

Capitolo 4:

Le reti telefoniche

Con il nome di reti telefoniche vengono comunemente indicate le reti che storicamente sono state dedicate al trasporto di segnale vocale. Tali reti sono state le prime ad avere diffusione mondiale e si sono sviluppate sempre con riferimento al servizio vocale da trasportare. Con la diffusione delle reti dati, prima di tipo locale poi di tipo geografico, vi è stata una sempre maggiore spinta verso l'integrazione delle reti e dei servizi. Tale integrazione può essere considerata sotto due aspetti: quello delle reti trasmissive e quello delle reti integrate. Per il primo aspetto basta sottolineare che i collegamenti geografici che sono stati sviluppati per le reti telefoniche spesso costituiscono oggi la rete trasmissiva usata dalle reti dati come Internet per l'interconnessione delle reti locali. Il secondo aspetto è un po' più complesso in quanto la definizione di reti che possano supportare servizi voce e dati in modo integrato ed efficiente è stato ed è ancora uno degli obiettivi non completamente raggiunti dal mondo delle telecomunicazioni.

Ad ogni modo, in questo capitolo verranno trattate le problematiche relative alle reti attualmente usate per il trasporto del segnale telefonico dagli aspetti trasmissivi fino alla segnalazione. Per i motivi sopra accennati, alcune degli aspetti presentati sono di interesse anche per il trasporto di altri tipi di informazione come verrà segnalato nel testo.

1. Conversione digitale del segnale vocale

Il trasporto del segnale vocale nella rete telefonica veniva in passato fatto in forma analogica. I moderni sistemi di telefonia sono basati su tecniche numeriche che richiedono che il segnale vocale venga trasformato in forma digitale. La conversione digitale del segnale avviene nella prima centrale nelle reti con accesso analogico e direttamente nell'apparato d'utente nelle reti ISDN con accesso numerico.

I modi nei quali è possibile trasformare un segnale vocale in forma digitale sono molti e dipendono dalla particolare tecnica di codifica adottata e in particolare dalla sua capacità di sfruttare la naturale ridondanza del segnale vocale. Il modo classico di conversione digitale del segnale vocale usato nella rete telefonica fissa, illustrato nel seguito, si basa sui principi del teorema del campionamento, non prevede alcuna riduzione della ridondanza e produce un flusso di 64 kbit/s. Nei sistemi reali, però, vengono usati anche altre tecniche di codifica: ad esempio nel sistema GSM la codifica è a 13 kbit/s, nei telefoni cordless DECT la codifica è a 32 kbit/s come quella di alcune reti telefoniche private, e la codifica che verrà usata nel sistema UMTS sarà a 8 kbits.

La conversione classica del segnale vocale, standardizzata nella raccomandazione ITU G711 PCM (Pulse Code Modulation), si ottiene in due fasi:

- ✓ campionamento
- ✓ quantizzazione

Le frequenze dei segnali vocali si estendono normalmente da 300 Hz a 3400 Hz e si è dunque scelto di considerare una banda nominale di 4 kHz lasciando un sufficiente margine per il filtraggio. Sulla base delle regole di campionamento la frequenza di campionamento risulta pari al doppio della frequenza massima e quindi pari ad 8 kHz. All'uscita del campionamento si ha una sequenza di valori reali del segnale negli istanti di campionamento.

La quantizzazione consiste nella conversione dei valori reali dei campioni in valori discreti in numero pari a 2^b , essendo b il numero di bit usati per campione. Per il segnale PCM si usano 8 bit per campione e quindi il flusso risultante è pari a 64 kbit/s (8 kHz con 8 bit per campione). La conversione in valori discreti avviene

dividendo l'intervallo dinamico del segnale in sottointervalli a ciascuno dei quali è associato un valore numerico. La divisione è detta uniforme se gli intervalli hanno tutti la stessa ampiezza e non uniforme altrimenti. Nella codifica G711 la quantizzazione è non uniforme ed in particolare segue una legge logaritmica che tende ad avere intervalli più corti verso l'origine e intervalli lunghi agli estremi della dinamica in quanto è stata riscontrata una maggiore sensibilità dell'orecchio umano alle piccole dinamiche e una minore sensibilità alle dinamiche ampie.

Naturalmente questo tipo di conversione si adotta solo per il segnale vocale e può non andare bene per altri tipi di segnale. Se si è almeno per una volta ascoltato uno dei brani musicali usati nei centralini come attesa di connessione all'interno richiesto si può comprendere quanto la qualità della riproduzione risulti bassa. Il segnale musicale ha una banda molto più ampia di quella del segnale vocale. A titolo di esempio si consideri la codifica adottata nei CD dove la banda del segnale vocale lorda è assunta pari a 22.05 kHz ($20 \text{ Hz} \div 20 \text{ KHz}$ banda netta dei normali segnali musicali) e la frequenza di campionamento pari a 44.1 kHz. La quantizzazione è effettuata a 16 bit per campione per un totale di 705.6 kbit/s per canale (segnale stereo con canale sinistro e destro).

1.1 Multiplazione PCM

La conversione del segnale vocale in forma digitale nella rete telefonica classica avviene nella prima centrale, e dunque nella rete d'accesso che collega con un doppino l'utente alla centrale il segnale viaggia in forma analogica. Come vedremo, nella rete ISDN la conversione avviene direttamente nel terminale d'utente in quanto anche la rete d'accesso è di tipo numerico.

In base alle raccomandazioni ITU G704 e G705, oltre alla conversione secondo le regole esposte nel paragrafo precedente, avviene anche una prima multiplazione dei segnali a gruppi di 30 (sistema europeo) all'interno di un apparato di centrale detto multiplatore PCM (Figura 1).

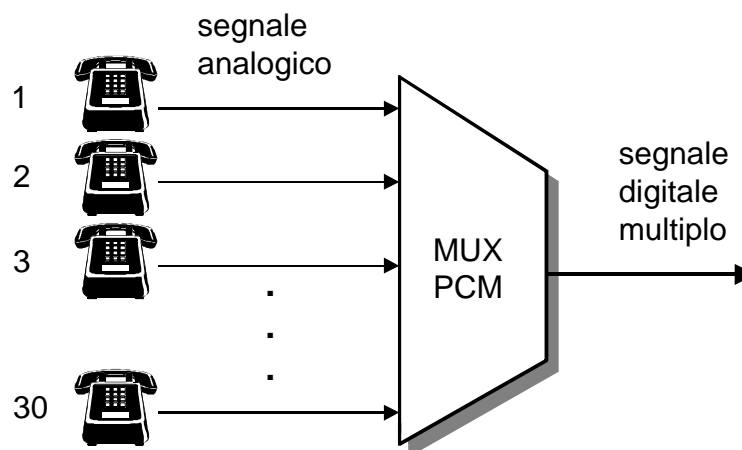


Figura 1: multiplatore PCM

La multiplazione usata è di tipo TDM e la trama ha una durata pari a $125 \mu\text{s}$, esattamente pari al periodo di campionamento del segnale telefonico ($f_c=8 \text{ kHz} \rightarrow T_c=125 \mu\text{s}$). In ogni trama, dunque, ciascun canale inserisce gli 8 bit relativi ad un campione. Il segnale multiplo PCM europeo (E1) ha una velocità di 2.048 Mbit/s, superiore quindi alla velocità aggregata dei 30 canali (30 per 64 kbit/s uguale a 1.920 Mbit/s) in quanto nella trama sono inseriti altri due byte per segnalazione e controllo come mostrato in Figura 2.

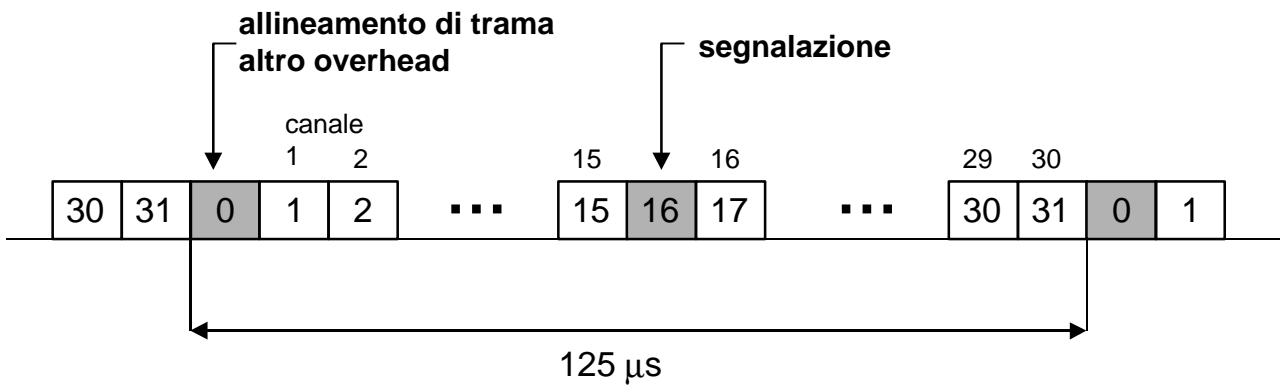


Figura 2: segnale multiplex PCM europeo a 2.048 Mbit/s

Il time-slot 0 contiene alcuni bit per l'allineamento di trama (stessa funzione dei flag dell'HDLC) e alcuni bit di controllo. In particolare a trame alterne vengono trasmessi nello slot 0 due tipi di sequenze di 8 bit: il primo contiene un primo bit riservato e la sequenza di allineamento 0011011. Il bit riservato contiene di solito un bit di un codice CRC calcolato su una sequenza di trame e serve agli operatori a monitorare il tasso medio d'errore. Il secondo tipo di sequenza contiene dei bit per la gestione remota degli allarmi (guasti di interfaccia, caduta di link, ecc.) e altri bit di controllo.

Come si vedrà in seguito, la segnalazione delle reti telefoniche moderne è a canale comune con trasmissione a pacchetto. Resistono ancora però delle reti di segnalazione a canale associato in cui a ciascun canale da 64 kbit/s è associato un piccolo canale per la segnalazione (detto appunto canale associato). Nel caso di segnalazione a canale associato, il time-slot 16 contiene la segnalazione dei 30 canali PCM e la capacità dei canali associati è ottenuta suddividendo la capacità dello slot 16 sempre con tecnica TDM ottenendo 2 kbit/s lordi per canale.

2. Sistemi di trasmissione

I sistemi di trasmissione della rete telefonica servono a trasferire insiemi di canali telefonici, ed in particolare gruppi di segnali multiplex E1, su i più diversi mezzi fisici che possono disporre di elevata capacità. Si tratta dunque di una operazione di moltiplicazione effettuata in modo opportuno in base alle caratteristiche dei segnali telefonici.

I sistemi trasmissivi sono anche usati per il trasporto di altra informazione in quanto di fatto forniscono solo degli schemi di suddivisione della capacità in canali; su tali canali possono viaggiare anche traffici non telefonici come di fatto avviene in molti casi ad esempio per le grosse reti degli Internet Service Provider (ISP). La struttura e le caratteristiche di tali sistemi trasmissivi, però, sono fortemente influenzate dal fatto di essere stati pensati primariamente per la rete telefonica, e per questo motivo vengono presentati in questo paragrafo.

I sistemi trasmissivi della rete telefonica moderna fanno uso di tecniche di moltiplicazione numeriche a divisione di tempo (TDM), anche se resistono ancora reti telefoniche basate su sistemi di moltiplicazione analogica FDM. In Figura 3 è riportato lo schema di un moltiplicatore TDM numerico.

I bit degli N segnali in ingresso, detti tributari, vengono scritti in un buffer d'ingresso con una frequenza di bit istantanea pari alla frequenza del tributario f_i (si indica con f_{i_i} la frequenza del tributario i -esimo). In uscita i bit vengono letti prelevando gruppi di bit dal buffer di ogni tributario in modo ciclico ad una frequenza f_m opportuna determinata dall'orologio locale dell'apparato. Ai bit prelevati dai tributari sono poi aggiunti bit di controllo e segnalazione come ad esempio dei bit di allineamento di trama che servono ad indicare l'inizio della trama. Si distinguono due tipi di moltiplicazione numerica:

- ✓ **multiplazione numerica sincrona:** tutti gli N tributari hanno la stessa frequenza istantanea f_i in rapporto fisso con la frequenza del segnale multiplo $f_m = N f_i (1+r)$, dove r serve per tener conto dei bit di segnalazione e controllo aggiunti.
- ✓ **multiplazione numerica plesiocrona:** ogni tributario ha una frequenza nominale f_i , ma una frequenza effettiva $f_{i'}$ diversa e indipendente sia da quella degli altri tributari sia da quella del segnale multiplo.

