diventi pari o dispari. Nel primo caso si parla di parity check o controllo di parità nel secondo caso si parla di controllo di disparità.

Controllo di parità

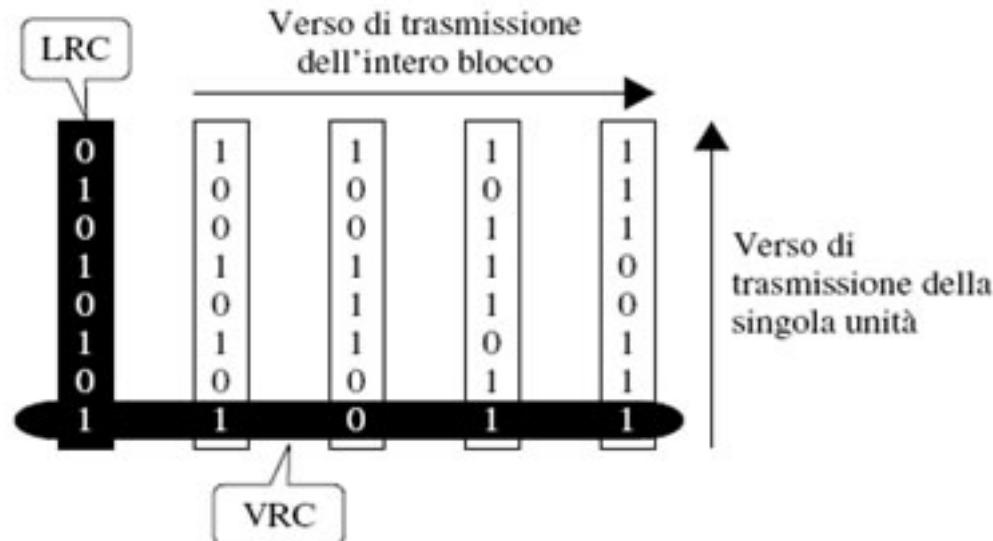


L'algoritmo VRC è molto facile da implementare ma ha diversi limiti; se infatti una unità ha un numero pari di bit invertiti, si ha una compensazione dell'errore, che quindi non viene rilevato.

LRC (CONTROLLO DI RIDONDANZA LONGITUDINALE)

L'algoritmo LRC è una sorta di VCR bidimensionale.

Come nel VCR si ha infatti l'aggiunta del bit di parità ad ogni unità dati. Ad ogni blocco viene però aggiunta una unità supplementare che contiene i bit di parità associati alle sequenze di bit corrispondenti del Blocco.



L'algoritmo LRC assicura maggiore affidabilità nell'individuazione degli errori di tipo multiple-bit e burst, ma ha ancora dei limiti poiché può essere tratto in inganno da trasposizioni di byte.

CRC (CONTROLLO DI RIDONDANZA CICLICA)

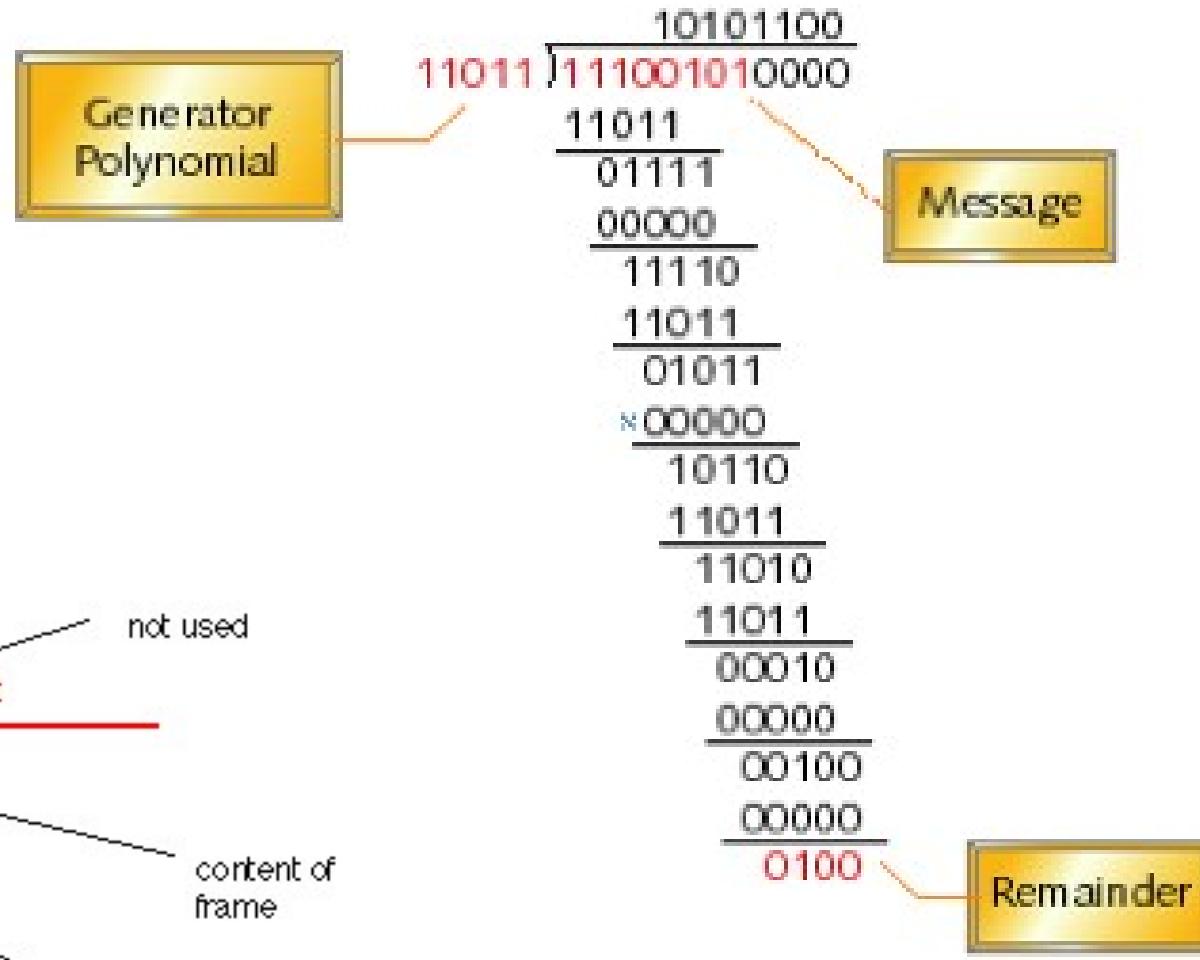
Il CRC invece è orientato ai bit, associando ogni sequenza di k bit ai coefficienti di un polinomio di grado $k-1$, come: $1100110 = x^6 + x^5 + x^2 + x$

Esempio: viene associato ad ogni sequenza un checksum, ossia un valore di controllo tale che il polinomio generato dalla sequenza sia divisibile per $G(x)$, polinomio conosciuto a priori da ricevitore e mittente.

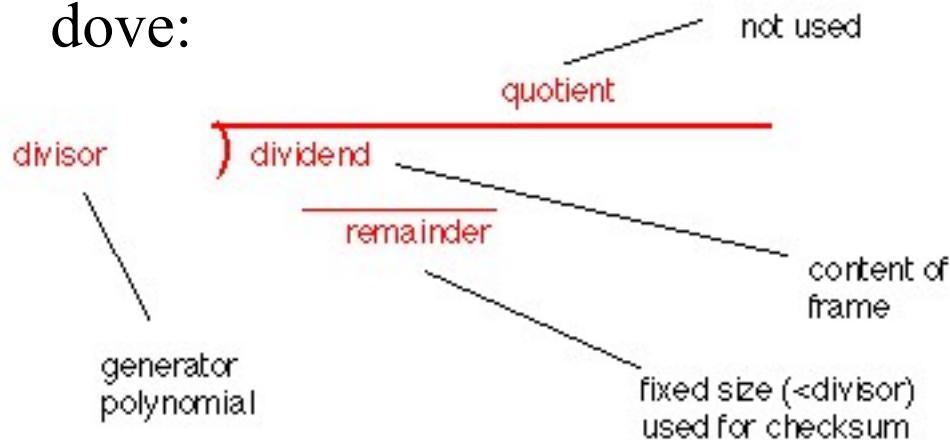
Un checksum è calcolabile come segue:

- 1) si aggiungono r bit 0 al segmento, ottenendo una sequenza di $m+r$ bit, che corrisponderebbe al polinomio $x^{r_x} M(x)$, ove r è il grado di $G(x)$ e $M(x)$ è il polinomio corrispondente alla sequenza iniziale;
- 2) si divide $x^{r_x} M(x)$ per $G(x)$ con la divisione mod 2: $x^{r_x} M(x) = G(x) * Q(x) + R(x)$
 $R(x)$ è il polinomio corrispondente alla sequenza di checksum;
- 3) si somma $R(x)$ a $x^{r_x} M(x)$ ottenendo il segmento da trasmettere completo di checksum.

CRC (CONTROLLO DI RIDONDANZA CICLICA)



dove:



CRC (CONTROLLO DI RIDONDANZA CICLICA)

Non tutti i polinomi di tipo $G(x)$ sono adatti allo scopo, poiché in alcuni casi si può ottenere lo stesso *checksum* anche da sequenze di invio sbagliate.

Di fatto se si inviasse una sequenza che, dopo l'esecuzione dell'algoritmo, risultasse comunque verificante, si potrebbe incorrere in gravi incongruenze.

Da ciò, alcuni suggerimenti per la scelta di $G(x)$:

- Con polinomi dove $x^0=1$ gli errori pari ad un bit sono sempre rilevati
- Polinomi con $x+1$ come fattore permettono la rilevazione di errori di numero dispari
- Scegliere il numero r più grande possibile. Ad esempio HDLC usa $r=16$.

CRC (CONTROLLO DI RIDONDANZA CICLICA)

- Nel caso di errori burst, ponendo che l'errore inizi al punto i e finisca al punto j , possiamo esprimere il vettore errore come: $e(x)=x^j+...+x^i$. Il numero di termini di questo polinomio è dato dal numero di errori della raffica, ossia $L = (i - j)$. Si potranno quindi avere 3 casi:
 - con $L \leq r$ verranno rilevati tutti gli errori nella raffica (dove r è il numero dei bit aggiuntivi)
 - con $L \geq (r+1)$ l'errore non viene rilevato con probabilità pari a $(1/2)^r$
 - con $L = (r+1)$ l'errore non viene rilevato con probabilità pari a $(1/2)^{r-1}$

MULTIPLAZIONE

Per multiplazione si intende una tecnica che prevede l'utilizzo di uno stesso canale per più comunicazioni separate.

Ne esistono 3 tipi:

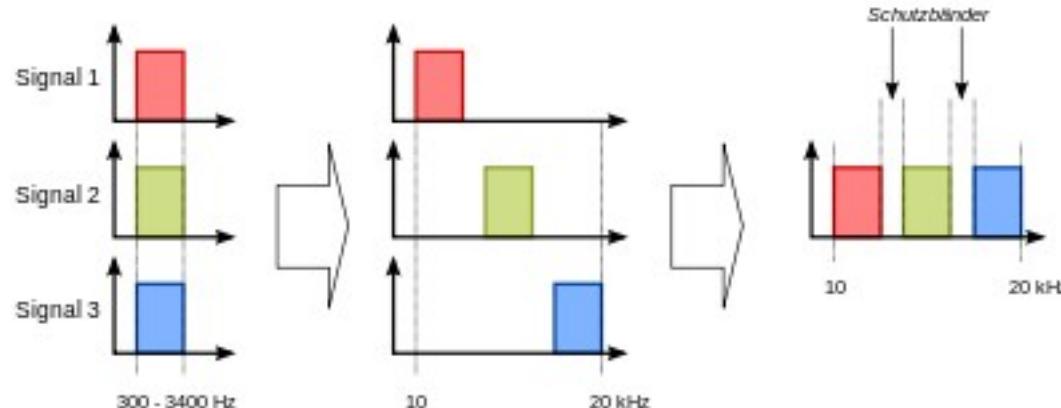
- FDM, *Frequency Division Multiplexing*
- WDM, *Wavelenght Division Multiplexing*
- TDM, *Time Division Multiplexing*

FDM, Frequency Division Multiplexing

Nella **FDM** le comunicazioni vengono spostate (spostate ad una frequenza superiore, ognuna con un determinato gap) e inviate contemporaneamente.

A destinazione si provvederà a ripristinare la frequenza originale di ogni comunicazione.

Volendo illustrare con maggior dettaglio il concetto di FDM, si può far riferimento alla rete telefonica ove la tecnica FDM è ancora largamente utilizzata, specie per collegamenti a grandi distanze.



FDM, Frequency Division Multiplexing

Poiché si considera per la banda fonica una larghezza linda $B = 4 \text{ kHz}$ (per la comunicazione vera e propria sono utilizzate le frequenze da 300 Hz a 3400 Hz), ciascun canale multiplato occuperà sul mezzo trasmittivo una banda di 4 kHz, che dovrà essere distinta dalle bande relative agli altri canali. Il numero N di canali multiplabili dipenderà, in linea di principio, solo dalla capacità del mezzo trasmittivo di trasferire senza distorsioni un segnale complessivo con larghezza di banda $BT = NB = N * 4 \text{ kHz}$.

Il processo di traslazione della banda fonica, o banda base, per ottenere N bande translate è realizzato generalmente mediante modulazione di ampiezza di N portanti, dette anche frequenze vettrici, con trasmissione della sola banda laterale superiore o inferiore (SSB).

FDM, Frequency Division Multiplexing

In ricezione naturalmente il segnale dovrà essere demultiplato; occorrerà quindi filtrare le bande relative a ciascun canale e demodulare l'onda risultante per estrarre i segnali in banda base trasmessi.

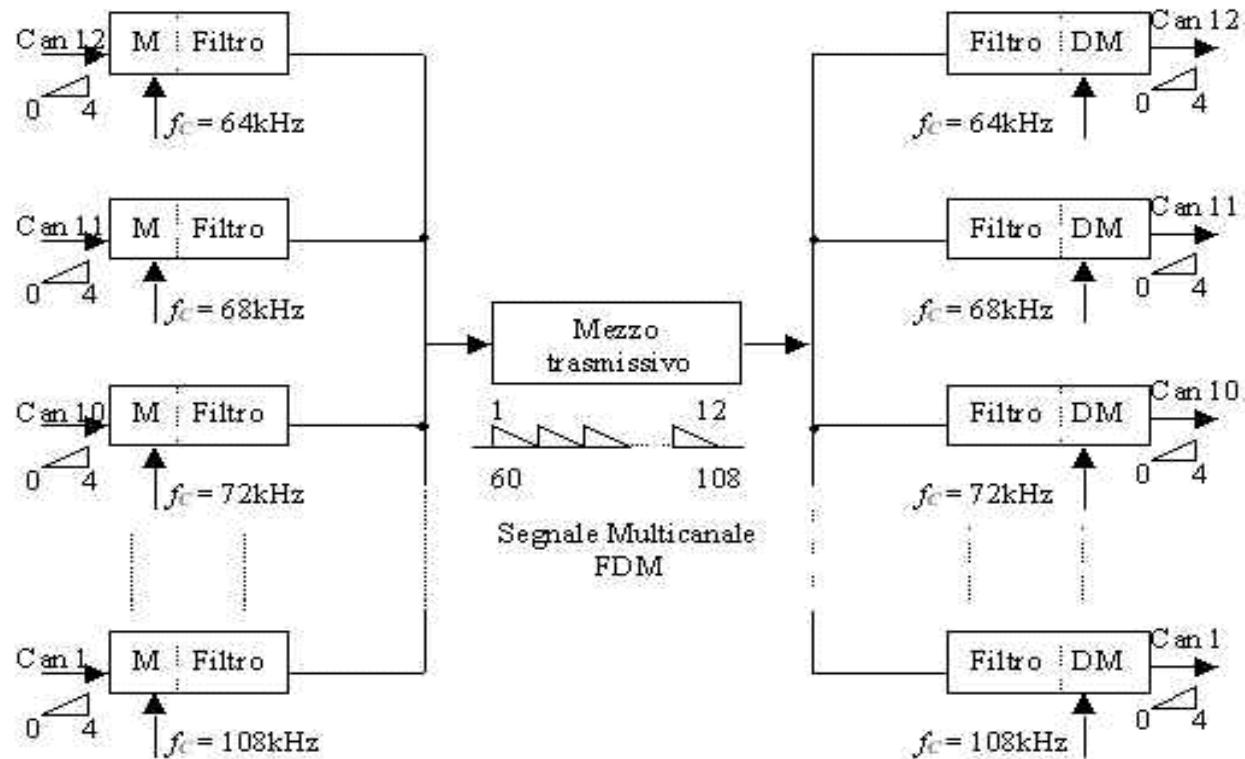
Nel sistema telefonico le frequenze delle varie portanti sono scelte con

criteri che consentono, attraverso modulazioni e multiplazioni successive, di multiplcare da un minimo di 12 fino a 2700 e anche 10800 canali telefonici.

Occorre sottolineare che il segnale multicanale FDM è un segnale di tipo analogico e quindi sensibile alle distorsioni e alle degradazioni dovute al rumore.

FDM, Frequency Division Multiplexing

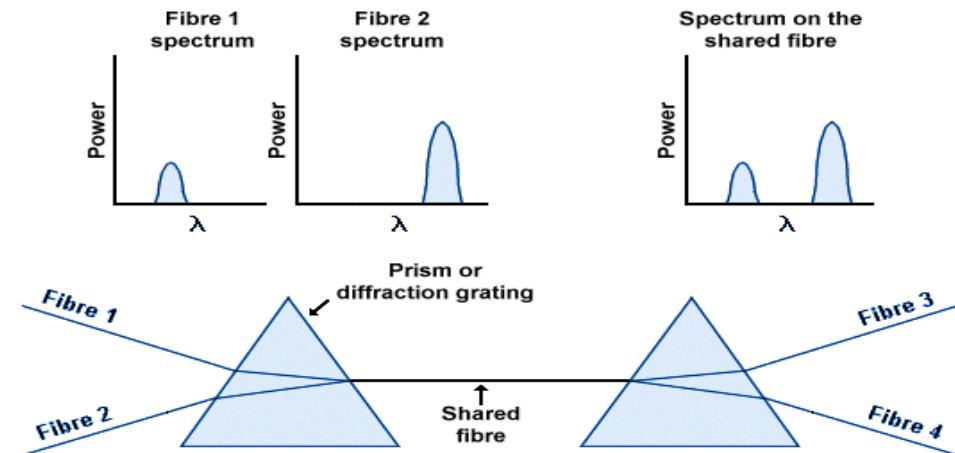
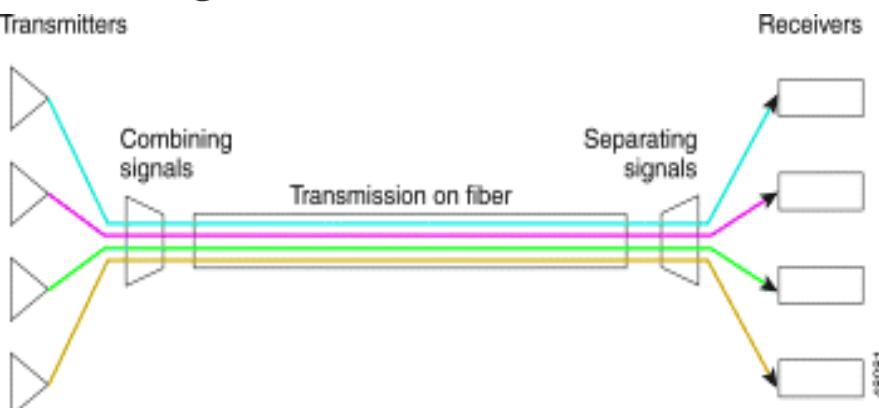
Lo schema di principio di figura illustra la multiplazione di 12 canali telefonici; i segnali di ciascun canale vengono traslati in frequenza ovvero modulati con portanti distanziate di 4 kHz (64, 68,...,108 kHz). La banda del segnale trasmesso ha una larghezza $BT = 12 \times 4 \text{ kHz} = 48 \text{ kHz}$.



WDM, Wavelength Division Multiplexing

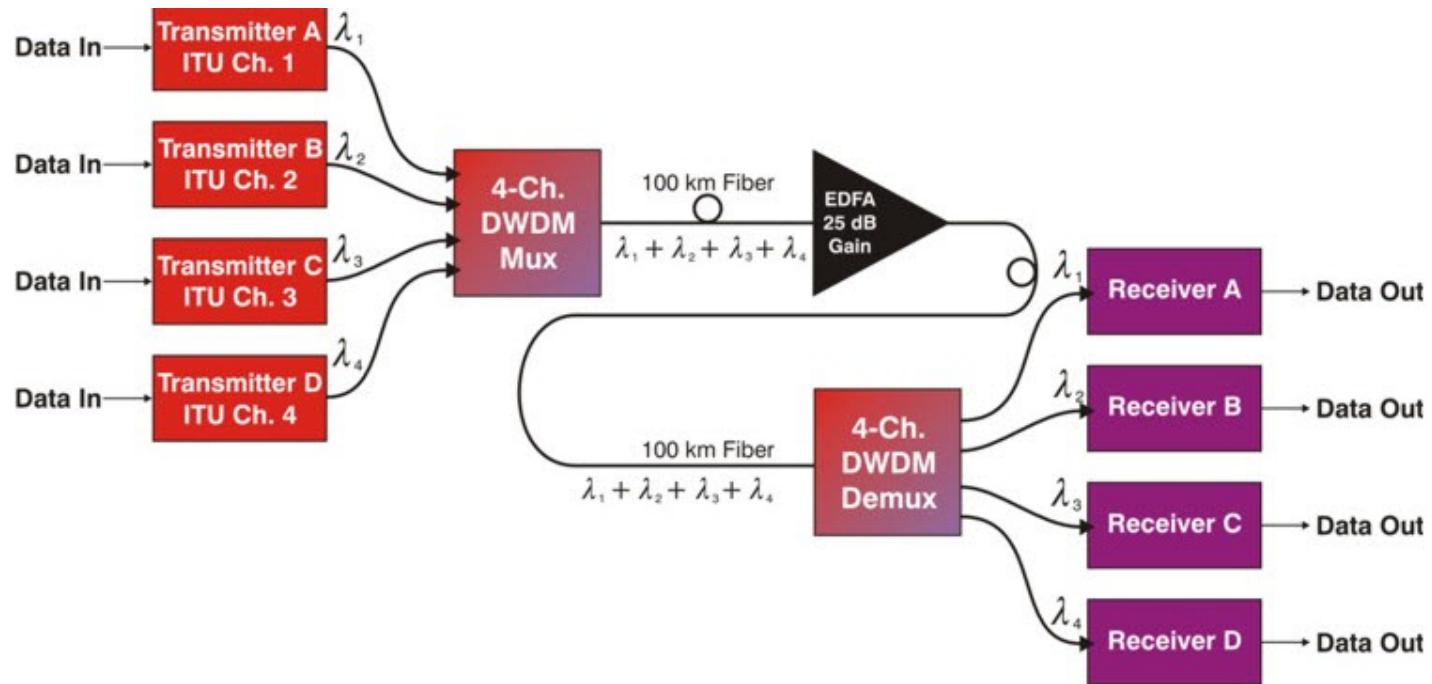
WDM è utilizzata per i segnali ottici, poiché utilizzare fibra ottica per una singola trasmissione significherebbe uno spreco enorme di larghezza di banda.

