

## 12

### IL LIVELLO FISICO NELL'ACCESSO ALLE RETI PUBBLICHE

---

#### 12.1 INTRODUZIONE

I servizi di trasmissione dati tra sedi separate da suolo pubblico sono in generale forniti dalle stesse aziende pubbliche o private detentrici del monopolio o delle concessioni governative per la telefonia. La principale ragione è dovuta al fatto che spesso vengono utilizzati gli stessi mezzi e canali trasmissivi già posati e disponibili per il servizio telefonico.

Il primo e più semplice servizio di trasmissione dati è infatti quello ottenibile attraverso un comune canale telefonico. Un apparecchio detto *modem* provvede a convertire i dati digitali provenienti dal computer o dal terminale e a trasformarli in modo da essere adatti per la trasmissione attraverso il canale telefonico, progettato per la trasmissione della voce. Un altro modem, all'altro capo del collegamento, opera la conversione inversa. Le comuni linee telefoniche sono dette "commutate", in quanto tramite i circuiti di commutazione nelle centrali possono essere collegate ad una qualsiasi altra linea, e quindi ad un qualsiasi utente, della rete. Proprio questa flessibilità rende questo tipo di collegamento dati ancora oggi estremamente importante e diffuso, anche grazie alla continua evoluzione tecnologica dei modem.

Per il collegamento stabile dei centri di calcolo, per esempio per la realizzazione di una WAN, l'impiego di linee commutate non è soddisfacente per diverse ragioni: tipo di tariffazione e quindi costo, bassa velocità e scarsa affidabilità. Per questo le compagnie telefoniche hanno messo a disposizione un diverso servizio: la *linea dedicata*, definita dalla Telecom Italia CDA (*Canale Diretto Analogico*). Si tratta di un collegamento fisso tra due sedi, con tariffazione su base annua, il cui tipo più comune consiste in un normale canale telefonico con l'eccezione che non attraversa i circuiti di commutazione delle centrali.

Con l'introduzione delle centrali numeriche i collegamenti analogici tra le centrali stesse sono stati rimpiazzati da dorsali digitali ad alta velocità. È stato così possibile da parte delle aziende telefoniche fornire una versione più evoluta del CDA: il CDN (*Canale Diretto Numerico*). Prolungando un collegamento digitale dall'interno della centrale fino alla presa dell'utente, è stato possibile fornire un servizio completamente digitale, a velocità più elevata e minor tasso d'errore.

Resta ancora analogico il servizio commutato, ma esistono già uno standard ed un servizio per una vera rete pubblica commutata digitale: ISDN (*Integrated Services Digital Network*). Con ISDN anche l'ultimo tratto di collegamento, dall'utente alla centrale, diventa digitale, consentendo l'integrazione di servizi diversi: telefonia, trasmissione dati, fax ad alta velocità, videoconferenza, teleallarmi, ecc.

## 12.2 INTERFACCE SERIALI

Tutte le apparecchiature di collegamento a linee di trasmissione dati analogiche o digitali prevedono la connessione del terminale, del computer o dell'apparecchiatura di rete (ad esempio router o bridge) mediante un'interfaccia seriale. Per convenzione, si denota DTE (*Data Terminal Equipment*) il terminale, il personal computer o la scheda di interfaccia di un mainframe, mentre le apparecchiature di comunicazione, quali i modem, vengono dette DCE (*Data Communication Equipment*).

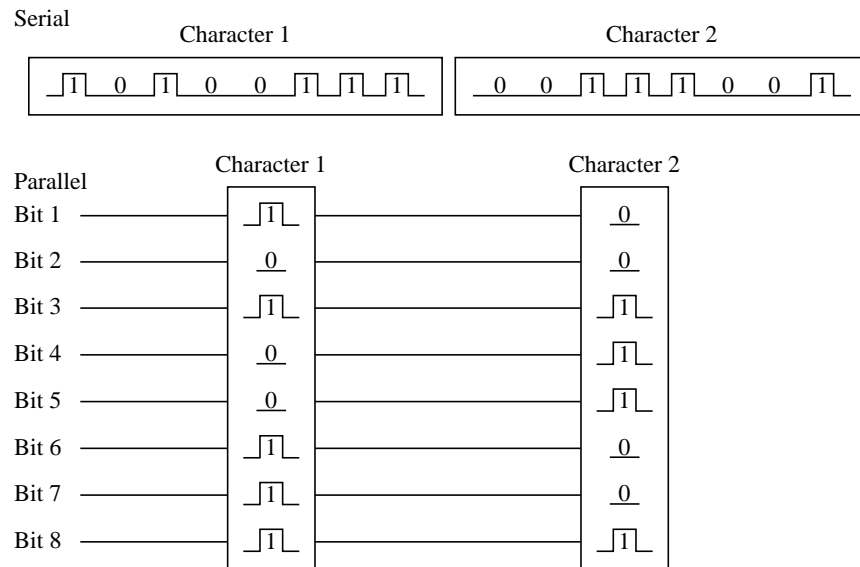
Il collegamento tra DCE e DTE rappresenta una parte del livello Fisico del modello OSI. Esistono numerosi standard che definiscono caratteristiche elettriche e meccaniche dei cavi e dei connettori, codifica elettrica dei bit, ecc., tra cui RS-232, RS-449, V.24, V.35. Essi verranno discussi nella seconda parte di questo paragrafo. Prima, è necessario affrontare alcuni concetti generali sulle caratteristiche di questo tipo di collegamento. La trasmissione dei dati, che sono normalmente organizzati in byte, può infatti avvenire tra DTE e DCE in diversi modi: seriale o parallela, sincrona o asincrona, con controllo di flusso hardware o secondo diversi protocolli software.

### 12.2.1 Trasmissione seriale o parallela

Il modo più semplice per trasmettere un gruppo di 8 bit consiste nell'utilizzare 8 canali trasmissivi, su cui inviare gli 8 bit contemporaneamente. Gli 8 canali trasmissivi possono essere rappresentati da 8 coppie di fili o da 8 fili singoli più un filo comune come riferimento di tensione. Questo tipo di trasmissione prende il nome di trasmissione parallela. La trasmissione seriale, invece, richiede un solo

canale trasmissivo, ad esempio una coppia di fili, su cui vengono inviati consecutivamente gli 8 bit.

La figura 12.1 schematizza questi due tipi di trasmissione. Si osservi che nella trasmissione parallela i caratteri (byte) sono inviati serialmente, e i bit in parallelo; nella trasmissione seriale, sia i caratteri che i bit di ogni carattere sono trasmessi sequenzialmente.



**Fig. 12.1** - Trasmissione seriale e parallela.

La trasmissione parallela semplifica la circuiteria dell'interfaccia in quanto non richiede la conversione dei byte in una sequenza di bit, e consente velocità di trasmissione più elevate della seriale, ma la quantità di conduttori necessaria ne fa crescere rapidamente il costo al crescere della distanza. Pertanto, il suo utilizzo è limitato al collegamento di computer e unità periferiche su breve distanza, come nel caso dell'interfaccia Centronics per le stampanti.

### 12.2.2 Trasmissione sincrona o asincrona

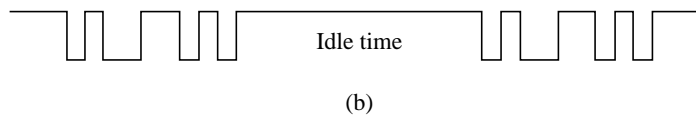
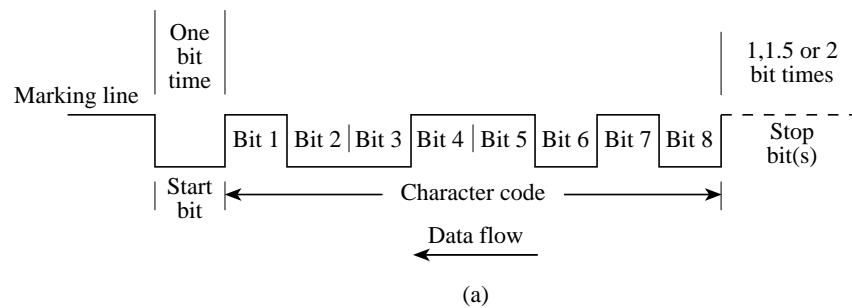
La trasmissione seriale può essere sincrona o asincrona. La trasmissione asincrona prevede che venga trasmesso e ricevuto un byte alla volta. Bit aggiuntivi rispetto all'informazione da trasmettere, detti di start e di stop, permettono di

sincronizzare il ricevitore con il trasmettitore e di separare la trasmissione dei singoli byte. La trasmissione sincrona prevede l'impacchettamento dei byte da trasmettere in trame contenenti byte aggiuntivi di sincronismo.

#### Trasmissione asincrona

Storicamente la trasmissione asincrona deriva dalla necessità di collegamento delle telescriventi. I caratteri provengono dalla tastiera a intervalli casuali, dipendenti dalla pressione delle dita dell'operatore sui tasti. È quindi necessario un sistema di trasmissione che permetta al ricevitore di decodificare correttamente i dati anche quando l'intervallo che intercorre tra la loro trasmissione non è un multiplo intero del tempo di bit (cioè della durata della trasmissione di un bit).

Per fare ciò, al termine della trasmissione di un byte viene inviato un bit di stop, la cui durata *minima* può essere 1, 1.5 o 2 tempi di bit. Il bit di stop è normalmente rappresentato dallo stato 1 logico sulla linea (*mark*). Lo stesso stato indica la linea *idle*, cioè in assenza di trasmissione. In pratica il bit di stop viene prolungato finché non inizia la trasmissione del byte successivo. Per permettere al ricevitore di sincronizzarsi, prima del primo bit di dato viene trasmesso un bit di start, rappresentato da una transizione dallo stato logico 1 allo stato logico 0 della linea (*space*) per la durata di un tempo di bit. Poi vengono inviati i bit di dato e l'eventuale bit di parità (figura 12.2).



(a): trasmissione di un singolo carattere;

(b): trasmissione di una sequenza di caratteri.

**Fig. 12.2** - Trasmissione asincrona.

### *Trasmissione sincrona*

Nella trasmissione sincrona i dati sono inviati tramite un continuo flusso di bit (trama). Per mantenere il ricevitore sincronizzato con il trasmettitore, ogni blocco di dati è preceduto da uno o più caratteri di sincronismo, in genere codificati con una sequenza di uni e zeri che li identificano univocamente come tali. Il ricevitore ricava dai caratteri di sincronismo un segnale di clock locale che pilota la lettura dei bit durante la ricezione del blocco di dati.

La trasmissione sincrona richiede circuiti più complessi e costosi sia per la bufferizzazione dei dati sia per la generazione del segnale di clock che deve essere sufficientemente stabile da rimanere in fase con il trasmettitore almeno per tutto il tempo che intercorre tra la trasmissione di un gruppo di byte di sincronismo e il successivo.

### 12.2.3 Controllo di flusso

Il controllo di flusso (handshake) consente al dispositivo ricevitore di segnalare al trasmettitore la richiesta di interrompere o riprendere la trasmissione. Questo è necessario perché è possibile che il ricevitore processi i dati in arrivo più lentamente di quanto il trasmettitore li generi. Casi tipici sono rappresentati dal collegamento computer-stampante, computer-monitor del terminale, computer-computer quando lavorano a velocità diverse.

Esistono principalmente tre meccanismi di controllo di flusso: segnali hardware RTS/CTS (spesso detto *handshake hardware*), e trasmissione dei caratteri XON/XOFF o ENQ/ACK.

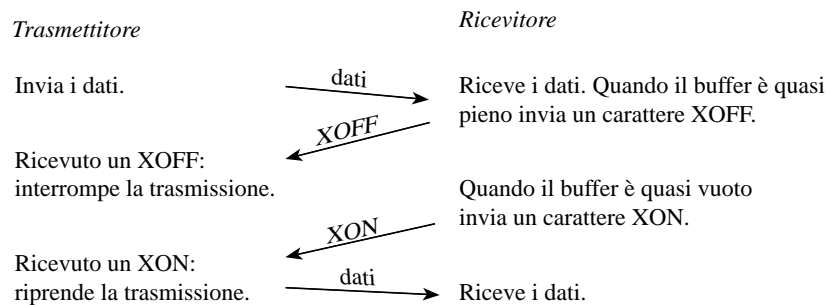
#### *RTS/CTS*

Molte interfacce seriali dispongono di una coppia di fili corrispondenti ai segnali RTS (*Request To Send*) e CTS (*Clear To Send*). Quando un dispositivo ricevente rileva l'attivazione del segnale RTS da parte del dispositivo trasmittente ed è pronto per ricevere, allora risponde attivando il CTS. Per interrompere l'invio dei dati da parte del trasmettitore, il ricevitore può disattivare il segnale CTS, e riattivarlo quando sarà nuovamente in grado di ricevere i dati.

#### *XON/XOFF*

L'utilizzo dei caratteri XON e XOFF (codici 17 e 19 della tabella ASCII, talvolta identificati come DC1 e DC3 - *device control* numero 1 e 3 - e corrispondenti ai codici di controllo CTRL-Q e CTRL-S) permette di realizzare un controllo di flusso senza bisogno di segnali hardware dedicati, in quanto XON e XOFF viaggiano sugli stessi

canali dei dati. Il ricevitore trasmette un XOFF quando non è più in grado di ricevere i dati e un XON quando è nuovamente in grado di riceverli (figura 12.3).