Il primo caso è relativo a situazioni nelle quali una opportuna rete di sincronizzazione tiene perfettamente allineati gli orologi di tutti i dispositivi di trasmissione, mentre il secondo caso è relativo al caso in cui gli orologi degli apparati sono indipendenti e solo tarati sui valori delle frequenze nominali. La difficoltà tecnica di costruire un sistema trasmissivo sincrono ha prodotto all'inizio degli anni 70 il sistema di trasmissione PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) ancora largamente usato come sistema di trasmissione per reti telefoniche e non. Successivamente negli anni 80 è stato sviluppato il sistema di trasmissione SDH (Synchronous Digital Hierarchy) che mediante opportuni meccanismi di distribuzione della temporizzazione implementa la multiplazione numerica sincrona.

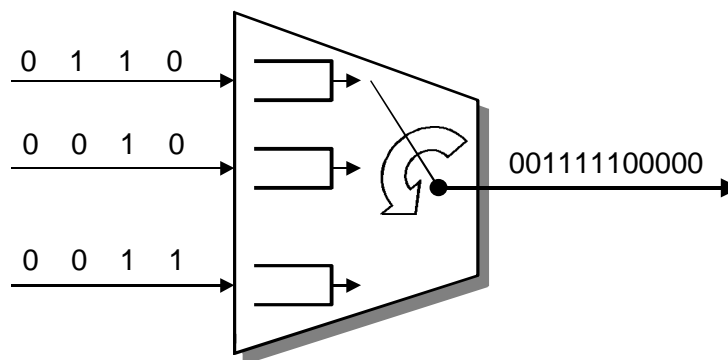


Figura 3: moltiplicatore TDM numerico

2.1 Sistemi di trasmissione PDH

Nella multiplazione numerica plesiocrona la frequenza dei tributari è solo nominalmente pari a f_i , ma il valore effettivo $f_{i'}$ può essere differente entro un margine di tolleranza. Si consideri il caso in cui la costruzione della trama TDM avvenga prelevando in modo ciclico un bit per volta da ogni tributario (interallacciamento di bit). La frequenza di lettura con la quale il moltiplicatore legge i bit da ogni singolo tributario $f_{r0} = f_m / (1+r)$ è scelta in modo tale da essere leggermente superiore alla frequenza massima possibile dei tributari ($f_{r0} = \max(f_{i'})$).

La differenza tra la frequenza di scrittura nel buffer e la frequenza di lettura provoca un lento ma progressivo svuotamento del buffer. Quando il buffer si svuota, o comunque quando si raggiunge una soglia minima di riempimento, in fase di lettura non viene prelevato un ulteriore bit dal tributario, ma vengono aggiunti dei bit di riempimento o di *giustificazione* che consentono di riempire i buchi dovuti alle differenze di frequenza.

Naturalmente, per consentire la successiva demultiplazione del segnale, nella sequenza di trame i bit di giustificazione possono essere inseriti solo in particolari posizioni e l'avvenuta giustificazione viene segnalata mediante opportuni bit di controllo. Tali bit di controllo sono critici, in quanto una loro erronea decodifica porterebbe all'interpretazione di un bit di giustificazione come bit del flusso o viceversa con conseguente perdita dell'allineamento per tutti i bit successivi. Per questo i bit di controllo sono protetti mediante codifica a ripetizione che genera $2k+1$ bit ed è quindi in grado di correggere sino a k errori.

I sistemi di trasmissione PDH sono basati sulla multiplazione numerica plesiocrona ad interallacciamento di bit. In particolare è definita una gerarchia di multiplazione a partire dal segnale multiplo PCM multiplando 4 segnali del livello gerarchico inferiore come mostrato in Tabella 1.

Livello gerarchico	Frequenza nominale	Numero di canali PCM	Note
segnale E1	2.048 Mbit/s	30	Multiplex PCM primario
segnale E2	8.448 Mbit/s	120	Ottenuto moltiplicando 4 segnali E1
segnale E3	34.368 Mbit/s	480	Ottenuto moltiplicando 4 segnali E2
segnale E4	139.264 Mbit/s	1920	Ottenuto moltiplicando 4 segnali E3
segnale E5	564.992 Mbit/s	7680	Ottenuto moltiplicando 4 segnali E4

Tabella 1: la gerarchia PDH europea

In base a quanto indicato nel capitolo 2, la trama consiste nel gruppo di N bit dei tributari. Purtroppo, per quanto riguarda le gerarchie di multiplex numerici con il termine trama viene comunemente indicata una struttura un po' più complessa composta da molti gruppi di bit di tributari e vari bit di controllo e giustificazione come mostrato in Figura 4.

La trama risulta divisa in $2(k+1)$ settori ognuno contenente c_s bits per un totale di c_m bit. Il primo settore contiene v bit di allineamento di trama, w bit di overhead di controllo vario e $c_s - v - w$ bit dei tributari (cicli di N bit di informazione). I settori successivi contengono N bit di controllo di giustificazione, uno per ciascun tributario, e $c_s - N$ bit dei tributari. L'ultimo settore oltre agli N bit di controllo di giustificazione contiene N bit di opportunità di giustificazione.

Nella trama, dunque, sono presenti per ciascun tributario $2k+1$ bit di controllo di giustificazione e 1 bit di opportunità di giustificazione. In trasmissione se il bit di opportunità di giustificazione viene effettivamente usato per un bit di riempimento i bit di controllo sono tutti posti ad 1, sono invece posti a 0 nel caso in cui il bit di opportunità di giustificazione è usato per trasportare un bit informativo. In ricezione si interpreta il bit di opportunità di giustificazione come bit di riempimento se vi sono almeno $k+1$ bit di controllo pari a 1, e come bit informativo altrimenti. Quindi, una cattiva interpretazione avviene solo se vi sono più di k errore sui bit di controllo.

La durata della trama dipende dal segnale multiplo considerato e dalla protezione desiderato contro gli errori (k), e comunque non è ovviamente in relazione alla durata della trama del PCM E1 pari a $125 \mu s$.

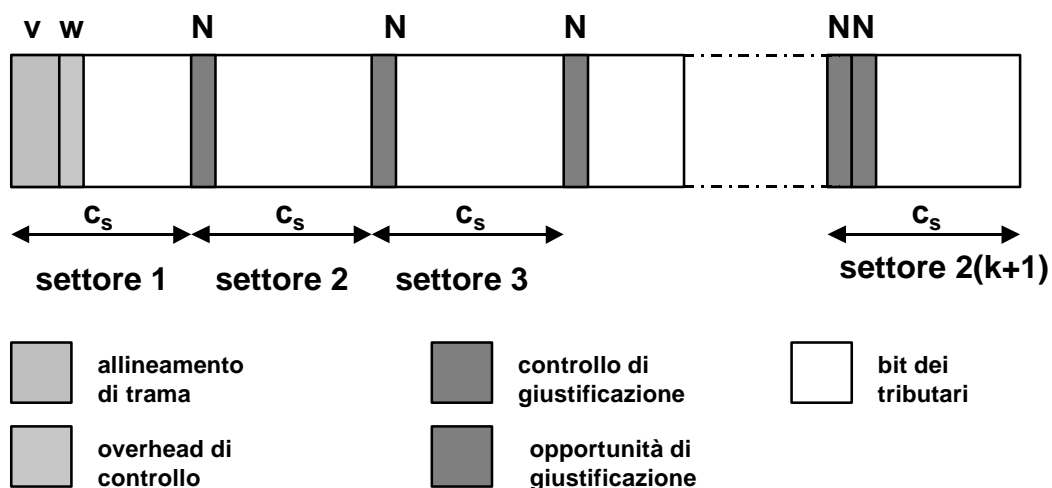


Figura 4: struttura di trama del PDH

La struttura fisica del segnale PDH dipende dal mezzo trasmissivo utilizzato, ma anche se uno sforzo di standardizzazione è stato fatto dall'ITU, molto spesso le interfacce fisiche utilizzate nei sistemi reali sono proprietarie. I mezzi trasmissivi usati vanno dal doppino telefonico per il segnale E1 su corto raggio (max 20

km), ai vari tipi di cavo coassiale utilizzati in passato per collegamenti a lunga distanza, alla fibra ottica e ai ponti radio.

Nonostante che la tecnica PDH abbia rappresentato un grosso passo avanti rispetto alle tecniche analogiche FDM, essa non è esente da problemi. Il principale svantaggio è che l'accesso ad un singolo tributario che si vuole spillare dal flusso richiede la demultiplazione completa di tutto il segnale a causa della tecnica del bit stuffing che impone di conoscere la posizione dei bit di riempimento. Quindi, se si vuole spillare un canale da 64 bit/s da un flusso E4 a 139.264 kbit/s, è necessario allinearsi al flusso E4 e demultiplare i suoi quattro flussi per estrarre l'E3 desiderato, poi allinearsi all'E3 ed estrarre gli E2, allinearsi all'E2 ed estrarre gli E1. Dall'E1 il flusso singolo da 64 kbit/s è immediatamente ricostruibile in quanto il multiplex primario PCM è un flusso multiplex sincrono.

Altri problemi del PDH sono riconducibili alla mancanza della trama di capacità sufficiente per il trasporto di segnalazione di controllo e manutenzione e alla mancanza di metodi automatici per il ripristino del traffico su collegamenti ridondanti di protezione nelle situazioni di guasto.

2.2 Sistemi di trasmissione SDH

Nei moltiplicatori numerici sincroni la frequenza dei tributari è pari a f_i ed è in rapporto fisso con la frequenza del segnale multiplex $f_m = f_i (1+r)$. In realtà il valore della frequenza istantanea dei tributari può essere leggermente differente da f_i ma la media temporale è pari a f_i . In questo caso non è necessario l'uso della tecnica del bit stuffing, ma basta usare delle memorie di ingresso al moltiplicatore per compensare le piccole deviazioni istantanee delle frequenze dei tributari.

I sistemi di trasmissione a gerarchia digitale che stanno sostituendo PDH nei moderni sistemi di trasmissione basati su fibra ottica sono i sistemi SDH (SONET negli Stati Uniti). I sistemi SDH sono basati sulla tecnica di moltiplicazione sincrona, ma possono anche funzionare con tributari asincroni. In quest'ultimo caso però la tecnica del bit stuffing è rimpiazzata da una struttura di trama più evoluta che consente di estrarre i tributari senza dover demultiplare tutto il segnale multiplex.

La trama della gerarchia SDH di primo livello (STM-1 Synchronous Transmission Module at level 1) ha una durata pari a 125 μ s e la sua struttura è mostrata in Figura 5.

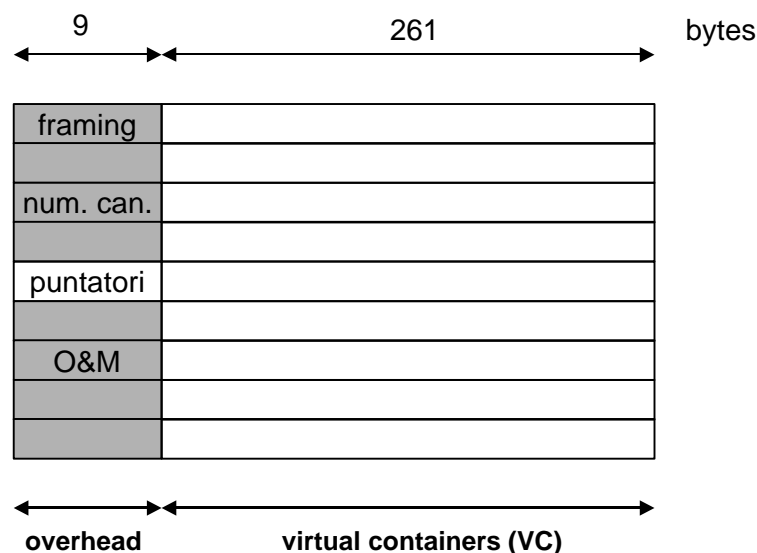


Figura 5: struttura di trama di SDH

La trama è composta da 2430 byte (19440 bit) trasmessi in 125 μ s, ovvero ad una velocità di 155.52 Mbit/s. L'informazione è organizzata secondo una tabella di byte composta da 9 righe e 270 ed è trasmessa riga per

riga cominciando da sinistra. Le prime 9 colonne sono di overhead, mentre le altre 261 contengono i bit informativi veri e propri trasportati in quelli che sono detti virtual containers (VC). I 2349 byte dei VC trasmessi in 125 μ s portano ad una velocità netta di circa 150 Mbit/s.

Nella modalità di funzionamento sincrona, le posizioni dei tributari all'interno della trama sono fisse e le operazioni di moltiplicazione e demoltiplicazione sono semplicemente ottenute con un allineamento con l'inizio di trama. Quando SDH trasporta flussi asincroni la moltiplicazione non avviene inserendo dei bit di riempimento come per PDH, ma la scansione dei buffer dei tributari avviene in sequenza senza interruzione; se il buffer di un tributario risulta vuoto si passa al tributario successivo. Questa modalità è detta *floating* in quanto in questo modo le posizioni dei flussi nella trama non sono fisse ma fluttuano in base alla frequenza effettiva dei tributari. Per poter consentire la successiva ricostruzione dell'informazione dei singoli tributari all'interno dell'header della trama sono inseriti dei puntatori che consentono di individuare la posizione del singolo tributario puntando al suo contenitore virtuale.