Si modula la lunghezza d'onda del raggio luminoso, così da inviare diversi raggi contemporaneamente: tuttavia solo dal 1999 sono stati introdotti sistemi che potessero veramente valorizzare questa divisione di lunghezze d'onda.



D-WDM, Dense Wavelenght Division Multiplexing

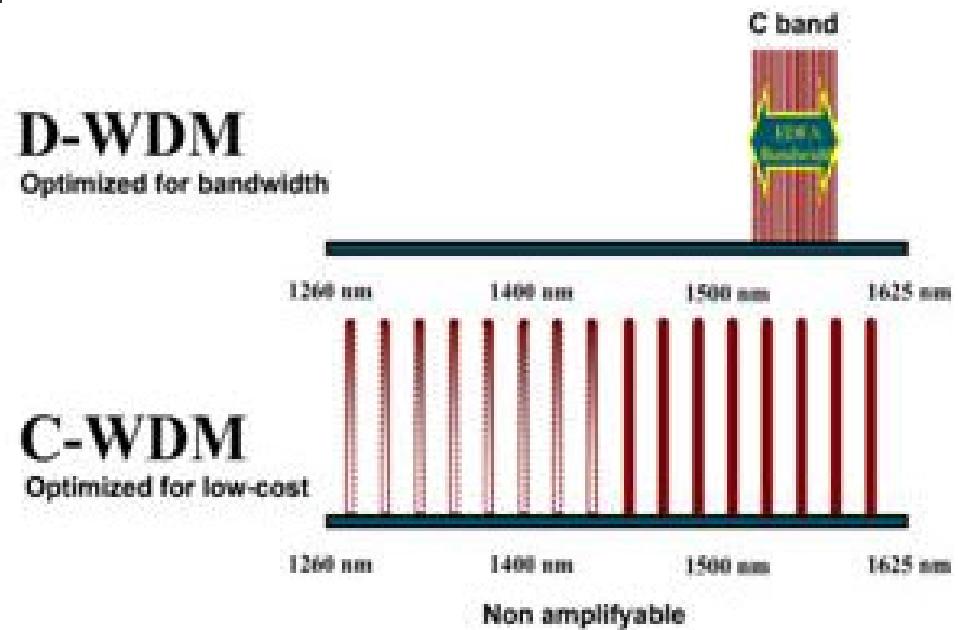
DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing, ad alta densità di impaccamento), è capace di modulare 16 lunghezze d'onda alla distanza di 0.8 nm; tali lunghezze d'onda sono modulate con flussi TDM e raggiungono la velocità di 1 Tb/s (cioè 10^{12} bit/s).



C-WDM, Coarse Wavelenght Division Multiplexing

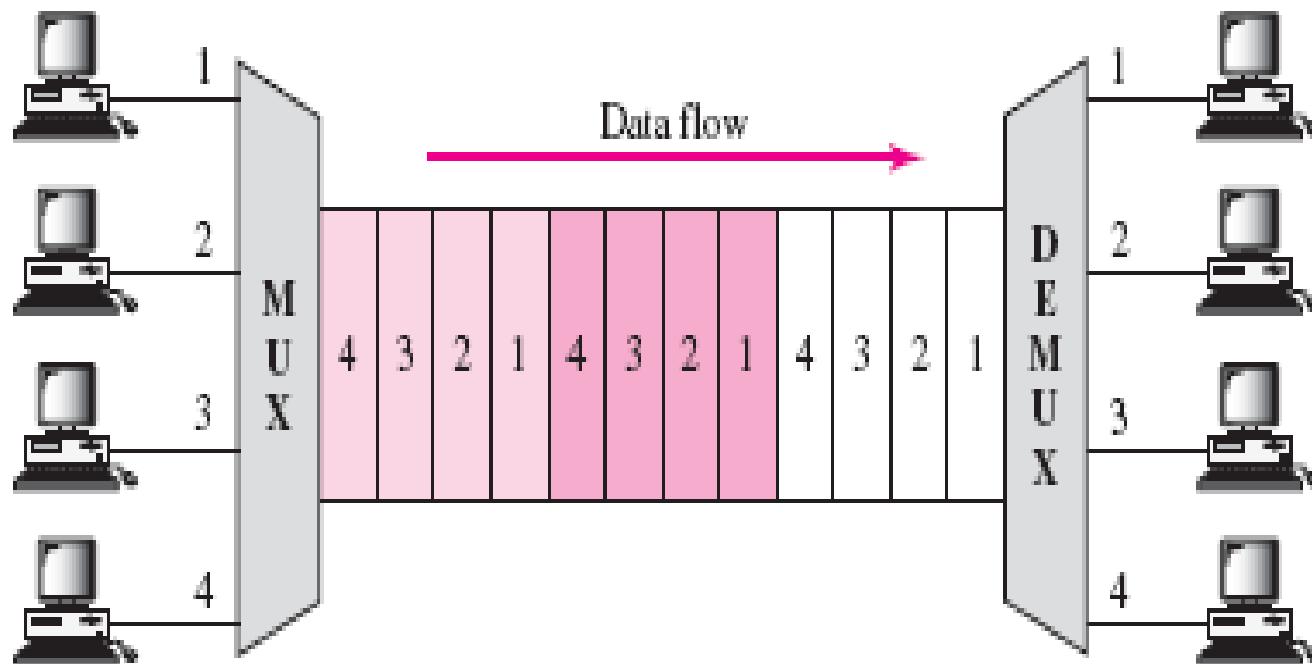
La variante coarse WDM-CWDM (distanze tipiche di CWDM sono 60Km per segnali a 2.5 Gbps) è per reti metropolitane a basso costo. CWDM utilizza maggiori spaziature tra i canali, con risparmio a livello economico: in CWDM la spaziatura tra bande è di circa 20nm, con 20 frequenze, da 1310nm a 1610nm.

Con Ethernet10 GBase-LX4 si usano 4 di queste frequenze, ognuna capace di offrire 3.125 Gbps.



TDM, Time Division Multiplexing

TDM prevede la temporizzazione dei segnali differenti: ciò è possibile solo se l'intervallo è trascurabile rispetto alla comunicazione in atto.



TDM, Time Division Multiplexing

TDM può essere sincrono oppure statistico:

- In TDM sincrono gli intervalli vengono scelti indipendentemente dalla presenza di dati da spedire,
- In TDM statistico gli intervalli vengono allocati solo quando ci sono dati da spedire.

Pertanto un segmento/frame da inviare è diviso in un numero di parti uguali al numero di canali logici che possono essere usati.

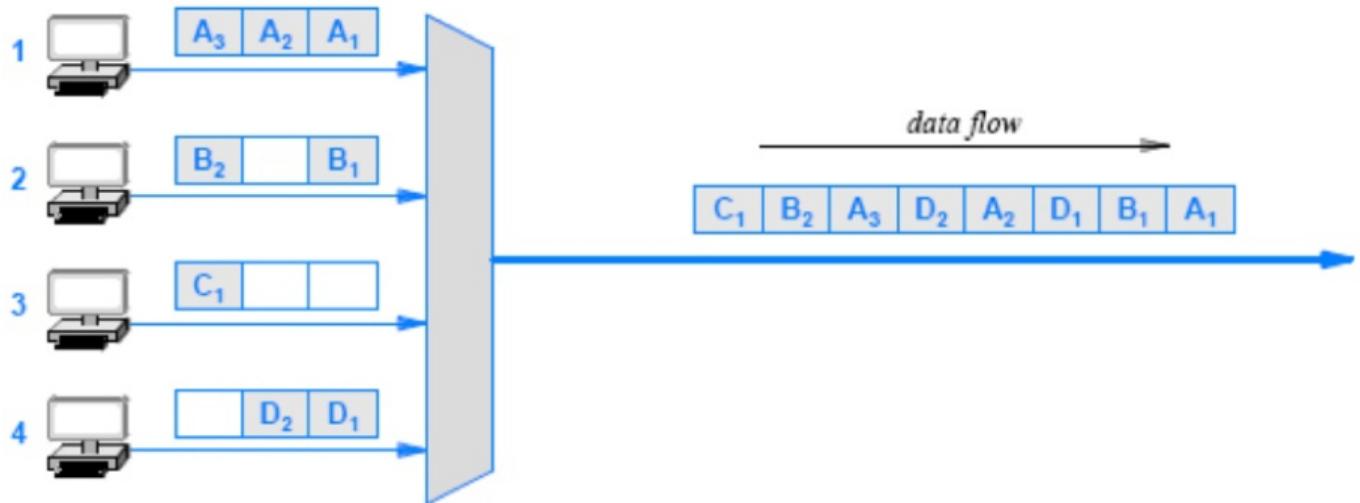
Nel TDM statistico non c'è sempre corrispondenza fra dato e canale i-esimo, cosa che invece avviene sempre nel caso del TDM sincrono; inoltre in quello statistico la velocità complessiva è solitamente minore della somma delle velocità dei canali.

TDM, Time Division Multiplexing

TDM
sincrono



TDM
statistico



MODEM

Modem è la contrazione di modulatore/demodulatore.

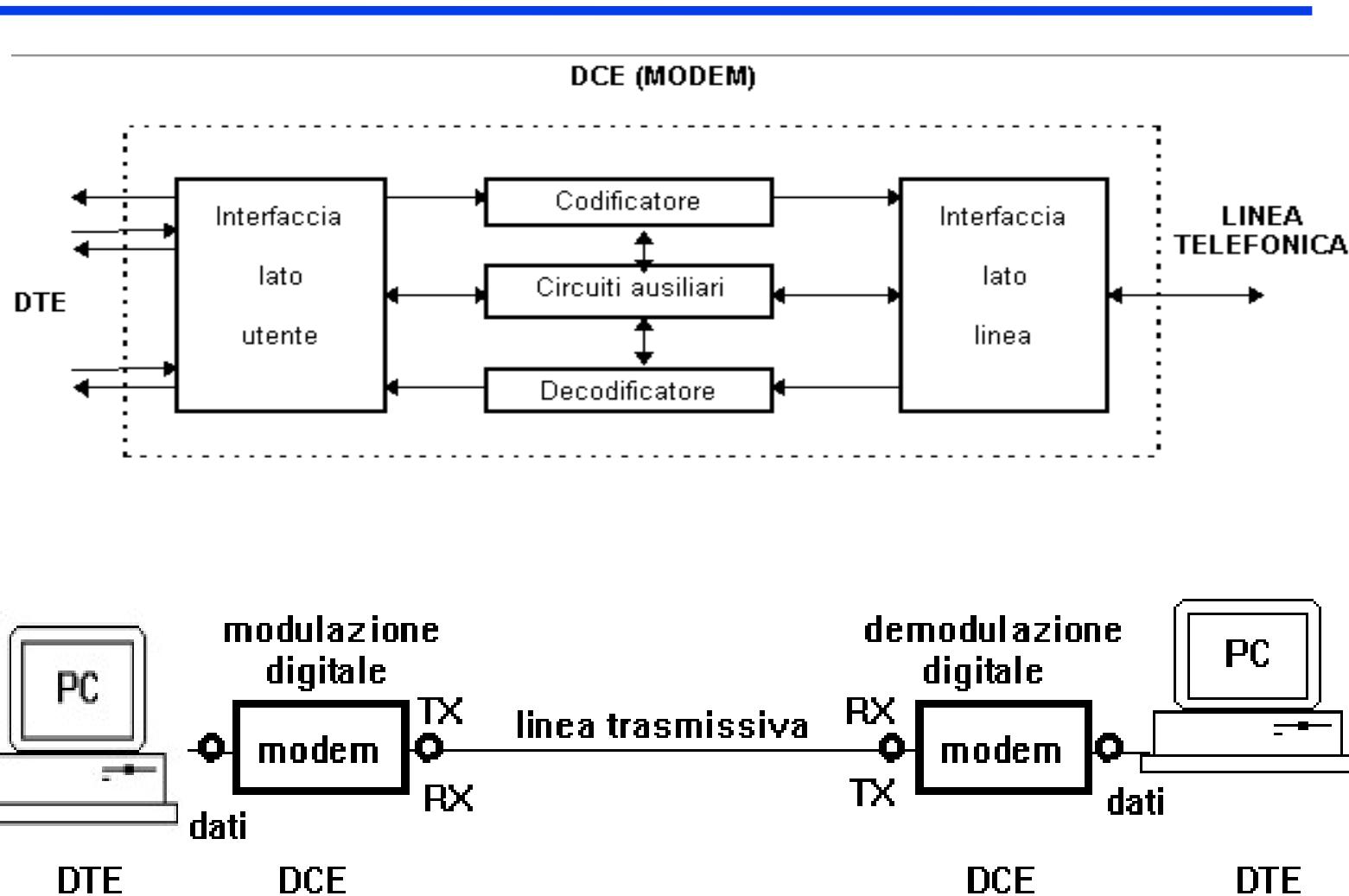
Il modem è un dispositivo che converte i segnali che arrivano dal DTE in segnali adatti alla trasmissione, solitamente linea telefonica.

Proprio per questo motivo si parla di **modem fonici**, cioè nel range di Frequenze 300 - 3400 Hz.

Un modem fonico svolge le seguenti funzioni:

- trasforma un segnale numerico dal DTE in segnale analogico per la linea telefonica
- trasforma un segnale analogico proveniente dalla linea telefonica in segnale numerico adatto al DTE
- gestisce i circuiti di comando e controlla l'interfaccia
- corregge gli errori e analizza/comprende i dati che riceve

MODEM



MODEM

Oltre ai modem fonici possiamo anche considerare altri tipi di modem, quali:

- **modem ISDN** (128 kbps)
- **modem xDSL** (da 640 kbps a 100 Mbps)
- **modem per PLC** - Power Line Communications, su linea elettrica (640 Kbps – 200 Mbps)
- **modem GPRS/UMTS/HSDPA/LTE**, spesso integrati nei cellulari o come Pc card (56 Kbps – 7.2 Mbps - 100 Mbps)
- **modem in banda base**, collega direttamente due utenti su doppino telefonico

Ognuno dei modem visti può essere interno o esterno, con gli svantaggi e i vantaggi del caso.

MODEM

I modem (DCE) si suddividono in modem interni ed esterni.

In base al tipo di collegamento al DTE abbiamo i seguenti modem esterni:

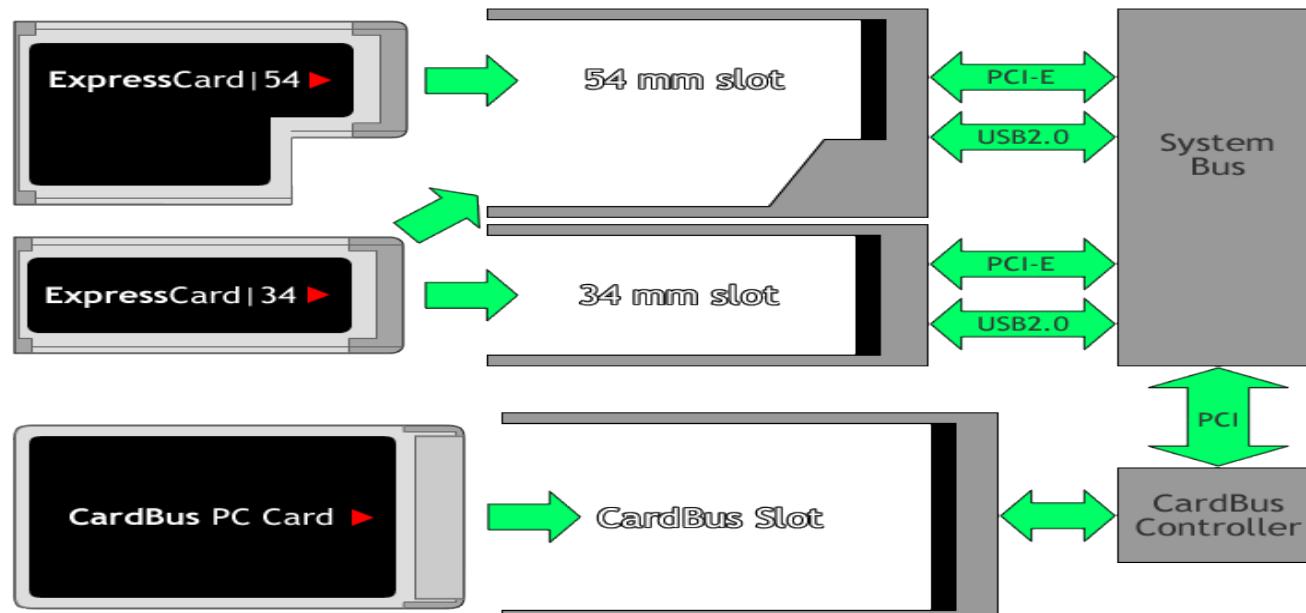
- **modem seriali** (si collegano con cavo seriale alla COM1 o COM2)
- **modem paralleli** (si collegano con cavo parallelo alla LPT1 o LPT2)
- **modem USB** (si collegano con cavo USB ad una interfaccia USB)

MODEM

In base al tipo di collegamento al DTE i modem interni sono:

- **modem interni PCI** (lavorano sul BUS PCI -Peripheral Component Interconnect- e sfruttano un driver software per la loro gestione)
- **modem interni PCMCIA o PC card** o le più recenti **Express Card** (sviluppati dalla Personal Computer Memory Card International Association vengono utilizzati solo nei PC portatili)

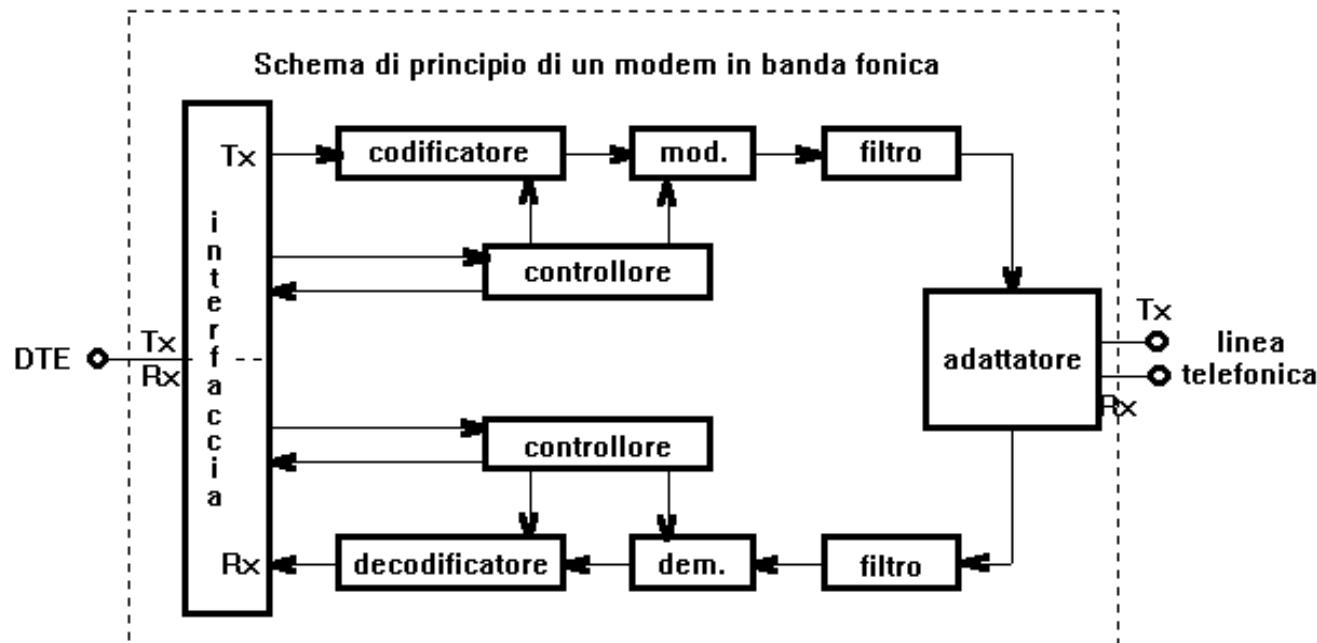
ExpressCard vs CardBus



MODEM IN BANDA FONICA

Il modem fonico è l'apparecchio di interfacciamento tra DTE e linea telefonica.

Banda disponibile è 4[kHz] per cui il segnale digitale (banda larga) non può essere efficientemente trasmesso (distorsione per attenuazione delle alte frequenze, bassissima velocità di trasmissione)



MODEM IN BANDA FONICA

Il modem fonico opera una modulazione digitale allo scopo di comprimere la banda del segnale.

Velocità e modulazione:

- bassa velocità: fino a 1200 [bit/s] => modulazione FSK
- a velocità media: fino 4800 [bit/s] => modulazione PSK o DPSK
- alta velocità: oltre 9600 [bit/s] => modulazione QAM

Influenzano la velocità di trasmissione:

- il tipo d'esercizio: (simplex, half-duplex, full-duplex); su due fili l'half-duplex dispone di 4[kHz] di banda mentre il full-duplex dispone della metà;
- il tipo di trasmissione: (asincrona, sincrona).

MODEM IN BANDA FONICA

Lo standard delle tecniche di interfacciamento viene convenzionalmente stabilito dalla normativa internazionale dell' **ITU** (International Telecommunication Union) che fino al 1992 si chiamava **CCITT** (Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique) nella quale ad ogni sigla corrisponde una precisa specifica di progetto.