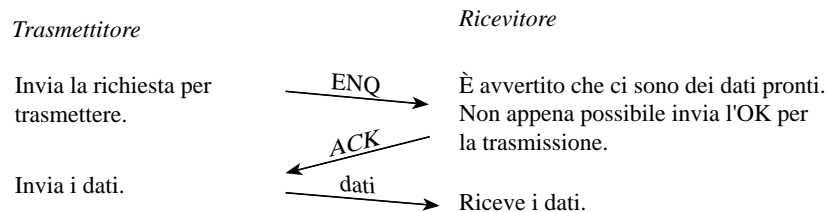


**Fig. 12.3** - Protocollo XON/XOFF.

Un problema associato all'uso del controllo di flusso XON/XOFF è dovuto al fatto che i codici corrispondenti a tali caratteri possono essere presenti all'interno di file di dati di comuni programmi applicativi e, durante il trasferimento, possono provocare la sospensione all'infinito della trasmissione. Per esempio, il ben noto word processor WordStar usa il carattere CTRL-S per identificare l'inizio e la fine delle sottolineature.

#### ENQ/ACK

Il controllo di flusso mediante i caratteri ENQ (Enquire) e ACK (Acknowledge) è utilizzato principalmente in ambiente Hewlett Packard. A differenza di XON e XOFF, si tratta di un controllo di flusso orientato alla trasmissione dei dati a blocchi. Il trasmettitore invia un ENQ quando ha pronto un blocco di dati da trasmettere, ed attende l'ACK prima di effettuare la trasmissione (figura 12.4). Avendo predefinito la massima dimensione del blocco di dati (in genere circa 2000 byte), si previene la saturazione del buffer del ricevitore.



**Fig. 12.4** - Protocollo ENQ/ACK.

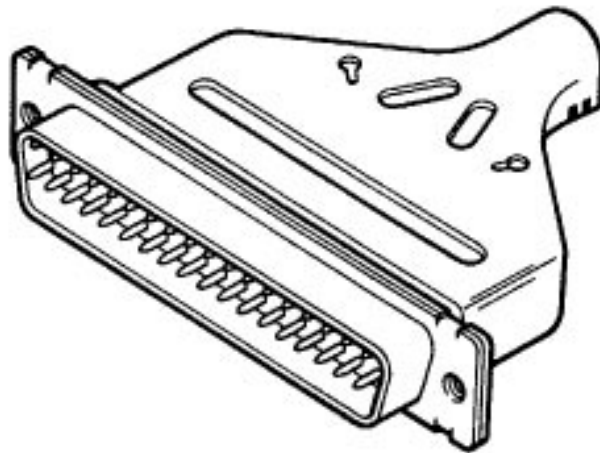
#### 12.2.4 RS-232

Lo standard più diffuso per il collegamento DTE-DCE è senza dubbio l'EIA RS-232-C. RS sta per "recommended standard", e la C rappresenta la revisione. Tale standard è stato pubblicato nel 1969, e verso la fine degli anni '70 sarebbe dovuto essere rimpiazzato dagli standard RS-449, RS-422 e RS-423, progettati per maggiori velocità e più numerose funzionalità. Tuttavia, il mercato non accettò tali standard come previsto, e nel gennaio 1987 fu pubblicata la nuova revisione dello standard RS-232, l'RS-232-D, insieme ad un nuovo standard, l'RS-530. Al di fuori degli Stati Uniti lo standard RS-232 è stato recepito dal CCITT che ne ha pubblicato uno molto simile, il V.24, affiancato dal V.28 per le caratteristiche dei segnali elettrici.

##### *Connettore*

L'RS-232-D e il V.24 specificano formalmente le caratteristiche dell'ormai diffusissimo connettore a 25 pin di figura 12.5. Tale connettore, detto "a D", era già uno standard *de facto* al momento della pubblicazione degli standard. Infatti era già citato nello standard RS-232-C, anche se soltanto in una appendice. Non essendo formalmente parte dello standard, tuttavia, sono state realizzate interfacce RS-232-C con connettori diversi. Il più comune è probabilmente il connettore a D a 9 poli presente in quasi tutti i personal computer.

Normalmente il connettore "femmina" è presente sul modem (il DCE), e il connettore "maschio" sul DTE.



**Fig. 12.5** - Connettore a D a 25 pin per RS-232-D.

### Modello di riferimento

Il tipo di collegamento a cui si riferiscono gli standard RS-232 e V.24 è quello di un DTE, ad esempio un terminale, collegato mediante un cavo ad un DCE, tipicamente un modem esterno. Gli standard si applicano al trasferimento dati seriale fino a 19200 b/s, ad una distanza massima di 50 piedi (circa 16.5 metri). Questo limite è però funzione delle caratteristiche elettriche del cavo e della velocità di trasmissione, e può essere spesso superato senza problemi.

### Segnali

L'RS-232 specifica 25 circuiti, ma molto spesso soltanto una piccola parte di essi servono per le comuni applicazioni pratiche.

La corrispondenza tra valori di tensione e valori logici dei segnali è riportata in tabella 12.1. Tensioni comprese tra -3V e +3V rappresentano una regione di transizione e non sono riconosciute come segnali validi.

	-15V < v < -3V	3V < v < 15V
Valore logico	1	0
Stato del segnale	Mark	Space
Funzione	OFF	ON

**Tab. 12.1** - Codifica elettrica degli stati binari.

Va osservato che, a differenza degli standard RS-232, lo standard V.24 specifica principalmente come agiscono i circuiti di interfaccia, mentre è lo standard V.28 a specificare le caratteristiche elettriche dei segnali.

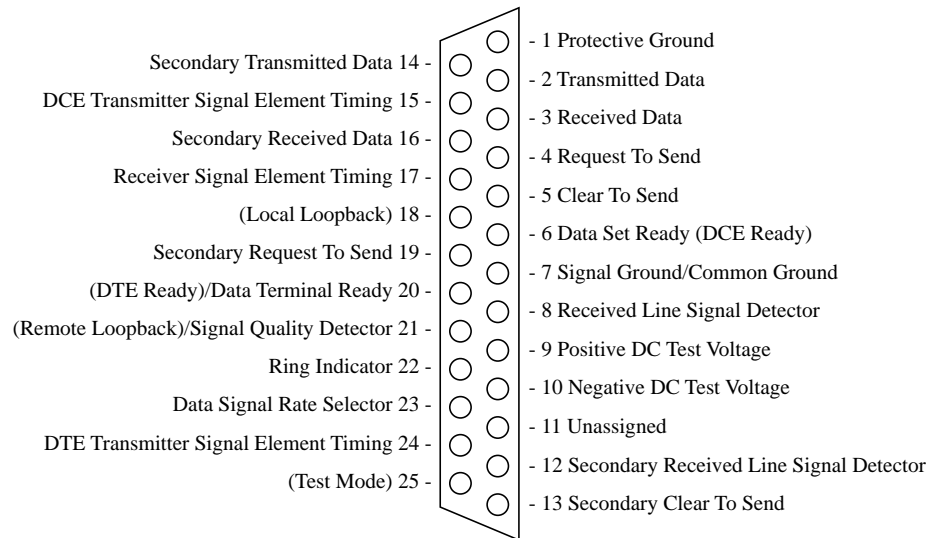
L'elenco completo dei segnali RS-232 è riportato in tabella 12.2, in cui in parentesi sono riportate le modifiche introdotte dalla revisione D rispetto all'RS-232-C. Esistono diversi modi per identificare ogni circuito: piedino del connettore a cui è collegato, descrizione, codice *interchange circuit* (una codifica poco mnemonica e raramente utilizzata), codice CCITT. Molto spesso si usano anche delle abbreviazioni (non standard) della descrizione: TD per *Transmitted Data*, RD per *Received Data*, SG per *Signal Ground* ecc.



PIN number	CCITT circuit	Description	Gnd	Data		Control		Timing		Testing	
				From DCE	To DCE	From DCE	To DCE	From DCE	To DCE	From DCE	To DCE
1	101	Protective Ground	x								
7	102	Signal Ground/Common Return	x								
2	103	Transmitted Data			x						
3	104	Received Data		x							
4	105	Request To Send					x				
5	106	Clear To Send				x					
6	107	Data Set Ready (DCE Ready)				x					
20	108.2	Data Terminal Ready (DTE Ready)					x				
22	125	Ring Indicator				x					
8	109	Received Line Signal Detector				x					
21	110	(Remote Loopback)/Signal Quality Detector				x					
23	111	Data Signal Rate Selector (DTE)				x					
23	112	Data Signal Rate Selector (DCE)				x					
24	113	Transmitter Signal Element Timing (DTE)						x			
15	114	Transmitter Signal Element Timing (DCE)						x			
17	115	Receiver Signal Element Timing (DCE)						x			
14	118	Secondary Transmitted Data			x						
16	119	Secondary Received Data		x							
19	120	Secondary Request To Send					x				
13	121	Secondary Clear To Send				x					
12	122	Secondary Received Line Signal Detector				x					
8	-	Reserved for testing									x
9	-	Reserved for testing								x	
18	-	(Local Loopback)									x
25	-	(Test Mode)								x	

Tab. 12.2 - Circuiti di interfaccia RS232.

In figura 12.6 sono riportati i segnali con la piedinatura nel connettore a D definita dallo standard.



**Fig. 12.6** - Piedinatura RS-232-D.

I segnali principali della RS-232 sono di seguito descritti.

*Massa di protezione (GND, pin 1)*

Normalmente collegato alla massa (contenitore metallico) dell'apparecchiatura. Lo standard RS-232-D ne prevede l'utilizzo per il collegamento dello schermo del cavo ai fini della riduzione delle interferenze elettromagnetiche.

*Signal Ground (SG, pin 7)*

Questo circuito deve essere sempre collegato in qualsiasi cavo RS-232 in quanto rappresenta il riferimento di tensione di tutti i segnali. Essendoci quindi un unico riferimento, e non uno per ogni segnale, la trasmissione è di tipo sbilanciato.

*Transmitted Data (TD, pin 2)*

È il circuito su cui il DTE trasmette i dati al DCE. In assenza di dati si trova nello stato 1 logico (*mark*).

*Received Data (RD, pin 3)*

È il circuito su cui il DCE trasmette i dati al DTE. In assenza di dati si trova nello stato 1 logico (*mark*).

*Request To Send (RTS, pin 4)*

Con questo segnale il DTE avverte il DCE che ci sono dati da trasmettere. Il DTE attenderà il segnale CTS prima di iniziare la trasmissione.

*Clear To Send (CTS, pin 5)*

Con questo segnale (quando posto a ON) il DCE abilita il DTE a trasmettere i dati. Se necessario, può riportarlo a OFF per interrompere la trasmissione. Normalmente i modem attivano il CTS dopo aver ricevuto un RTS dal DTE.

*Received Line Signal Detector (Carrier Detect, CD, pin 8)*

Con questo segnale il modem notifica al DTE che sta ricevendo la portante dal modem remoto. Il software di comunicazione può campionare il CD per notificare all'utente un'eventuale caduta del collegamento.

*Data Set Ready (DSR, pin 6)*

Quando questo segnale, inviato dal DCE al DTE, è nello stato ON, il modem è collegato alla linea telefonica e pronto a trasmettere i dati. Nello standard RS-232-D questo segnale è stato ribattezzato *DCE ready*.

*Data Terminal Ready (DTR, pin 20)*

Segnale analogo al DSR, ma dal DTE al DCE. Diventando attivo (ON) avverte il modem di prepararsi al collegamento. Se va ad OFF il modem fa cadere automaticamente la comunicazione. Nello standard RS-232-D questo segnale è stato ribattezzato *DTE ready*.

*Ring Indicator (RI, pin 22)*

Segnale inviato dal DCE al DTE per notificare la ricezione di un segnale di chiamata. È utilizzato dai modem *auto-answer* (a risposta automatica) per attivare i DTE ad essi collegati.

*Signal Quality Detector (CG, pin 21) e Data Signal Rate Detector (CH/CI pin 23)*

Il segnale CG permette al modem di segnalare al DTE che la qualità della trasmissione è scesa sotto una certa soglia determinando così un'elevata probabilità di errore nei dati ricevuti. Tale segnale resta a ON finché la qualità è accettabile. Con il segnale sul pin 23 il DTE o il DCE (a seconda della configurazione) possono richiedere un abbassamento della velocità di trasmissione per ridurre la probabilità di errore (naturalmente soltanto quando questa funzionalità è disponibile nel modem).

Lo standard RS-232 prevede anche la modalità di trasmissione sincrona. I pin 15, 17 e 24 permettono di trasferire tra DCE e DTE segnali di clock. Normalmente, un modem in modalità sincrona pone un segnale di clock di frequenza pari a quella

di trasmissione dei bit sul pin 15, spesso detto clock di trasmissione. Il DTE usa quindi tale clock per sincronizzare la trasmissione dei dati sul pin 2. Quando il modem riceve i dati dalla linea telefonica, pone sul pin 17 il segnale di clock ricostruito al suo interno dai circuiti di sincronizzazione. Tale segnale è comunemente detto clock di ricezione. Talvolta è il DTE a fornire il clock di trasmissione al DCE, e in tal caso utilizza il pin 24. A seconda dei casi, quindi, il DTE o il DCE dovranno essere configurati in modalità "internal timing" l'uno e "external timing" l'altro.