I livelli gerarchici superiori sono ottenuti mediante moltiplicazione ad interleaving di byte. In Tabella 1 sono mostrate le gerarchie SDH e SONET.

Livello SDH	Livello SONET	Velocità
-	STS-0	51.840 Mbit/s
STM-1	STS-3	155.520 Mbit/s
STM-4	STS-12	622.080 Mbit/s
STM-16	STS-48	2.48832 Gbit/s
STM-64	STS-192	9.95328 Gbit/s

Tabella 2: Gerarchia SDH e SONET

Lo standard SDH è molto di più di uno standard di moltiplicazione. Esso si spinge fino a definire una struttura di trasporto di flussi che costituisce una vera e propria rete. Il sistema è entrato in uso nel 1994 nella forma SONET americana ed è poi stato implementato secondo anche la versione europea dello standard.

Si tratta di un sistema per la trasmissione di flussi su sistemi in fibra. E' costituito da sezioni fra apparati di moltiplicazione (add/drop) di diversa tipologia in funzione della distanza mutua che può raggiungere 40 Km. Il sistema SDH è fornito di una sua struttura di controllo che, attraverso campi opportuni definiti nelle trame scambia informazioni sul funzionamento degli apparati.

Una novità rispetto ai sistemi preesistenti è che la struttura di SDH può essere configurata in anelli di più sezioni in grado di autoriconfigurarsi velocemente in caso di guasto (meno di 50 ms su anelli di 1200 Km). Ci sono due modi di configurare l'anello. Nel modo "path switching" si usano due fibre, una per ogni senso, e il flusso fra due punti viene inviato su entrambi gli archi. Nel modo "line switching" le fibre sono raddoppiate con una coppia tenuta di riserva. L'instradamento avviene solo su una fibra e in caso di rottura di una sezione il flusso viene reinstradato in senso contrario sulla fibra di riserva in modo da bypassare il guasto come esemplificato in Figura 6. Più anelli possono essere poi collegati a formare diverse strutture WAN.

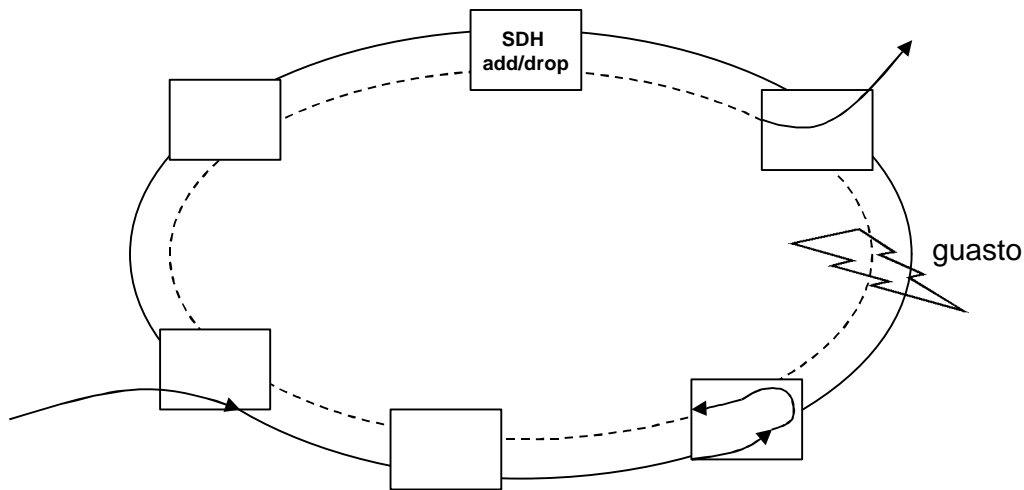


Figura 6: anello SDH

3. La commutazione

La commutazione telefonica è quella funzione tramite la quale nei nodi della rete si instaurano dei cammini fisici (in genere bidirezionali) fra ingressi e uscite del nodo.

Questa funzione è effettuata da *autocommutatori* che sono apparati costituiti da elementi base chiamati *matrici di commutazione*. Una matrice di commutazione $n \times m$ può essere logicamente rappresentata da una griglia di contatti fra le n linee in ingresso e le m linee in uscita (Figura 7) che possono essere aperti o chiusi. Normalmente, si ha la chiusura di al più un contatto per ciascuna linea d'ingresso e ciascuna linea d'uscita.

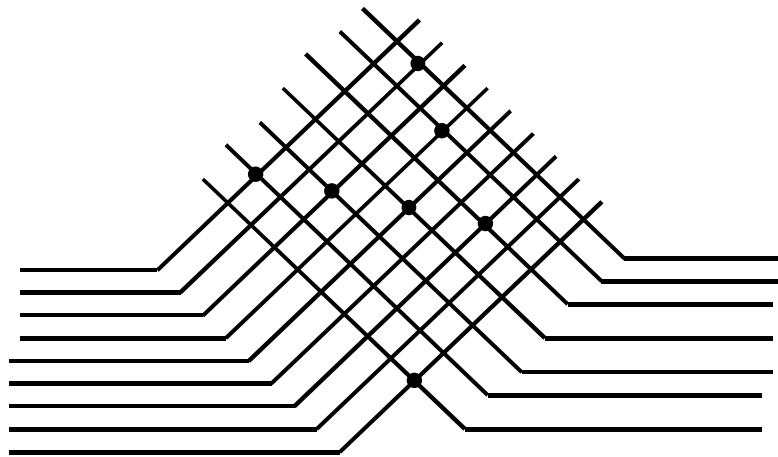


Figura 7: matrice di commutazione

In generale, un autocommutatore per rete pubblica, che possiede un elevato numero di linee entranti ed uscenti N , non viene costituito da un'unica matrice $N \times N$ perché porterebbe ad avere un numero di contatti N^2 enorme. Si utilizzano allora più matrici di commutazione connesse fra loro a formare una *rete di connessione*, che in generale è di complessità molto minore rispetto a N^2 .

Nel costruire le reti di connessione, non sempre si realizza la *piena accessibilità*, ossia la capacità di commutare ogni ingresso su ogni uscita, ma, a volte, si realizzano reti ad accessibilità parziale. In una rete di connessione se è sempre possibile connettere un ingresso libero con una uscita libera allora si dice che la

rete è *non bloccante*, altrimenti si dice che la rete è *bloccante*. La realizzazione di reti non bloccanti comporta una complessità maggiore rispetto a reti bloccanti e perciò, talvolta, si utilizzano queste ultime, anche se, ovviamente, sono progettate per avere una probabilità di blocco sufficientemente bassa. Si dice poi che la rete è strettamente non bloccante se l'assenza di blocco si ha senza dover *riarrangiare* le connessioni già in atto (riconfigurazione della rete di connessione).

La struttura delle reti di connessione è normalmente organizzata a più stadi composti ognuno da gruppi di matrici di commutazione e le cui uscite costituiscono ingressi per lo stadio successivo. Gli ingressi del primo stadio sono gli ingressi della rete, mentre le uscite dell'ultimo sono le uscite della rete.

Un esempio di rete a due stadi pienamente accessibile è mostrato in Figura 8. Una tale rete è pienamente accessibile, ma per renderla strettamente non bloccante occorre che la molteplicità del collegamento d sia:

$$d \geq \min\{n, m\} \quad (1)$$

Infatti, basta osservare che di collegamenti tra una generica matrice del primo stadio e una del secondo ci sono esattamente d circuiti: se $n > m$, affinché un qualsiasi ingresso libero del generico primo stadio possa essere associato all'ultima libera uscita del secondo stadio è necessario che d sia almeno pari ad m ; viceversa nel caso di $n < m$. La complessità (numero di contatti) risulta:

$$C_2 = ndr_2r_1 + dr_1mr_2 \quad (2)$$

che nel caso simmetrico in cui sia $n=m$, $r_1=r_2$ e $d=n$ risulta $C_2=2N^2$, addirittura con un peggioramento rispetto al caso di un'unica matrice $N \times N$.

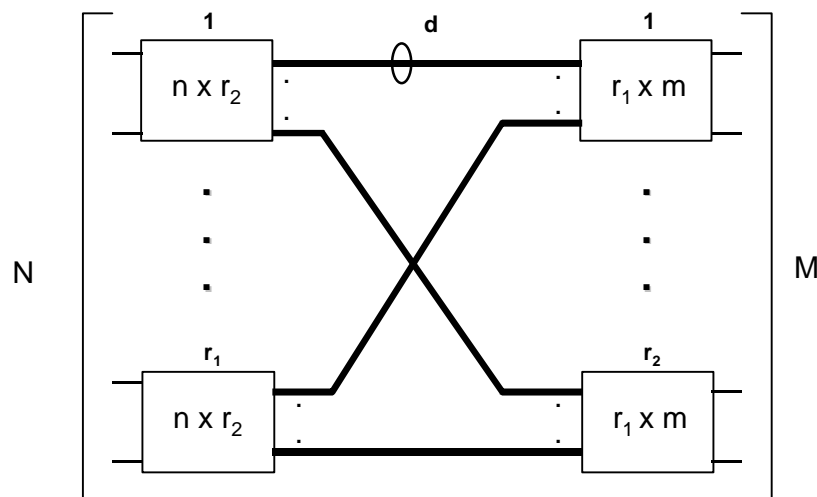


Figura 8: rete di connessione a due stadi

Un esempio di pienamente accessibile a tre stadi è mostrato in Figura 9. Una classe di queste reti che risulta strettamente non bloccante è la classe delle *reti di Clos*. Con riferimento alla Figura 9, le reti di Clos sono caratterizzate dall'imporre:

$$r_2 = n + m - 1 \quad (3)$$

La complessità di una rete di Clos $N \times N$ risulta:

$$C_3 = (2n-1)(2nr_1 + r_1^2) = (2n-1) \left(2N + \frac{N^2}{n^2} \right) \quad (4)$$

Vista come funzione di n , la complessità ha un minimo per $n \cong \sqrt{N/2}$ che corrisponde a

$$(C_3)_{\min} = 2(2N)^{3/2} - 4N \quad (5)$$

e si vede che si ha convenienza rispetto alla singola matrice per $N > 24$.

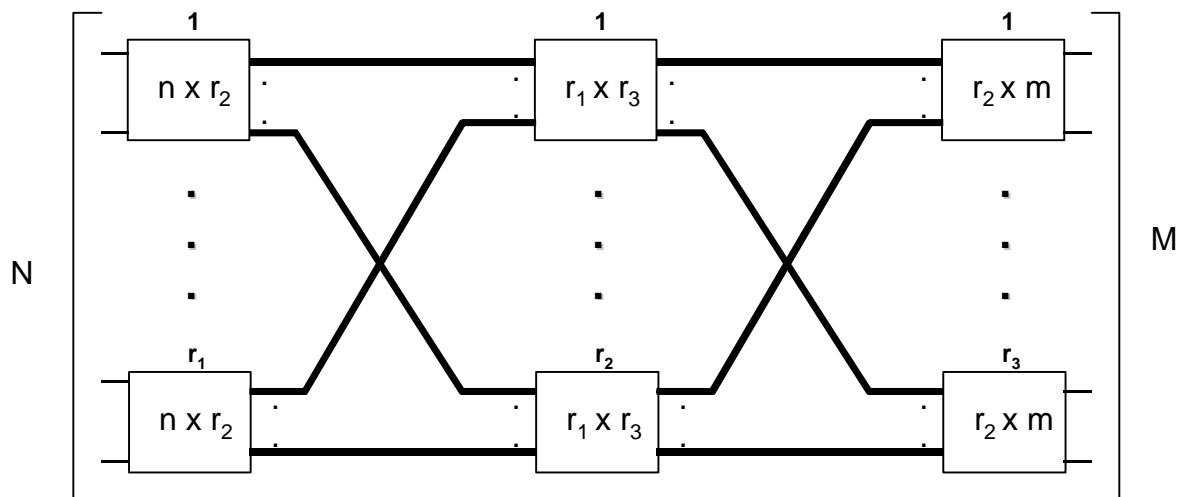


Figura 9: rete di connessione a tre stadi

Le reti di Clos possono essere utilizzate per strutture ricorsive di reti con un numero dispari s di stadi. Nel caso di $N=M$ e di stadi uguali (reti di Clos omogenee), ovvero sia $s=2t+1$ e $n=N^{1/(t+1)}$, è possibile dare in modo agevole l'espressione della complessità. Nella Tabella 3 viene riportata la complessità di queste strutture in funzione di N e s .