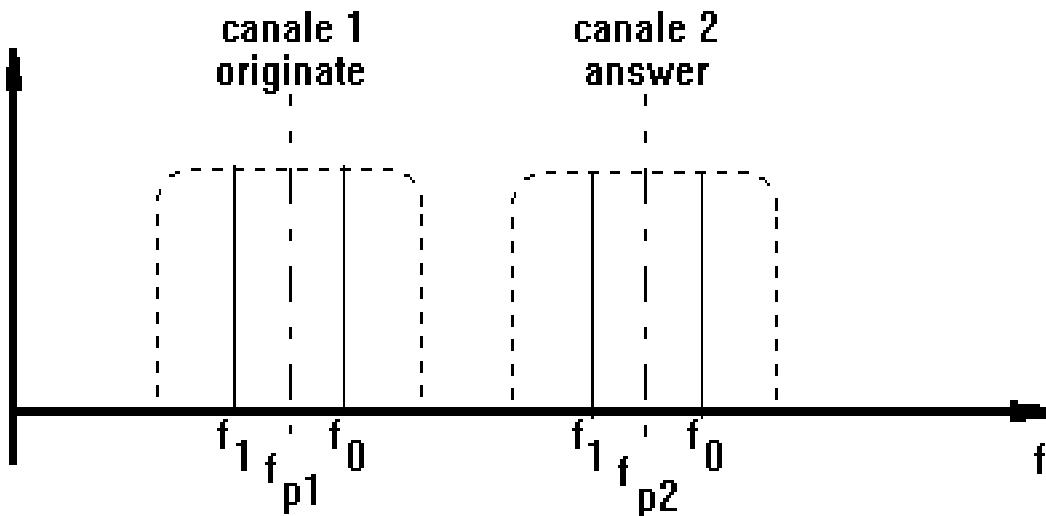
MODEM IN BANDA FONICA

tipo di modem	Vel. trasm.	normativa
asincrono	fino a 300 [bit/s]	ITU/CCITT V21
asincrono	fino a 1200[bit/s]	ITU/CCITT V23
sincrono	1200 [bit/s]	ITU/CCITT V22
sincrono	2400 [bit/s]	ITU/CCITT V26
sincrono	4800 [bit/s]	ITU/CCITT V27
sincrono	9600 [bit/s]	ITU/CCITT V29

MODEM

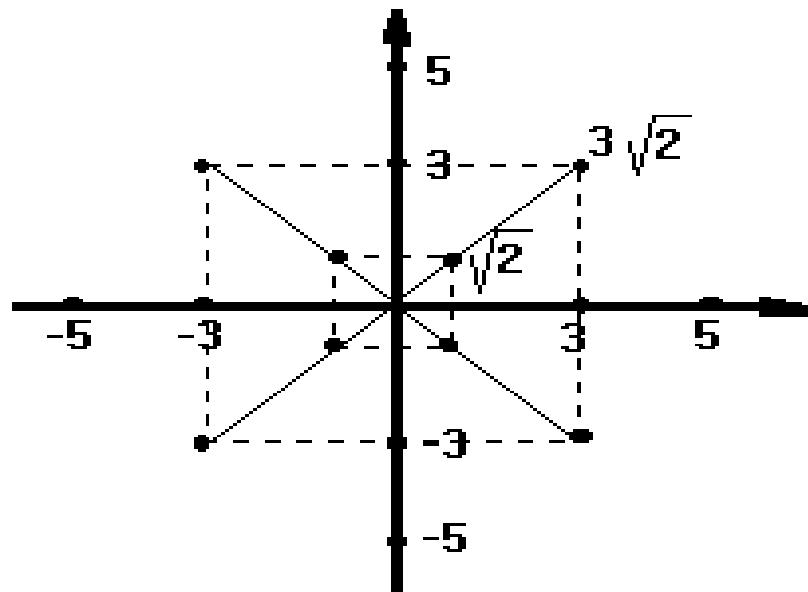
Alcuni standard per modem fonici:

- **FSK V.21**: modem storico, primo nel mondo nella trasmissione dati, nei primi anni '80; successivamente si è passati al V.23, V.26, V.29...



MODEM

- **QAM V.29:** trasmette usando una codifica multilivello su quattro bit (intrappolamento a quadribit) per una rete dedicata composta di 4 fili (2 linee telefoniche); lo spettro usato è di circa 2400Hz, con portante di 1700 (± 1) Hz.

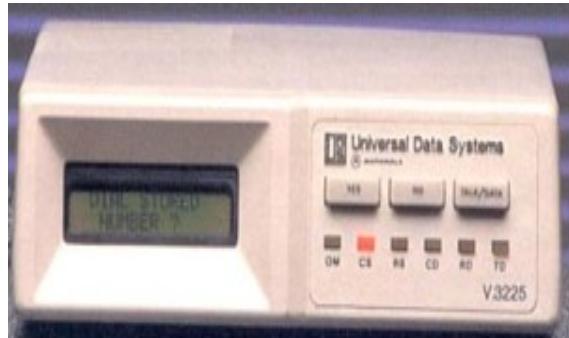


MODEM

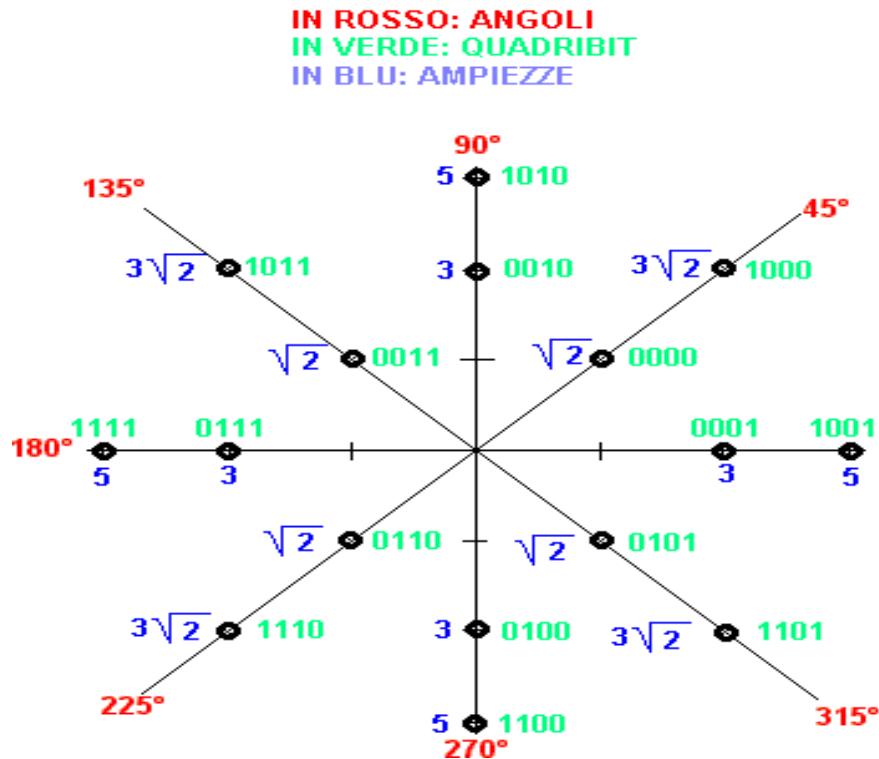
- **QAM V.32:** trasmette in modalità sincrona con collegamenti punto-a-punto e full-duplex. Modulazione QAM, 2400 baud, codice quadribit su 16 livelli; velocità di trasmissione: 9600 bit/s.

- Il V.32, rispetto al V.29, implementa:

- **Codifica Trellis**
- **Soppressione eco**



COSTELLAZIONE PER LA MODULAZIONE 16 QAMPSK



CODIFICA TRELLIS

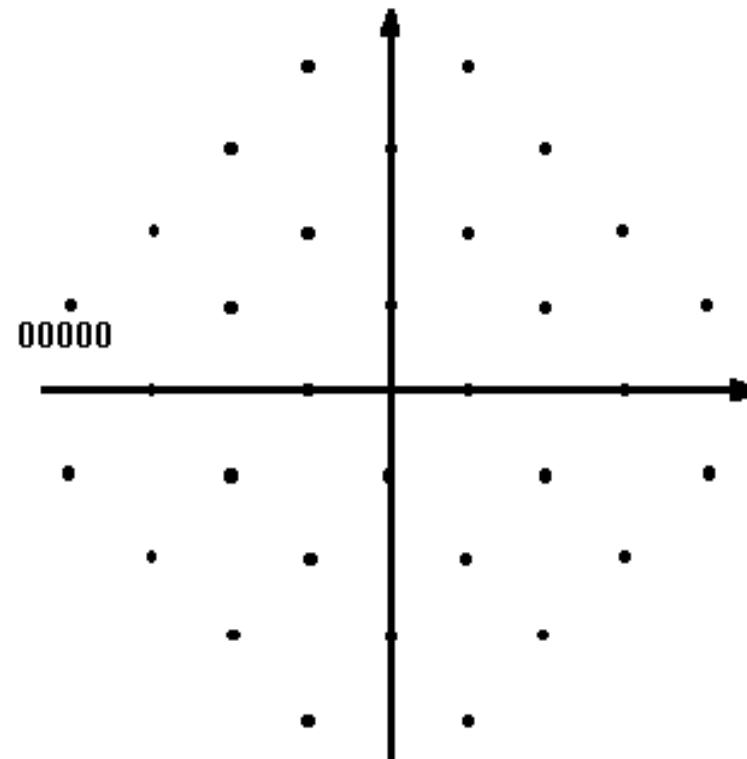
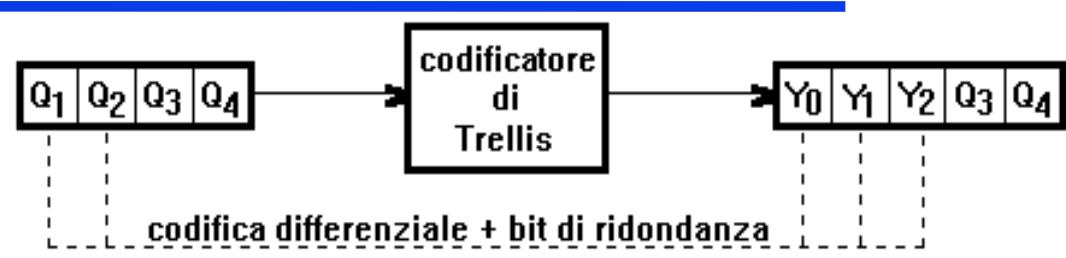
La **codifica trellis** assicura una più alta immunità al rumore e un minor tasso d'errore: si aumenta la ridondanza della trasmissione, aggiungendo ai (ad esempio) quattro bit usati, un quinto bit ridondante. Si ottiene una modulazione definita TCM (Trellis Code Modulation) con una costellazione di 32 livelli, essendo $32=2^{4+1}$.

Caratteristica peculiare di questo sistema è il passaggio da una costellazione di una trasmissione non codificata ad una costellazione di cardinalità superiore.

Rispetto alla classica QAM differisce nell'uso della codifica convoluzionale che permette all'aumentare del numero di stati di modulazione, l'aumentare della probabilità di errore. Questo fa sì che in fase di decodifica sia possibile correggere le sequenze di simboli ricevute, così che gli errori possano essere eliminati.

CODIFICA TRELLIS

La correzione degli errori viene attuata utilizzando EVM (Error Vector Magnitude) per il calcolo del codice corretto



v.32 a 9600 [bit/s] con codifica di Trellis

SOPPRESSIONE DELL'ECO

La **soppressione d'eco** si realizza inviando in modalità full-duplex il segnale e una replica del segnale invertita: i modem possono così utilizzare la stessa portante e la stessa tecnica di modulazione.

MODEM V.34

Modem V.34: utilizzato per collegamenti, in cui entrambe le terminazioni alla linea sono analogiche.

- Velocità di 28800 [bit/s] per linee dedicate
- Utilizza:
 - **codifica non lineare**, per contrastare distorsione armonica e d'ampiezza,
 - **codifica multidimensionale**, tecnica che fa uso di più di un bit di ridondanza,
 - **completo sfruttamento della banda disponibile**, utilizzando le porzioni laterali della banda per avere decisivi aumenti della velocità di trasmissione.



MODEM V.90

Modem V.90: per migliorare le prestazioni del V.34 si è posta l'attenzione su 3 tematiche:

- il flusso di dati verso la rete è minore che verso l'utente
- il segnale verso l'utente è tipo dati, non affetto da rumore di quantizzazione
- i modem V.34 non sfruttano pienamente la banda su connessioni totalmente digitali.

A tal fine si è riusciti a creare modem asimmetrici, con velocità di ricezione notevolmente maggiore di quella di trasmissione.



MODEM V.92

Modem V.92: lo standard che ha portato l'upstream a 48Kbps; introduce anche migliorie quali il Quick Connect (10 secondi per completare connessione), la funzione Modem-on-Hold, che mantiene connessioni attive fino a 16 minuti e modulazione a codifica adattativa (se la trasmissione risulta disturbata, si può modificare in tempo reale la codifica utilizzata).

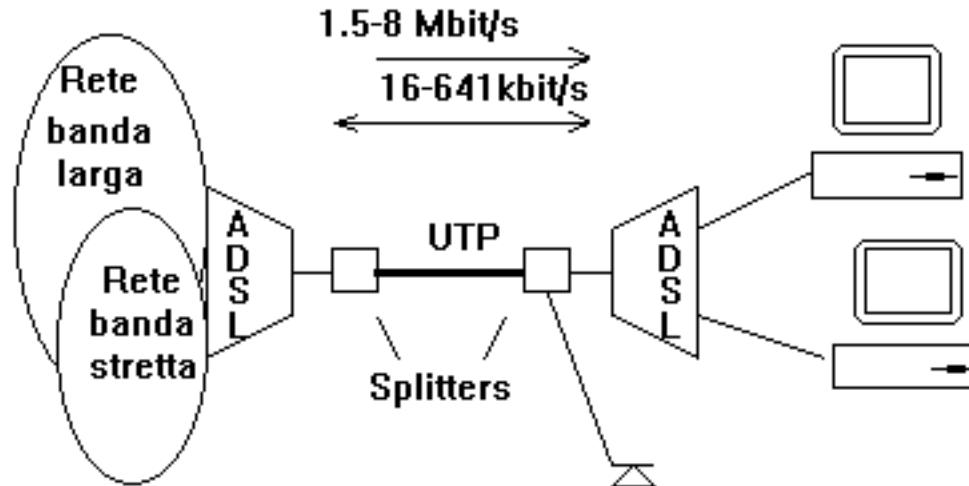
A questa tecnica è possibile associare la codifica di canale sulle due varianti di correzione errore o FEC (Forward Error Correction) e della richiesta di trasmissione, ARQ (Automatic Retransmission reQuest) . Di conseguenza gli utenti più vicini, avendo un valore più elevato di SNR (ovvero minore rumore rispetto al segnale) potranno fare ricorso a modulazioni più efficienti (16QAM o 64QAM)

mentre utenti più lontani con SNR basso si dovranno accontentare di modulazioni meno efficienti (BPSK e QPSK).



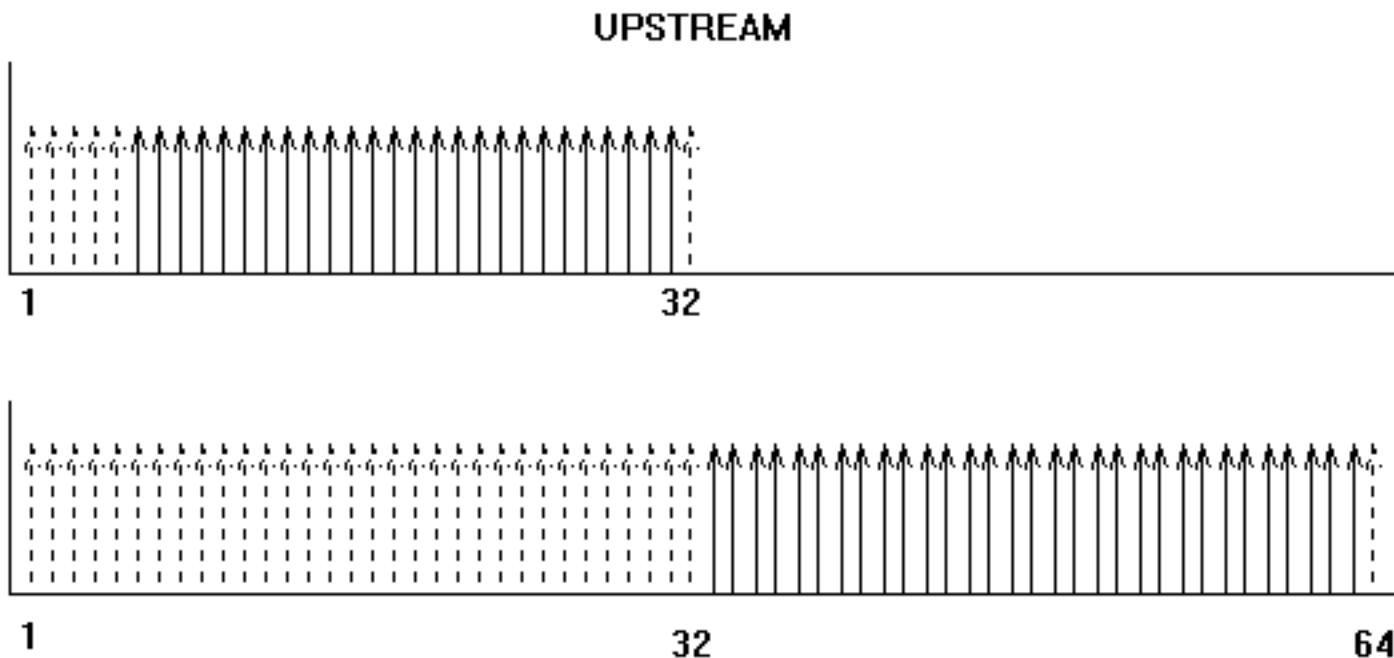
ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line)

Il doppino telefonico possiede una discreta banda passante che per le applicazioni di fonìa viene limitata ai soli 4kHz. Potendo "saltare" il filtraggio delle centrali telefoniche si disporrebbe di una grande banda. Attualmente si fronteggiano due tecniche per modulare il segnale: la tecnologia CAP (Carrier-less Amplitude Phase) che è una versione più sofisticata della classica QAM ed il DMT (Discrete Multitone)



ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line)

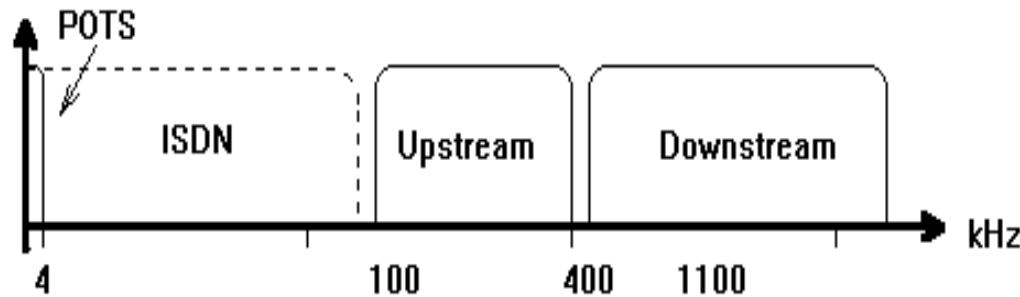
Tale tecnologia prevede di modulare opportunamente un insieme di 256 sottoportanti distanti 4.3125 kHz una dall'altra (32 o 64 per l'upstream) in modo da avere un segnale composito collocato nella banda 26kHz-1,1MHz.



ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line)

In questo modo si può suddividere la banda del doppino in tre zone:

- una bassa fino a 4kHz per la normale telefonia (non interessata al trasferimento dati),
- una media per l'upstream
- una alta per il downstream.



Le velocità teoriche ottenibili sono dell'ordine degli 8Mbit/s dalla rete all'utente (downstream), e 800kbit/s dall'utente alla rete (upstream), ma per il vecchio stato delle linee e della bassa qualità del doppino già esistente il rateo si abbassa a circa 1,5Mbit/s (download) e 256kbit/s (upload).

ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line)

Questa tecnologia non è ancora totalmente standardizzata: ogni costruttore propone la propria variante.

Le linee guida sono dettate dallo standard ANSI T1.423 Issue 1, categorie 1 e 2, (comprendente codifica di Trellis e cancellazione d'eco).

Lo standard ANSI T1.423 Issue 2 risolve le ambiguità della Issue 1 ammettendo la sola modulazione DTM, ed aggiunge la modalità di adattamento di rateo e la connessione a livello internetworking con reti ATM. L'ATM forum ha riconosciuto ADSL come protocollo di livello 1 su doppino di rame UTP.



INTERFACCIA CENTRONICS (PARALLELA)

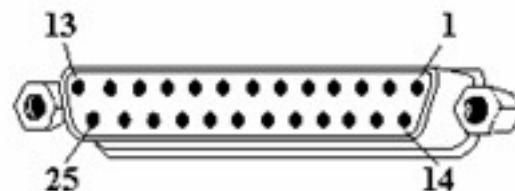
E' una interfaccia parallela ad 8 bit di tipo asincrona usata soprattutto per collegare un computer ad una stampante parallela.

Il flusso di dati è tipicamente monodirezionale e va, naturalmente, dal computer alla stampante.

Recentemente, grazie alla evoluzione della interfaccia, è possibile anche inviare sulle stesse linee dati che vanno dal dispositivo periferico

al computer e ciò consente l'utilizzo di tale interfaccia anche per il collegamento di dispositivi di input come, ad esempio, lo scanner o la webcam.

Il connettore sul retro d



D a 25 poli femmina.

INTERFACCIA CENTRONICS (PARALLELA)

Su un PC possono prendere posto fino a 3 interfacce parallele denominate LPT1, LPT2 e LPT3 (Line Printer Terminal).

Ciascuna delle 3 LPT presenta 3 indirizzi contigui destinate alle periferiche di I/O, come in tabella.

Alla LPT1 viene riservato l'interrupt IRQ7. Il registro base di indirizzo 888, denominato registro dati, contiene 8 bit di uscita dal PC.

Il registro di indirizzo successivo 889, noto come registro di stato, è accessibile solo dall'esterno e solamente per 5 dei suoi 8 bit. È detto registro di stato perché ciascuna delle 5 linee individua un particolare stato in cui si trova la stampante (occupata, carta esaurita, errore, ecc.). Il registro di indirizzo 890, noto come registro di controllo, rende disponibili solo 4 bit di uscita.

	Ind. base	Ind. base+1	Ind. base+2
LPT1	888	889	890
	632	633	634
LPT	956	957	958
LPT3			

INTERFACCIA CENTRONICS (PARALLELA)

In tabella si riporta la piedinatura, la denominazione, la direzione, l'indirizzo e l'uso delle linee che l'interfaccia Centronics mette a disposizione sul connettore D a 25 poli agli indirizzi 888, 889 e 890 della LPT1.