Come si può osservare dalla tabella 12.2, sono previsti anche circuiti secondari. Si tratta della possibilità di trasmettere e ricevere su un canale secondario contemporaneamente al canale principale, normalmente ad una velocità pari ad una frazione di quella del canale principale. Le funzionalità di questi circuiti (pin 12, 13, 14, 16 e 19) sono del tutto analoghe a quelle dei circuiti primari.

Infine, lo standard RS-232-D ha aggiunto tre segnali di test: *Remote Loopback* (RL, pin 21, in alternativa all'uso come Signal Quality Detector), *Local Loopback* (LL, pin 18) e *Test Mode* (TM, pin 25).

#### *Convertitori e adattatori*

Lo standard RS-232 è pensato per interconnettere con un cavo "modem" un DTE e un DCE. Il cavo modem è un cavo "pin-to-pin" (pin 1 con pin 1, pin 2 con pin 2, ecc.). Altri tipi di cavi sono importanti per realizzare i collegamenti in alcuni casi particolari, ma non per questo poco frequenti: il collegamento tra interfacce con connettori diversi dal D a 25 pin e il collegamento null-modem.

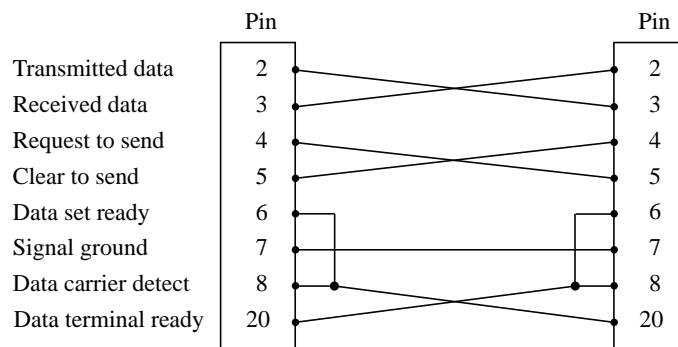
Il collegamento più frequente tra connettori diversi è rappresentato dal 25 pin - 9 pin, quest'ultimo, come detto, presente su numerosi personal computer. La tabella 12.3 riporta la corrispondenza dei segnali.

9 pin		25 pin
1	Carrier Detect	8
2	Received Data	3
3	Transmitted Data	2
4	Data Terminal Ready	20
5	Signal Ground	7
6	Data Set Ready	6
7	Request To Send	4
8	Clear To Send	5
9	Ring Indicator	22

**Tab. 12.3** - Corrispondenza dei circuiti di interfaccia.

Un altro caso molto frequente è quello del collegamento diretto tra due computer tramite cavo RS-232. Esistono diversi programmi che consentono di trasferire file in questo modo, o condividere dischi e stampanti. Il problema è che entrambi i connettori sono maschi e in entrambi, per esempio, la trasmissione dei dati avviene sul piedino 2. È ovvio che un cavo pin-to-pin non può funzionare.

Un collegamento di questo tipo prende il nome di "null-modem", in quanto viola il modello di riferimento DTE-DCE dello standard. Per realizzarlo è necessario "incrociare" tutti i segnali ad eccezione del GND e del SG (figura 12.7).

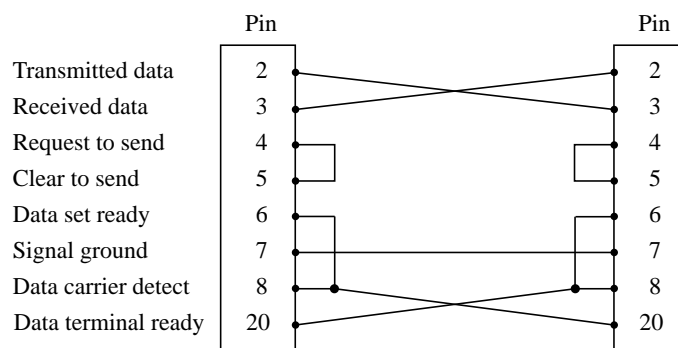


**Fig. 12.7** - Esempio di cavo RS-232-D null-modem.

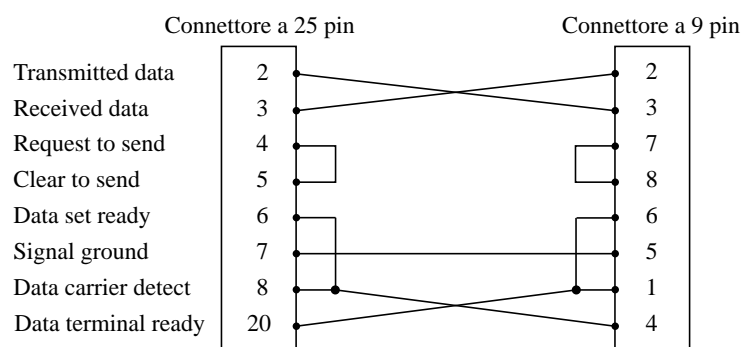
Non essendoci un modem, il segnale CD va generato a partire da qualche altro sicuramente attivo, per esempio dal DTR dell'altra interfaccia. In realtà, spesso è possibile configurare le interfacce RS-232 e i programmi di comunicazione per funzionare in modalità "modem" o no; in questo modo viene automaticamente disabilitata la lettura del segnale CD e questo collegamento non è necessario. Inoltre, poiché spesso la velocità di utilizzo dei dati da parte del ricevitore è superiore a quella di trasferimento, oppure il software gestisce il controllo di flusso tramite XON/XOFF, anche il collegamento incrociato di RTS e CTS è superfluo, e RTS e CTS possono essere ponticellati (figura 12.8).

È anche possibile realizzare un cavo null-modem tra un connettore a 25 pin e uno a 9, o tra due connettori a 9 pin (figure 12.9 e 12.10).

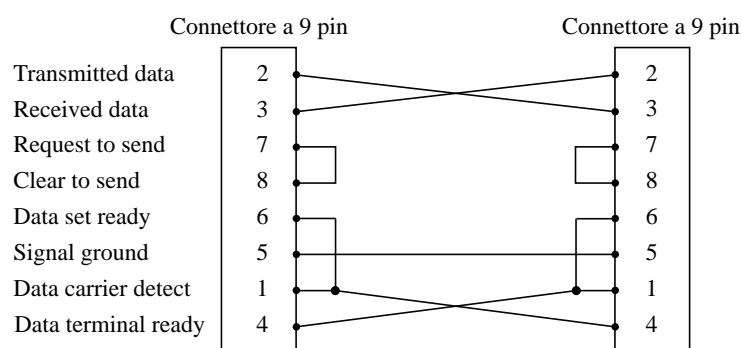
Talvolta i segnali di controllo e di handshake hardware sono superflui, e un cavo a tre conduttori può essere sufficiente. In tal caso, tutti i segnali di controllo sono ponticellati in locale (figura 12.11).



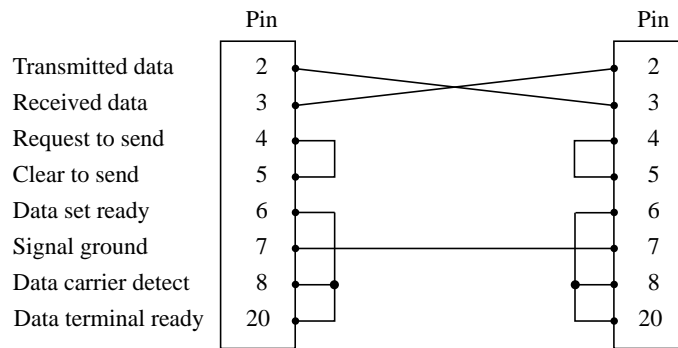
**Fig. 12.8** - Esempio di cavo RS-232-D null-modem senza handshake hardware.



**Fig. 12.9** - Esempio di cavo RS-232 null-modem tra un connettore a 25 pin e uno a 9 pin.

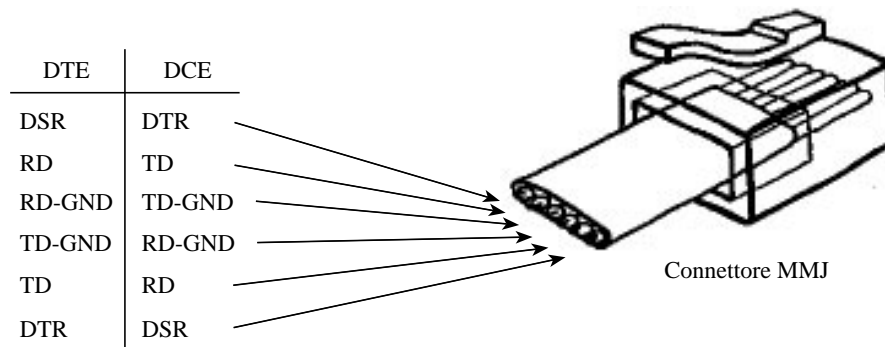


**Fig. 12.10** - Esempio di cavo RS-232 null-modem a 9 pin.



**Fig. 12.11** - Cavo RS-232-D null-modem a tre fili.

Il risparmio ottenibile eliminando anche dall'hardware i circuiti di interfaccia non indispensabili può essere considerevole per le applicazioni in cui devono essere installate numerose interfacce, come nel caso dei terminal server. È così frequente trovare interfacce seriali realizzate su connettori MMJ (figura 12.12) secondo lo standard RS-423 (si veda il paragrafo 12.2.5).



**Fig. 12.12** - Interfaccia seriale su connettore MMJ.

Il connettore MMJ è di piccole dimensioni, in plastica e si monta tramite crimpatura. Questo, insieme al ridotto numero di circuiti di interfaccia presenti, ne determina il basso costo. Inoltre, data la particolare disposizione dei segnali e l'utilizzo di un cavo a piattina da 6 poli, la realizzazione di un cavo null-modem è estremamente semplice: è sufficiente torcere di 180° il cavo prima di crimpare il secondo connettore. Naturalmente, non essendo disponibili i segnali RTS e CTS, è necessario l'utilizzo di handshake tramite XON/XOFF.

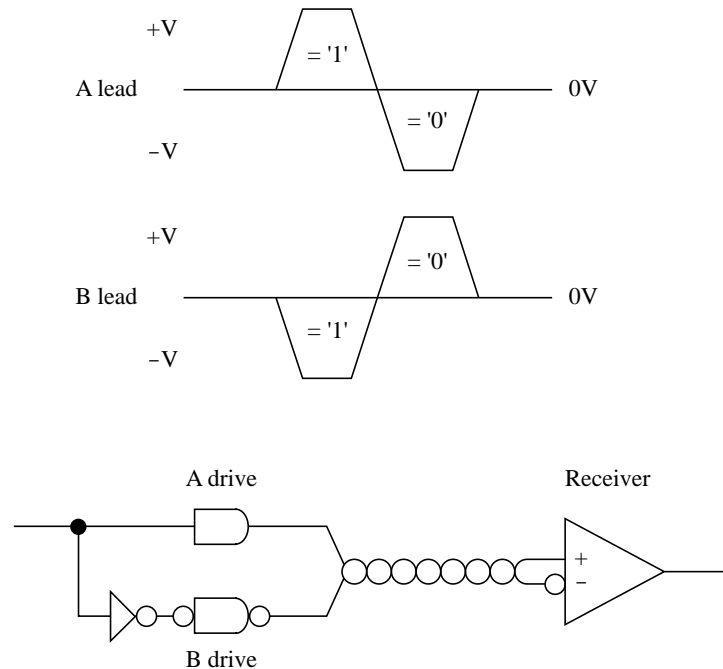
### Limiti dello standard RS-232/V.24

Le specifiche elettriche dei segnali definite dagli standard RS-232 e V.28 (utilizzabile per il V.24), determinano limitazioni piuttosto stringenti sulla massima velocità di trasmissione e sulla massima lunghezza dei collegamenti. Gli standard si limitano ad una velocità di 19.2 Kb/s ad una distanza di 50 piedi. In realtà, distanze maggiori possono essere coperte a minori velocità, e su cavi di pochi metri si possono raggiungere velocità superiori a 100 Kb/s.

### 12.2.5 RS-422, RS-423, RS-449

La ragione per cui lo standard RS-232 definisce velocità trasmissive così limitate è dovuta all'utilizzo di una tecnica trasmissiva dei segnali sbilanciata, cioè con un unico riferimento comune a 0V.

È possibile coprire maggiori distanze a velocità superiori facendo uso della trasmissione bilanciata. Con essa, ogni circuito di interfaccia è composto da due fili, e su essi il segnale è pilotato in controfase (figura 12.13).



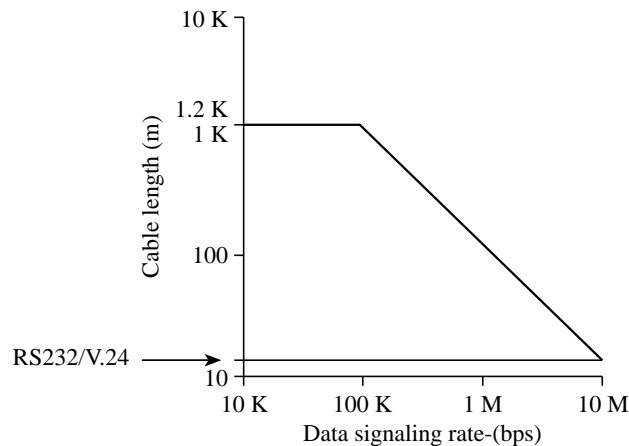
**Fig. 12.13** - Tecnica di trasmissione bilanciata.