N	s=1	s=3	s=5	s=7	s=9
100	10.000	5.700	6.091	7.387	9.121
200	40.000	16.371	16.016	18.898	23.220
500	250.000	65.582	56.685	64.164	78.058
1.000	1.000.000	186.737	146.300	159.905	192.571
2.000	4.000.000	530.656	375.651	395.340	470.292
5.000	25.000.000	2.106.320	1.298.858	1.295.293	1.511.331
10.000	100.000.000	5.970.000	3.308.488	3.159.700	3.625.165

Tabella 3: complessità delle reti di Clos omogenee

3.1 Autocommutatori numerici

La struttura degli autocommutatori utilizza le reti di commutazione viste nel paragrafo precedente. Le matrici di commutazione potrebbero essere costruite effettivamente con linee e punti di contatto (in questo caso si parla di matrici *crossbar*), tuttavia le matrici che si costruiscono oggi sono a divisione di tempo, ossia sono fatte per commutare dei flussi multiplati TDM anziché delle linee monocanale. In particolare si costruiscono oggi due tipi di matrici, le *matrici temporali*, o matrici T, e le *matrici spaziali* o matrici S, entrambe operanti su flussi TDM.

La matrice T è un apparato che opera su un unico flusso TDM operando una commutazione temporale, ossia spostando l'allocazione degli slot temporali fra il flusso d'ingresso e quello d'uscita. Sono possibili due tipi di architetture simplex, ossia a senso unico. La prima architettura, detta a scrittura sequenziale e a lettura indirizzata (random), scrive i byte del TDM in modo sequenziale in una *memoria di segnale* che ha tante posizioni n quanti sono gli intervalli elementari della trama TDM. Il flusso in uscita a m posizioni viene

costruito andando a leggere le posizioni k_1, k_2, \dots, k_m della memoria di segnale, essendo queste posizioni contenute nelle m celle della *memoria di comando*, opportunamente disposta al momento della chiamata (Figura 10).

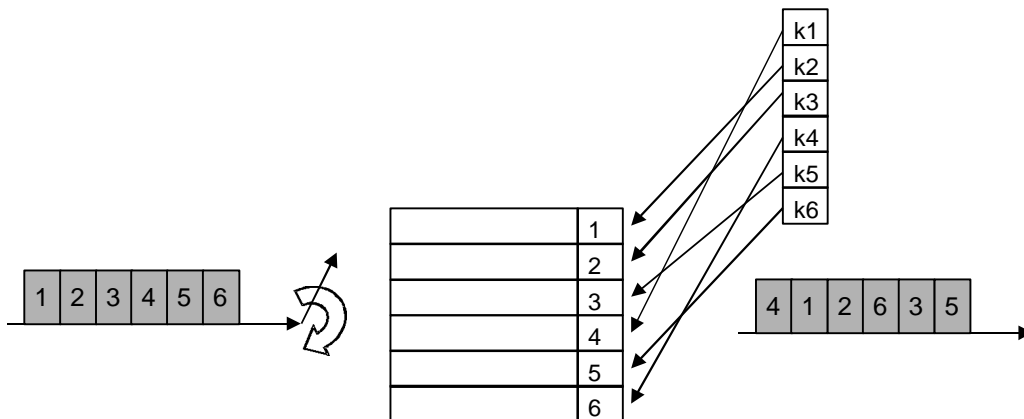


Figura 10: commutazione temporale a scrittura sequenziale e lettura indirizzata

E' possibile anche un'architettura duale, a scrittura indirizzata e a lettura sequenziale e una struttura duplex con memorie di segnale per i flussi opposti.

La matrice S opera la commutazione spaziale su flussi TDM, ossia commuta il contenuto di uno slot (j) del flusso d'ingresso sullo stesso slot (j) di un qualunque altro flusso d'uscita. E' in pratica il funzionamento TDM della matrice a punti d'incrocio, in cui i punti di incrocio sono chiusi solo per il tempo atto a commutare uno slot, potendosi chiudere punti di incrocio diversi in slot diversi. Anche qui una memoria di comando contiene, per ogni slot, lo stato dei punti di incrocio.

La matrice S da sola non è in grado di commutare in modo completo tutti i canali dei flussi in ingresso. Per fare questo occorre che sia accoppiata a uno o più stadi T . Le possibili configurazioni sono indicate in Tabella 4.

Numero di stadi	Configurazioni
2	ST/TS
3	STS/TST
4	STTS/TSST
5	SSTSS/TSSST
6	STSSTS/TSSSST

Tabella 4: Configurazioni delle possibili reti di connessione a divisione di tempo e spazio

Come esempio, in Figura 11 è riportata una rete di Clos TST per tre flussi PCM realizzata con il primo stadio formato da tre matrici T 32×63 , un secondo stadio costituito da una matrice S 3×3 a 63 slot (visualizzata come 63 matrici per una equivalenza grafica con le matrici di commutazione viste precedentemente) e un terzo stadio T uguale al primo. Dualmente, in Figura 12, si è utilizzata una configurazione STS dove il primo stadio è formato da una matrice S 3×5 a 32 slot (anche qui visualizzata come 32 matrici per l'equivalenza), il secondo da 5 matrici T 32×32 e il terzo stadio come il primo.

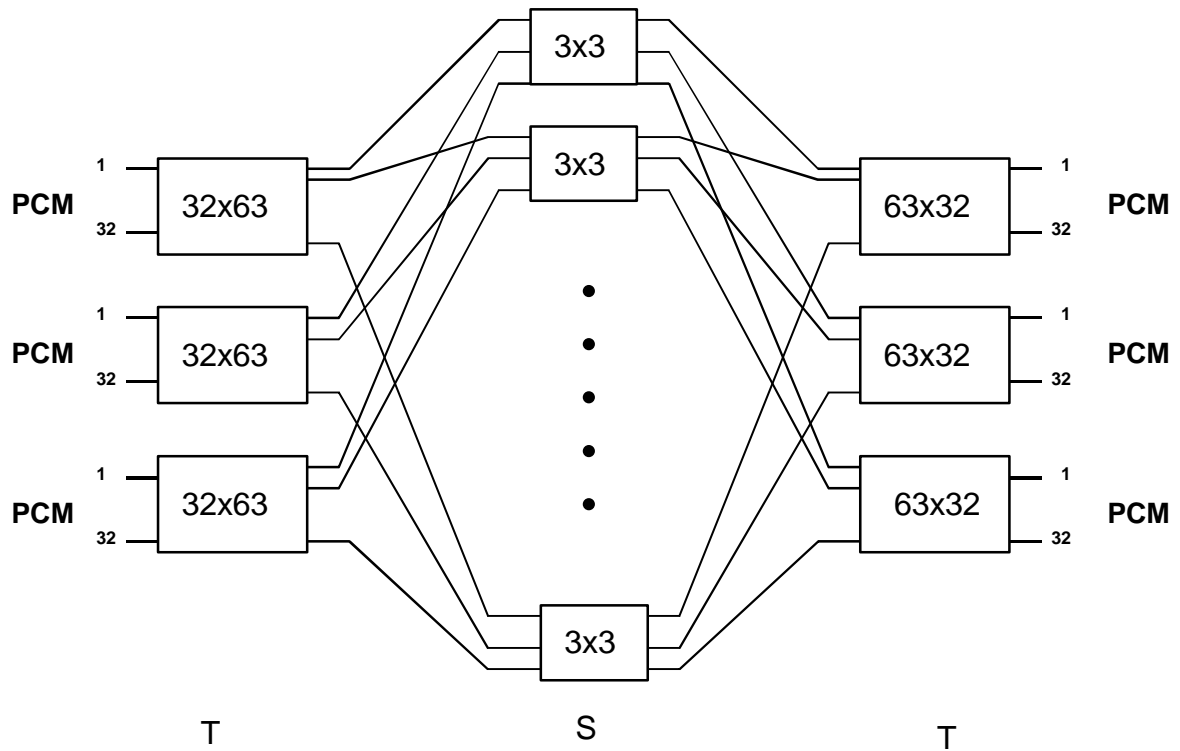


Figura 11: equivalente di rete di Clos a tre stadi nella configurazione TST

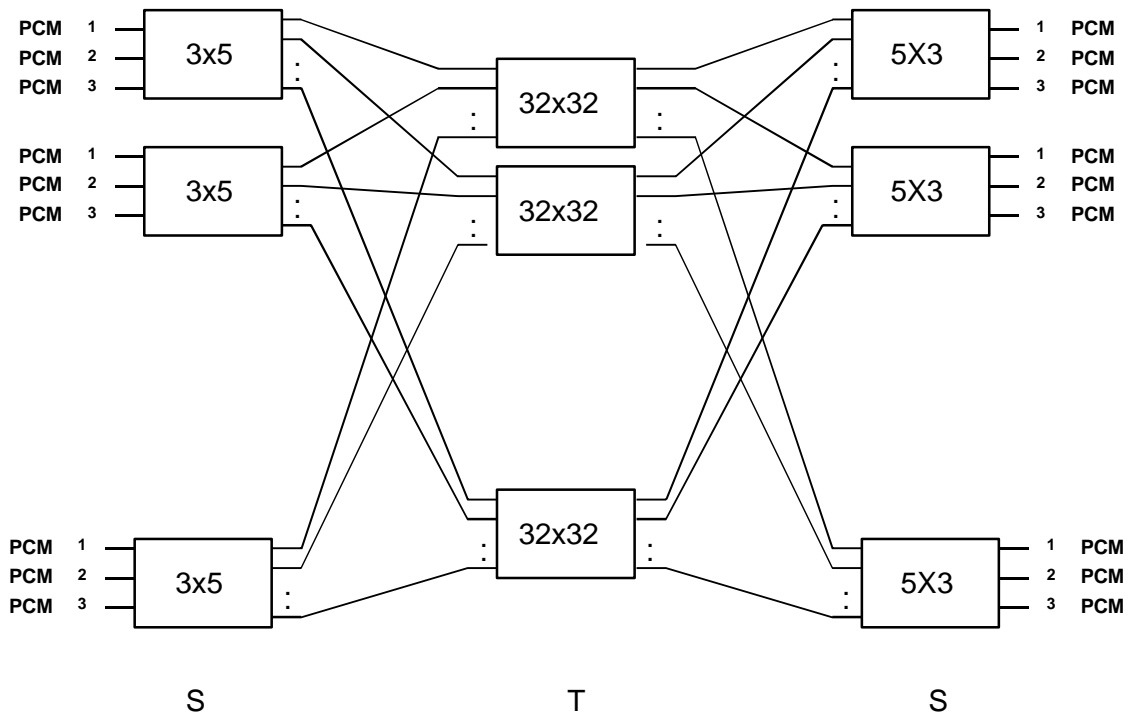


Figura 12: equivalente di rete di Clos a tre stadi nella configurazione STS

3.2 Le centrali telefoniche

A conclusione del paragrafo è utile descrivere brevemente l'architettura delle centrali facendo solo riferimento alle reti di commutazione.

In generale dobbiamo distinguere fra le centrali terminali, interfacce di rete verso gli utenti in grado di fare commutazione locale e di instradare verso la rete telefonica, e le centrali di transito, nodi della rete vera e propria, che non servono nessun utente.

Nel primo caso la rete di commutazione deve servire gli utenti stessi e le giunzioni di rete. Tuttavia, dato il basso carico diretto delle linee di utente è conveniente anteporre alla rete di commutazione vera e propria (stadio di distribuzione) uno stadio di *concentrazione* $n \times m$, $n > m$, in modo da far operare gli apparati a valle su linee maggiormente cariche.

Simmetricamente, in uscita verso gli utenti, lo stadio di distribuzione è seguito da uno stadio di *espansione*. Nelle reti attuali tutti questi stadi sono numerici. Se la linea d'utente non è già numerica (ISDN) all'arrivo in centrale si opera una conversione in PCM e lo stadio di concentrazione costruisce direttamente flussi a 2 Mb/s. Tali flussi vengono poi commutati direttamente dallo stadio di distribuzione.

Le centrali di transito ricevono già flussi TDM multiplati e operano direttamente su questi tramite matrici quadrate.

4. Architettura ed instradamento

L'architettura della rete è definita dalla dislocazione geografica delle centrali telefoniche, dai fasci che le connettono e dalla loro molteplicità (numero di circuiti). L'architettura della rete telefonica è comunemente divisa nella *parte d'accesso* e nella *parte di transito* (Figura 13). La parte d'accesso è costituita dalle connessioni d'utente che collegano i punti d'accesso alla rete dove sono connessi i terminali d'utente (telefoni, fax, ecc.) alla prima centrale (centrale terminale). I punti d'accesso distribuiti sul territorio sono divisi in aree servite dalle centrali terminali della rete telefonica. La parte di transito è costituita dalla rete di centrali di transito che ha il compito di fornire la connettività alle centrali terminali.