PIN	NOME	DIREZIONE	INDIRIZZO ED USO
1	STROBE	USCITA	890 OUT 890,1 0V 890 OUT 890,0 5V
2	DATA1	USCITA	
3	DATA2	USCITA	
4	DATA3	USCITA	
5	DATA4	USCITA	OUT 888,N
6	DATA5	USCITA	Per
7	DATA6	USCITA	0 < N < 255
8	DATA7	USCITA	
9	DATA8	USCITA	
10	ACK	INGRESSO	
11	BUSY	INGRESSO	
12	PAPER OUT	INGRESSO	
13	SELECTED	INGRESSO	
14	AUTOFEED	USCITA	
15	ERROR	INGRESSO	
16	INIZIALIZE PRINTER	USCITA	
17	SELECT INPUT	USCITA	
18...25	GND		

INTERFACCIA RS232

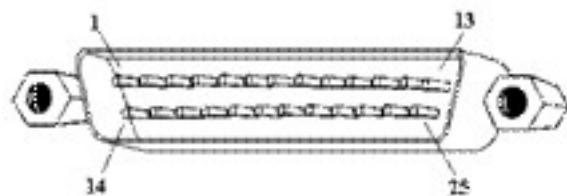
Sul DTE (computer, ad esempio) si trova la spina (connettore maschio) mentre sul DCE (modem) si trova la presa (connettore femmina).

In alcuni DCE (ad esempio, il mouse seriale) manca la presa esterna poiché il cavo di collegamento entra direttamente nell'apparecchiatura.

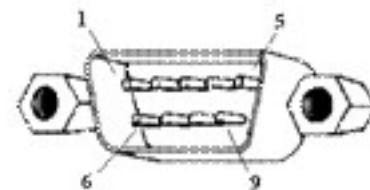
I tipici dispositivi periferici che si possono collegare ad un computer via RS232 sono: stampante, modem, mouse, ecc.

INTERFACCIA RS232

In figura a) si mostra il connettore a 25 poli per la RS-232C le cui caratteristiche meccaniche sono normalizzate secondo lo standard ISO 2110 della International Standard Organization. In molte applicazioni pratiche non si utilizzano tutte le linee ma solo una piccola parte di esse. In tal caso si fa uso di un connettore ridotto a 9 poli come quello in fig. b).



a)



b)

Connettore per la RS-232C: a) di tipo a 25 poli; b) di tipo a 9 poli.

INTERFACCIA RS232

Il significato di tali linee è descritto in tabella

PIN (9)	PIN (25)	NOME V.24 ITU	NOME RS-232	DESCRIZIONE
	1	C101	FG	Frame ground = Massa di protezione
3	2	C103	TxD	Trasmitted data = Dati in trasmissione
2	3	C104	RxD	Received data = Dati in ricezione
7	4	C105	RTS	Request to send = Richiesta di trasmissione
8	5	C106	CTS	Clear to send = Pronto a trasmettere
6	6	C107	DSR	Data set ready = DCE pronto
5	7	C102	GND	Ground = Massa dei segnali
1	8	C109	DCD	Data carrier detector = Portante in ricezione presente
	9			Riservato per apparecchi di collaudo
	10			Riservato per apparecchi di collaudo
	11	C126	CK	Scelta frequenza in trasmissione
	12	C122	SCF	Segnale di ricezione presente sul canale ausiliario
	13	C121	SCB	Pronto per la trasmissione sul canale ausiliario
	14	C118	SBA	Dati in trasmissione del canale ausiliario
	15	C114	TC	Transmit clock = Clock di trasmissione dal modem
	16	C119	SBB	Dati in ricezione del canale ausiliario
	17	C115	RC	Received clock = Clock di ricezione
	18			Non connesso
	19	C120	SCA	Richiesta di trasmissione del canale ausiliario
4	20	C108	DTR	Data terminal ready = DTE pronto
	21	C110	CG	Rivelatore della qualità del segnale
9	22	C125	RI	Ring indicator = Chiamata in arrivo
	23	C111	CI	Selezione velocità di trasmissione da DTE
	24	C113	DA	Clock di trasmissione da DTE
	25			Non connesso

INTERFACCIA RS232

Si descrivono le caratteristiche funzionali delle linee (circuiti) dell'interfaccia V.24 esaminate nella precedente tab.5. Nella trasmissione dati tra un DTE e un DCE il numero di linee utilizzate dipende dal tipo di collegamento e dai modem impiegati.

C101= Massa di protezione.

Linea collegata alla massa dei segnali C102 all'interno del modem.

C102=Massa dei segnali.

Linea comune di riferimento per tutti i circuiti di interfaccia.

C103=Dati in trasmissione (DTE a DCE)

I dati binari in forma seriale generati dal DTE viaggiano verso il DCE. In assenza di trasmissione tale linea è nello stato MARK (tensione negativa).

INTERFACCIA RS232

C104=Dati in ricezione (DCE a DTE)

I dati binari in forma seriale generati dal DCE viaggiano verso il DTE.

C105=Richiesta di trasmissione (DTE a DCE)

Tale segnale obbliga il modem a trasmettere la portante in linea entro 2ms. Se la linea è nello stato di riposo il modem interrompe la trasmissione entro 2ms.

C106=Pronto a trasmettere (DCE a DTE)

Tale segnale indica che il DCE è pronto a trasmettere in linea e rappresenta la risposta alla linea C105 purché il modem sia connesso alla linea telefonica. Il tempo di risposta in corrispondenza della prima richiesta di trasmettere è compreso tra 750 e 1400ms. ed è compreso tra 22 e 40ms. nelle successive richieste di trasmissione.

INTERFACCIA RS232

C107=Modem pronto (DCE a DTE)

Questo segnale indica al DTE che il modem è collegato alla linea telefonica e che non è in prova. Nei modem in banda base tale linea è sempre attiva.

C108=DTE pronto (DTE a DCE)

L'attivazione di questa linea provoca il collegamento del modem alla linea telefonica qualunque sia la condizione delle altre linee. Questa linea, inoltre, indica che il DTE è pronto sia a trasmettere che a ricevere dati.

C109=Portante in ricezione (DCE a DTE)

Il DCE informa il DTE che la portante in linea è ad un livello superiore alla soglia di ricezione.

INTERFACCIA RS232

C110=Rivelatore della qualità del segnale (DCE a DTE)

Il DCE informa il DTE che non ci sono ragioni per credere che i dati ricevuti siano errati.

C111=Selezione di velocità (DTE a DCE)

L'attivazione di tale linea obbliga il modem a scegliere la velocità più elevata. Il livello logico opposto imposta la velocità più bassa (per modem 1200bps / 600bps).

C112=Selezione velocità (DCE a DTE)

Se la scelta della velocità è fatta dal modem, quest'ultimo avverte il DTE della velocità selezionata : lo stato ON sceglie la velocità più alta, lo stato OFF quella più bassa. Questa linea utilizza lo stesso pin del C111 ed è ad esso alternativa.

INTERFACCIA RS232

C113=Clock di trasmissione da DTE (DTE a DCE)

Questa linea rappresenta il clock generato dal DTE. Le transizioni ON-OFF devono coincidere con la posizione centrale su ciascun bit della linea C103.

C114=Clock di trasmissione da DCE (DCE a DTE)

Questa linea rappresenta il clock generato dal DCE. Durante le transizioni OFF-ON il DTE deve generare il bit successivo su C103.

C115=Clock in ricezione (DCE a DTE)

Questa linea rappresenta il clock per i dati che il DTE riceve su C104. La forma d'onda è quadra e la transizione ON-OFF indica il centro del bit ricevuto su C104.

INTERFACCIA RS232

C118=Trasmissione dati sul supervisore (DTE a DCE)

Questa linea svolge le stesse funzioni del C103 ma si riferisce al canale supervisore. Per i modem a 1200bps il canale supervisore è a 75 bps.

C119=Ricezione dati sul supervisore (DCE a DTE)

Questa linea svolge le stesse funzioni del C104 ma si riferisce al canale supervisore. Per i modem a 1200bps il canale supervisore è a 75 bps.

C120=Richiesta di trasmissione sul canale supervisore (DTE a DCE)

Questa linea svolge le stesse funzioni del C105 ma si riferisce al canale supervisore.

C121=Pronto a trasmettere sul canale supervisore (DCE a DTE)

Questa linea svolge le stesse funzioni del C106 ma si riferisce al canale supervisore.

INTERFACCIA RS232

C122=Rivelatore segnale di linea dati supervisore (DCE a DTE)

Questa linea svolge le stesse funzioni del C109 ma si riferisce al canale supervisore.

C123=Rivelazione qualità segnale (DCE a DTE)

Questa linea svolge le stesse funzioni del C110 ma si riferisce al canale supervisore.

C125=Chiamata in arrivo (DCE a DTE)

L'attivazione di questa linea indica al DTE che il modem ha ricevuto una chiamata telefonica. La risposta del DTE sulla linea C108 provoca la connessione del modem alla linea (risposta automatica).

C126=Scelta della frequenza in trasmissione (DTE a DCE)

Linea che serve alla scelta della frequenza del modem quando questo prevede due canali.

INTERFACCIA USB

L'interfaccia USB (Universal Serial Bus - Bus seriale universale) fu creata nel 1995 da un consorzio di costruttori fra cui Intel, Compaq, Digital e Microsoft, con l'intento di sostituire le attuali porte seriali e parallele per il collegamento di periferiche al PC.

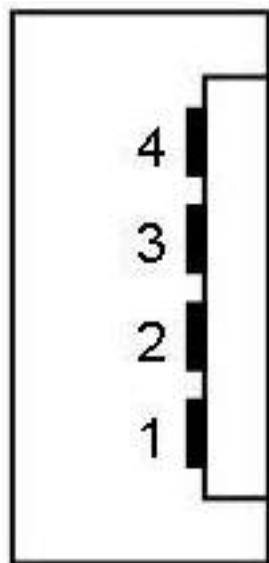
La versione 1.0 raggiunge la velocità di 12 Mbps. e si possono collegare fino a 127 periferiche in cascata.

La versione 2.0 consente velocità fino a 480Mbps.

L'USB può fornire direttamente l'alimentazione alle periferiche a basso consumo (come tastiere e mouse). E' inoltre completamente Plug and Play: le periferiche possono essere collegate "a caldo" (senza spegnere la macchina) e vengono automaticamente riconosciute.

INTERFACCIA USB

Ciascuno dei due connettori disponibili sul retro del PC è a 4 poli disposti come mostrato in figura. La massima corrente fornita dai due connettori è di 1A



1	GND
2	DATI(+)
3	DATI(-)
4	+ 5 V

INTERFACCIA USB 2.0

In figura a) si mostra il cavo USB che collega la presa posta sul retro del PC al dispositivo periferico USB come, ad esempio, stampante, scanner, modem, webcam.

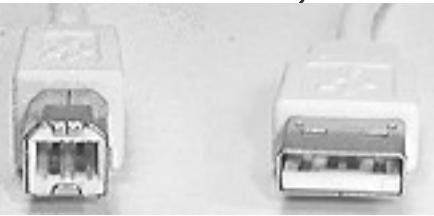


Fig.a). – Terminali del cavo USB. A sinistra si mostra il terminale che si applica al periferico, a destra quello che va al PC.

Volendo collegare più dispositivi USB si può far uso di HUB a più porte, una specie di spina multipla che si collega al PC che presenta più connettori simili a quello già visto. In fig.b), infine, si mostra un HUB USB a 4 porte.



Fig.b). – Hub USB a 4 porte.

INTERFACCIA USB 3.0

La versione 3.0 porta la velocità di trasmissione a 5 Gbps, quindi è 10 volte più veloce di USB 2.0

Le specifiche di USB 3.0 sono state rilasciate nel 2008 e i primi prodotti sono usciti nel 2010.

I terminali dei cavi USB3.0 sono del tipo mostrato in figura



USB 2.0 A
plug pinout



USB 3.0 A
plug pinout



USB 3.0 micro-B
plug pinout



USB 3.0 B
plug pinout

INTERFACCIA IEEE1394

Lo standard IEEE1394 fu adottato nel 1995 dalle specifiche fornite da un gruppo di aziende elettroniche tra cui Apple, Compaq e Sony.

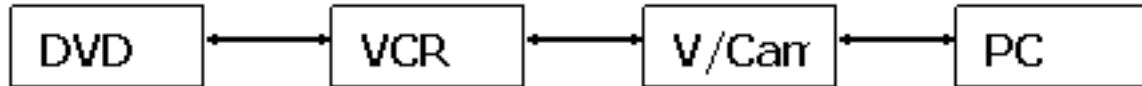
Questo tipo di interfaccia, di tipo seriale e bidirezionale, fu concepita nel 1986 dalla Apple che la denominò “FireWire” per le sue particolari caratteristiche di velocità. Successivamente la Sony introdusse delle varianti denominando il collegamento “iLink”. Lo standard IEEE1394 comprende sia le specifiche “Fire Wire” che “iLink”.

La principale limitazione della IEEE1394 è nella portata, che è solo di qualche metro. Per superare tale limite è stato definito lo standard 1394b (Long Reach) che attua collegamenti fino a 100m con velocità di 800 Mbit/s, 1.6Gbit/s e fino a 3.2 Gbit/s.

INTERFACCIA IEEE1394

Attualmente sono in commercio numerosi prodotti che si avvalgono dello standard IEEE1394 per la trasmissione dei dati digitali: sistemi di elaborazione digitale video, videocamere digitali, riproduttori audio digitali, personal computer, hard-disk, stampanti, ecc.

In figura si mostra il tipico collegamento tra vari dispositivi “FireWire”.



INTERFACCIA IEEE1394

Tra le principali caratteristiche ricordiamo:

- possibilità di collegamento e scollegamento fisico a caldo;
- capacità di miscelare su una singola linea dati in tempo reale sincroni ed asincroni;
- capacità di utilizzare simultaneamente dispositivi sia a bassa che alta velocità sulla stessa connessione fino ad un numero massimo pari a 63;
- i sistemi operativi Windows, Linux, Unix e Sun contengono i driver per la gestione dell'IEEE1394.

INTERFACCIA IEEE1394

Per i PC l'interfaccia IEEE1394 è disponibile sotto forma di schede su PCI con connettori del seguente tipo:

- a 4 pin senza alimentazione: due coppie di cavi intrecciati, una per la trasmissione ed una per la ricezione;
- a 6 pin con alimentazione: i due pin in più forniscono la massa e l'alimentazione da 8V a 30V con capacità di pilotaggio in corrente fino a 1.5A.



a)



b)

a) Scheda IEEE1394 con tre attacchi esterni;

b) connettore a 4 poli.

INTERFACCIA RS422

Questo standard è stato originariamente proposto per la trasmissione di segnali digitali fino a 10 Mbit/s (10 milioni di bit al secondo) su distanze fino a 4000 piedi (circa 1200 m). Usando integrati moderni è inoltre possibile superare i limiti imposti dallo standard sia in termini di velocità che di distanza.

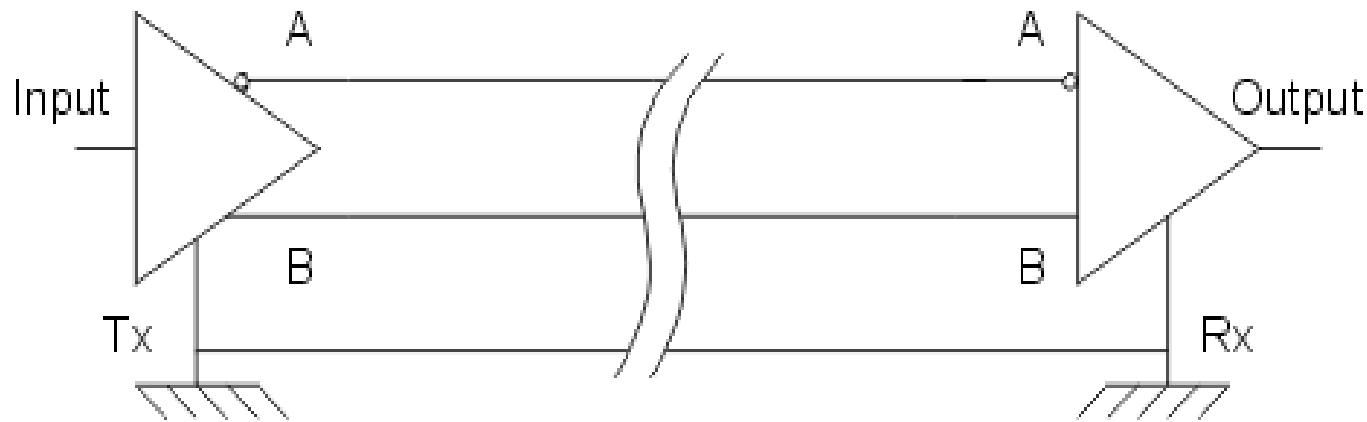
Lo standard RS422 prevede che ciascuna linea differenziale sia pilotata da un driver.

I ricevitori possono essere fino ad un numero di 10, ma è più comune l'utilizzo di questo standard nelle comunicazioni punto-punto, cioè per collegare un singolo trasmettitore (Tx) ad un singolo ricevitore (Rx), come rappresentato nello schema che segue.

INTERFACCIA RS422

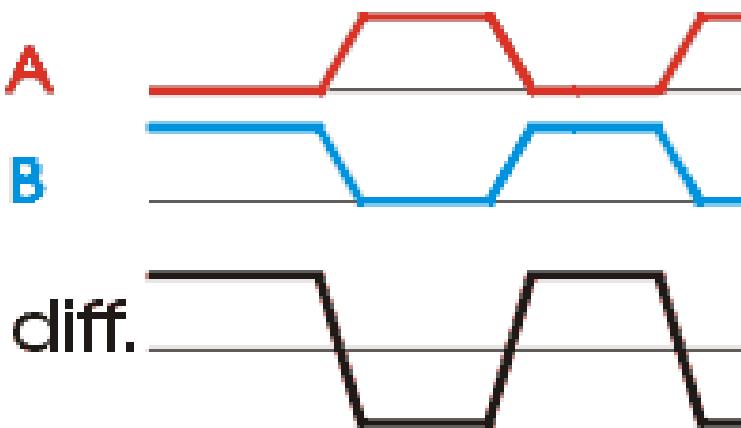
I due stati di ciascuna linea sono definiti nel seguente modo:

- Quando il terminale A è negativo rispetto a B, la linea rappresenta un uno binario. Tale stato rappresenta anche l'assenza di segnale (idle state)
- Quando il terminale A è positivo rispetto a B, la linea rappresenta uno zero binario



INTERFACCIA RS422

Nella figura seguente viene mostrato l'andamento idealizzato dei segnali sui due fili A (in rosso) e B (in blu): come si vede si tratta di due segnali tra loro in opposizione di fase. Nell'immagine sono mostrati come variabili tra zero ed una tensione positiva (come del resto avviene il più delle volte anche nei sistemi reali) anche se questo non è richiesto dallo standard. La tensione differenziale è quella che effettivamente trasmette l'informazione ed è positiva o negativa in funzione del livello logico trasmesso.



INTERFACCIA RS422

Da notare che in molte realizzazioni il terminale A è identificato come - ed il terminale B come + oppure con altri nomi in cui è evidenziato, anche graficamente, che hanno sempre valori logici opposti.

All'uscita del trasmettitore la differenza di potenziale tra le linee A e B deve essere di almeno 4 V e la tensione di modo comune deve essere minore di 7 V (normalmente una linea vale circa 0 V e l'altra circa 5 V). Il ricevitore deve essere in grado di interpretare correttamente lo stato della linea quando la differenza di potenziale è superiore in modulo a 200 mV.

Nel caso di realizzazioni industriali, la topologia più frequente prevede due dispositivi collegati tra loro attraverso due coppie di cavi (oltre la massa), una per ciascun verso di trasmissione del segnale; in questo caso è possibile realizzare una comunicazione full-duplex: ciascuno dei due dispositivi dispone di un trasmettitore e di un ricevitore e può quindi contemporaneamente ricevere e trasmettere dati.

RETI PER TRASMISSIONE DATI

Tutte le reti usate dagli utenti per accedere ad Internet, quali le

- **PSTN** (*Public Switching Telephone Network*),
- **ISDN** (*Integrated Service Digital Network*),
- **CATV** (*Community Antenna Television* - negli USA),
- **LAN** (*Local Area Network*),
- **VPN** (*Virtual Private Network*),
- **Wireless** Network,

non sono altro che la connessione fisica ad una seconda rete:
quella composta dagli **ISP** (*Internet Service Provider*),
che fornisce il punto di accesso Internet e supporta una serie specifica
di applicazioni.

STRUTTURE DI RETE

Effettuare trasmissione dati in Italia fino a qualche decennio fa significava utilizzare la rete telefonica nazionale operata all'epoca dal gestore monopolista SIP.

La rete era totalmente analogica con velocità bassissime rispetto alle odierne.

Tuttora il doppino telefonico twisted pair (coppia ritorta) è il mezzo trasmissivo più usato per la realizzazione dei collegamenti.

Nel caso di rete PSTN vi sono tratti di cavo che contengono centinaia di doppini (cavi multicoppia) connessi da punti fisici di flessibilità (armadio riparti linea e distributore), che vengono utilizzati per il controllo.

STRUTTURE DI RETE

I tratti di doppino che formano la rete sono distinti in:

- **rete di accesso primaria:** tra centrale e armadio, formata da cavi con centinaia di coppie
- **rete di accesso secondaria:** tra armadio e distributore, formata da cavi con decine di coppie
- **raccordo cliente o cablaggio verticale:** tra distributore e borchia di accesso, domicilio utente.

Quest'ultima infrastruttura costituisce la principale forma di connettività odierna.