Quello illustrato è lo standard di interfaccia RS-422. A differenza della RS-232, che definisce una differenza minima di 6V tra lo 0 e l'1 logico (-3V e +3V), la RS-422 prevede soltanto 0.4V (-0.2V di differenza tra i due conduttori per l'1, +0.2V per lo 0). In questo modo è stato possibile anche ridurre l'impedenza di carico, passando dai 5 K $\Omega$  della RS-232 a 100  $\Omega$ . Infine, se la geometria dei conduttori è simmetrica, come nel caso dei doppini, il rumore elettromagnetico incidente sul cavo viene annullato in ricezione dalla lettura differenziale della tensione sui due fili. La combinazione di tutti questi fattori ha permesso di raggiungere distanze più elevate e velocità maggiori rispetto all'RS-232 (figura 12.14).

Lo standard RS-449, a differenza dell'RS-232/V.24, non specifica le caratteristiche elettriche dei segnali, ma rimanda ad altri standard quali il succitato RS-422, l'RS-442-A e l'RS-423.

L'RS-422 specifica l'utilizzo di cavi twisted pair a velocità comprese tra 100 Kb/s fino a 4000 piedi e 10 Mb/s fino a 40 piedi. L'RS-442-A e l'analogo CCITT X.27 specificano la trasmissione bilanciata tra 20 Kb/s e 10 Mb/s. L'RS-423-A e l'analogo CCITT X.26 definiscono le caratteristiche per la trasmissione sbilanciata simile all'RS-232 tra 0 e 20 Kb/s.



**Fig. 12.14** - Distanza dei collegamenti secondo lo standard RS-422 in funzione della distanza. Per confronto è riportato anche il limite degli standard RS-232/V.24.

Lo standard RS-449 prevede l'utilizzo di un connettore a 37 pin più uno opzionale a 9 per il canale secondario. La tabella 12.4 riporta i circuiti di interfaccia; vi si riconoscono molti dei circuiti dell'RS-232-C.

RS-232-C Designation	Circuit mnemonic	Circuit name	Common		Data		Control		Timing	
			From DCE	To DCE	From DCE	To DCE	From DCE	To DCE	From DCE	To DCE
Signal Ground	SG	Signal Ground								
-	SC	Send Common		x						
-	RC	Receive Common	x							
Ring Indicator	IS	Terminal in Service						x		
Data Terminal Ready	IC	Incoming Call					x			
Data Set Ready	TR	Terminal Ready						x		
	DM	Data Mode					x			
Transmitted Data	SD	Send Data				x				
Received Data	RD	Receive Data			x					
Transmit Timing (DTE)	TT	Terminal Timing								x
Transmit Timing (DCE)	ST	Send Timing							x	
Receive Timing	RT	Receive Timing							x	
Request To Send	RS	Request To Send						x		
Clear To Send	CS	Clear To Send					x			
Receive Signal Detector	RR	Receiver Ready					x			
Signal Quality Detector	SQ	Signal Quality					x			
-	NS	New Signal						x		
-	SF	Select Frequency						x		
Data Rate Selector (DTE)	SR	Signaling Rate Selector						x		
Data Rate Selector (DCE)	SI	Signaling Rate Indicator						x		
Secondary Transmitted Data	SSD	Secondary Send Data				x				
Secondary Received Data	SRD	Secondary Receive Data			x					
Secondary Request To Send	SRS	Secondary Request To Send						x		
Secondary Clear To Send	SCS	Secondary Clear To Send					x			
Sec. Receiver Signal Detector	SRR	Secondary Receiver Ready					x			
-	LL	Local Loopback							x	
-	RL	Remote Loopback							x	
-	TM	Test Mode						x		
-	SS	Select Standby							x	
-	SB	Standby Indicator					x			

Tab. 12.4 - Circuiti RS-449.

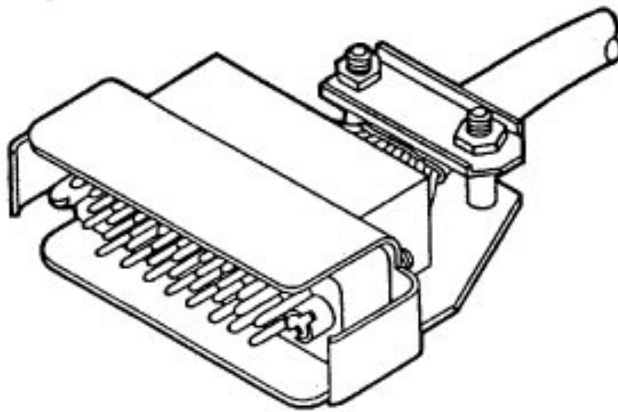
A causa dell'elevata complessità e dell'alto costo, l'RS-449 non ha avuto molto successo. Nel 1987 l'EIA ha pubblicato lo standard RS-530, destinato a rimpiazzare l'RS-449.

#### 12.2.6 RS-530

Lo standard RS-530 prevede l'utilizzo del solito connettore a D a 25 pin, ma fa riferimento agli standard RS-422 e RS-423 per le caratteristiche elettriche dei segnali. Infatti, per superare il limite dei 19.2 Kb/s dell'RS-232, arrivando fino a 2 Mb/s, utilizza la trasmissione bilanciata, sacrificando diversi segnali secondari e il Ring Indicator della RS-232.

#### 12.2.7 V.35

Lo standard più diffuso per interfacce ad alta velocità, da 48 Kb/s a 2 Mb/s, è il V.35. Utilizza una combinazione di trasmissione sbilanciata per i segnali di controllo e bilanciata per i dati e i segnali di clock. Il connettore previsto è l'ISO 2593 (figura 12.15), a 34 pin.



**Fig. 12.15** - Connettore per l'interfaccia V.35.

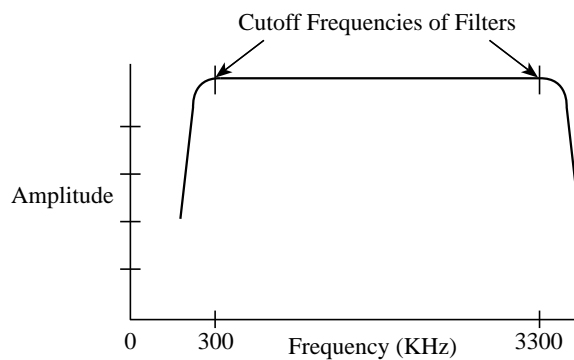
La tabella 12.5 riporta i segnali di interfaccia V.35.

PIN	Circuit name	Description	From DCE	To DCE
A	FG	Frame Ground		
B	SG	Signal Ground		
C	RTS	Request To Send	x	
D	CTS	Clear To Send		x
E	DSR	Data Set Ready	x	
F	RLSD	Received Line Signal Detector	x	
H	DTR	Data Terminal Ready		x
J	RI	Ring Indicator	x	
R/T	RD	Receive Data	x	
U/X	SGR	Receive Clock	x	
P/S	SD	Send Data		x
U/W	SCTE	Send Clock (EXT)		x
Y/A	SCT	Send Clock	x	
m	TST	Reserved for Test	x	

**Tab. 12.5** - Circuiti di interfaccia V.35.

### 12.3 MODEM

I modem consentono di adattare il segnale digitale proveniente da un'interfaccia seriale ad un canale trasmissivo limitato in banda sia inferiormente che superiormente. Il caso più comune è quello del canale telefonico. Un canale telefonico presenta una banda passante di circa 3000 Hz, tra 300 e 3300 Hz (figura 12.16).

**Fig. 12.16** - Risposta in frequenza di un tipico canale telefonico.

Benché circa sette volte inferiore all'intervallo di frequenze udibili dall'orecchio umano, questa banda passante è sufficiente per rendere comprensibile la voce umana, e consente un maggior sfruttamento dei canali a larga banda tramite tecniche FDM o TDM. Questa larghezza di banda limita la massima velocità trasmissiva. Inoltre, essendoci una frequenza di taglio inferiore a 300 Hz, non è possibile trasmettere la corrente continua. Un sequenza di cifre binarie uguali, o lo stato di idle della linea, sono codificate dagli standard per interfacce seriali proprio come tensioni fisse ad un certo valore, cioè corrente continua. È pertanto necessario modificare la codifica dei bit. I modem fanno questo tramite tecniche di modulazione, da cui il nome (modem = MODulatore-DEModulatore).

### 12.3.1 Tecniche di modulazione

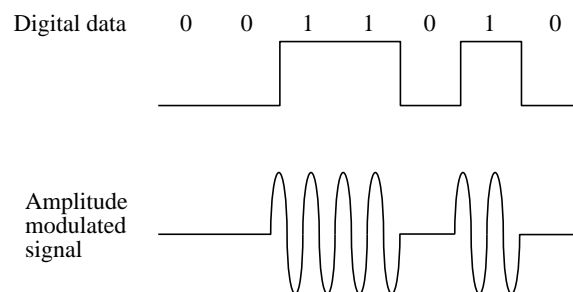
Oltre al segnale vocale, un qualsiasi segnale di frequenza compresa all'interno della banda passante del canale telefonico è adatto per essere trasmesso su di esso. Il segnale più adatto per la modulazione è un segnale sinusoidale, rappresentabile dall'espressione:

$$s(t) = A \sin (2\pi ft + \varphi)$$

in cui si individuano tre parametri del segnale: l'ampiezza  $A$ , la frequenza  $f$  e la fase  $\varphi$ . Facendo variare nel tempo uno più di questi parametri si può usare il segnale sinusoidale per trasmettere informazione. Modificando l'ampiezza si ottiene la *modulazione di ampiezza* (AM), modificando la frequenza si ha la *modulazione di frequenza* (FM), e modificando la fase la *modulazione di fase* (PM).

#### *Modulazione di ampiezza*

La modulazione di ampiezza è la più semplice tecnica di modulazione (figura 12.17).

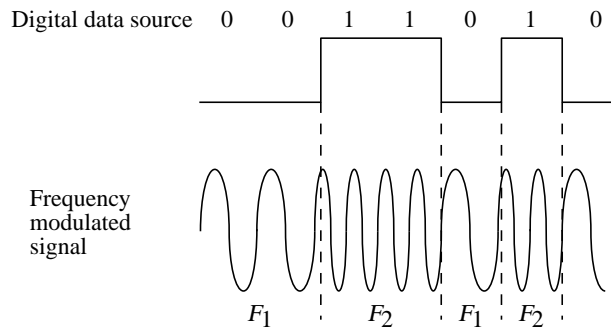


**Fig. 12.17** - Modulazione di ampiezza.

Benché da sola consenta velocità trasmissive abbastanza basse, è spesso usata in unione ad altre tecniche di modulazione per sistemi ad alta velocità.

### *Modulazione di frequenza*

Nella modulazione di frequenza, la frequenza della portante varia in funzione del segnale modulante. Nella trasmissione digitale si avranno quindi due frequenze diverse, una leggermente superiore ed una leggermente inferiore a quella della portante, per codificare gli zeri e gli uni (figura 12.18). Tale tecnica è detta *Frequency Shift Keying* (FSK).



**Fig. 12.18** - Modulazione di frequenza.

### *Modulazione di fase*

Nella modulazione di fase, la portante varia la sua fase in funzione del segnale da trasmettere. Nella trasmissione digitale agli zeri e agli uno sono associati diversi valori di rotazione della fase (per esempio  $90^\circ$  per l'1 e  $270^\circ$  per lo 0), e questo prende il nome di *Phase Shift Keying* (PSK). Spesso la codifica dei bit non è riferita a valori di fase assoluti, bensì a rotazioni di fase rispetto alla fase dell'ultimo simbolo ricevuto. In questo caso si parla di *Differential Phase Shift Keying* (DPSK).

La modulazione di fase è la tecnica più costosa, ma è anche la più adatta ad essere utilizzata in combinazione alla modulazione di ampiezza per ottenere elevate velocità di trasmissione.

### *BAUD e b/s*

Il numero di bit trasmessi nell'unità di tempo è normalmente indicato come b/s o bps (*bit per second*). Quando si utilizzano tecniche di modulazione, come nel caso dei

modem, ogni elemento del segnale portante inviato dal modem (per esempio, ma non necessariamente, un ciclo del segnale portante sinusoidale) viene detto *simbolo*. Il numero di simboli inviati dal modem nell'unità di tempo prende il nome di *baud*. Le tecniche di modulazione possono associare ad ogni simbolo uno o più bit, per esempio usando quattro od otto valori diversi per la rotazione di fase nella PSK, o utilizzando una combinazione di più modulazioni, per esempio quattro valori per la fase e due per l'ampiezza. In questo modo il numero di bit per secondo risulta essere maggiore dei baud.

#### *Teorema di Nyquist*

Nel 1928 Nyquist trovò la relazione tra la banda di un canale e la massima velocità in baud. Tale relazione è:

$$B = 2H$$

dove  $B$  è la velocità in baud (simboli al secondo) e  $H$  la banda del canale. Per un canale telefonico di banda 3000 Hz, quindi, il numero di simboli trasmissibili nell'unità di tempo è 6000. Al di sopra di tale velocità i simboli interferiscono tra di loro a causa della cosiddetta interferenza intersimbolica. Se ad ogni simbolo viene associato un bit, ad esempio con una modulazione di ampiezza, la massima velocità teorica su un canale telefonico sarà pertanto 6000 b/s (si osservi l'analogia con la figura 3.2).