Definire un'architettura ottima di una rete telefonica, noto il traffico che deve servire, è un compito possibile anche se molto complesso. Nella pratica i vincoli tecnici sono solo una parte dei vincoli che il progettista deve tenere in conto e quindi l'architettura che ne risulta è il frutto di scelte dettate spesso da criteri euristici. Quando tra due nodi esiste un forte traffico risulta conveniente un collegamento mediante un fascio diretto di circuiti; se ciò è vero per tutti i collegamenti l'architettura che ne risulterebbe sarebbe una maglia completa. Se invece il traffico non è molto elevato può essere conveniente collegare più nodi mediante un unico nodo che funga da transito per tutti; in questo caso l'architettura risultante è una stella.

Nel caso di collegamento mediante un nodo di transito, il centro stella assume il significato di nodo di livello gerarchico superiore. Se il principio del collegamento a stelle è applicato a gruppi di nodi terminali relativi ad una certa area è possibile costruire la rete collegando tra loro i nodi di transito. Il tipo di collegamento tra i nodi di transito può essere anch'esso ispirato dagli stessi principi e può ad esempio portare alla costruzione di un livello gerarchico superiore. La rete complessiva che ne risulta può dunque essere formata da più livelli gerarchici. In Figura 14 è mostrata una possibile architettura gerarchica della rete telefonica ancora in uso in porzioni della rete italiana di alcuni operatori. Attualmente la struttura della rete telefonica è in evoluzione e la tendenza è l'abbandono della struttura rigidamente gerarchica per l'adozione di strutture più varie e complesse in grado di adattarsi in modo più flessibile alle esigenze del traffico.

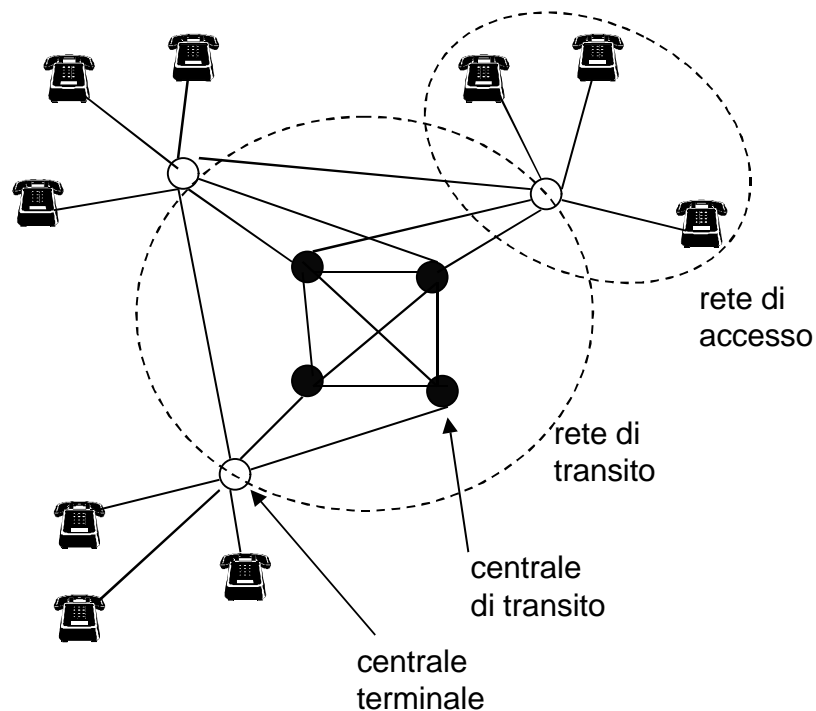


Figura 13: parte di accesso e parte di transito della rete telefonica

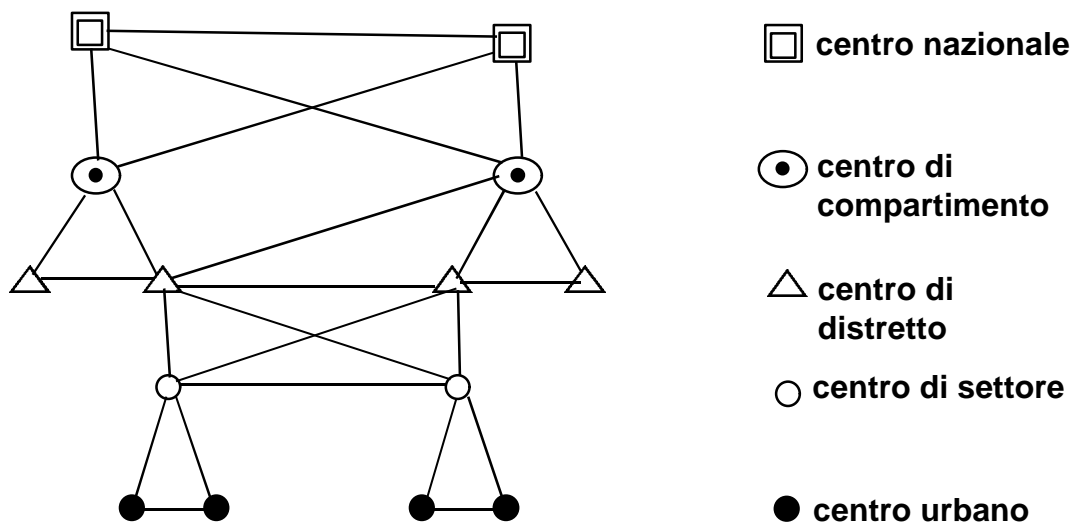


Figura 14: struttura gerarchica della rete telefonica

Tutte le volte che la richiesta di una nuova chiamata viene rivolta alla rete mediante le tecniche di segnalazione cui verrà fatto cenno nel seguito, occorre determinare se esiste un cammino sul quale la chiamata potrebbe essere inoltrata verso la destinazione. Il problema della ricerca del cammino è relativo alla funzione di instradamento che può essere svolta dalla rete utilizzando procedure ed algoritmi diversi.

La procedura di instradamento ottima è definibile come quella in grado di bloccare una chiamata se e soltanto se non vi è alcun cammino in rete con circuiti disponibili in grado di connettere gli utenti interessati e in grado di distribuire il traffico in rete in modo da minimizzare la probabilità che una chiamata debba essere bloccata. Nella pratica una procedura ottima non è utilizzabile a causa della complessità algoritmica e della necessità di centralizzare l'esecuzione del processo di scelta del cammino. Le procedure adottate in

pratica sono sub-ottime, ma consentono di distribuire l'esecuzione nelle parti di controllo di tutte le centrali interessate. In Figura 15 è mostrato un esempio di differenti criteri di instradamento in una semplice rete con 4 nodi e 4 circuiti per fascio. Nell'esempio (a) le chiamate da A verso D vengono tutte instradate sul cammino ACD. In questo caso una volta esauriti i circuiti del cammino (4 nell'esempio) le chiamate possono essere bloccate (unico instradamento fissato) o instradate sul cammino ABD (*trabocco* del traffico su un altro cammino). In quest'ultimo caso le chiamate A-D non sono bloccate se non quanto tutti i possibili circuiti sono esauriti, ma la scelta dell'instradamento che favorisce in prima scelta il cammino ACD ha delle conseguenze sugli altri traffici. Infatti nel caso in cui 4 chiamate siano già in corso tra A e D, risulta impossibile instradare chiamate tra A e C e tra C e D. Nell'esempio (b) si è mostrato invece in criterio di scelta che tende a distribuire il traffico sui circuiti disponibili usando in modo alternato sia il cammino ABD che il cammino ACD. In questo caso con 4 chiamate in corso tra A e D tutte le altre relazioni di traffico possono ancora accettare chiamate. Si può dimostrare che nel caso di traffico uniforme (uguale intensità di traffico per tutte le relazioni) la procedura che distribuisce il carico porta ad una minore probabilità di blocco delle chiamate.

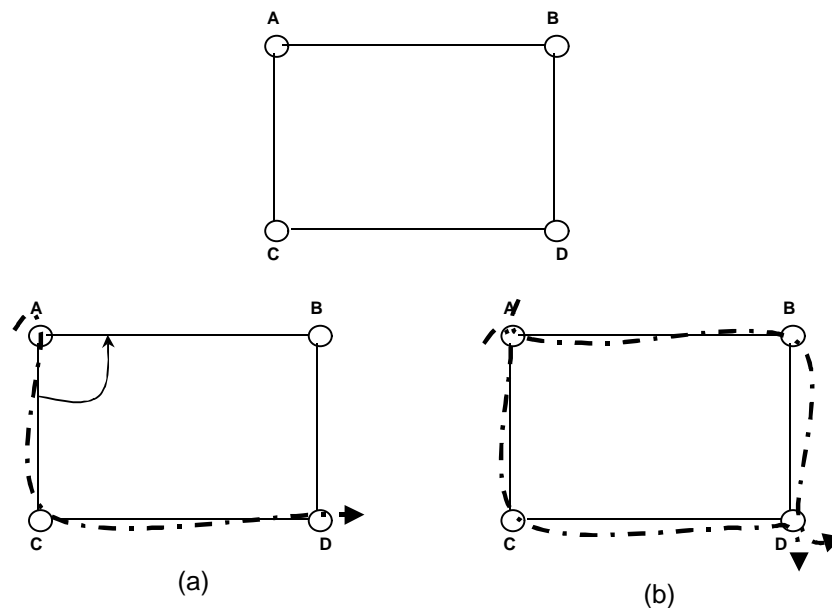


Figura 15: esempio di procedure di instradamento

Nonostante la distribuzione del traffico sui circuiti sia spesso la scelta migliore, la maggior parte delle procedure adottate in pratica è basata sul criterio di instradamento fisso a trabocco dell'esempio (a). Anche in relazione a tale criterio sono possibili due modalità alternative:

- ✓ selezione passo passo
- ✓ selezione coniugata

Nel primo caso la scelta del cammino viene effettuata ad ogni nodo ed ogni nodo adotta un criterio a trabocco. Come conseguenza il trabocco avviene solo tra cammini che hanno in comune il percorso fino al nodo che decide il trabocco. Nella selezione coniugata, invece, la scelta è del cammino è di tipo globale e il trabocco può avvenire anche tra cammini che non hanno parti in comune.

Per una migliore comprensione si consideri l'esempio riportato in Figura 16 dove il traffico tra D e C è instradato in prima scelta fascio diretto 1. Se il fascio diretto è saturo la selezione passo-passo impone al nodo D di scegliere un fascio alternativo che, nell'esempio, è il fascio 2 se vi sono circuiti disponibili. Una volta instradata la chiamata sul fascio 2 il controllo passa al nodo B che ha come unica scelta quella di instradare sul fascio 3. Se il fascio 3 è saturo la chiamata viene bloccata. Se anche il fascio 2 è saturo il nodo D può instradare sul fascio 4 passando il controllo al nodo A che ha successivamente la scelta di instradare sul fascio 6 se vi sono circuiti liberi o sul fascio 5. In ogni passaggio del controllo da un nodo ad un altro la chiamata può essere bloccata se non vi sono circuiti disponibili sui fasci d'uscita.

Appare evidente come la selezione passo-passo possa portare al blocco di una chiamata anche se nella rete esistono cammini con circuiti disponibili. Si consideri ad esempio il caso in cui il fascio 1 è saturo mentre il fascio 2 ha circuiti disponibili: in questo caso una chiamata da D a C è instradata sul fascio 2. Se, però, il fascio 3 è saturo a causa di altre relazioni di traffico (ad esempio il traffico B-C), la chiamata viene bloccata anche nell'ipotesi che il cammino attraverso i fasci 4 e 6 abbia circuiti disponibili.

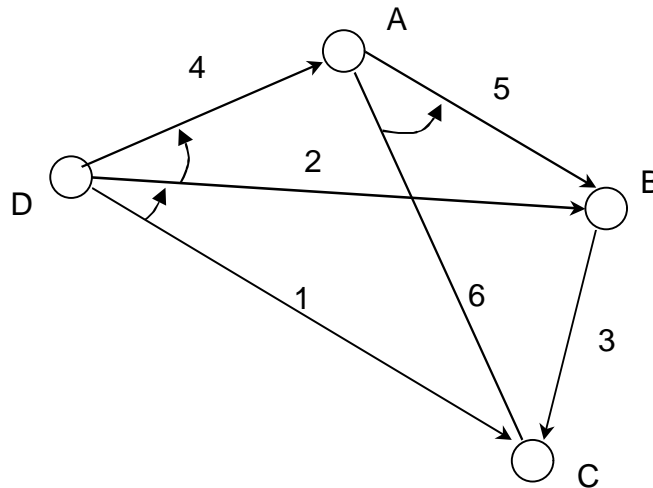


Figura 16: esempio di criterio a trabocco

Nel caso di selezione coniugata la scelta può avvenire tra interi cammini alternativi mediante una selezione globale. Ad esempio le scelte alternative possono essere nell'ordine [1] - [2, 3] - [4, 6] - [4, 5, 3]. Con questa modalità di selezione nell'esempio precedente nel quale il fascio 2 ha circuiti disponibili mentre il fascio 3 è saturo, la chiamata da D a C non viene bloccata ma instradata attraverso il cammino alternativo [4, 6].