FTTH o FTTC – Fibra ottica



FTTH
Fiber To The Home



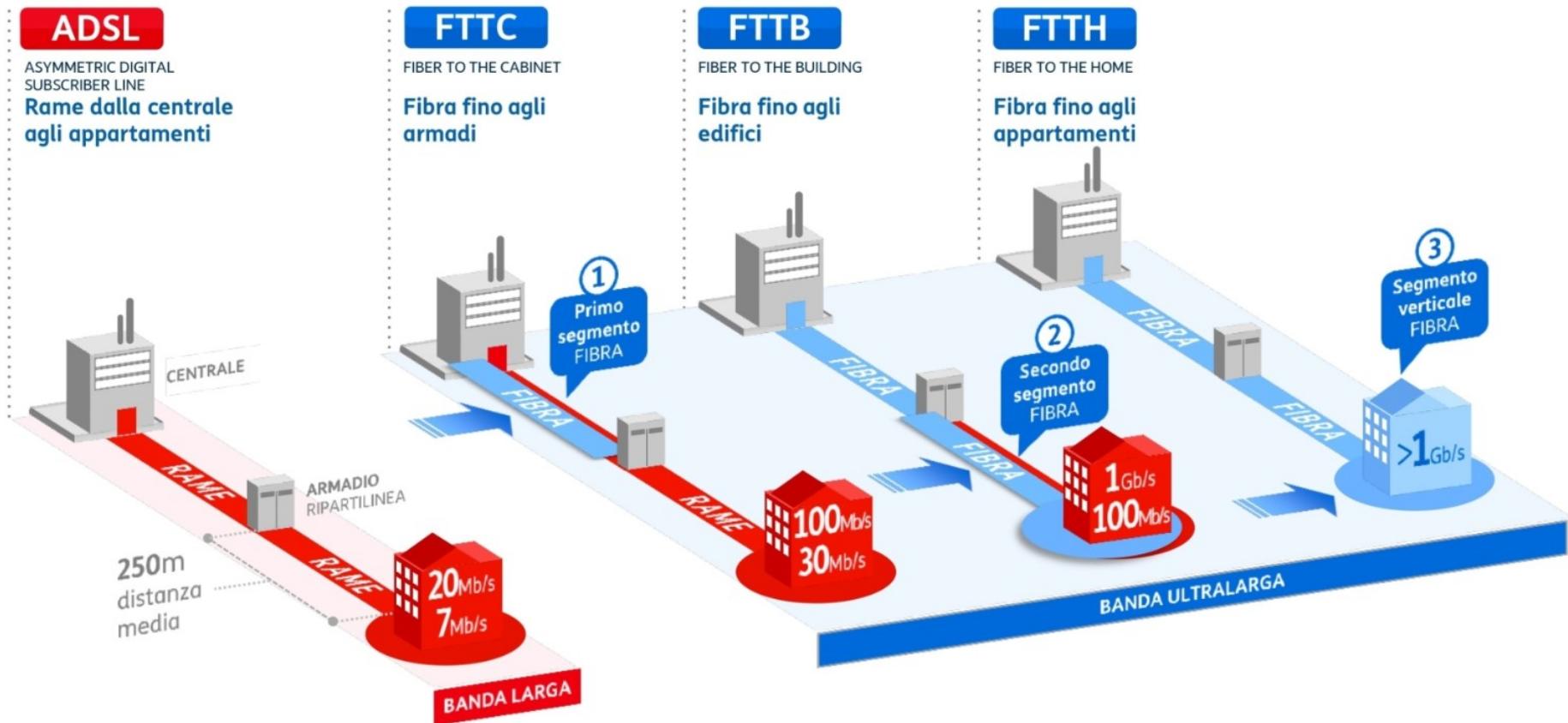
FTTC
Fiber To The Cabinet



FTTH o FTTC o FTTB – Fibra ottica

FTTB, ossia “Fiber to the Building”

- questo tipo di cablatura prevede il collegamento in fibra ottica dalla centrale di trasmissione a una centralina condominiale, con collegamento in rame da quest'ultima ai singoli appartamenti.

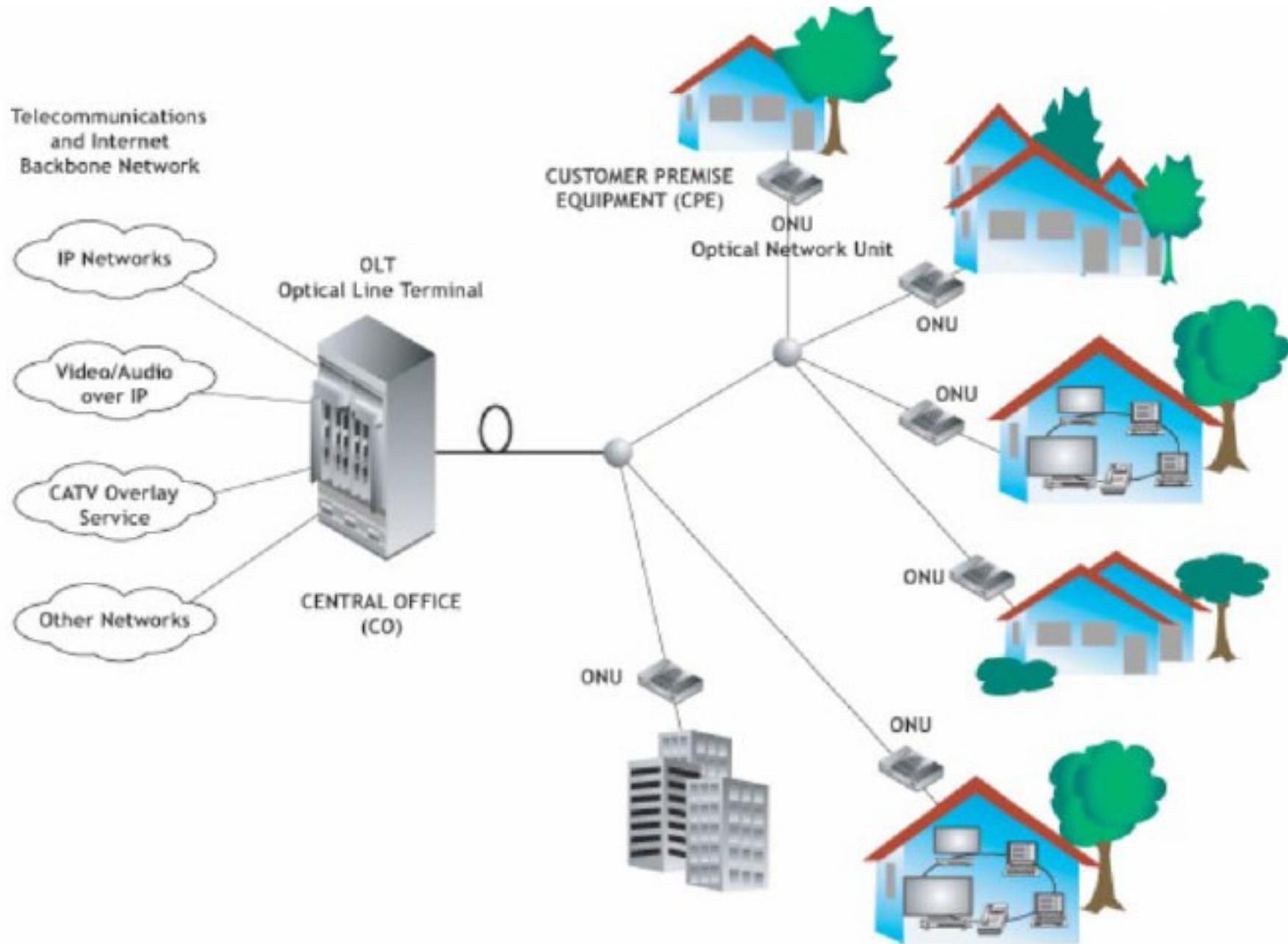


FTTH – Fibra ottica

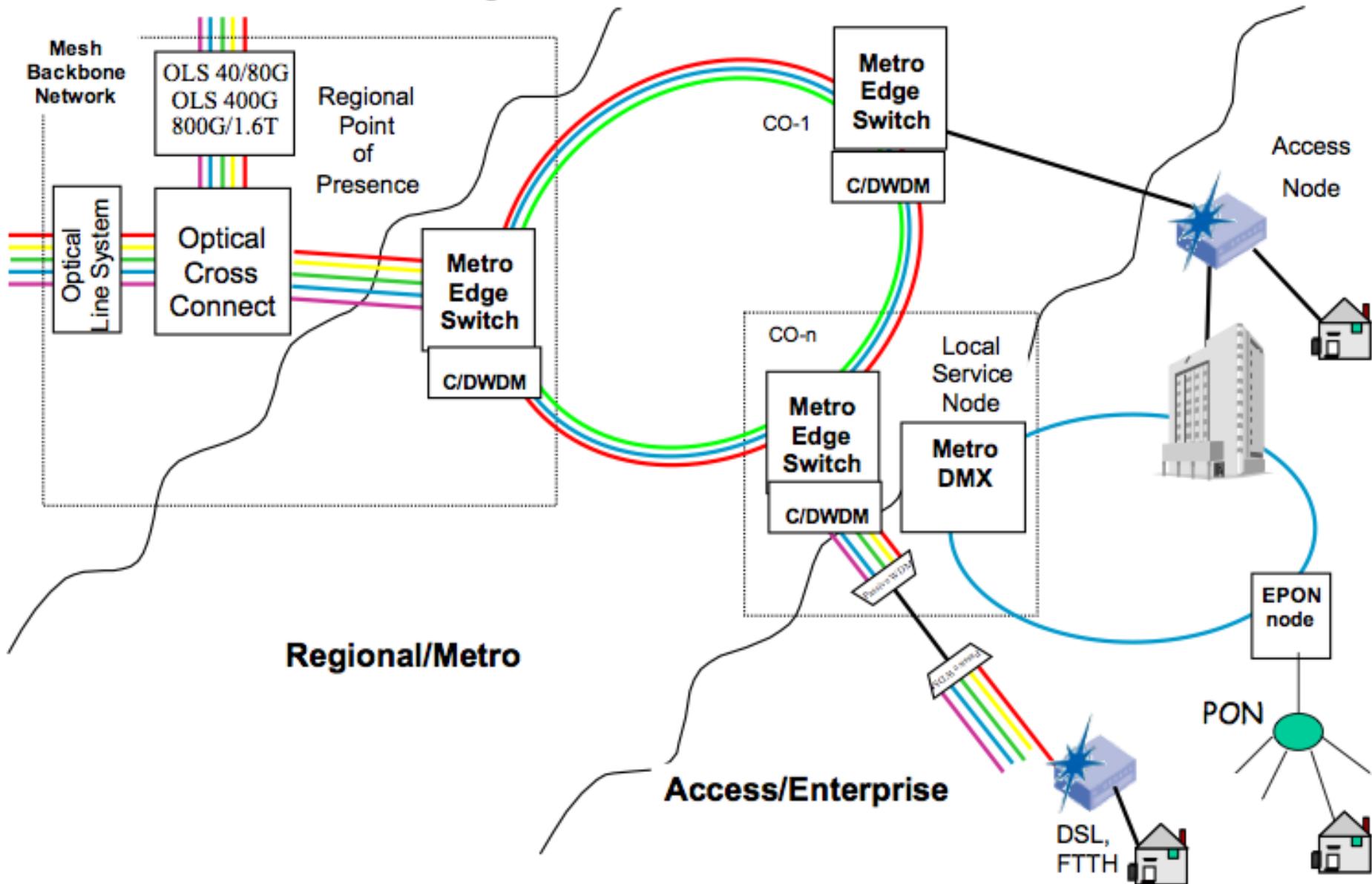
Nel caso di **FTTH** (Fiber To The Home – fibra ottica) si hanno:

- **OLT** (Optical Line Termination): elemento che funge da interfaccia, lato rete
- **ONU** (Optical Network Unit): dislocato vicino all'utente, interfaccia con terminale
- **ONT** (Optical Network Termination): network termination ottica

Telecommunications
and Internet
Backbone Network



Core/Backbone/LongHaul

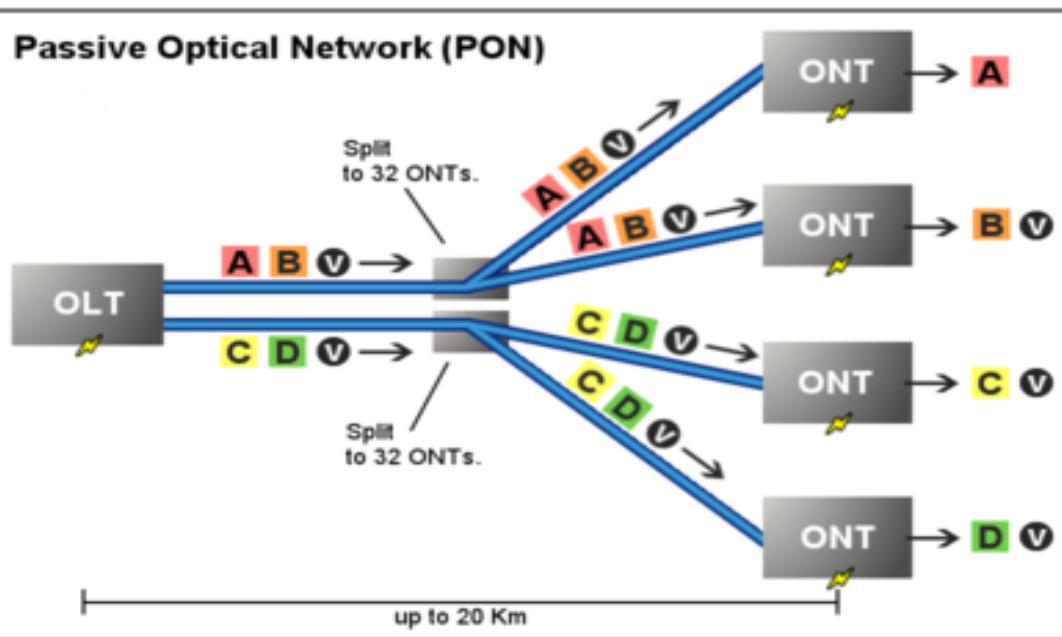
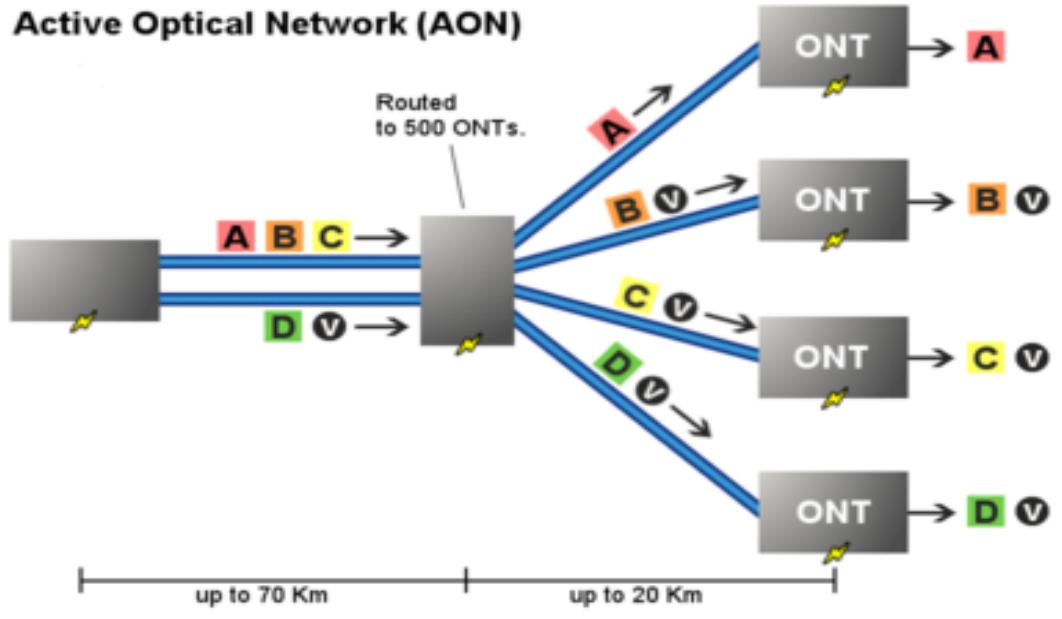


FTTH: AON E PON

Due approcci distinti all'uso della fibra riguardano l'uso o meno di componenti aggiuntivi:

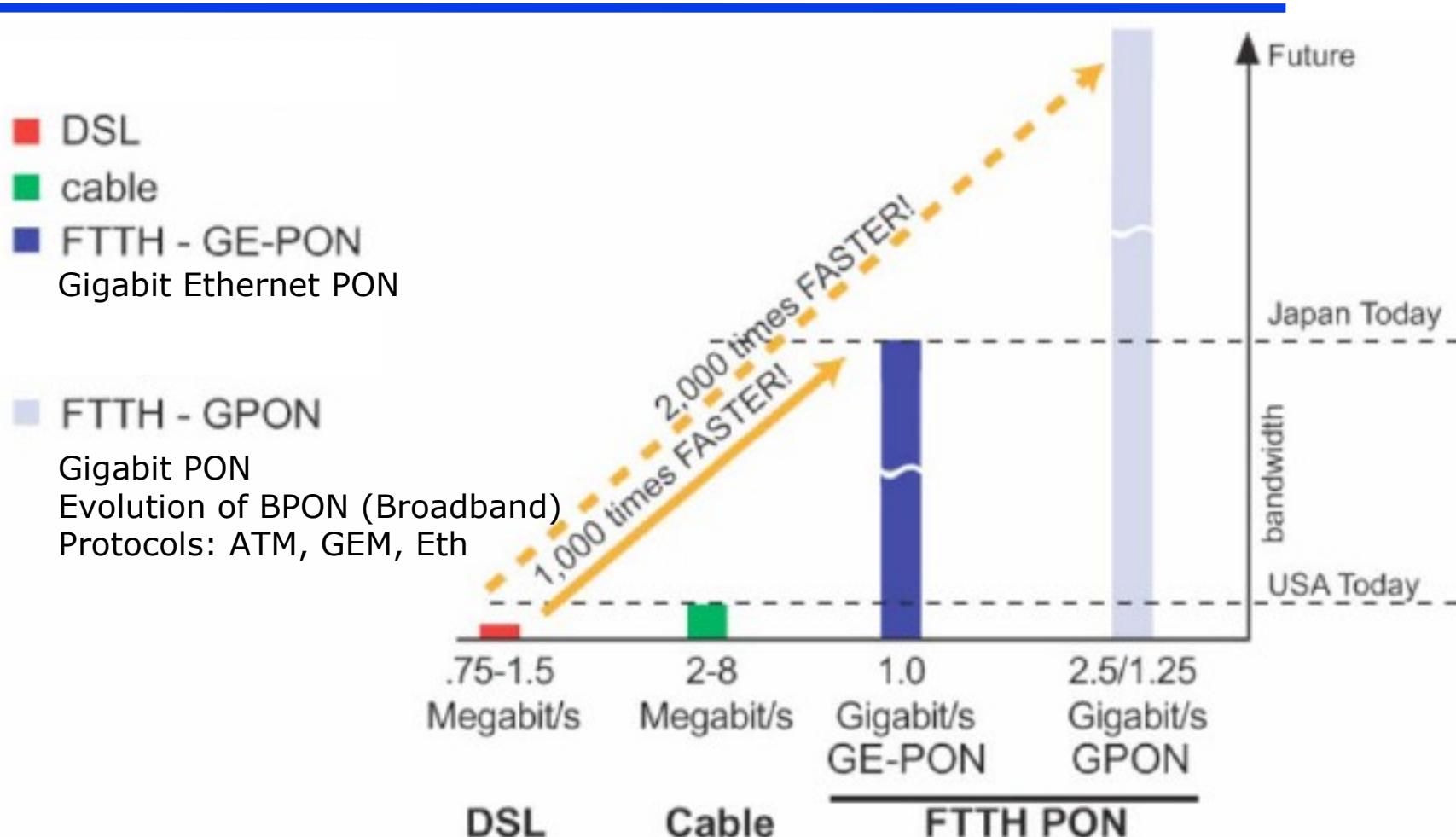
- **AON** (Active Optical Network), dette anche point-to-point (P2P), tratte di fibra su ogni tratta e uso di apparati attivi e topologie stellari
- **PON** (Passive Optical Network), rete di accesso caratterizzata dall'assenza di apparati attivi al di fuori delle sedi dove sono collegate le OLT e le ONT-ONU. Usa topologie ad albero realizzate con l'uso di ripartitori ottici di tipo passivo.

PON vs AON



Key: A - Data or voice for a single customer. V - Video for multiple customers.

PON



STRUTTURE DI RETE

Al giorno d'oggi si cerca di installare quanto più possibile accessi per reti a banda larga.

Di seguito vediamo alcuni esempi di reti di accesso a banda larga.

XDSL

In Italia la generalizzazione degli accessi a banda larga è affidata essenzialmente allo sviluppo dei sistemi xDSL (in particolare ADSL2+ per l'area residenziale) avendo, per tale applicazione, caratteristiche particolarmente favorevoli, come cavi a coppie relativamente recenti e circuiti utente molto brevi.

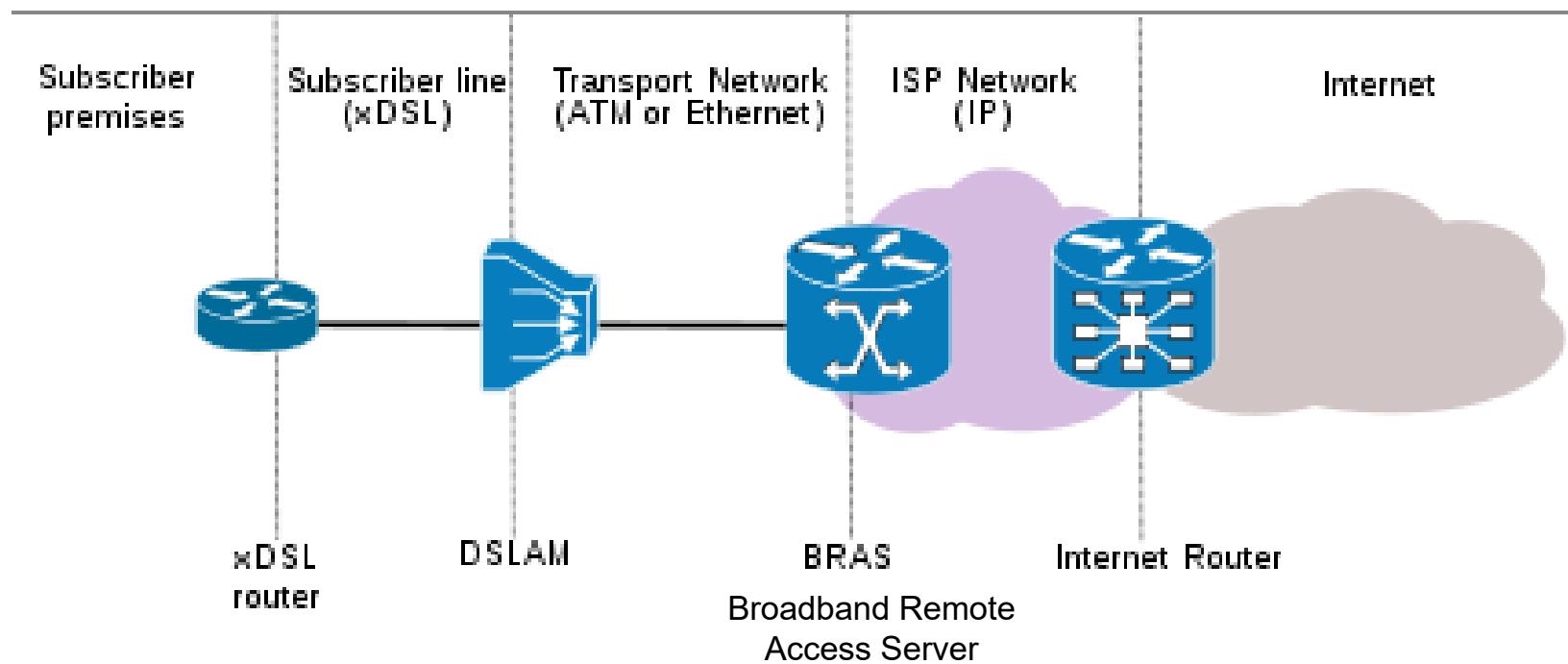
La potenzialità di accesso infatti è distribuita nella totalità dei capoluoghi di provincia.