Per superare questo limite occorre associare più di un bit ad ogni simbolo. Questo è possibile con tecniche di modulazione più sofisticate. La più comune tra queste è la QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), che prevede la modulazione contemporanea dell'ampiezza e della fase. Associando quattro bit a ogni variazione del segnale, cioè ad ogni simbolo, per una velocità di 2400 baud si ottiene una velocità di trasmissione dei dati di 9600 b/s. In figura 12.19 è rappresentato lo schema di modulazione di uno dei primi modem QAM: il 209 della Bell. La combinazione di 3 ampiezze e 12 valori di fase permetteva di codificare 4 bit in ciascun simbolo.

#### *Teorema di Shannon*

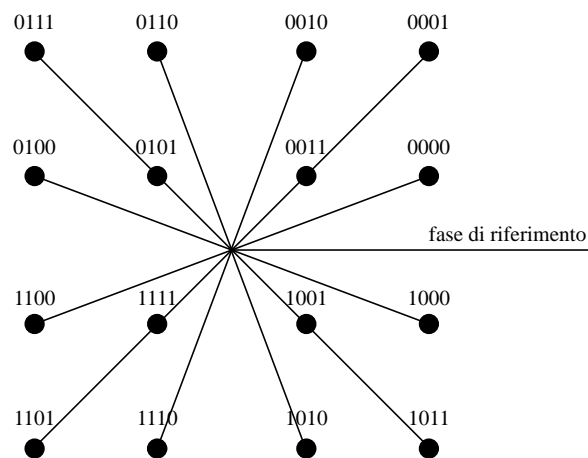
Aumentando la complessità della modulazione sembrerebbe possibile aumentare a piacere la velocità di trasmissione dei dati. In realtà questo non è possibile perché al di sopra di un certo limite i simboli non sono più distinguibili l'uno dall'altro, determinando errori di ricezione. Le ragioni possono essere diverse, per esempio la rotazione di fase introdotta dal canale trasmissivo, la non linearità degli amplificatori o il rumore della linea.

Shannon, nel 1948, introdusse nel risultato di Nyquist il rumore come fattore limitante della modulazione, ottenendo per la velocità di trasmissione dei dati la

seguente espressione:

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

dove  $H$  è la banda del canale e  $S/N$  è il rapporto segnale/rumore. Per un canale telefonico di 3000 Hz con un rapporto  $S/N$  di 30 dB (pari a 1000) si ottiene una velocità massima di circa 30000 b/s.



**Fig. 12.19** - Costellazione dei simboli nella modulazione QAM a 3 ampiezze e 12 valori di fase.

### *Trellis Coded Modulation*

La modulazione QAM consente trasmissioni fino a 14400 b/s, ma soltanto su linee di buona qualità. Su linee abbastanza disturbate, la quantità di ritrasmissioni necessarie può rendere più efficiente lavorare a 9600 b/s. La *Trellis Coded Modulation* (TCM) permette di tollerare un rumore doppio rispetto a quello massimo tollerabile dalla QAM.

Gli errori nella trasmissione QAM sono dovuti allo spostamento del segnale ricevuto da un punto della "costellazione" della codifica (figura 12.19) ad un altro a causa di rumore, distorsioni di ampiezza e rotazioni di fase. Per minimizzare questa eventualità la TCM introduce un bit di ridondanza nella codifica di ciascun simbolo. In una trasmissione a 14400 b/s, 6 bit di dato più uno di ridondanza sono codificati in ciascun simbolo, dando luogo ad una costellazione di 128 punti. La TCM



prevede la *Forward Error Correction* (FEC) grazie ad una codifica convoluzionale, in base alla quale ogni bit viene confrontato con uno o più bit trasmessi prima, e il suo valore dipende anche da essi.

### 12.3.2 Trasmissione half-duplex e full-duplex

Si definisce una trasmissione *half-duplex* quando essa avviene alternativamente in un senso e nell'altro. La ragione è dovuta alla necessità di condividere il medesimo canale trasmissivo da parte delle due stazioni collegate, come nel caso dei "walkie-talkie", in cui la commutazione tra trasmissione e ricezione avviene quasi sempre manualmente in seguito ad una parola convenzionale ("passo"). Nei modem il canale trasmissivo condiviso è quello telefonico. Benché i collegamenti all'interno delle centrali telefoniche e tra le centrali stesse siano realizzati con canali indipendenti per la trasmissione e la ricezione, il collegamento verso l'utente finale usa soltanto due fili e le voci dei due interlocutori si sovrappongono negli auricolari dei microtelefoni.

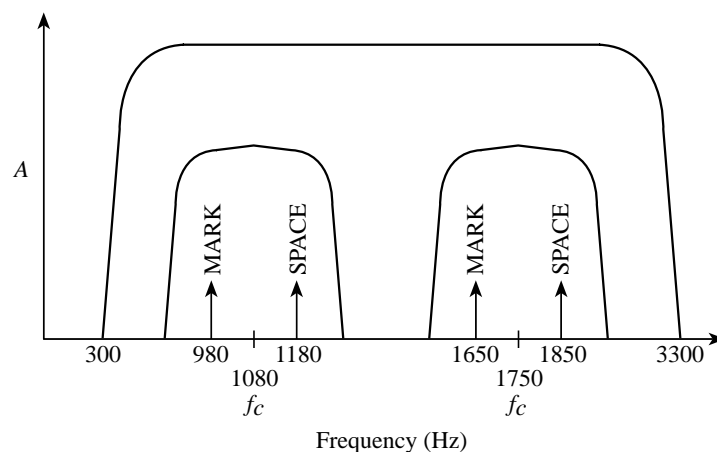
I circuiti di demodulazione dei modem hanno naturalmente difficoltà a decodificare un segnale quando ad esso ne è sovrapposto un altro. Per questo i primi collegamenti funzionavano in half-duplex: a turno, ciascun modem poteva utilizzare completamente il canale.

La trasmissione half-duplex presenta lo svantaggio di introdurre un overhead dovuto alla commutazione tra trasmissione e ricezione. Per collegamenti altamente interattivi, o quando si usano protocolli che prevedono frequenti messaggi di acknowledge, tale overhead può diventare inaccettabile ed è necessario adottare tecniche *full-duplex*. La tecnica più diffusa per la comunicazione in full-duplex consiste nella suddivisione della banda del canale in due parti: ciascun modem ne userà una per trasmettere e l'altra per ricevere. Questo avviene utilizzando frequenze portanti diverse per i due modem, e ciascuno in ricezione filtrerà il segnale in modo da sopprimere l'eco della propria trasmissione (figura 12.20, in cui è riportata l'assegnazione delle frequenze per lo standard V.21).

Questo comporta naturalmente che i due modem siano configurati in modo speculare: l'uno in modalità "call" o "originate", l'altro in modo "answer". I modem moderni a chiamata e risposta automatica sono in grado di effettuare automaticamente questa configurazione.

La divisione in due della banda consente velocità di trasmissioni fino a 2400 b/s in full-duplex, ma impedisce velocità superiori in quanto il canale effettivo utilizzabile risulta in pratica dimezzato. Lo sviluppo di circuiti integrati VLSI ed in particolare dei

DSP (Digital Signal Processor) ha consentito la realizzazione di modem full-duplex basati sulla tecnica di cancellazione dell'eco. I due modem usano entrambi tutta la banda del canale, cosa che normalmente genererebbe interferenza tra le portanti. Tuttavia, ciascuno è in grado di cancellare in ricezione gli effetti della propria trasmissione, isolando quindi il segnale proveniente dall'altro modem.



**Fig. 12.20** - Utilizzazione del canale nello standard V.21.

### 12.3.3 Standard

Nel seguito saranno illustrati alcuni dei principali standard CCITT per i modem. La tabella 12.6 riporta le caratteristiche essenziali dei principali standard CCITT e Bell System (questi ultimi in uso negli Stati Uniti).

modem	velocità massima (bps)	Trasmissione (s = sincrona, a = asincrona)	Tecnica di modulazione	Trasmissione (h = half-duplex, f = full-duplex)	Linea (c = commutata, d = dedicata)
<b>BELL SYSTEM</b>					
103A,E	300	A	FSK	H, F	C
103F	300	A	FSK	H, F	D
201B	2400	S	PSK	H, F	D
201C	2400	S	PSK	H, F	C
202C	1200	A	FSK	H	C
202S	1200	A	FSK	H	C
202D/R	1800	A	FSK	H, F	D
202T	1800	A	FSK	H, F	D
208A	4800	S	PSK	H, F	D
208B	4800	S	PSK	H	C
209A	9600	S	QAM	F	D
212	300	A	FSK	H, F	C
<b>CCITT</b>					
V.21	300	A	FSK	H, F	C
V.22	600	A	PSK	H, F	C, D
	1200	A, S	PSK	H, F	C, D
V.22 bis	2400	A	QAM	H, F	C
V.23	600	A, S	FSK	H, F	C
	1200	A, S	FSK	H, F	C
V.26	2400	S	PSK	H, F	D
	1200	S	PSK	H	C
V.26 bis	2400	S	PSK	H	C
V.26 ter	2400	S	PSK	H, F	C
V.27	4800	S	PSK	H, F	D
V.29	9600	S	QAM	H, F	(privata)
V.32	9600	A	TCM/QAM	H, F	C, D
V.32 bis	14400	A	TCM/QAM	H, F	C, D
V.32 terbo	19200	A	TCM/QAM	H, F	C,D
V.33	14400	S	TCM	H, F	D
V.34	28800	A	TCM	H, F	C,D

Tab. 12.6 - Standard per modem.

### V.21

Lo standard CCITT V.21 prevede il collegamento asincrono di due modem in half-duplex o in full-duplex su linea commutata a 300 b/s usando la tecnica di modulazione FSK. La tabella 12.7 riporta le frequenze con cui sono codificati gli zeri e gli uni nelle due modalità di funzionamento answer e originate.

	Originate	Answer
Mark	980 Hz	1650 Hz
Space	1180 Hz	1850 Hz

**Tab. 12.7** - Frequenze V.21.

### V.22

Lo standard CCITT V.22 prevede due velocità di collegamento: 1200 b/s e 600 b/s, entrambe tramite modulazione di fase. A 1200 b/s è previsto l'uso della modulazione DPSK a due bit per simbolo in modalità sincrona o asincrona. È adatto a linee commutate o dedicate in half-duplex o in full-duplex.

#### V.22 bis

Il V.22 bis è uno degli standard che prevedono una trasmissione a 2400 b/s half-duplex o full-duplex, sincrona o asincrona sia su linea commutata che su linea dedicata a due fili. In realtà, i due modem comunicano sempre in modo sincrono usando una modulazione QAM a 600 baud codificando quattro bit per simbolo. I primi due bit determinano la rotazione di fase (trattandosi di quattro valori possibili corrisponde ad un cambiamento di quadrante in un diagramma polare), gli altri due determinano uno di quattro simboli all'interno del quadrante.

### V.23

Il V.23 è uno standard di trasmissione su linee commutate a 600 o 1200 b/s in FSK. La sua particolarità consiste nel fatto che è uno standard asimmetrico: il canale di ritorno (opzionale, lo standard prevede anche la modalità half-duplex) usa una banda molto stretta (segnale a 390 Hz per inviare un 1 e 450 per uno 0), permettendo così una velocità di soli 75 b/s. Questo canale di ritorno può essere usato per il controllo degli errori, ma soprattutto può essere usato per inviare brevi codici di comando da una tastiera. Questo è il caso tipico delle banche dati e dei sistemi guidati a menù, ed infatti il V.23 ha trovato vasta applicazione in Europa nei servizi Videotext (per esempio il Videotel Telecom Italia).

### V.32

Lo standard V.32 prevede la trasmissione half-duplex o full-duplex su linee commutate o dedicate ad una velocità massima di 9600 b/s con una portante a 1800 Hz modulata a 2400 baud. La tecnica usata è una variante della QAM. Infatti, i due canali usati dai due modem per trasmettere nelle due direzioni condividono approssimativamente la stessa banda, e un circuito di cancellazione dell'eco permette di distinguere tra segnale trasmesso e segnale ricevuto. Inoltre, lo standard prevede due schemi di codifica: uno convenzionale ed uno ridondante (TCM).

### V.32 bis

Questo standard presenta le stesse caratteristiche del V.32, ma con una costellazione della codifica dei simboli a 128 punti, consentendo una velocità massima di 14400 b/s. I modem V.32 bis sono compatibili con i modem V.32 e possono modificare dinamicamente la velocità di trasmissione durante il collegamento.

### V.32 terbo

Rappresenta una ulteriore evoluzione del V32.bis proposta da AT&T. Usa una costellazione di 256 o 512 punti e consente una velocità massima di 19200 b/s.

### V.34

Lo standard V.34 è il più recente e consente una velocità massima di 28800 b/s. Si tratta di uno standard molto sofisticato che prevede una costellazione fino a 768 punti con rilevazione automatica e dinamica delle caratteristiche del canale per adattare i parametri di trasmissione ad esse.

### *Rilevamento e correzione degli errori*

Fino al 1989 non esistevano standard *de jure* per il rilevamento e la correzione degli errori di trasmissione nei modem, e si trovavano diverse implementazioni di codici ciclici ridondanti (CRC) simili tra di loro, ma incompatibili. L'unico standard *de facto* era rappresentato dal Microcom Network Protocol di classe 4 (MNP 4), rilasciato su licenza a numerosi costruttori. Nel 1979 il CCITT ha riconosciuto tale situazione adottando l'MNP come uno dei due protocolli per il rilevamento e la correzione degli errori definiti dallo standard V.42. Il metodo primario proposto dallo standard è invece il "Link Access Protocol-Modem" (LAP-M) che usa una differente struttura di trama ed un diverso polinomio per la generazione del CRC.