E' evidente che la selezione coniugata è di più complessa implementazione perché richiede che il controllo non venga passato da un nodo al successivo, ma venga mantenuto un qualche controllo di tipo centralizzato (ad esempio da parte della centrale d'origine).

Nella pratica le procedure comunemente adottate sono di tipo passo-passo. In ogni nodo sono memorizzati dei piani di instradamento per ogni relazione di traffico che prevedono l'elenco dei fasci possibili in ordine di scelta. I piani di instradamento possono essere fissi o dinamici. Nel secondo caso i piani di instradamento possono variare in base a vari fattori. Ad esempio possono essere predisposti in rete piani di instradamento differenti in base a delle fasce orarie (instradamenti dinamici dipendenti dal tempo) o, addirittura, in base alle condizioni di traffico (instradamenti adattativi).

5. ISDN

5.1 Accesso analogico e accesso digitale

La parte d'accesso della rete telefonica classica (si veda Figura 13), quella che attualmente maggiormente utilizzata per uso domestico, è di tipo analogico. Ciò vuol dire, come già accennato nel paragrafo 1, che il terminale d'utente emette un segnale analogico che viene convertito in numerico nella prima centrale mediante un moltiplicatore PCM. La conversione numerica PCM è pensata per trattare segnali analogici generato dalla voce umana e quindi la conversione viene fatta considerando una banda lorda del segnale di 4 kHz ed applicando le regole del teorema del campionamento. Dato che la conversione sfrutta, di fatto, come unico parametro del segnale la sua ampiezza di banda, è possibile pensare di trasportare sulla parte d'accesso e poi in rete segnali diversi da quello vocale, ma comunque caratterizzati da una banda massima di 4 kHz (questo non sarebbe possibile con altre tecniche di conversione numerica del segnale vocale come ad

esempio quella usata nei sistemi cellulari GSM a 13 kbit/s che operano la conversione sfruttando altre caratteristiche del segnale vocale). Si può dunque affermare che la rete telefonica mette a disposizione circuiti analogici con banda 4 kHz dato che il segnale analogico di banda 4 kHz in ingresso ad un estremo del circuito viene ricostruito in uscita dall'altra parte anche se con l'aggiunta di un po' di rumore (termico e di quantizzazione).

Proprio questa possibilità è quella sfruttata per la trasmissione di dati da un estremo ad un altro della rete telefonica mediante dispositivi detti modem¹. Il modem altro non è che un dispositivo in grado di inviare un flusso di bit, in uscita ad esempio da un computer, sulla rete telefonica mediante delle tecniche classiche di modulazione digitale tenendo conto del vincolo che il segnale generato deve avere un banda di al più 4 kHz. Il modem all'estremo opposto del circuito riceve il segnale (che nel frattempo avrà subito le procedure di codifica PCM e decodifica PCM) e lo riconverte in un flusso di bit da consegnare al computer destinatario (Figura 17). Si noti qui in modo esplicito che il flusso di bit PCM relativo al circuito che attraversa la rete telefonica non è in diretta relazione con il flusso di bit che si scambiano i due computer, ma è solo la conversione numerica PCM del segnale analogico in uscita dal modem.

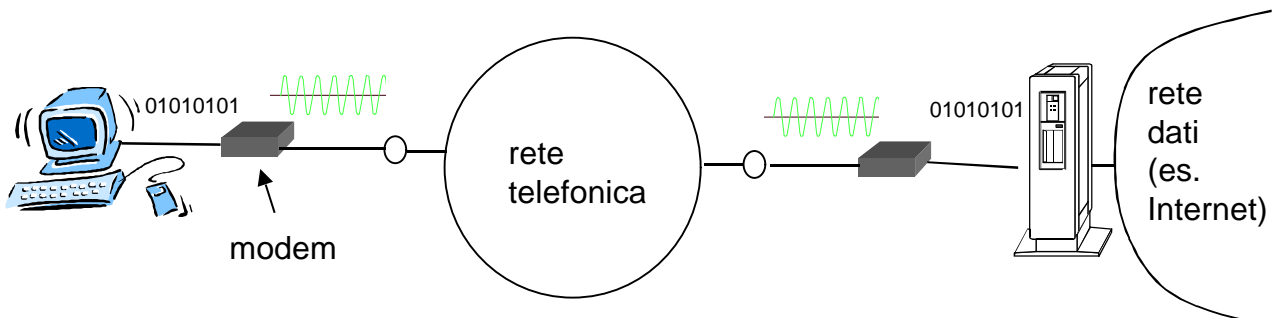


Figura 17: uso del modem per la trasmissione dati su reti telefoniche

Le procedure e le tecniche usate dai modem per effettuare la modulazione del segnale sono spesso molto sofisticate per sfruttare al meglio la piccola banda disponibile. Naturalmente esistono degli standard internazionali che descrivono i diversi tipi di modem e per questo modem di diversi costruttori possono comunicare senza problemi. Anche le interfacce di connessione tra il terminale d'utente (il computer) e il modem sono molto spesso standard come ad esempio l'interfaccia RS-232 (seriale).

L'uso del modem ha consentito l'utilizzo della rete telefonica con accesso analogico per il trasporto di segnali diverso da quello vocale. Una evoluzione delle reti telefoniche classiche è rappresentata dalla rete ISDN (Integrated Services Digital Network) la cui principale differenza rispetto alla rete telefonica classica è costituita dall'utilizzo di una parte d'accesso di tipo digitale. Ciò vuol dire che la conversione dei segnali avviene direttamente nei dispositivi dell'utente e non nella rete che invece tratta direttamente flussi informativi digitali.

Nelle intenzioni dei promotori di ISDN il suo utilizzo consente di offrire agli utenti della rete non solo un servizio di trasporto della voce, ma anche servizi dati. La rete è in grado, infatti, di fornire trasporto a qualunque flusso informativo che venga convertito in forma digitale e che rispetti i vincoli imposti dalle interfacce digitali di accesso alla rete oltre che una serie di servizi aggiuntivi di supporto al trasporto ottenuti mediante l'utilizzo di complessi meccanismi di segnalazione.

I servizi offerti possono addirittura essere di tipo a commutazione di pacchetto. In questo caso i flussi informativi inviati dall'utente attraverso le interfacce d'accesso digitali vengono trattati in rete mediante tecniche a commutazione di pacchetto.

¹ il termine modem è stato recentemente adottato anche per dispositivi di accesso a reti digitali e ciò può generare confusione. Per evitare confusione sarebbe più corretto usare il termine modem per indicare dispositivi per l'accesso dati ad interfacce analogiche e adattatore di terminale (terminal adapter) per indicare dispositivi d'accesso ad interfacce digitali. Il lettore è però avvertito che sono di uso comune i termini modem GSM o modem ISDN e non GSM terminal adapter e ISDN terminal adapter.

5.2 Interfacce d'accesso e punti di riferimento

Le interfacce d'accesso alla rete descrivono le modalità ed i formati con i quali l'utente può comunicare con la rete inviando e ricevendo informazione. Come detto in ISDN l'accesso avviene in forma digitale mediante delle modalità e dei formati definiti dallo standard.

In ISDN il colloquio tra utente e rete attraverso l'interfaccia d'accesso avviene su dei canali digitali. La caratteristica dell'interfaccia utente-rete è dettata dal numero e dal tipo di canali utilizzati. Tre sono i tipi di canali utilizzati da ISDN:

- ✓ canale B: è un canale che opera ad una velocità di 64 kbit/s ed è utilizzato per il trasporto di informazione. Se usato in modalità a circuito il canale B consente l'invio di informazione di qualunque tipo attraverso la rete verso un punto di destinazione; su tale canale passa ad esempio il segnale vocale digitale per il servizio di telefonia classico.
- ✓ canale D: è un canale che opera ad una velocità di 16 o 64 kbit/s ed è utilizzato per il trasporto di segnalazione o di dati in modalità a pacchetto. La segnalazione serve per richiedere i servizi di trasporto relativa anche ai canali B; ad esempio per richiedere l'instaurazione di una chiamata voce su un canale B vengono inviati sul canale D i messaggi di richiesta connessione, invio numero chiamato, ecc.
- ✓ canale H: ha le stesse caratteristiche del canale B ma con velocità maggiori anche se comunque multiple di 64 kbit/s.

I tipi di interfaccia definiti dallo standard ISDN sono due, la BRI (Basic Rate Interface) e la PRI (Primary Rate Interface). Con riferimento alla versione europea dello standard, la BRI è composta da un canale D a 16 kbit/s e da due canali B (di solito si indica come 2B+D) per una velocità complessiva di 144 kbit/s (come si vedrà sulla linea fisica la velocità è maggiore a causa degli overhead del livello fisico). La PRI è invece composta da un canale D a 64 kbit/s e da 30 canali B (30B+D) per una velocità di 1984 kbit/s.

L'interfaccia BRI è spesso usata per utenza residenziale e affari soprattutto per accesso al servizio telefonico e, sempre più spesso, per accesso ad alta velocità a reti dati come Internet. Il servizio telefonico usa uno dei due canali B, mentre l'accesso ai provider di accesso a Internet può avvenire con uno o tutti e due i canali B con una velocità effettiva di 128 kbit/s.

L'interfaccia PRI è usata per consentire l'accesso mediante i centralini privati (PBX) o come accesso a larga banda per servizi come ad esempio la videoconferenza. La configurazione 30B+D non è la sola disponibile, ma anche configurazioni con canali H sono utilizzabili in modo da avere anche canali ad alta velocità; in questo caso il numero di canali B disponibili si riduce in modo da conservare il valore totale della banda d'utente. Il trasporto dell'interfaccia è basato sulla portante E1 a 2.048 Mbit/s di cui, come detto, solo 1984 kbit/s sono occupati da informazione d'utente.

Le configurazioni con le quali è possibile collegare gli apparati d'utente alla rete ISDN sono molte e lo standard ne definisce le interfacce di interesse tra gli apparati. L'apparato di rete che fornisce le funzioni e i protocolli di ISDN è detto LE (Local Exchange) ed è di fatto la centrale d'accesso. Dall'altra lato della parte d'accesso è collegata la terminazione di rete NT (Network Termination) fisicamente posta presso l'utente e che ha il compito di interagire con gli apparati d'utente per conto della rete. Due tipi di NT possono essere disponibili NT1 ed NT2; la NT1 consente il collegamento diretto dei terminali d'utente, mentre la NT2 server a connettere un centralino privato. Più terminali d'utente TE (Terminal Equipment) possono essere connessi contemporaneamente alla stessa NT e accedere ai servizi di rete.

In Figura 18 è mostrato lo schema di collegamento dei dispositivi e sono evidenziate le interfacce, dette punti di riferimento, secondo le sigle usate nello standard. Il punto S si trova tra terminali d'utente ISDN (TE1) e la terminazione di rete, sia essa una NT1 o una NT2. Il punto T si trova tra il centralino locale e la terminazione di rete NT1; quando il centralino locale non è presente si parla di solito di punto S/T ad indicare l'interfaccia tra TE e NT. Il punto U è invece l'interfaccia tra la centrale locale e la terminazione di rete. Tale interfaccia non è standard ma viene considerata come interna alla rete e quindi di competenza del gestore; in realtà la questione se l'interfaccia U debba o meno essere considerata interna o esterna alla rete è controversa e organismi di standardizzazione diversi danno interpretazioni diverse (ITU, International Telecommunication Union, la considera interna, ANSI, American National Standard Institute, la considera

esterna e quindi standardizzabile). Anche terminali d'utente non ISDN (TE2), ad esempio i tradizionali telefoni analogici, possono essere collegati in rete mediante degli adattatori TA (Terminal Adapter).

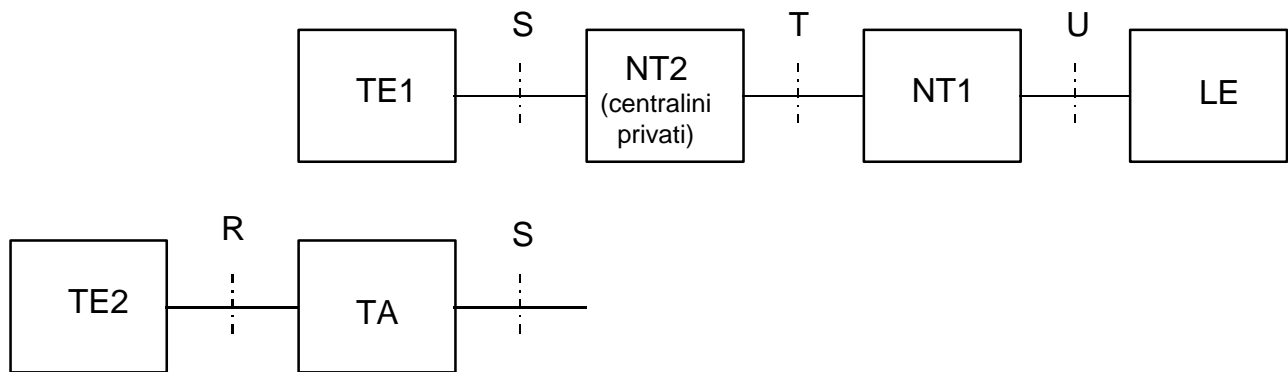


Figura 18: Dispositivi e punti di riferimento di ISDN

5.3 Architettura dei protocolli

Nella descrizione degli strati e dei protocolli di ISDN occorre distinguere due diversi piani, il piano d'utente che gestisce il trasporto dell'informazione e il piano di controllo che gestisce la segnalazione tra utente e rete.