La situazione è tutt'altro che buona: un terzo della popolazione italiana risiede in comuni con popolazione minore di 10mila abitanti: in questi luoghi, per ragioni di investimenti, l'aggiornamento delle centrali terminali con DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) è stato molto ridotto.

XDSL

Il DSLAM ha il compito di multiplare centinaia o migliaia di accessi in un'unica interfaccia ad alta densità verso la rete di trasporto, nell'ambito delle centrali terminali.

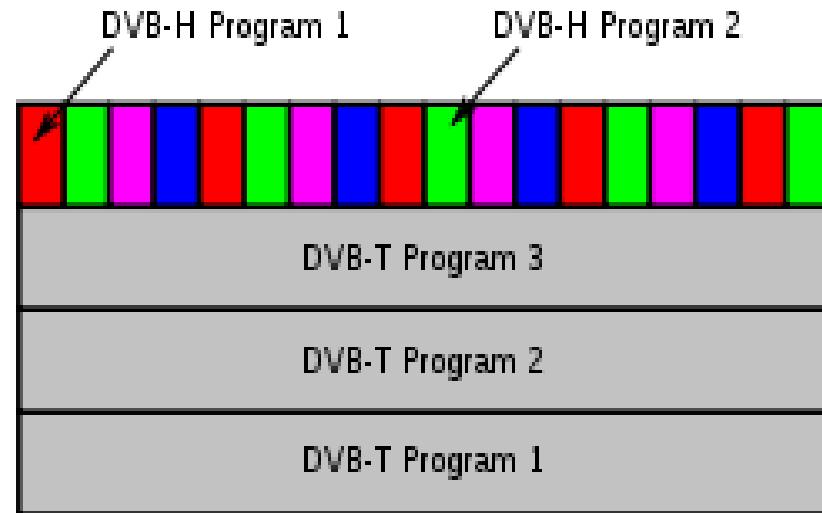
IL DSLAM opera come un network switch a livello 2 OSI.



TELEVISIONE DIGITALE TERRESTRE INTERATTIVA

In ambito DVB (Digital Video Broadcasting) esiste uno standard europeo, denominato **DVB-H** (Handheld), che permette di ricevere anche da piccoli apparati alimentati a batteria, cellulari e dispositivi mobili. DVB-H funziona combinando gli standard del video digitale con l'Internet Protocol in modo da suddividere i contenuti in pacchetti di dati da trasferire sul cellulare e leggibili da parte dell'utente.

Struttura di un frame DVB-H



COMUNICAZIONI MOBILI DI 3° E 4° GENERAZIONE

Un ulteriore mezzo di accesso alla banda larga è la tecnologia 3G che è già stata sostituita dalla 4G.

HSPA (*High Speed Packet Access*) è considerato l'anello successivo della catena costituita da:

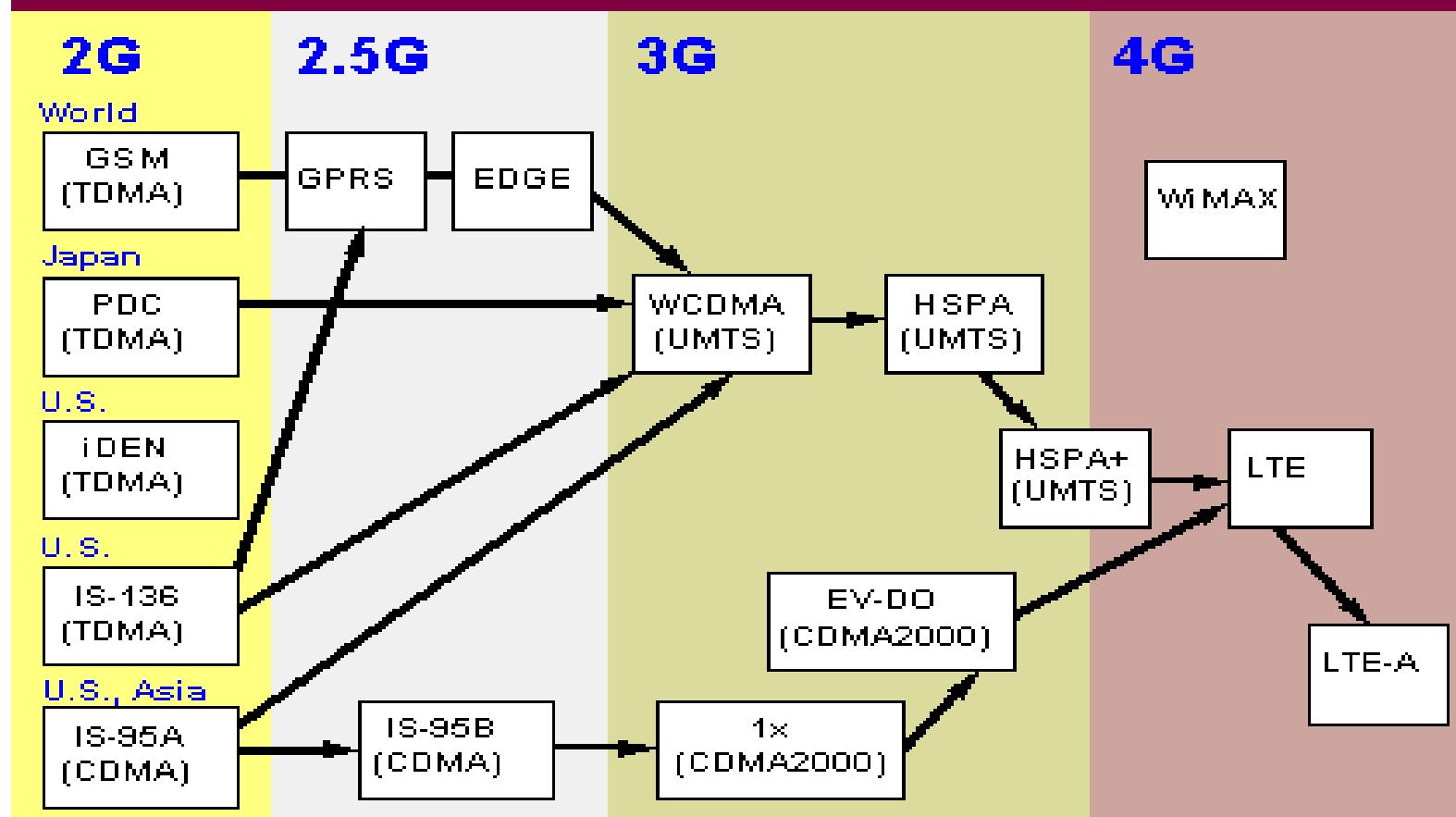
- **GSM** (*Global System for Mobile Communications*),
- **GPRS** (*General Packet Radio Service*) e
- **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications System*).

E' già presente sul mercato **LTE** (*Long Term Evolution*, di quarta generazione), che può essere considerata risultato del gruppo di lavoro **NGMN** (*Next Generation Mobile Networks*), formato da alcuni dei maggiori operatori di telefonia.

COMUNICAZIONI MOBILI

From Computer Desktop Encyclopedia
© 2011 The Computer Language Co., Inc.

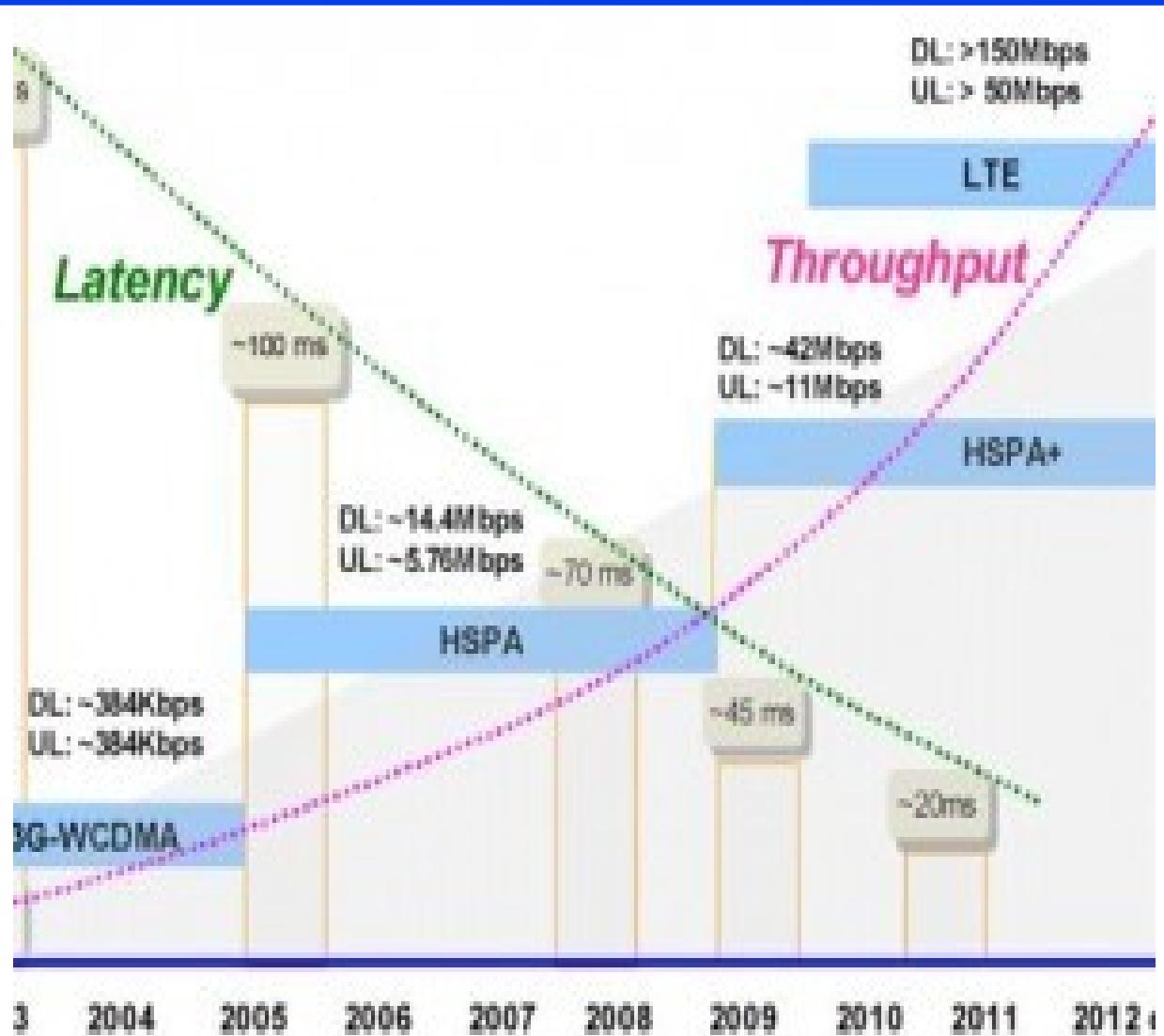
Evolution of Digital Cellular Standards



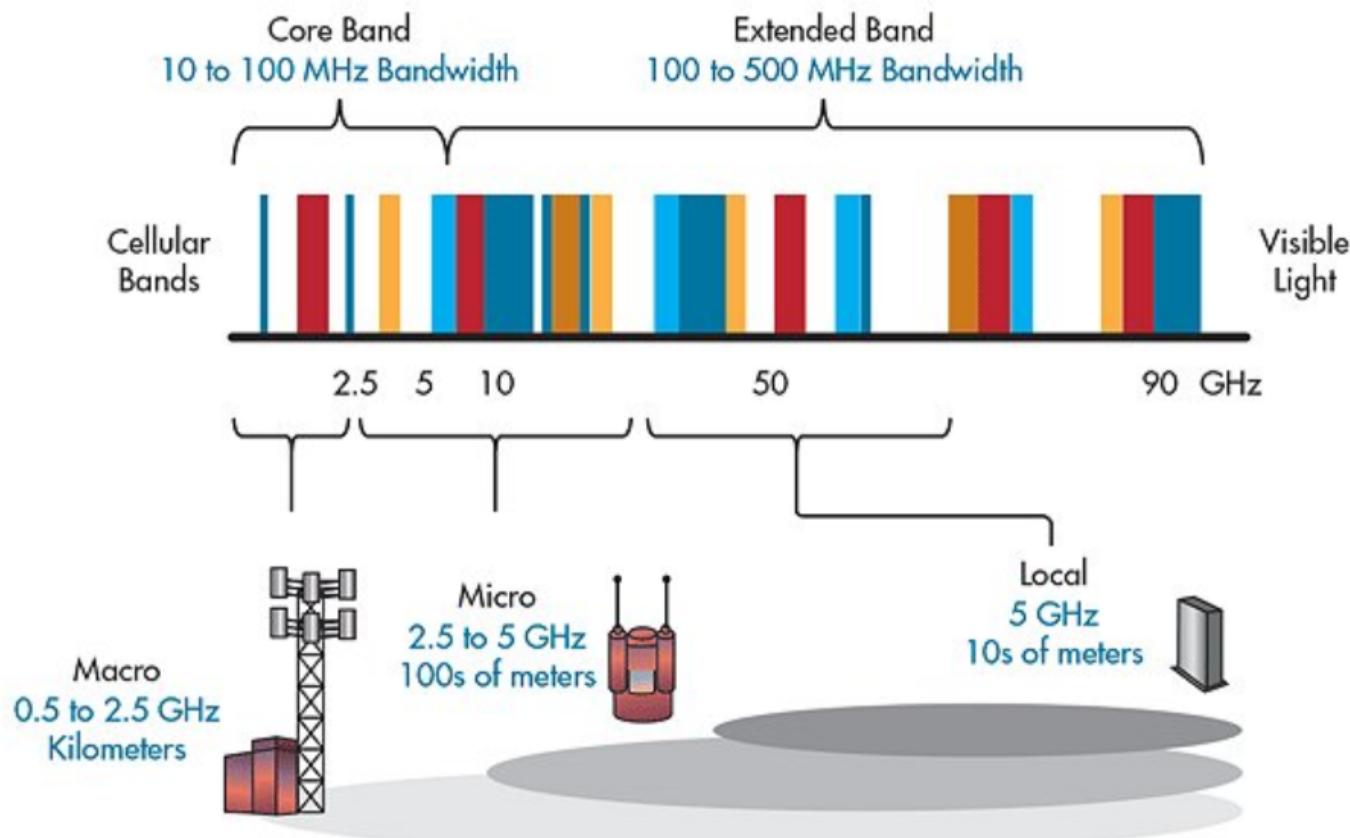
COMUNICAZIONI MOBILI

Mobile standards	3GPP	
Carriers using:	AT&T and T-Mobile US, majority of global carriers	
2G: digital + data services	GSM: 2G	
	GPRS: 2.5G	
	EDGE: 2.75G	
	Release 4	UMTS 3G
3G: at least 200 kbps iPhone 4 currently delivers up to 7.2Mbps down, 5.8Mbps up	Release 5	HSDPA 3.5G (to 21Mbps down)
	Release 6	HSUPA 3.5G (to 5.8Mbps up)
	Release 7	HSPA+ 3.5G
	Release 8/9	LTE 3.9G
4G: at least 100 Mbps, IP-based	Release 10	LTE Advanced

COMUNICAZIONI MOBILI

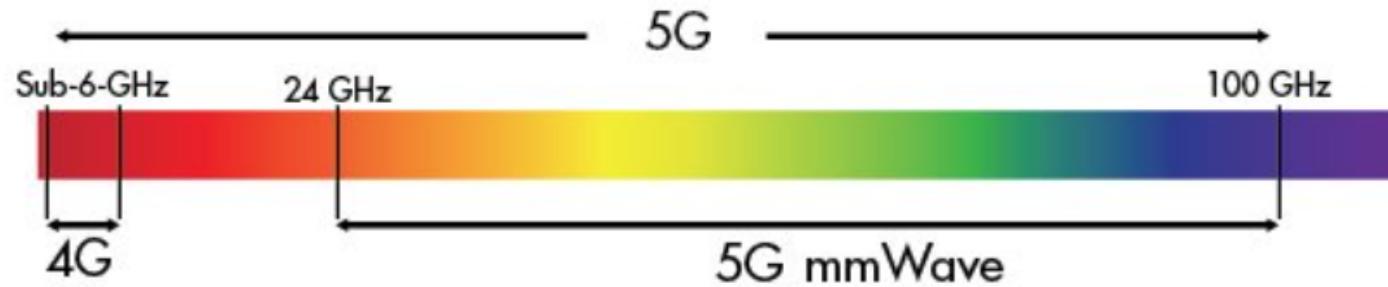


COMUNICAZIONI MOBILI: 5G



Utilizzo di onde millimetriche

COMUNICAZIONI MOBILI: 5G

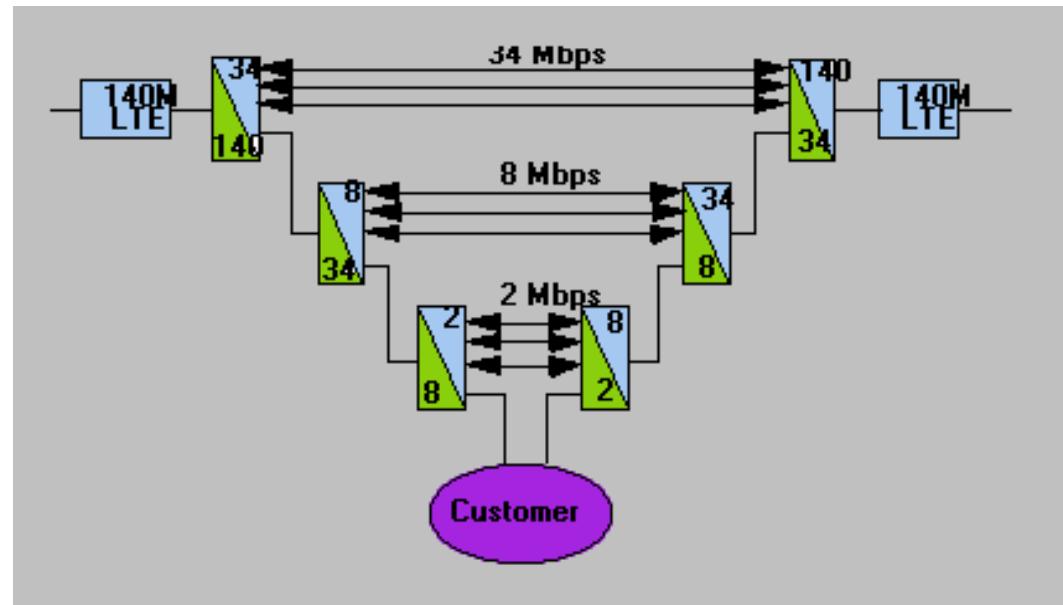


Enorme espansione della banda, ma distanze di copertura minori

PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy

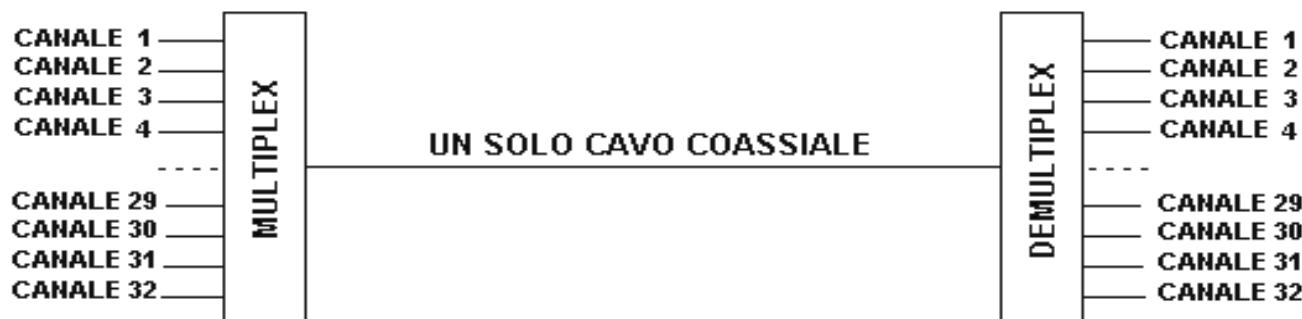
PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) è la tecnologia che permette multiplexing e demultiplexing dei canali digitali aggregati: ovvero è possibile multiplare e trasmettere insieme flussi di dati a bit rate leggermente differenti. Plesiochronous significa quasi sincrono: due unità sono sincronizzate, ma non perfettamente.

Per questo ogni volta che si vuole estrarre un canale, bisogna estrarre un elemento della gerarchia per volta, ossia occorre disaggregarlo.



PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy

La codifica PCM (pulse-code modulation . -"modulazione codificata di impulsi") genera flussi a 64 Kbit/s e il modo più semplice per trasferire questa informazione è con canali sincroni a 64 Kbit/s organizzati in trame che si ripetono ogni 125ms.



PDH rappresenta il primo metodo di multiplazione per trasmettere molti (30) canali insieme, che con l'aggiunta di due ulteriori canali di controllo formano un unico canale chiamato E-1 (multiplando 32 trame) con velocità di 2.0484 Mb/s.

PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy

Per formare un canale di livello superiore unendo canali di livello inferiore viene usato un multiplexer TDM: poiché tali canali di livello inferiore possono funzionare a bitrate differenti, il multiplexer deve inserire slot aggiuntivi per compensare la differenza e rendere sincrono il flusso in entrata al demultiplexer ricevente. Gli slot, detti dummy bits, verranno riconosciuti ed eliminati dal demultiplexer. Una grave carenza del PDH è l'incapacità di monitorare le prestazioni della rete e garantire buone performance per trasferimento contemporaneo di audio, video e dati. Problemi di temporizzazione hanno fatto nascere l'SDH, dove clock atomici garantiscono la perfetta sincronizzazione.

SDH, Synchronous Digital Hierarchy

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) è un protocollo a livello fisico usato per la trasmissione di fonie e dati su fibra e rete elettrica: compito di SDH è aggregare flussi di dati con bitrate diversi e spedirli tutti insieme a grandi distanze.

A differenza del PDH, questo protocollo prevede che tutti gli elementi della rete siano sincronizzati con lo stesso clock.

Con l'aggiunta di informazioni di servizio esso permette di trasferire informazioni essenziali per la corretta gestione della rete, permettendo

di raggiungere elevatissimi livelli di qualità del servizio.

È diffuso in tutto il mondo tranne in nord America, dove viene usato SONET: identico, ma rispetta uno standard ANSI, non ITU.

SDH, Synchronous Digital Hierarchy

Tuttavia, nonostante le capacità su mezzi portanti ottici, la soluzione SDH viene ancora usata per la realizzazione di anelli ottici di accesso per la clientela: nella rete il raggiungimento può essere realizzato tramite topologie ad anello o mediante collegamenti punto-punto tra un sito centrale e il cliente.