### *Compressione dei dati*

Come accadde per la correzione degli errori, anche per la compressione dei dati si è dovuto attendere il 1990 per una standardizzazione *de jure*. Il CCITT, in tale anno, ha emesso lo standard V.42 bis, definendo il metodo di compressione, noto come Lempel-

Ziv, come standard internazionale. A differenza del V.42, il V.42 bis non riconobbe tecniche alternative, benché fossero già presenti modem con tale funzionalità. Lo standard *de facto* più diffuso è l'MNP di classe 5 che, grazie alla compatibilità verso il basso, è anche compatibile con la correzione degli errori dell'MNP di classe 4.

#### 12.3.4 Comandi ai modem

Molti modem moderni dispongono di un microprocessore con RAM, ROM, EPROM e opportuno software per automatizzare le operazioni di configurazione, controllare i dispositivi di composizione automatica dei numeri, memorizzare numeri telefonici, gestire la compressione dei dati e la correzione degli errori. Tutte queste funzionalità sono in genere controllate tramite semplici linguaggi di comandi, dei quali il più diffuso, al punto da rappresentare un standard *de facto*, è il linguaggio Hayes, inizialmente adottato negli Smartmodem della Hayes Microcomputer Products. Il linguaggio Hayes prende anche il nome di linguaggio AT in quanto tutti i comandi iniziano per AT.

Il modem riceve i comandi dalla stessa porta seriale con cui è collegato il terminale o il computer. Pertanto interpreta i caratteri ricevuti come comandi finché non viene attivata la connessione con l'altro modem, dopodiché i caratteri non vengono più interpretati, ma trasmessi. Il fatto che tutti i comandi inizino per AT permette ai modem che dispongono di un buffer di memoria per la trasmissione di riconoscere automaticamente la velocità dei dati sull'interfaccia seriale e di adattarvi, indipendentemente dalla velocità a cui avverrà il collegamento. Tali modem sono talvolta detti *autobaud*.

Il formato dei comandi Hayes è il seguente:

AT<comando>[<parametro>][<comando>[<parametro>] ... ]

Alcuni esempi di comandi Hayes sono riportati in tabella 12.8.

Comando	Descrizione
A	answer call
D	dial the following telephone number
E	enable or inhibit the echo of command characters
H	hang-up
O	place modem on-line
Q	enable or inhibit sending of result code
S	set modem register values
Z	reset the modem
+++	escape sequence

**Tab. 12.8** - Principali comandi Hayes.

Il comando di escape è un po' particolare. Quando il modem è collegato non interpreta i comandi, in quanto deve trasmettere i caratteri ricevuti dall'interfaccia seriale. Se l'utente o il programma di controllo deve ottenere il controllo del modem durante il collegamento è prevista una sequenza ravvicinata di tre caratteri '+' isolata dall'invio di altri caratteri dopo la quale l'interprete dei comandi ridiventa attivo.

Il linguaggio Hayes permette anche la modifica dei valori contenuti nei registri interni del modem, permettendo di configurare numerosi parametri di funzionamento. Per esempio, il contenuto del registro S0 determina dopo quanti squilli un modem a risposta automatica risponderà ad una chiamata in arrivo. Il comando ATSO=3 configura il modem a rispondere dopo tre squilli, il comando ATSO=0 disabilita la risposta automatica.

Dopo ogni comando l'interprete risponde con un messaggio testuale o con un codice numerico. Questo permette non soltanto all'utente di verificare l'esito dei comandi, ma anche di scrivere programmi che controllino e programmino in modo automatico i modem.

#### 12.3.5 Sicurezza

La disponibilità di accessi via modem a banche dati, centri di calcolo e centri di servizi, spesso nodi di reti geografiche, solleva il problema della sicurezza e della necessità di prevenire accessi non autorizzati. Una tecnica efficace è quella del *callback*: effettuando la chiamata al modem non si ottiene direttamente la richiesta di login per l'accesso al servizio, ma la richiesta di identificazione dell'utente, eventualmente con password, e del numero telefonico da cui chiama. Se l'utente e il numero risultano essere stati preventivamente autorizzati all'uso della risorsa, il modem fa cadere la linea e richiama l'utente al numero fornito. In questo modo si impedisce l'accesso ad estranei o ad utenti non autorizzati, avendo una sufficiente garanzia sull'identità dell'utente. Questo procedimento può essere gestito via software su mainframe o workstation, mediante programmi che gestiscono un database di autorizzazioni e controllano automaticamente uno o più modem, ma esistono anche modem e terminal server costruiti appositamente per funzionare in questo modo, in grado di gestire utenti, numeri telefonici e procedure d'accesso in modo autonomo.

## 12.4 CDA, CDN, COMMUTAZIONE DI CIRCUITO E DI PACCHETTO

Le linee commutate, cioè le normali linee telefoniche, sono state basate per lungo tempo su una tecnica di commutazione detta *commutazione di circuito*. Le prime centrali telefoniche funzionavano manualmente, le operatrici collegavano a richiesta la linea dell'utente che effettuava la chiamata con l'utente desiderato. Con le centrali automatiche, dispositivi elettromeccanici effettuavano la stessa operazione comandati dal combinatore telefonico dell'apparecchio dell'utente (il disco dei vecchi modelli di telefono).

La commutazione di circuito crea quindi un vero collegamento fisico tra i due utenti, ed esso resta stabile e riservato a loro per tutta la durata della comunicazione. Questo comporta in media un basso utilizzo del canale trasmissivo, risultando occupato da una comunicazione anche quando i due interlocutori non parlano o quando i due modem non si scambiano dati. Un altro limite della commutazione di circuito è dovuto al fatto che l'insieme dei collegamenti tra le centrali e le apparecchiature (amplificatori, soppressori d'eco, ecc.) attraversate di volta in volta per mettere in comunicazione due utenti può non essere sempre lo stesso, determinando variazioni anche considerevoli nelle caratteristiche del canale.

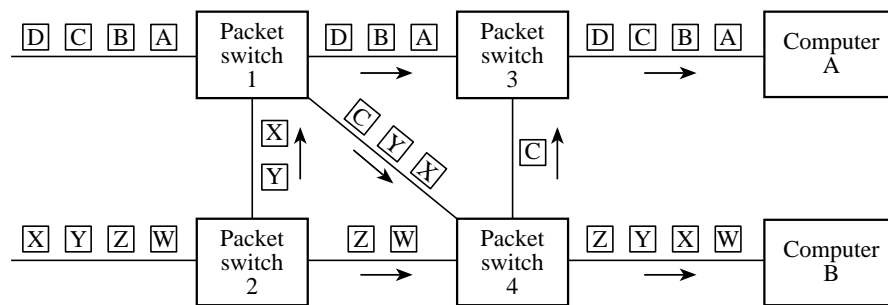
Le linee dedicate o, più propriamente, i *Canali Diretti Analogici* (CDA) consentono in generale prestazioni migliori rispetto alle normali linee commutate in quanto sono realizzate mediante collegamenti fissi tra i due utenti e quindi senza attraversamento delle apparecchiature di commutazione all'interno delle centrali. Pertanto, anche i circuiti attivi attraversati sono sempre gli stessi, ed è quindi possibile compensare le inevitabili non linearità del canale misurandone le caratteristiche una volta per tutte. Così si possono compensare irregolarità nella banda passante e ritardi di fase in funzione della frequenza mediante la regolazione di appositi equalizzatori. Sulle linee commutate queste caratteristiche variano di volta in volta, e molti modem con velocità inferiore a 4800 b/s dispongono di equalizzatori fissi tarati per le caratteristiche medie delle linee. Per velocità superiori, la maggior parte dei modem dispone di equalizzatori automatici che, all'inizio del collegamento, misurano alcuni parametri del canale e regolano i circuiti di equalizzazione in conseguenza.

Un'altra possibilità fornita dai CDA consiste nella disponibilità di linee a quattro fili, normalmente limitatamente all'ambito urbano. Questo consente di comunicare in full-duplex usando due fili per la trasmissione e due per la ricezione. Spesso tali linee non solo sono esterne ai circuiti di commutazione delle centrali, ma non attraversano neanche gli amplificatori in banda fonica. Pertanto, è possibile utilizzare i cosiddetti modem a larga banda che, sfruttando la maggior banda passante, consentono velocità superiori.



L'alternativa alla commutazione di circuito, per un migliore utilizzo dei canali trasmissivi, è rappresentata dalla commutazione di pacchetto, basata su sistemi digitali sia per l'instradamento che per la trasmissione dei dati. In essa i pacchetti (digitali) contengono l'indirizzo del destinatario, e transitano attraverso la rete condividendo i canali trasmissivi con altre comunicazioni. In ogni nodo vengono instradati in base all'indirizzo, e arrivati al nodo finale vengono inoltrati all'utente.

La figura 12.21 mostra un esempio di rete a commutazione di pacchetto non connessa (datagram): sul computer A risiedono gli utenti A, B, C, D e sul computer B risiedono gli utenti X, Y, Z, W. Si osservi che i canali trasmissivi sono condivisi da tutti gli utenti della rete e che i pacchetti possono essere ricevuti dal nodo finale in ordine diverso da quello con cui sono stati trasmessi, e quindi è necessario che esso disponga di memoria e capacità elaborativa sufficiente a riordinarli prima di inoltrarli all'utente.



**Fig. 12.21** - Flussi di dati in una rete datagram a commutazione di pacchetto.

Esistono anche reti a commutazione di pacchetto a circuiti virtuali. In esse, al momento dell'attivazione del collegamento tra due stazioni viene stabilito l'instradamento dei pacchetti attraverso tutti i nodi intermedi (cioè si crea un circuito virtuale), e tale instradamento resterà fisso per tutta la durata del collegamento. Questo permette di semplificare i nodi, in quanto i pacchetti arrivano già nell'ordine corretto, e riduce i ritardi, dovuti al loro riordinamento, tipici delle reti datagram.

Tecniche alternative per aumentare l'efficienza delle reti a commutazione di pacchetto sono le recenti "fast packet switching", "frame relay" e "cell relay" (si vedano in proposito i paragrafi 13.5 e 13.6).

Grazie al fatto che la tecnologia digitale è oggi alla base anche del traffico telefonico, i CDA vengono gradualmente rimpiazzati dai CDN: i *Canali Diretti Numerici*. Il collegamento tra le centrali avviene mediante dorsali digitali ad alta velocità condivise da più canali con tecniche TDM (*Time Division Multiplexing*).

Con i CDN è possibile sfruttare tutto o in parte il flusso di dati delle dorsali inserendo all'interno delle trame utilizzate per i canali telefonici digitali i dati degli utenti.

## 12.5 PDH (PLESIOCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY)

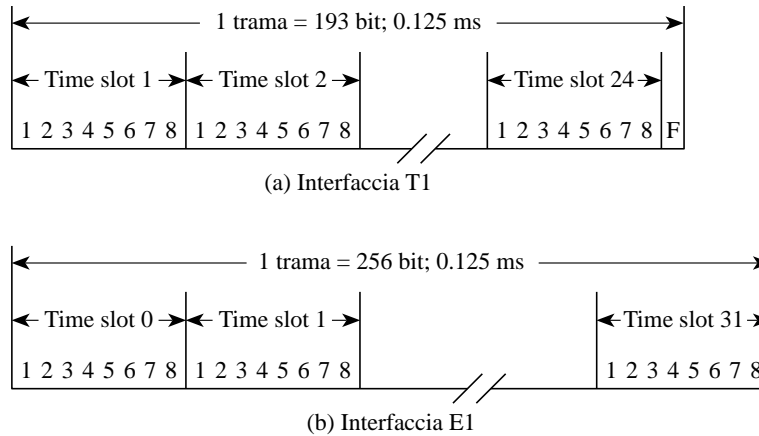
Per trasportare un canale telefonico tramite un flusso numerico occorre codificare la voce tramite una tecnica detta PCM (*Pulse Code Modulation*). Il teorema del campionamento (anch'esso dovuto a Nyquist), dimostra che è possibile ricostruire un segnale analogico a partire da una sequenza di campioni, purché questi vengano prelevati dal segnale originale ad una frequenza maggiore o uguale al doppio della massima frequenza dello spettro di potenza del segnale stesso. Un canale vocale filtrato a 3300 Hz dai circuiti telefonici può quindi essere campionato a 8 kHz, prelevando cioè 8000 campioni al secondo (uno ogni 0.125 ms).

Per la trasmissione digitale è poi necessario associare a ciascun campione un valore numerico discreto (quantizzazione). A differenza del campionamento, questa operazione introduce un'errore di approssimazione (rumore), e quindi il numero di bit di ogni campione è funzione della qualità che si vuole ottenere: l'Europa ha scelto di operare con campioni da 8 bit, mentre gli USA hanno scelto campioni su 7 bit. La velocità di un canale telefonico digitale è quindi 64 Kb/s in Europa e 56 Kb/s negli USA.

Più canali numerici (detti tributari) possono essere raggruppati mediante tecniche TDM per formare canali più veloci (detti canali multipli). Le modalità di moltiplicazione sono specificate da due gerarchie: la gerarchia plesiocrona (descritta in questo paragrafo) e la gerarchia sincrona (descritta nel prossimo paragrafo).