Se l'utilizzo del trasporto ISDN avviene mediante un canale B in modalità a circuito, compito dei protocolli ISDN è solo quello di fornire il circuito tra i due apparati d'utente remoti e quindi agisce soltanto a livello 1. Se il circuito è usato per collegamenti dati a circuito i protocolli di collegamento tra le macchine remote si appoggiano trasparentemente sul trasporto offerto da ISDN. In Figura 19 è mostrata l'architettura dei protocolli per un semplice collegamento telefonico e per una connessione ad un Internet Service Provider (ISP).

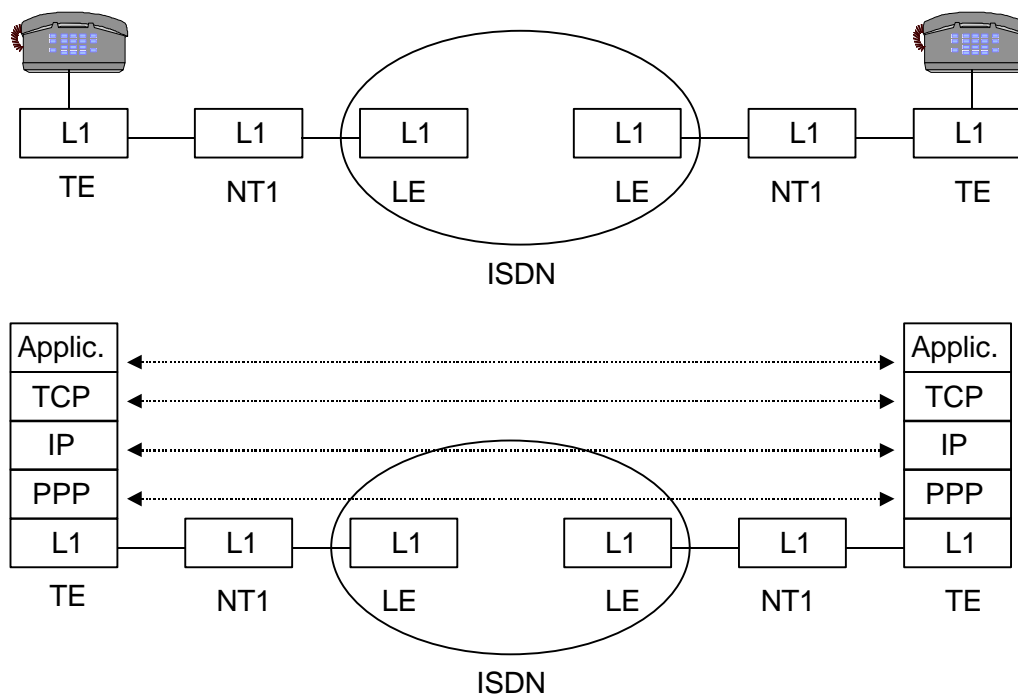


Figura 19: servizio di trasporto su canale B di livello 1 per servizio voce e per collegamento a Internet

Per l'apertura del circuito sul canale B, i terminali d'utente devono interagire con la rete sul piano di controllo mediante messaggi di segnalazione che utilizzano il canale D. La trasmissione dei messaggi sul canale D avviene in modalità a pacchetto e l'architettura dei protocolli si articola in tre livelli come mostrato in Figura 20.

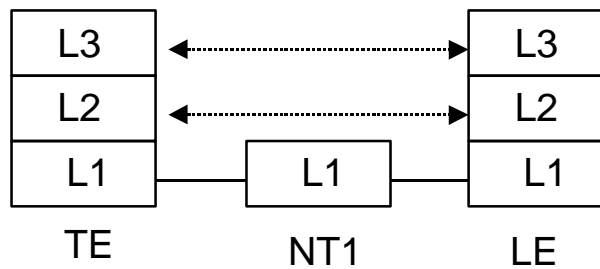


Figura 20: architettura dei protocolli per il canale D

Il livello 1 di competenza della normativa ISDN è quello del punto S/T tra TE e NT1 e definisce la connessione fisica tra il TE e la terminazione di rete, lo schema di codifica della linea, la divisione in trame e le caratteristiche elettriche. La connessione fisica è sincrona (il sincronismo è fornito dal segnale emesso dalla NT) e full duplex. Il collegamento può essere punto-punto o anche punto-multipunto (solo per interfacce d'accesso BRI). I canali B e D condividono lo stesso mezzo fisico e sono multiplexati con tecnica a divisione di tempo.

Il livello 2 ha il compito della suddivisione in trame e del controllo di flusso e del controllo d'errore. Il protocollo usato è il LAPD (Link Access Procedure for D channel) derivato da HDLC cui si è già fatto cenno nel capitolo precedente.

Il livello 3 è relativo al trasporto dei messaggi di segnalazione mediante i protocolli DSS (Digital Subscriber Signalling) cui verrà fatto cenno nei successivi paragrafi.

Il canale D può anche essere usato per accesso dati a pacchetto. In questo caso il livello 3 è quello del protocollo X.25 che definisce uno standard d'accesso per reti a pacchetto in modalità circuito virtuale.

5.4 Livello fisico ISDN

Il protocollo di livello 1 per l'interfaccia BRI è definito nella raccomandazione ITU-T I.430 che descrive il collegamento tra apparati d'utente TE ed apparati NT attraverso il punto di riferimento S/T.

L'accesso può far uso di una configurazione punto-punto o punto-multipunto (Figura 21). Nel primo caso il collegamento, mediante due conduttori per i due versi di trasmissione, può raggiungere una distanza massima di 1 km. Nel caso di configurazione punto-multipunto i terminali, fino ad un massimo di 8, sono collegati ad un bus passivo (i punti di connessione tra i terminali e il bus sono passivi senza uso di amplificatori o ripetitori), e di solito il bus può raggiungere una lunghezza di 200 m.

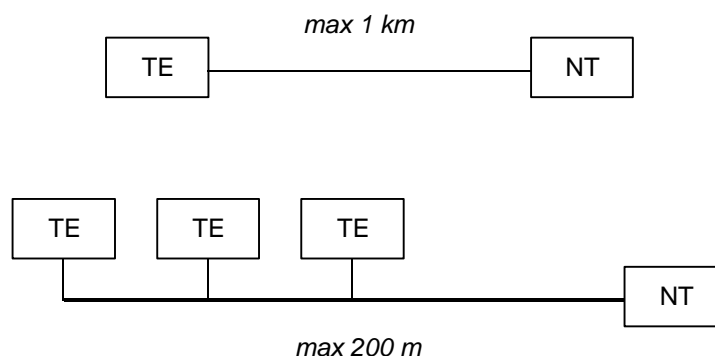


Figura 21: configurazioni della BRI

Lo schema di codifica di linea della BRI viene detto *pseudo-ternario*. In esso un bit 0 viene rappresentato da un segnale costante di tensione che può assumere un valore positivo o negativo; in particolare l'uso della tensione positiva e negativa avviene in modo alternato nella sequenza di bit. Un bit 1 viene codificato con l'assenza di tensione sulla linea (si veda l'esempio di codifica in Figura 22).

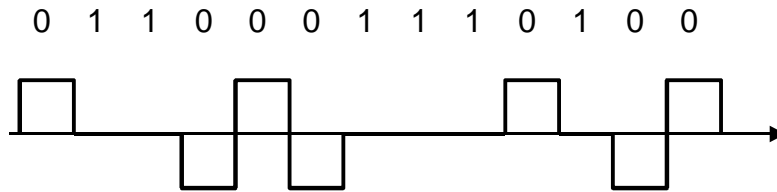


Figura 22: codifica di linea pseudo-ternaria

Nella codifica pseudo-ternaria due 0 consecutivi ma di uguale tensione costituiscono una violazione del codice. Tale violazione è usata per dividere le trame su cui è basata la struttura TDM dell'interfaccia d'accesso la cui struttura è mostrata in Figura 23.

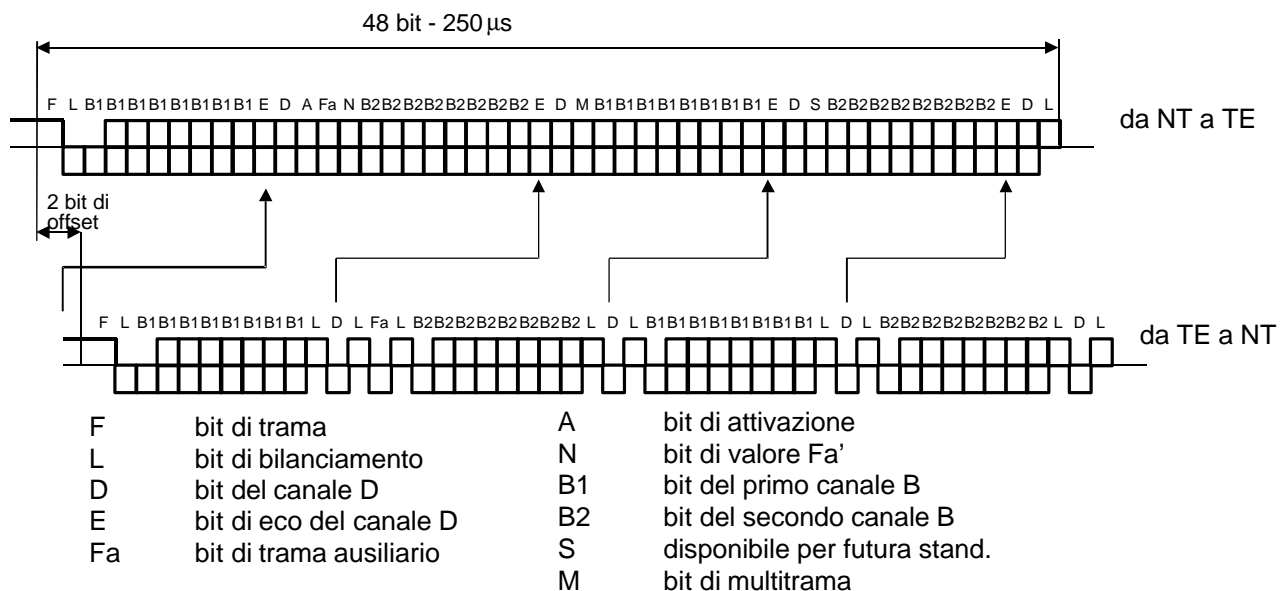


Figura 23: struttura della trama di multiplazione della BRI

La trama è composta da 48 bit ed ha una durata di 250 μ s, quindi la velocità sul canale risulta di 192 kbit/s. Ciascuna trama contiene 16 bit per ciascuno dei due canali B (bit B1 e B2) e 4 bit per il canale congruentemente con le velocità dei canali di 64 e 16 kbit/s rispettivamente.

All'inizio di ogni trama il bit di inizio trama (F) segnala l'inizio trama mediante una violazione del codice. I bit L sono di bilanciamento e assicurano che non vi sia alcuna componente continua nel segnale. I bit di trama ausiliari (Fa) vengono usati per il trasporto di informazione per la manutenzione dell'interfaccia (canale Q). Le trame sono organizzate in multitrime di 20 trame; il bit M della prima trama della multitrime vale 1 mentre vale 0 nelle altre trame. L'uso esatto dei bit Fa in relazione al canale Q dipende dal numero di multitrime.

Nella configurazione punto-multipunto assume particolare importanza il modo nel quale i diversi terminali accedono all'uso dei canali. L'assegnazione dei canali B avviene sulla base della segnalazione inviata sul canale D e quindi un solo TE per volta accede al canale B. L'invio della segnalazione sul canale D avviene con modalità a pacchetto ed è possibile che più terminali accedano contemporaneamente al canale (collisione). Per risolvere le collisioni viene adottato un meccanismo di accesso multiplo che fa uso dei bit di

eco (E) nei quali la NT copia i bit ricevuti dal canale D in direzione opposta. Un terminale che trasmette sul canale D controlla che i bit di eco siano pari ai bit trasmessi. Se così non è il terminale interrompe la trasmissione fino a che non osserva un numero sufficiente di 1 consecutivi sui bit E (assenza di segnale).

Il protocollo di livello 1 per interfaccia d'accesso PRI è definito nella raccomandazione ITU-T I.431.