Dato che SDH è una tecnologia per reti di trasporto non presenta limiti di distanza e oggi può offrire una velocità di 140Gb/s.

L'unico vincolo è dovuto alla multiplazione TDM (Time Division Multiplexing) con trama sincrona, che quindi fornisce ad ogni utente una capacità costante nel tempo che non può essere usata da nessun altro utente, anche se libera.

SDH, Synchronous Digital Hierarchy

Per la realizzazione di reti con maggior numero di accessi per anello si

tende a preferire tecnologie che consentono la moltiplicazione statica delle risorse, come Gigabit Ethernet.

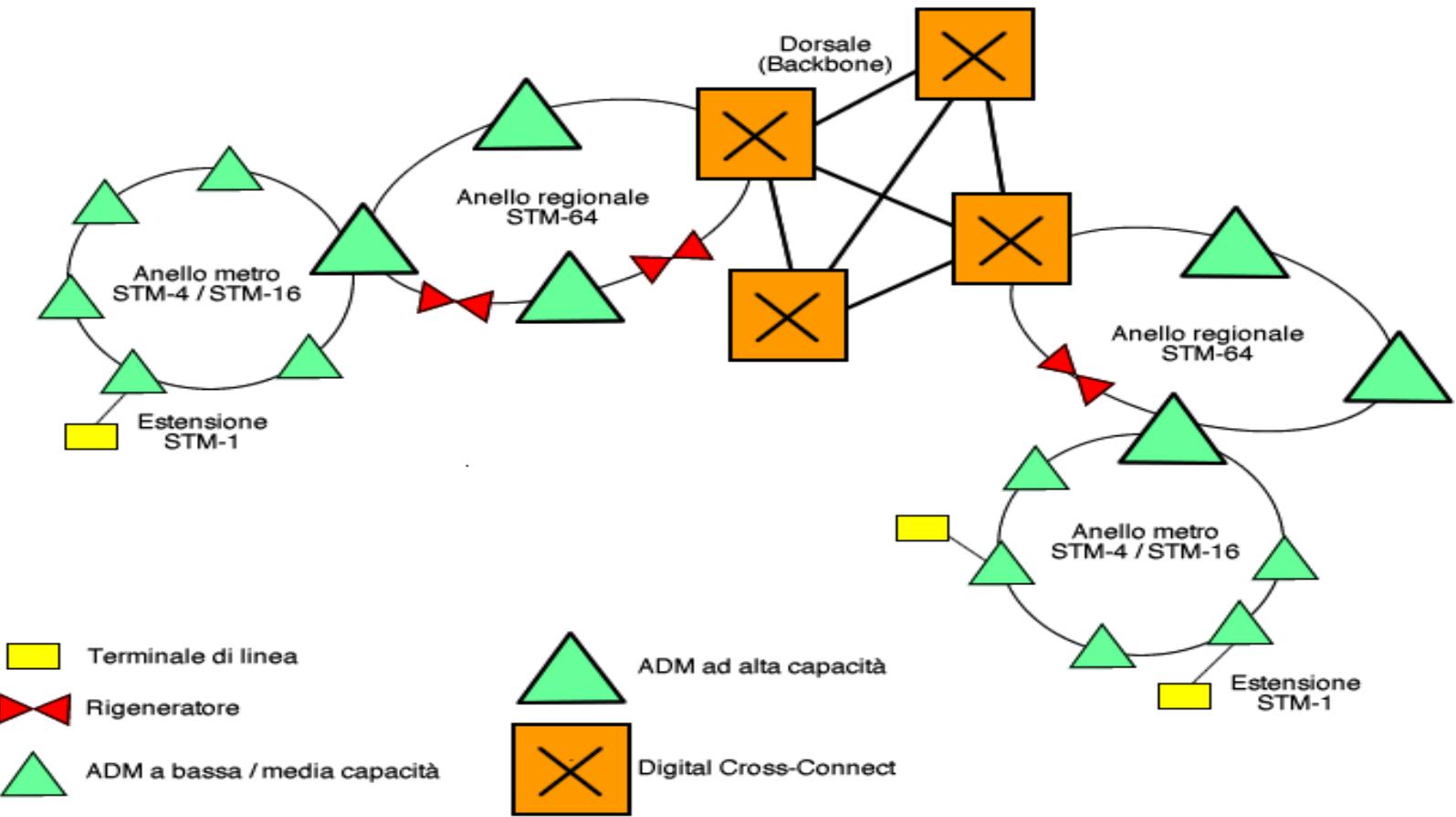
Per quanto riguarda il trasporto di vari tipi di dati su flussi separati, SDH si presta felicemente al compito garantendo la massima affidabilità, anche se esclude possibilità di condivisione della banda tra

tonia e dati.

SDH oggi si sviluppa soprattutto in OTN (Optical Transport Network).

SDH, Synchronous Digital Hierarchy

Schema tipico di una rete SDH generica



SONET, Synchronous Optical NETworking

SONET, come SDH, viene ampiamente utilizzato dagli operatori telefonici nelle reti di trasporto, in America del Nord; la differenza tecnica rispetto ad SDH è nel formato di multiplazione: nonostante SONET sia stato sviluppato storicamente per primo, la sua penetrazione relativamente ridotta e lo sviluppo più limitato delle sue funzioni potenziali fa sì che oggi sia considerato di fatto una variazione di SDH.

In SONET l'intera rete di trasporto è sincronizzata, minimizzando la necessità di buffering all'interno della rete e consentendo estrazione diretta dei singoli flussi multiplati senza dover richiedere per questa operazione la demultiplazione e conseguente rimultiplazione completa dell'intero flusso.

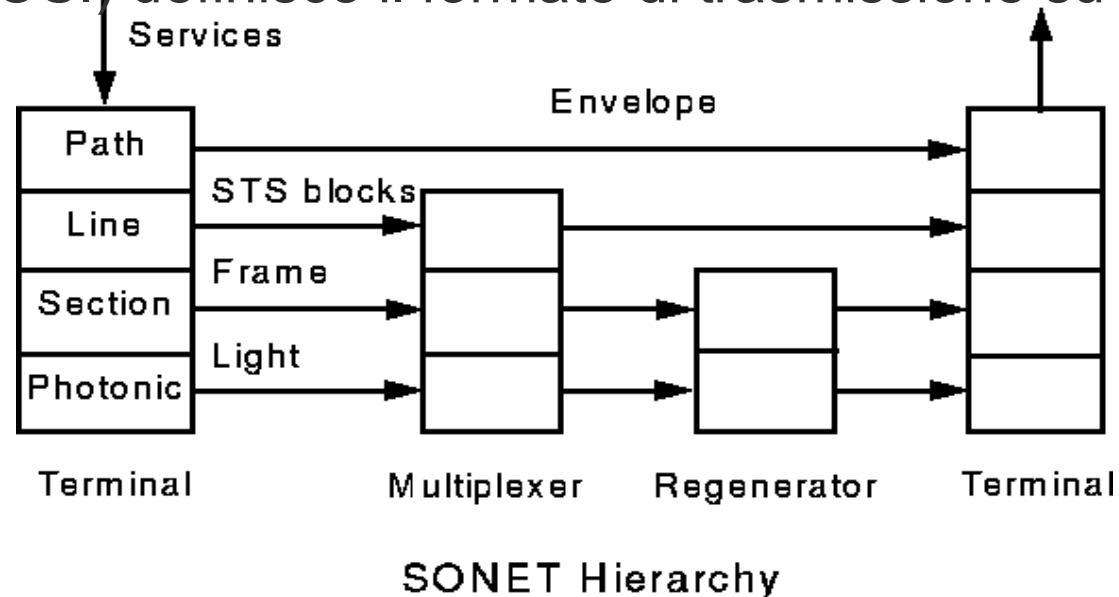
SONET

Path Layer (come il liv. 3 di OSI) è responsabile della comunicazione end-to-end. Si occupa di controllo e gestione stato di una connessione.

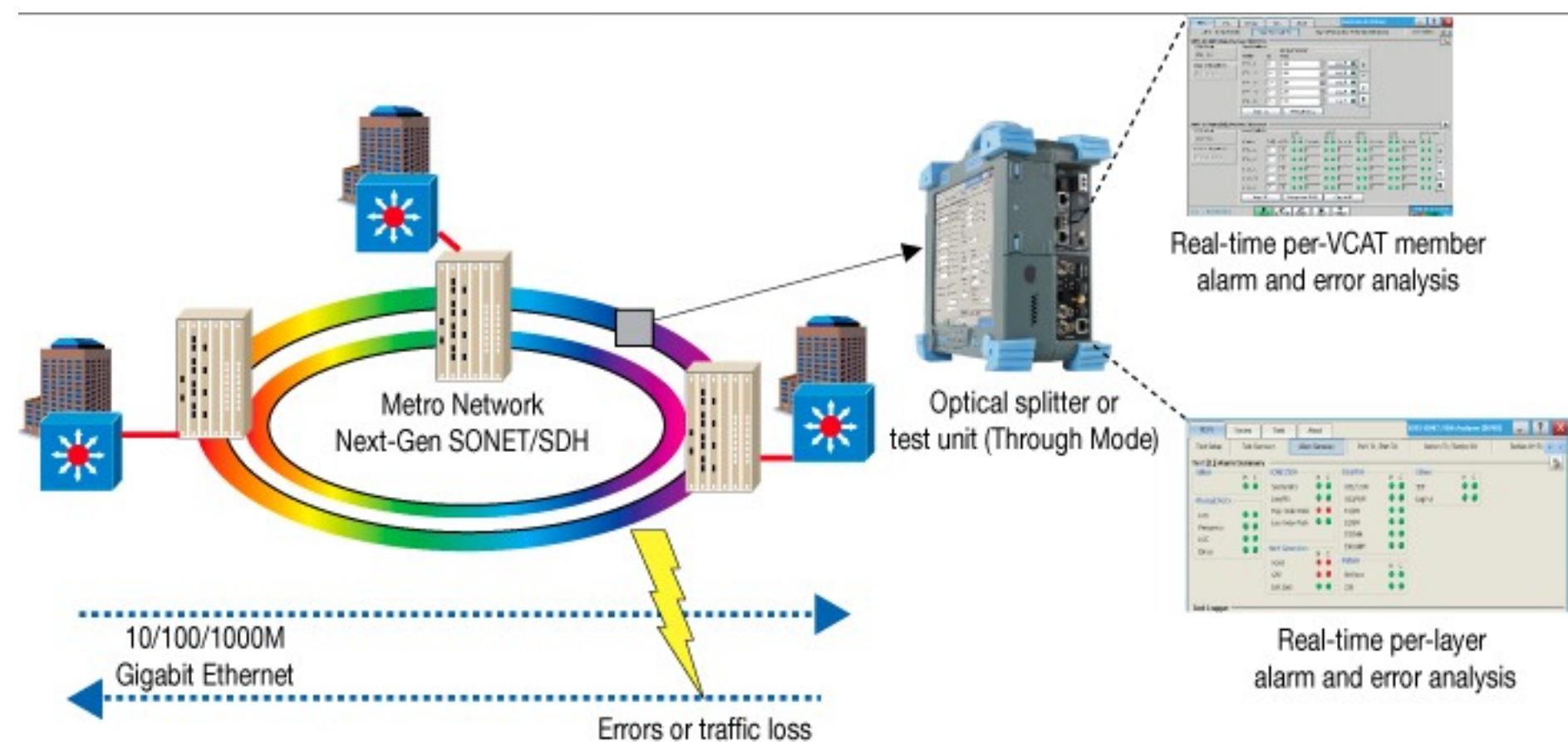
Line Layer si occupa della multiplazione di diversi path tra due nodi. Si occupa di protezione e reazione ai guasti.

Section Layer definisce le funzioni dei rigeneratori lungo un canale (con il Line Layer equivale al liv. 2 di OSI).

Photonic Layer (liv. 1 di OSI) definisce il formato di trasmissione su fibra.



SONET



RETE CDN (Circuiti Diretti Numerici o linee dedicate)

Si tratta di una rete digitale, parallela alla PSTN: prevede una rete centrale (area di commutazione) e dispositivi di multiplazione, verso gli utenti.

I collegamenti diretti numerici permettono la realizzazione di collegamenti punto-punto o punto-multipunto con tecniche digitali. Un CDN viene fornito da Telecom, completo dei relativi apparati di trasmissione che hanno interfaccia digitale verso il cliente.

Attualmente l'offerta di Telecom Italia prevede disponibilità di circuiti con velocità di trasmissione compresa tra 64Kbps e 2.5 Gbps, nonostante l'affermazione di internet e delle VPN, anche se gradatamente ci sarà un passaggio verso le reti ottiche ASON (Automatic Switched Transport Network).

RETE CDN

Un CDN mette a disposizione del cliente un flusso dati della banda desiderata tra due località qualunque del territorio nazionale: naturalmente il cliente è libero di utilizzare questo canale di trasmissione dati come meglio crede, trasportando voce (ITU H.323 o SIP), video, dati o qualunque altra informazione che possa essere convertita in forma numerica.

Anche la tecnica di multiplazione (o impacchettamento) è del tutto trasparente per il circuito CDN.

RETE ISDN

ISDN (Integrates Services Digital Network – Rete Numerica Integrata nei Servizi) nasce come la naturale evoluzione tecnologica della rete telefonica: lo scopo era quello di portare un collegamento digitale a tutte le scrivanie senza l'uso di un modem.

Tecnicamente la rete ISDN necessita di apparati hardware e software installati sia presso la centrale che presso l'utente destinatario del servizio.

Il vantaggio è nell'avere su un unico numero 3 canali: 2 per fonia/dati, chiamati B (Bearer) a 64Kb/s e 1 di controllo detto D (Delta) a 16Kb/s.

Esistono due soluzioni ISDN:

- L'interfaccia BRI (Basic Rate Interface)
- L'interfaccia PRI (Primary Rate Interface)

RETE ISDN: Accesso Base

L'accesso Base (Basic Rate Interface) utilizza a livello 2 il protocollo LAPD (**L**ink **A**ccess **P**rotocol – **C**hannel **D**) e lavora in ABM (Modalità Asincrona Bilanciata).

Presso il cliente viene installata una borchia ISDN (NT1), caratterizzata dai 3 canali (2 per fonia/dati a 64 Kbps e 1 di controllo a 16Kb/s - anche se oggi il canale D può anche essere utilizzato per trasferire dati). La borchia può essere di tipo NT o NT Plus.

E' inoltre possibile raggruppare i due canali B ed ottenere un solo canale trasmissivo a 128Kbps: in tale scenario si ha un solo processo comunicativo.

RETE ISDN: Accesso Base

Il segnale in linea è digitale 2B1Q e il sistema non necessita di conversioni A/D. Per più di un decennio ISDN ha rappresentato un valido strumento di migrazione di connessioni da dedicate a commutate. Lungo linea, centrale ed utente, i tre segnali (B1,B2 e D) sono affasciati mediante tecniche di multiplazione. Passiamo ora all'analisi dei dispositivi utilizzati:

- Il primo dispositivo, *NT1*, ha lo scopo di terminare la linea e di convertire il doppino telefonico in un *bus*, denominato *S*: quest'ultimo è tipicamente costituito da 8 fili ed utilizza gli stessi connettori RJ45 delle reti LAN Ethernet 10/100base T.
- Il secondo dispositivo, *TA (Adapter)*, serve per interfacciare gli oggetti che non possono essere connessi direttamente al bus di tipo *S*.

RETE ISDN: Accesso Primario

L'offerta PRI è rivolta ad aziende medio-grandi, visto che supporta un massimo di 30 linee multiplate ISDN a 64 Kb/s, un canale di controllo a 64k ed uno di sincronizzazione.

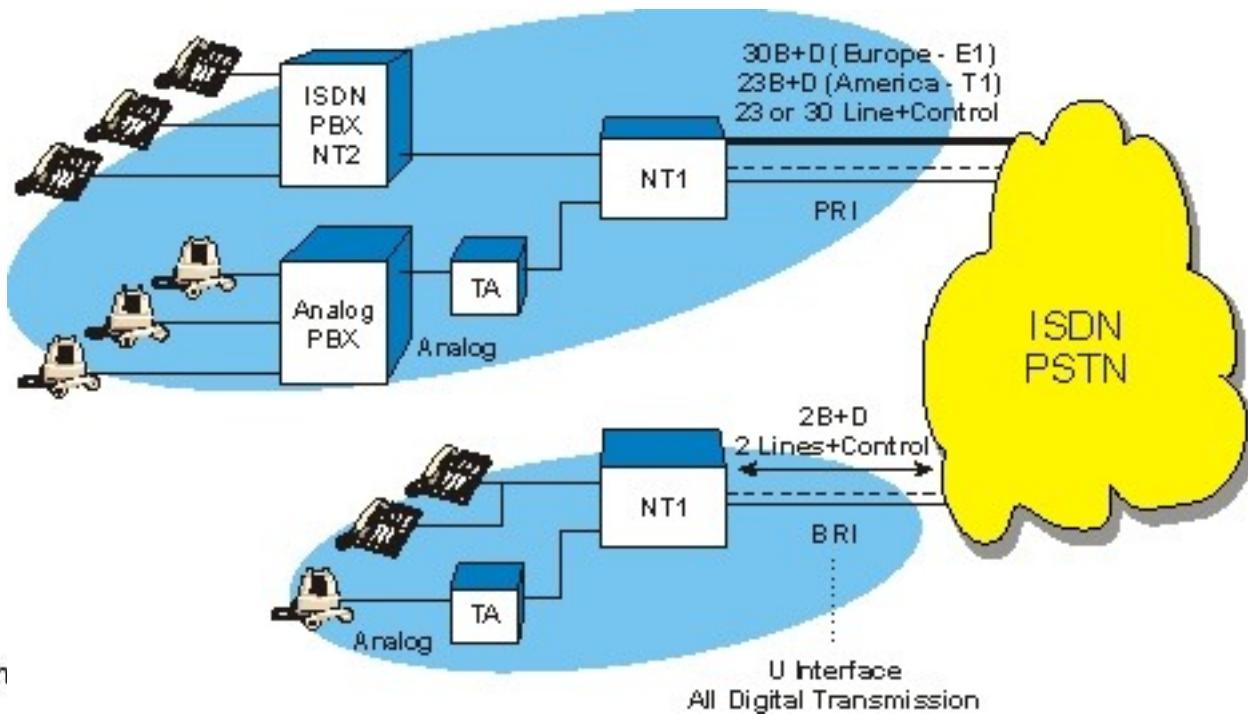
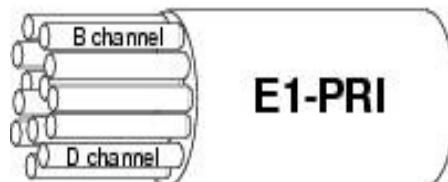
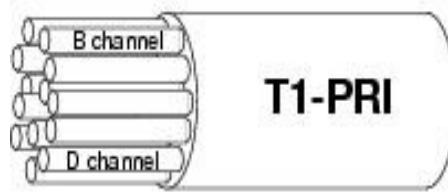
L'accesso viene realizzato con un flusso a 2Mbit.

E' prevista la possibilità di richiedere un Accesso Primario anche per un numero di linee inferiori a 30.

Il centralino telefonico realizzato per rete ISDN è detto ISPBX (Integrated Service Private Branch eXchange), mentre i centralini elettronici di precedente generazione erano i PABX (Private Automated Branch eXchange).

ISPBX costituisce una evoluzione alla quale l'utenza si è dimostrata molto sensibile.

RETE ISDN



GLI STANDARD DELLA VIDEOCOMUNICAZIONE

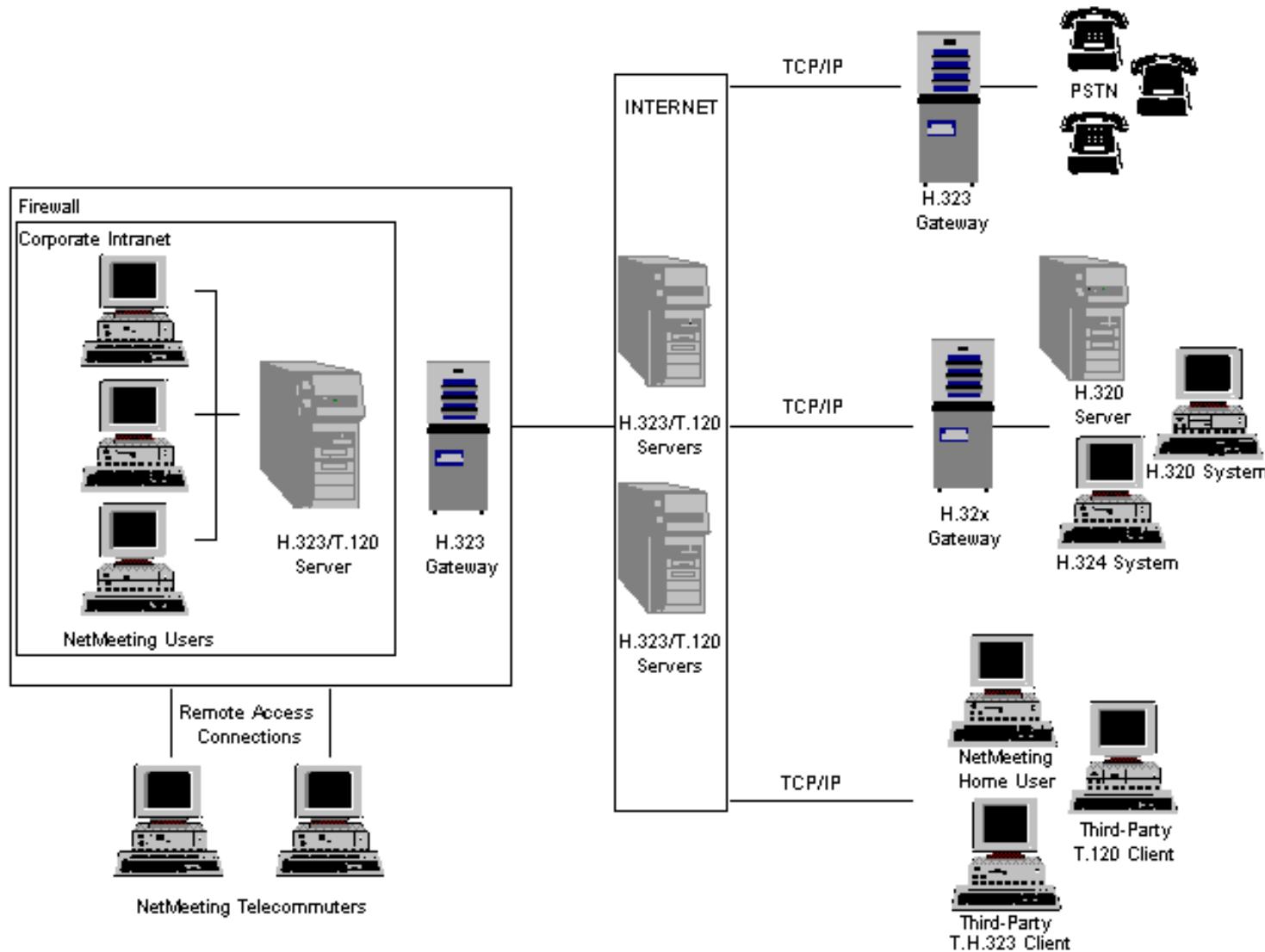
I protocolli standard di riferimento per la videocomunicazione sono:

- **H.320** - per consentire la trasmissione audio/video su linee digitali ISDN. Questo permette di inviare e ricevere contenuti multimediali come videoconferenze, videochiamate e immagini. La trasmissione avviene in digitale, indipendentemente dalla velocità adottata dalla connessione ISDN.
- **H.323** - per promuovere uno standard per gli utenti delle sessioni di comunicazione audio, video e dati attraverso reti orientate alla connessione dove non è garantita la qualità di servizio (QoS), come sono le reti IP. Attraverso la sua implementazione, i prodotti e le applicazioni multimediali di differenti produttori possono operare congiuntamente senza problemi di compatibilità.