La prima trama della gerarchia plesiocrona (*PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy*) è negli USA la trama T1, mentre in Europa è la trama E1 (figura 12.22). Si noti come la durata delle due trame sia sempre pari a 0.125 ms, pari alla durata di un campione PCM.

La trama T1 permette l'invio di 24 canali tributari a 64 Kb/s su un canale multiplo a 1.544 Mb/s, di cui 1.536 Mb/s sono utilizzati per la trasmissione dei dati e 8 Kb/s per le informazioni di sincronismo (bit F: *Framing*). I canali tributari della trama T1 possono essere utilizzati a 56 Kb/s (soluzione idonea nel caso di canali telefonici digitali) lasciando libero l'ottavo bit che può essere dedicato a funzioni di segnalazione, oppure a 64 Kb/s (soluzione migliore nel caso di trasmissione dati) dedicando un intero canale tributario alle funzioni di segnalazione.

**Fig. 12.22** - Gerarchie plesiocrone e sincrone.

La trama E1 (il cui codice tecnico è G.703/732) prevede la trasmissione di 32 canali a 64 Kb/s, di cui uno riservato al sincronismo e uno alle informazioni di controllo (tabella 12.9).

Time slot	Tipo di informazione
0	Sincronismo
1 - 15	Dati e canali telefonici PCM
16	Controllo
17 - 31	Dati e canali telefonici PCM

**Tab. 12.9** - Canali trama E1.

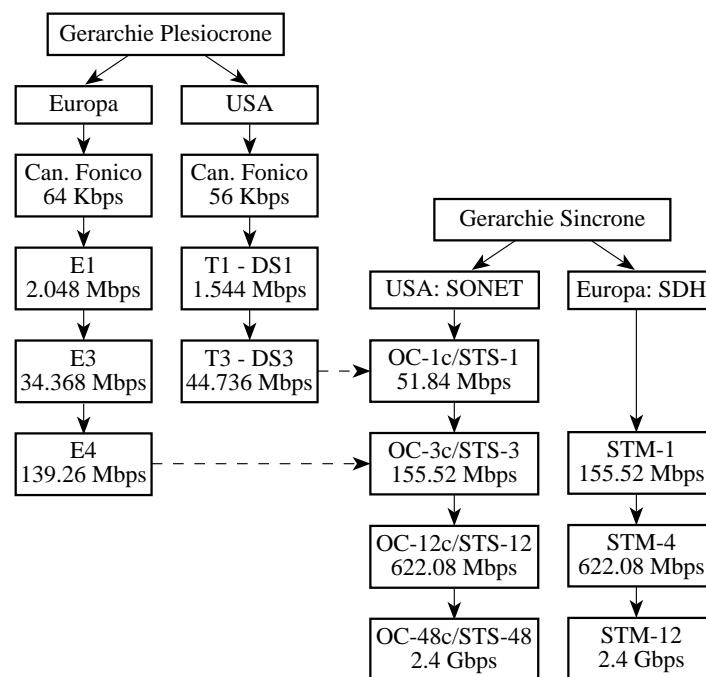
La trasmissione dati su flussi della gerarchia plesiocrona può avvenire in due modalità: non strutturata o strutturata.

Nel collegamento non strutturato, l'apparecchiatura di interfaccia, normalmente collegata alla centrale mediante due cavi coassiali, uno per la trasmissione ed uno per la ricezione, fornisce un flusso a 2.048 Mb/s (1.544 Mb/s negli USA) senza imporre alcuna struttura di trama. L'unico vincolo è la necessità di sincronizzarsi al clock di trasmissione fornito dall'interfaccia.

Nel collegamento strutturato, invece, è necessaria la conformità alla struttura di trama E1 (T1). È anche possibile non utilizzare tutti i 30 (23) canali tributari disponibili, ottenendo canali a velocità  $n \cdot 64$  Kb/s, ed in tal caso si parla di

collegamento strutturato partizionato (G.704). L'apparecchiatura di interfaccia (convertitore G.704/V.35) è programmabile per estrarre dalla trama E1 (T1) i canali destinati all'utente il quale può, per esempio, collegarsi ad essa mediante un'interfaccia V.35 a 256 Kb/s.

La figura 12.23 mostra una schematizzazione delle gerarchie plesiocrone e sincrone, europee e nord-americane. Sono evidenziate le trame multiple di ordine superiore della gerarchia plesiocrona che sono T3 negli USA ed E3 ed E4 in Europa. Inoltre sono evidenziati i possibili incapsulamenti di trame plesiocrone in trame sincrone.



**Fig. 12.23** - Gerarchie plesiocrone e sincrone.

I limiti principali delle gerarchie PDH possono essere così riassunti:

- mancata unificazione a livello mondiale: esistono due gerarchie (europea e nord-americana) tra loro incompatibili;
- *pulse stuffing*: la relazione di fase tra i diversi canali tributari in una trama multipla è casuale e variabile nel tempo e questo impedisce di inserire od estrarre facilmente un canale tributario se non ricorrendo ad una operazione di demultiplazione completa della trama multipla seguita da una multiplazione dei nuovi tributari;

- topologico: le gerarchie plesiocrone prevedono solo collegamenti di tipo punto-a-punto e questo è collegato alle limitazioni del punto precedente;
- formati di trame diversi per i diversi ordini gerarchici: non esiste un modo standard per ottenere a partire da una trama quella di ordine superiore;
- overhead limitato: nella trama esiste una capacità di trasportare canali ausiliari estremamente limitata che non consente un controllo adeguato della rete in servizio.

## 12.6 SDH (SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY)

Per superare i limiti presenti in PDH è stata introdotta la gerarchia SDH che è unificata a livello mondiale anche se negli USA si chiama SONET e ha anche una velocità di 51.84 Mb/s non presente altrove. I vantaggi principali di SDH/SONET (detto nel seguito per brevità SDH) sono:

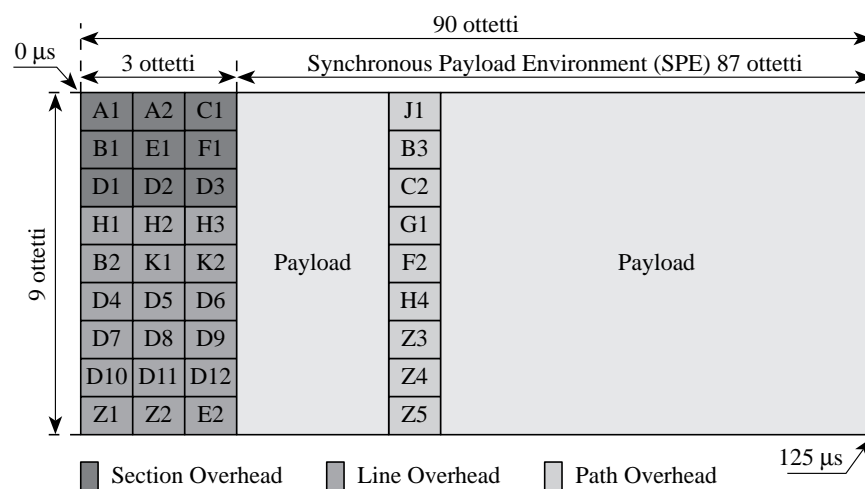
- L'utilizzo di una moltiplicazione sincrona che permette di inserire flussi a bassa velocità (ad esempio 2 Mb/s) in flussi ad elevata velocità (ad es. 2.4 Gb/s) senza dover effettuare una demoltiplicazione e una moltiplicazione completa; analogamente è possibile l'estrazione diretta di un flusso a bassa velocità da uno ad alta. Gli apparati in grado di effettuare queste operazioni sono detti *add/drop multiplexer*.
- La possibilità di trasportare trame PDH all'interno di trame SDH: nella gerarchia europea si inserisce un flusso E4 (140 Mb/s) all'interno di un flusso STS-3 (155 Mb/s), in quella USA si inserisce un flusso T3 (45 Mb/s) all'interno di un flusso STS-1 (51.84 Mb/s), come mostrato in figura 12.23.
- Una topologia di rete ad anello su cui possono essere connessi vari tipi di apparati previsti dallo standard.
- Facilità di gestione: SDH prevede un controllo continuo del tasso di errore e l'integrazione di vari canali ausiliari nelle trame; le procedure di gestione, amministrazione, manutenzione e configurazione, sono a loro volta standardizzate.
- Ambiente multivendor: lo standard SDH consente di ottenere tutti i vantaggi precedenti in una rete formata dall'interconnessione di apparati di costruttori diversi.

L'elemento base di moltiplicazione SDH è una trama che ha un periodo fondamentale di ripetizione pari a 125  $\mu$ s (lo stesso di PDH e della trama PCM per motivi di compatibilità). La struttura di questo frame, che è denominata *Synchronous Transport*

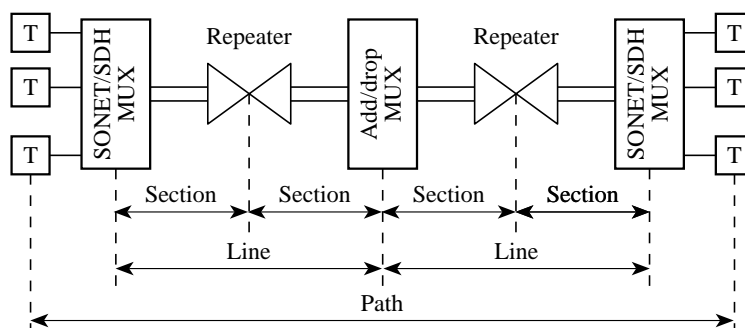
*Signal at level 1* (STS-1), è rappresentata in figura 12.24. STS-1 è costituito da 6480 bit che trasmessi in 125  $\mu$ s corrispondono ad un bit rate di 51.84 Mb/s.

L'informazione è organizzata in byte e suddivisa in 9 righe da 90 byte ciascuna, di cui i primi 3 byte costituiscono un overhead di informazioni di controllo mentre il payload è costituito dai successivi 87 byte. I byte sono trasmessi una riga alla volta partendo dal punto indicato con 0  $\mu$ s.

Lo schema generale di una connessione SDH tra due terminali (*path*) è riportato in figura 12.25. Vengono evidenziati gli add/drop multiplexer che suddividono il path in una o più linee (*line*) e i ripetitori che suddividono una linea in una o più sezioni (*section*).

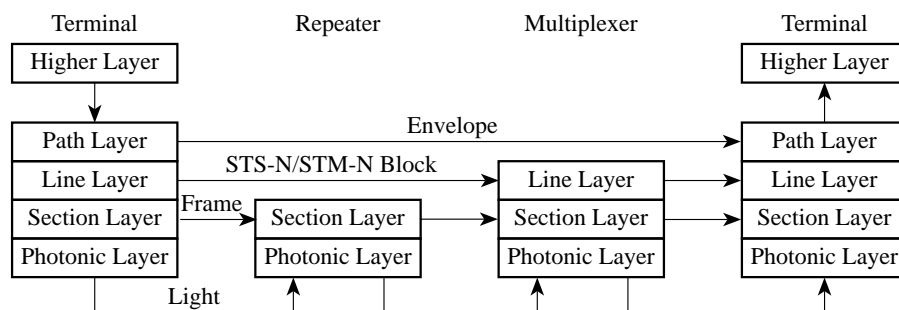


**Fig. 12.24** - Formato della trama STS-1.



**Fig. 12.25** - Gerarchia fisica.

Alla gerarchia fisica di figura 12.25 è associata la gerarchia logica (stratificazione dei protocolli) di figura 12.26.



**Fig. 12.26** - Gerarchia logica.

Si noti che in SDH non esiste un imbustamento classico con una trama formata da un header e un payload, ma piuttosto ogni livello (path, line, section) ha un overhead predefinito nella trama SDH. All'interno della sezione di overhead trovano posto le seguenti informazioni:

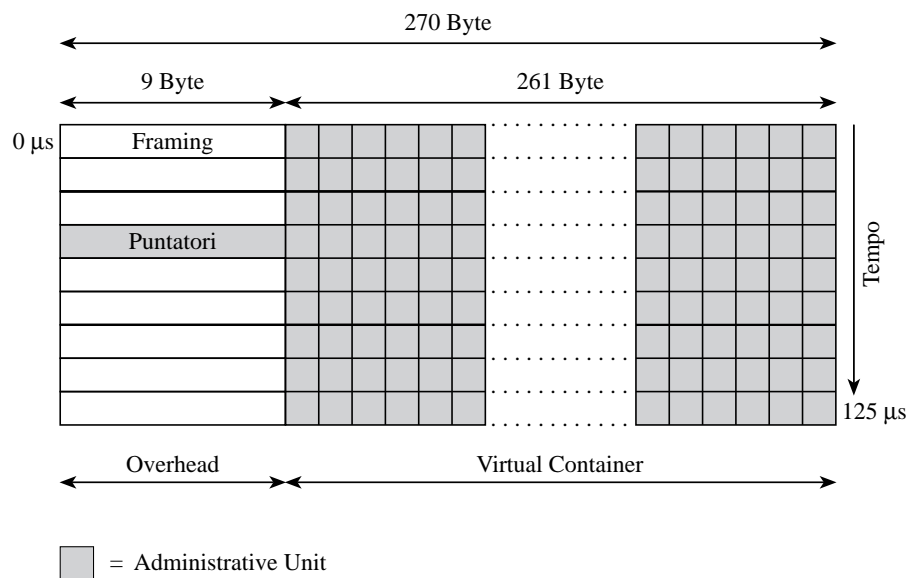
- alcuni byte di framing che servono per determinare l'inizio della trama STS-1;
- i puntatori alle trame dei vari canali multiplati;
- il numero di canali trasportati da un frame per determinare quali sono i puntatori validi;
- informazioni di *Operation And Maintenance* (OAM) che consentono la supervisione e la manutenzione del sistema.

La tabella 12.10 riporta le velocità attualmente definite per SDH e per SONET e le sigle usate per identificarle.

SONET	SDH	Data Rate (Mb/s)
STS-1	STM-0	51.84
STS-3	STM-1	155.52
STS-9	STM-3	466.52
STS-12	STM-4	622.08
STS-18	STM-6	933.12
STS-24	STM-8	1244.16
STS-36	STM-12	1866.24
STS-48	STM-16	2488.32

**Tab. 12.10** - Velocità SDH/SONET.

La prima struttura di trama europea è denominata *Synchronous Transport Module at level 1* (STM-1), ed è rappresentata in figura 12.27. STM-1 è costituito da 19440 bit che trasmessi in 0.125 ms corrispondono ad un bit rate di 155.52 Mb/s. L'informazione è organizzata in byte e suddivisa in 9 righe da 270 byte ciascuna, di cui i primi 9 byte costituiscono un overhead di informazioni di controllo, mentre il payload è costituito dai successivi 261 byte. Si noti come questi valori siano tutti esattamente il triplo dei valori riportati per la trama STS-1 in figura 12.24.



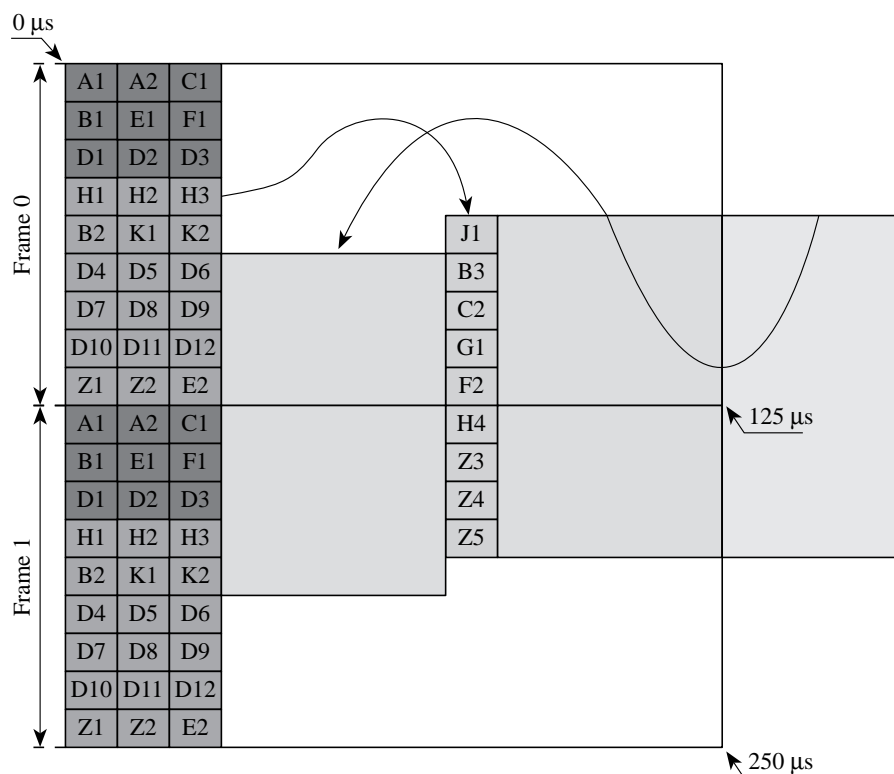
**Fig. 12.27** - Struttura della trama STM-1 di SDH.

La sezione utile al trasporto dei dati ha una capacità di  $261 \times 9 = 2349$  ottetti trasmessi in 0.125 ms equivalenti a circa 150 Mb/s e viene chiamata *Virtual Container* (VC). Questo nome è dovuto al fatto che SDH può trasportare tutti i tipi di trama appartenenti a qualunque gerarchia di multiplexazione esistente fino ad un intero canale E4 (140 Mb/s). L'insieme costituito da un Virtual Container e dai relativi puntatori prende il nome di *Administrative Unit* (AU).

Le trame dei vari canali da moltiplicare in STM-1 (payload) possono giungere al multiplexer non allineate nel tempo né tra loro né tanto meno con il Virtual Container. Per risolvere questo problema il multiplexer SDH determina dove inizia la trama di ogni canale e inserisce questa informazione in un *puntatore* della sezione di overhead.



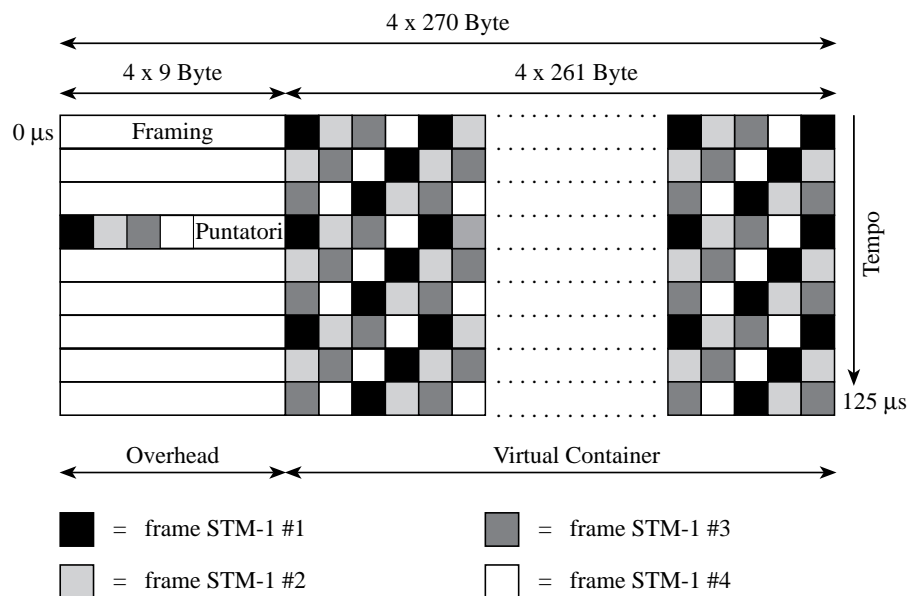
Inoltre, non essendo il payload allineato al Virtual Container, può essere necessario posizionarlo su due trame successive, come mostrato in figura 12.28.



**Fig. 12.28** - Posizionamento di un virtual container su due trame.

Il livello successivo della gerarchia sincrona è il *Synchronous Transport Module at level 4* (STM-4) che ha una capacità di 622 Mb/s, quattro volte superiore a quella di STM-1, pur mantenendo lo stesso periodo di ripetizione di 0.125 ms (figura 12.29).

L'algoritmo di costruzione di una trama di gerarchia superiore a partire da  $N$  trame di gerarchia inferiore si basa sull'interleaving dei singoli byte. Ad esempio, la figura 12.30 mostra come tre trame STS-1 (STS-1(a), STS-1(b) e STS-1(c)) possano essere raggruppate in una trama STS-3. Si noti che i byte della trama STS-3 hanno una durata pari a un terzo di quelli della trama STS-1. L'interleaving può essere meglio compreso analizzando la posizione assunta nella trama STS-3 dai byte a, b, c, d, e, f, g, h, i, l, m e n.



**Fig. 12.29** - Struttura della trama STM-4 di SDH.

Al livello gerarchico successivo la trama STM-16, dotata di una capacità pari a 2.4 Gb/s, viene costruita intercalando quattro trame di livello 4 in un'unica trama di livello 16.



## 12.7 ISDN

ISDN (*Integrated Services Digital Network*) rappresenta l'evoluzione delle reti commutate pubbliche analogiche. Basata sulla tecnologia digitale, offre l'integrazione di servizi di elevata qualità (telefonia digitale, trasmissione dati, telecontrolli e teleallarmi, fax G4, ecc.) attraverso un ridotto numero di interfacce standard. Trattandosi di uno standard internazionale per rete digitale commutata, è possibile collegarsi e usufruire di questi servizi con qualsiasi utente della rete.

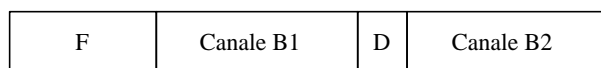
Inoltre, una delle funzionalità più interessanti di ISDN è l'identificazione dell'utente chiamante, che permette di automatizzare numerose procedure di accesso a servizi informatici e fornisce maggiori possibilità di controllo dal punto di vista della sicurezza rispetto alle attuali linee analogiche.

### 12.7.1 Architettura della rete ISDN

La rete ISDN prevede due tipi di accesso: l'accesso base, principalmente concepito per l'utente finale, e l'accesso primario, destinato a centri a loro volta erogatori di servizi, quale un centralino telefonico privato.

#### *Accesso base*

L'accesso base (o "2 B + D") consiste in due canali a 64 Kb/s (detti canali B) e in un canale dati di servizio a 16 Kb/s (detto canale D). La struttura dell'accesso base è riportata in figura 12.31.



**Fig. 12.31** - Struttura dell'accesso base ISDN.

L'accesso base prevede una velocità di trasmissione di 192 Kb/s, di cui 144 utilizzati per i 2 canali B e il canale D, e i restanti 48 per informazioni di controllo e di sincronismo.

Disponendo di due canali telefonici digitali, l'accesso base permette di attivare contemporaneamente due comunicazioni telefoniche, oppure di effettuare un trasferimento dati o inviare un fax durante una telefonata, o di inviare su un canale la voce e sull'altro immagini video compresse (videotelefono).

I dati trasmessi sul canale D sono codificati secondo il formato LAPD (Link Access Protocol D-channel) definito dalla raccomandazione CCITT Q.921, con

formato di trama identico all'HDLC, ma diversa struttura dei campi di indirizzo (si veda il paragrafo 13.5.3).

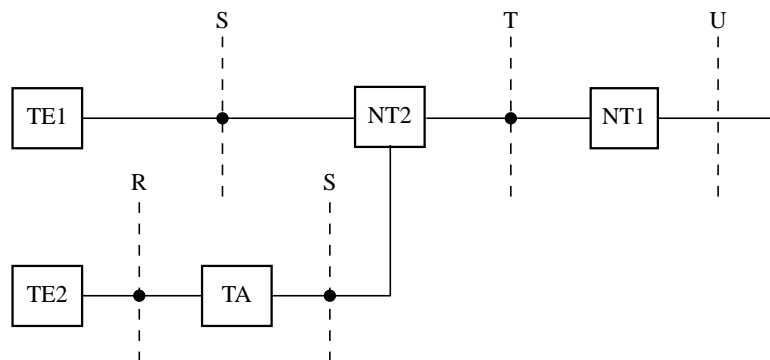
#### *Accesso primario*

Per il collegamento ad utenze particolari, quali i centralini privati (PABX: Private Automated Branch Exchange), è previsto un altro tipo di accesso, detto accesso primario o "30 B + D" (in Europa). Si tratta di un accesso a 1.544 Mb/s negli Stati Uniti (23 canali B più un canale D) e a 2 Mb/s in Europa (30 canali B più un canale D).

Da un accesso primario è anche possibile estrarre canali multipli del canale base B, i cosiddetti canali H. Per esempio, il canale H0 è formato da 6 canali B e fornisce una velocità di 384 Kb/s.

### 12.7.2 Interfacce

ISDN si basa sul principio di definire una serie di punti di riferimento per i diversi tipi di terminali dell'utente. La relazione tra punti di riferimento e interfacce è schematizzata in figura 12.32.



**Fig. 12.32** - Modello di riferimento per le interfacce ISDN.

TE1 è un terminale con interfaccia di rete standard ISDN (detta di tipo 'S') per accesso base o primario, in full-duplex. TE2 è un terminale con interfaccia non ISDN (detta di tipo 'R', per esempio una RS-232), e TA è un Terminal Adapter che converte l'interfaccia non ISDN in interfaccia di tipo 'S'. NT1 (Network Terminator 1) è il punto di riferimento equivalente al livello 1 del modello OSI per ISDN.

L'interfaccia di tipo 'T' rappresenta il punto in cui il fornitore di servizio dà l'accesso ISDN alle apparecchiature dell'utente. NT2 (Network Terminator 2) rappresenta i dispositivi che operano nell'ambito dei primi tre livelli OSI, comprendendo quindi commutazione, impacchettamento dei dati, ecc. Spesso, soprattutto nei paesi in cui vige un regime di monopolio, le apparecchiature NT1 e NT2 sono fuse insieme, per esempio all'interno di un centralino telefonico ISDN.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] J. E. McNamara, "Technical Aspects of Data Communication", third edition, Digital Press, Bedford (MA), USA, 1988.
- [2] G. Held, "Data Communication Networking Devices", Wiley, third edition, 1992.
- [3] C. G. Omidyar, A. Aldridge: "Introduction to SDH/SONET", IEEE Communications Magazine, September 1993
- [4] William Stalling, "ISDN and Broadband ISDN", MacMillan Publishing Company, New York, 1992.