GLI STANDARD DELLA VIDEOCOMUNICAZIONE

- **H.324** - lo standard internazionale per la comunicazione multimediale su reti a basso bit-rate, incluse le reti mobili PLMN e 3G (o H.324M). Fornisce le basi per l'interoperabilità e la qualità video, voce e dati. Questo standard specifica i metodi per l'iterazione contemporanea di flussi video , voce e dati su connessioni modem ad alta velocità.
- **T.120** - uno standard delle conferenze dati che si occupa di fornire una comunicazione in tempo reale tra due o più partecipanti ad una conferenza. Comprende funzioni aggiuntive per una videoconferenza, come ad esempio la lavagna elettronica, la chat, lo scambio di file, la condivisione di applicazioni.

GLI STANDARD DELLA VIDEOCOMUNICAZIONE



PROTOCOLLI DEL SECONDO LIVELLO ISO-OSI

Il secondo livello, ovvero Data Link, si occupa del corretto trasferimento dei dati nella linea trasmittiva, strutturando i dati in frames e attuando controllo di flusso (funzioni di rilevazione d'errore e di eventuale ritrasmissione).

Anche ammettendo di avere definito interfaccia (elettrica o meccanica) e linea, rimane ancora da indicare tutta una serie di informazioni (velocità trasmittiva, bit di dati, bit di parità, bit di stop, codici di correzioni errore, procedure di inizializzazione, sincronismo) che il trasmettitore dovrà inviare al ricevitore: è compito dei protocolli di trasmissione, in particolare di quelli al secondo livello o di linea; infatti queste ultime rappresentano le regole che DTE, DCE e CPE devono seguire affinché la ricezione di dati avvenga correttamente.

PROTOCOLLI DEL SECONDO LIVELLO ISO-OSI

Si dividono in due principali categorie:

- Asincroni (o start/stop)
- Sincroni
 - Orientati ai byte
 - BSC (Binary Synchronous Communications)
 - Orientati al bit
 - HDLC (High Data Link Control)

PROTOCOLLI ASINCRONI

Si tratta della prima forma di protocollo sviluppato nella trasmissione dati: consentono trasmissione di caratteri singoli, **senza definire l'intervallo tra due caratteri successivi**: si noti che in ogni caso **dove** essere definito un bit time di durata del carattere.

Ogni carattere è composto da un bit di start, il carattere vero e proprio, un bit di parità (controllo d'errore), uno o due bit di stop.

Qualora la durata del bit di stop non corrisponda, si è già in grado di ipotizzare che la trasmissione non sia avvenuta correttamente (si parla di **errore di framing**).

Ancora una volta, si parla di protocollo asincrono poiché l'intervallo temporale tra bit di stop e bit di start di un nuovo carattere è indefinito.

PROTOCOLLI ASINCRONI

In tabella viene riportata la struttura dei dati in una trasmissione secondo il protocollo asincrono XMODEM.

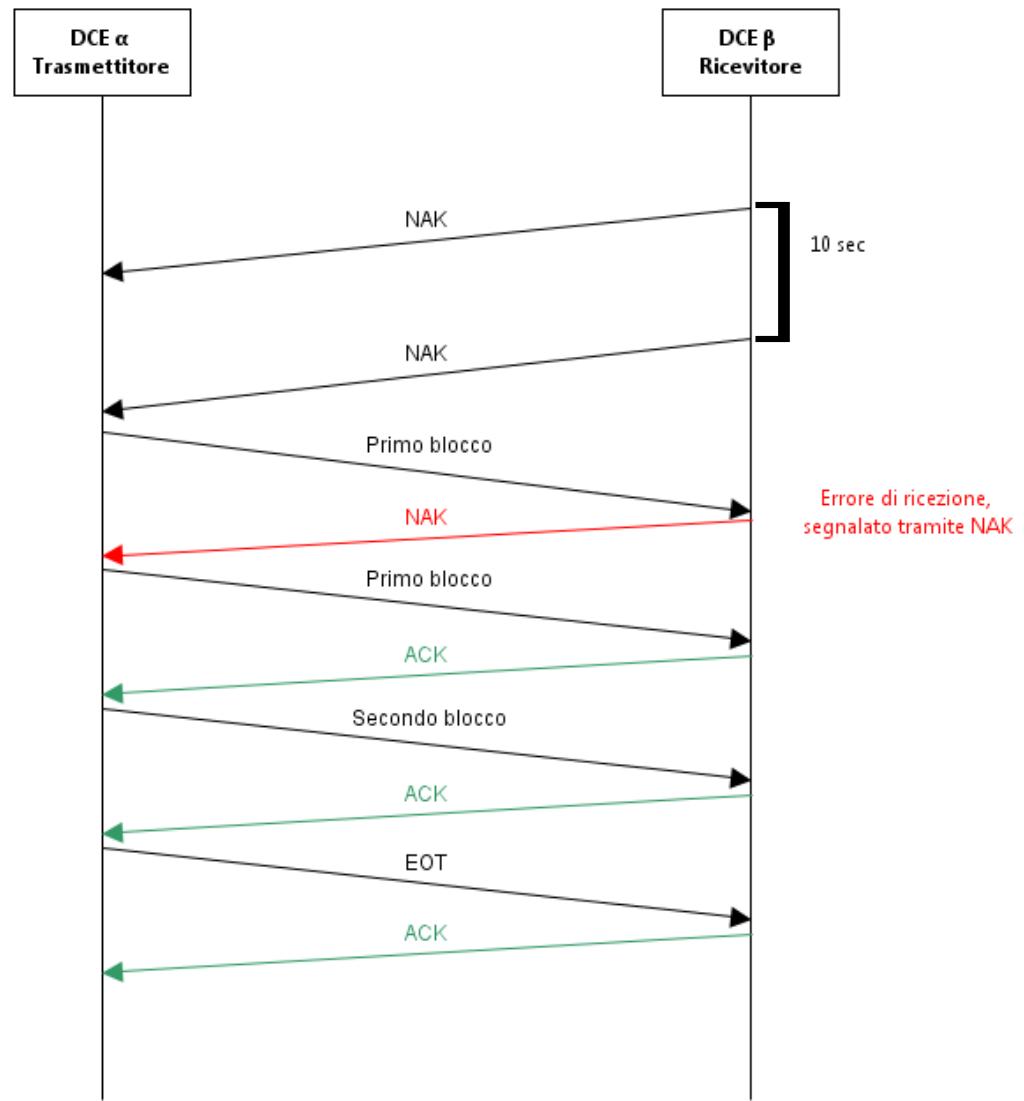
SOH	BLK1	BLK2	DATA	CRC
ASCII 01H (Start Of Header)	Numero blocco (progressivo, da 0 a 255 cicлически) (optional)	Complemento ad 1 di BLK1 (optional)	Dati (128 byte)	CHECKSUM

PROTOCOLLI ASINCRONI

Si noti che in generale:

- 1) All'inizio il ricevente invia NAK ogni 10 secondi, segnalando disponibilità di ricezione
- 2) Il trasmettitore invia un pacchetto come quello nella figura sopra, agendo come segue
 - a. se la ricezione avviene correttamente, la risposta sarà ASCII 06H acknowledge
 - b. se la ricezione non è corretta, la risposta sarà ASCII NAK
- 3) Al termine della trasmissione il mittente invierà ASCII 04H, EOT
- 4) Il ricevitore riconosce End Of Trasmission con ACK.

PROTOCOLLI ASINCRONI



PROTOCOLLI SINCRONI

Nei protocolli sincroni non sono presenti bit di start/stop, ma particolari caratteri di sincronismo SYN inviati ad inizio blocco; volendo essere più precisi, se si tratta di protocolli orientati al carattere si farà uso di SYN, mentre per quelli orientati al bit si utilizzeranno particolari sequenze di bit (**flags**).

L'unità di trasmissione, ovvero la **trama**, è composta da un numero di bit definiti a livello di protocollo.

BSC: BINARY SYNCRONOUS COMMUNICATIONS

Il protocollo BSC è stato introdotto da IBM e orientato al carattere: si sono preferiti protocolli orientati al bit a causa dell'eccessivo uso di caratteri di controllo, che sottraggono capacità di rappresentazione ai caratteri componenti il messaggio vero e proprio.

Inoltre BSC è un protocollo half duplex con velocità tra i 1200 e 19200 bps. La trama è costituita da circa un centinaio di byte che contengono il messaggio da trasmettere e i caratteri di controllo.



Trama del protocollo BSC

BSC: BINARY SYNCRONOUS COMMUNICATIONS

Esistono fondamentalmente 3 tipi di BSC:

- BSC1: rete dedicata punto-punto
- BSC2: rete commutata punto-punto
- BSC3: rete multipunto

Inoltre BSC può usare i seguenti codici binari:

- ASCII
- EBCDIC
- SBT (Six Bit Transcode, derivato da ASCII ed utilizzato da IBM)

Ogni trama può essere:

- **di controllo**: sono presenti esclusivamente caratteri per il controllo del collegamento
- **informativa**: contiene anche un messaggio da trasmettere

BSC:

Caratteri di controllo

Tipo carattere	Carattere	Codice hex	Commento
Sincronismo	PAD	55	Sinc. di carattere
	SYN	16	Sinc. di bit
Interrogazione	ENQ (enquiry)	05	Richiesta trasmmissione
Controllo	DLE	10	Il carattere successivo va interpretato come char di controllo
Risposta	ACK0 ACK1	10 0 10 1	Inviati alternativamente dal ricevitore, preceduti da DLE0 per ACK0 e così via
	NAK	15	Risposta negativa ricevitore
	WAK	10 B3	Ricevitore non pronto a ricevere (DLE+3B)
	RVI (Rev. interrupt)	10 3C	Il ricevitore informa che ha un messaggio ad alta priorita da trasmettere

BSC:

Caratteri di controllo (continuazione)

Tipo carattere	Carattere	Codice hex	Commento
Testo	STX	82	Inizio testo messaggio
	SOH	81	Inizio intestazione (heading)
	ETB	17	Fine blocco (End Transmission Block)
	ITB	9F	Fine blocco intermedio (Intermediate Transmission Block)
	ETX	03	Fine del testo (End of Text)
	EOT	84	Fine trasmissione
Controllo errori	BCC		Block Character Check (ad es. CRC-16)

BSC: BINARY SYNCRONOUS COMMUNICATIONS

In caso di trasmissione punto-punto il trasmettitore invia caratteri di sincronismo seguiti da ENQ; dato che i DTE possono essere sia trasmittitori che riceventi, è possibile che entrambi richiedano trasmissione (si parla di contesa): in tal caso uno dei due diventerà una stazione primaria che ripete l'invio, mentre l'altro sarà una stazione secondaria che dovrà rinunciare. Per quanto riguarda il segnale di ricezione, anche in questo caso il ricevente risponderà con ACK oppure NAK. Il collegamento viene terminato con EOT.

In caso invece di BSC3 multi-punto l'elaborazione centrale attua interrogazione ciclica per individuare il terminale cui collegarsi (in tal caso il protocollo dovrà essere a conoscenza degli indirizzi del destinatario).

HDLC (High Level Data Link Control)

HDLC (High Level Data Link Control) è un protocollo orientato ai bit per reti di grandi dimensioni.

HDLC costituisce il protocollo standard ISO per trasmissioni sincrone full duplex.

I messaggi sono a formato fisso, definiti frames o trame.

La connessione può essere:

- **bilanciata**: tra due stazioni paritetiche
- **sbilanciata**: una stazione primaria, più stazioni secondarie; trasmissione half duplex in cui la primaria è master; i messaggi inviati dalla stazione master saranno definiti command, quelli dalle stazioni secondarie response.

HDLC (High Level Data Link Control)

HDLC opera a tre differenti modalità:

- **NRM (Normal Response Mode)**
 - sbilanciata half duplex: una stazione può iniziare a trasmettere senza autorizzazione esplicita del master
- **ABM (Asynchronous Balanced Mode)**
 - unica modalità prevista da LAPB (Link Access Procedure B channel); bilanciata full duplex tra due stazioni paritetiche
- **ARM (Asynchronous Response Mode)**
 - simile ad NRM, ma limitata a due stazioni; la secondaria può in questo caso iniziare a trasmettere senza autorizzazione esplicita: tuttavia alla stazione master compete la gestione del collegamento

Struttura di una generica trama HDLC

FLAG	Indirizzo	Controllo	Informazioni	FCS	FLAG
01111110	8 bit	8 bit	Multipli di 8 bit	16 bit	01111110
		0SSSPRRR			
		10TTPRRR			
		11TTPMMM			

HDLC (High Level Data Link Control)

Ogni trama sarà quindi composta da:

- **Flag:** sequenza di 8 bit, di tipo 01111110; stabilisce sincronizzazione e viene trasmesso continuativamente mentre la linea è idle. Si fa uso di bit stuffing poiché non si devono confondere messaggi con più di 5 1 consecutivi con un flag; starà poi al ricevente rimuovere il bit 0 che viene inserito dopo 5 bit 1 consecutivi, così da ricostruire correttamente il messaggio.

HDLC (High Level Data Link Control)

- **Indirizzo:** campo di 8 bit estendibile come in LLC; non contiene indicazione del protocollo a livello rete, ma altre informazioni utili alla gestione di comunicazione punto-punto
- **Controllo:** campo di 8 bit estendibile che identifica il tipo di trama
- **Campo informativo:** contiene il pacchetto dati fornito al livello OSI 3: dal momento che sarà il campo flag a determinare la lunghezza del messaggio, non esistono limiti per l'ampiezza del campo informativo; anche qui sarà applicato bit stuffing
- **Campo FCS (Frame Check Sequence):** di ridondanza, da almeno 16 bit, contenente CRC per controllare la bontà dei dati ricevuti.

HDLC (High Level Data Link Control)

Vediamo ora in dettaglio i valori possibili del campo controllo:

- **Trama informativa (*information*):**

Struttura: 0SSSPRRR,

trasportano dati utente o acknowledgement di supporto a protocolli superiori al livello 2.

SSS è un contatore di trame trasmesse,

RRR è un contatore per trame ricevute,

P esprime il bit P/F (Bit Poll/final) che ha due significativi diversi a seconda del modo in uso:

Per la modalità **non bilanciata** è posto ad **1** dalla stazione primaria per invitare la secondaria a trasmettere (poll); la secondaria può trasmettere un gruppo di frame con P/F a **0**, con l'ultimo frame con P/F a **1**;

Per la modalità **bilanciata** il bit P/F posto ad **1** in un frame di tipo command ne chiede l'acknowledge, da fornirsi con frame ACK con bit P/F pari ad **1**.

HDLC (High Level Data Link Control)

Trama di supervisione (*supervisor*):

Struttura: 10**TTP****RRR**,

trasportano dati di acknowledgement e permettono definizione di tipi di trame;

i bit **SS** sono fissi ad 10;

TT definisce la trama (vedi pagina seguente);

RRR è ottenibile dal contatore che contiene il numero di sequenza del prossimo frame che la stazione si aspetta di ricevere. Si noti che il formato supervisor non prevede la presenza del campo information nella trama.

HDLC (High Level Data Link Control)

I valori che **TT** può assumere sono:

00 pari a Received Ready: la stazione slave è pronta a ricevere trame informative e sono state ricevute correttamente NR-1 trame

01 pari a Reject: bisogna ritrasmettere le trame a cominciare da NR (utilizzata per rifiutare una trama, magari perché corrotta durante il trasferimento)

10 pari a Receive Not Ready: la stazione slave non è disponibile alla ricezione

11 pari a Selective Reject: sollecitare ritrasmissione della trama numero NR (si utilizza particolarmente in caso di errori a burst, ove ci si attendono più errori).

HDLC (High Level Data Link Control)

- **Trama unnumbered:**

Struttura: 11TTPMMMM,

esprimono dati per modalità non connessa o informazioni per iniziare/terminare connessione.

A seconda dei valori assunti dai sottocampi type e modifier del campo controllo, avremo:

SABM: inizializzazione ABM modulo 8 (Set Asynchronous Balanced Mode)

SABME: inizializzazione ABM modulo 128 (Set Asynchronous Balanced Mode Extended)

SNMR: inizializzazione NMR modulo 8 (Set Normal Response Mode)

SNMRE: inizializzazione NMR modulo 128 (Set Normal Response Mode Extended)

HDLC (High Level Data Link Control)

- UI: invio dati utente in modalità non connessa; molto utilizzata dalla variante di HDLC nota come LLC, operante su reti locali (Unnumbered Information). Se, nella comunicazione tra 3 DTE uno di essi dovesse ricevere informazioni già disponibili al di fuori della *sliding window*, invierebbe frame di tipo UI
- DISC: (DISConnect) si noti che se DISC è un response, vi sarà un frame di tipo DISC-mode corrispondente
- XID: (eXchange station IDentification)
- UA: (Unnumbered Acknowledge)
- FRMR: (FRaMe Reject): utilizzato con particolari trame di supervisione
- DM: (Disconnect Mode)

HDLC (High Level Data Link Control)

HDLC sfrutta un sistema di trasmissione a credito con finestra: un DTE ha la possibilità di spedire delle trame senza aver ottenuto un riscontro certo di quelle spedite in precedenza; il numero massimo di trame non riscontrabili va a costituire detta finestra.

Il dimensionamento della finestra va scelto opportunamente caso per caso, onde evitare inattività in caso di finestra troppo piccola o calo di prestazioni in caso di finestra troppo grande.

Per trame informative vengono implementati contatori da 3 bit: ciò permette una finestra di 7 trame inviabili senza riconoscimento da parte del DTE.

Se si ha un BER (Bit Error Rate) basso (ovvero la connessione è di maggiore qualità), ci si può generalmente permettere finestre più ampie.

SDLC (Synchronous Data Link Control)

HDLC deriva da SDLC (Synchronous Data Link Control), definito da IBM negli anni '70.

SDLC è differente da HDLC nei seguenti aspetti:

- SDLC ha FCS solo ad 8 bit, mentre HDLC può avere FCS a 32 bit
- SDLC supporta configurazioni a loop, come il token ring (sviluppato proprio da IBM)
- SDLC supporta solo NRM

Altri protocolli della famiglia di HDLC sono LAPB (in uso nelle reti X.25), LAPD (Link Access Procedure D-channel) per ISDN ed LLC (definito nello standard IEEE 802.2).

Il protocollo PPP (Point to Point Protocol)

Si può vedere il PPP come estensione di HDLC; rispetto a quest'ultimo si noti che:

- Il campo **address** sarà sempre posto a FF(tutti i bit pari ad 1: 11111111), poiché PPP è un protocollo con trasmissione broadcast.
- PPP fa uso di un'unica frame di tipo UI (Unnumbered Information) (quindi il campo **control** conterrà sequenza 11000000) sempre di tipo non connesso, di lunghezza sempre pari ad un ottetto.
- Presenza di ulteriore campo **protocol** per indicare il protocollo (1 o 2 byte)
- Presenza di campo **payload**, dalla lunghezza *variabile e negoziabile*, permettendo di concordare output con l'ampiezza di banda
- Il campo **Information** ha una lunghezza compresa tra 0 e 1500 ottetti, ma può essere concordato ed aumentato in accordo alle stazioni

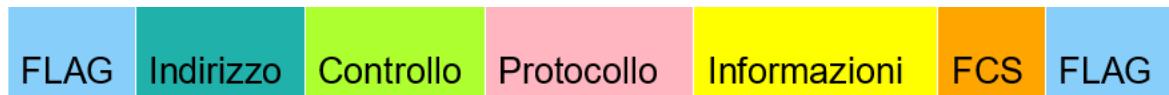
Il protocollo PPP (Point to Point Protocol)

Lo scopo di PPP è ottenere un metodo standard per trasmettere pacchetti provenienti da più protocolli diversi, sullo stesso collegamento seriale.

Formato della trama HDLC:



Formato della trama PPP:



PPP fa uso del protocollo LCP (Link Control Protocol) per creare, configurare e verificare la connessione al livello 2 (Data Link); per i protocolli di livello network ricorrerà invece ad una famiglia di protocolli NCP (Network Control Protocol), che si occuperanno di negoziare le opzioni di livello rete (come l'attribuzione indirizzo IP) utilizzate da altri protocolli trasportati.

Il protocollo PPP (Point to Point Protocol)

Fasi di una connessione PPP:

- **Definizione della connessione:** prevede che la connessione sia stabilita da LCP, che provvederà a scambiare pacchetti di configurazione tra gli host che si mettono in contatto;
la negoziazione può avvenire per:
 - a. MRU (Maximum Receive Unit) dimensione massima pacchetti trasmessi
 - b. Authentication Protocol per l'autenticazione
 - c. Quality of Link Protocol per controllo connessione
 - d. Magic Number che indica se il collegamento è di tipo loopback
 - e. Protocol Field Compression che negozia compressione di Address e Control

Il protocollo PPP (Point to Point Protocol)

- **Autenticazione** (opzionale): se si decide di utilizzarla, nessuno scambio sulla rete potrà avere luogo prima dell'autenticazione con successo. Si fa uso principalmente di protocolli PAP (Password Authentication Protocol) o CHAP (Challenged Handshake Authentication Protocol).
- **Configurazione protocollo di rete**: ogni protocollo viene configurato separatamente tramite il proprio NCP.
- **Terminazione**: la connessione può terminare in qualsiasi momento (caduta portante, fallimento autenticazione, decadimento qualità linea, scadenza idle time o chiusura da parte del gestore di rete).