Come detto il livello 1 dell'interfaccia si basa sulla trama E1 del segnale multiplex PCM. La trama è costituita da 32 slot di 1 byte numerati da 0 a 31. Lo slot 0 è utilizzato per l'informazione di servizio di livello fisico come sincronizzazione e allineamento di trama, lo slot 16 è riservato al canale D, e gli altri slot sono riservati ai canali B. Al posto dei 30 canali B è possibile allocare gruppi di slot a canali H ad elevata velocità, come ad esempio nei sistemi di videoconferenza che fanno uso di canali H a 384 kbit/s per la trasmissione di video a medio-bassa qualità. La codifica di linea utilizzata è chiamata HDB3 (High Density Bipolar 3).

5.5 Il livello di linea: LAPD

Il protocollo LAPD è utilizzato a livello 2 da ISDN per il trasporto delle trame informative sul canale D. Se, come accade molto spesso, il canale D è usato per il trasporto della segnalazione utente-rete, LAPD fornisce il supporto ai messaggi del sistema di segnalazione digitale DSS1 (Digital Subscriber Signaling System No. 1). LAPD deriva direttamente da HDLC e le sue specifiche sono contenute nelle raccomandazioni ITU-T Q.920 e Q.921.

LAPD ammette solo la modalità di funzionamento ABM, ma al contrario di HDLC che usa questa modalità solo per connessioni punto-punto, LAPD è in grado di supportare configurazioni punto-multipunto come quelle previste per l'interfaccia BRI di ISDN.

Il formato delle trame di LAPD è mostrato in Figura 24. Il campo di controllo (C) è di 2 byte per le trame informative (I) e le trame di supervisione (S), mentre è di 1 byte nelle trame non numerate (U). La numerazione della trame, dunque, avviene con campi RN ed SN di 7 bit (numerazione modulo 128).

I tipi di trama sono gli stessi usati per HDLC, ma ovviamente per l'apertura della connessione si usa il comando (trama S) di SABME (set ABM mode extended) che identifica la modalità ABM con un campo indirizzo e di controllo estesi.

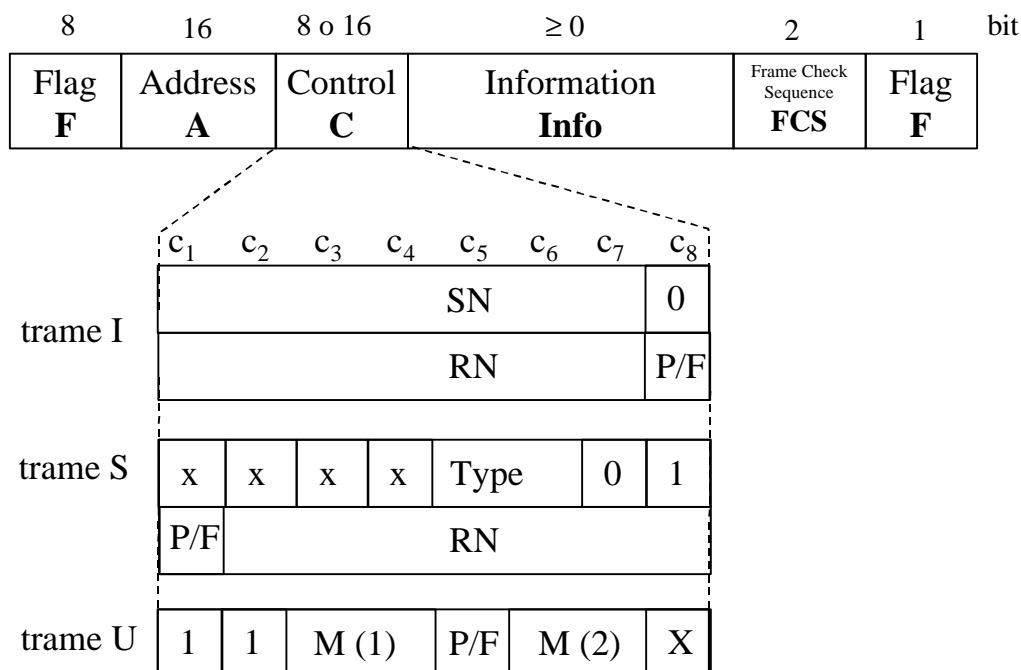


Figura 24: formati delle trame del protocollo LAPD

Una particolarità di LAPD è costituita dall'indirizzamento. La struttura del campo address delle trame LAPD è mostrata in Figura 25.

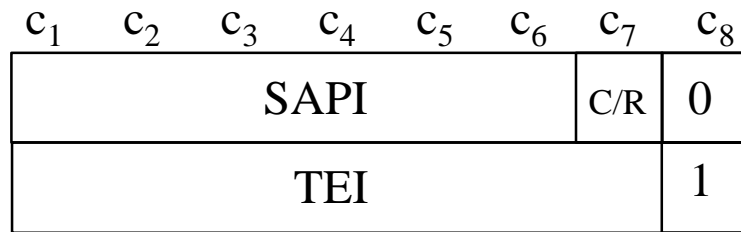


Figura 25: campo address del protocollo LAPD

L'ultimo bit del primo otteetto del campo address è posto a 0 in accordo alle regole dell'HDLC per segnalare che vi è un ulteriore byte del campo address. In modo analogo l'ultimo bit del secondo byte è posto ad 1 a segnalare che quello è l'ultimo byte del campo. Il bit C/R serve a distinguere i messaggi di comando dai messaggi di risposta; alcuni messaggi come il SABME o il DISC possono solo essere comandi ed altri come l'UA possono solo essere risposte, mentre altri messaggi come il RR e il RNR possono essere sia comandi che risposte.

Il campo indirizzo vero e proprio è diviso in due sottocampi: il TEI (Terminal Equipment Identifier) e il SAPI (Service Access Point Identifier). Il primo serve ad identificare i diversi terminali collegati alla terminazione di rete, mentre il secondo serve ad identificare, all'interno di un terminale, i diversi utenti del protocollo di linea, ovvero i diversi possibili protocolli di livello 3 che possono appoggiarsi su LAPD come ad esempio DSS1 o X.25 (Figura 26).

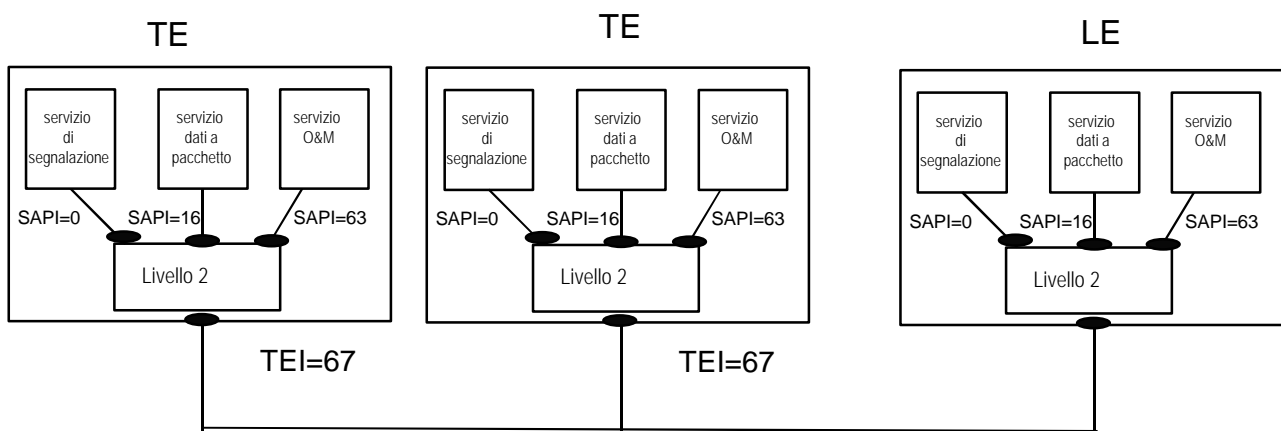


Figura 26: significato dei campi TEI e SAPI

I valori dei SAPI per i vari servizi di livello 3 sono noti a priori e definiti dallo standard; sono stati al momento definiti i valori per il servizio di segnalazione (SAPI = 0), servizio dati a pacchetto di tipo X.25 (SAPI = 16), e quello per i messaggi di servizio del livello 2 (SAPI = 63)

Il campo TEI che identifica il terminale è composto da 7 bit e quindi potrebbe indirizzare un numero ben più elevato di terminali rispetto agli otto massimi previsti da ISDN. I valori che vanno da 0 a 63 sono usati per terminali poco evoluti ai quali deve essere assegnato il TEI in modo statico memorizzandolo ad esempio in una ROM dell'apparato, i valori tra 64 e 126 sono assegnati per terminali in grado di negoziare il valore del TEI nella fase di instaurazione della connessione di livello 2, e, infine, il valore 127 è usato come indirizzo broadcast (serve a trasmettere trame che devono raggiungere tutti i terminali collegati sul bus).

Nel caso di assegnazione dinamica dei TEI è la parte di rete che si occupa di gestire i valori disponibili ed assegnabili ai terminali. L'assegnazione dinamica dei TEI viene gestita dal protocollo LAPD mediante lo

scambio di trame UI (Unnumbered Information) che trasportano dei messaggi speciali. Tra questi messaggi ci sono, ad esempio, il messaggio di *richiesta identità* che può essere inviato dal terminale verso la rete, e il messaggio di *assegnazione identità* che può essere inviato dalla rete verso i terminali. Queste trame UI vengono spedite con un indirizzo pari a 127 (indirizzo broadcast) perché in questa fase il valore del TEI non è noto e con SAPI pari a 63 (informazione di servizio di livello 2). In Figura 27 è mostrato un esempio di apertura di connessione LAPD con una fase preliminare nella quale viene assegnato dalla rete il valore del TEI al terminale (in ogni messaggio tra parentesi è indicato il valore dei SAPI e quello del TEI).

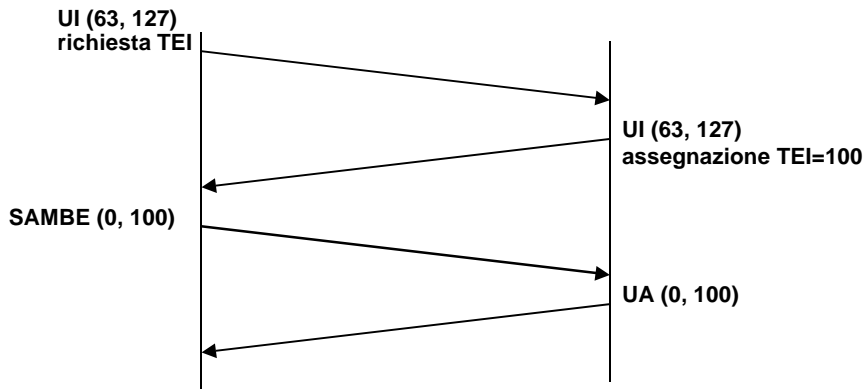


Figura 27: assegnazione del TEI ed apertura della connessione

Come accennato in precedenza, il protocollo LAPD ha anche il compito di consentire l'accesso multiplo da parte dei terminali al canale D verso la terminazione di rete. Infatti, più terminali possono utilizzare il canale D per richiedere servizi alla rete o inviare dati in modalità a pacchetto e, quindi, è possibile che ci siano delle contese nell'accesso al canale, ovvero degli accessi contemporanei al canale D da parte di due o più terminali.

Le situazioni di contesa sul canale D sono risolte mediante l'uso del bit di eco (E) definito tra NT e terminali nell'interfaccia BRI. Sul bit di eco, la parte di rete ripete l'ultimo bit ricevuto sul canale D in direzione opposta. Dato che il bit 1 è rappresentato dall'assenza di segnale, mentre il bit 0 da una tensione positiva o negativa, quello che succede se più di un terminale trasmette sul canale D è che viene inviato l'eco di un 1 se tutti i terminali hanno trasmesso un 1 e viene inviato uno 0 se anche uno solo dei terminali ha trasmesso uno 0. Tutte le stazioni che stanno trasmettendo sul canale D effettuano un monitoraggio continuo dei bit di eco e li confrontano con i bit trasmessi sul canale D; se vi è corrispondenza la trasmissione può proseguire, altrimenti viene immediatamente interrotta.

Un terminale che deve iniziare una trasmissione sul canale D effettua un monitoraggio del canale di eco e può iniziare la trasmissione solo dopo aver osservato un numero sufficiente di 1 consecutivi (assenza di segnale). Il numero di uno dipende dal servizio che ha richiesto l'accesso (per il SAPI = 0 si attende un minor numero di 1 rispetto agli altri SAPI) e dal livello di priorità del terminale che può essere normale o basso (nel livello basso si attende un 1 in più rispetto al numero necessario nel livello normale). Con livello di priorità normale e SAPI=0 occorre attendere otto 1 consecutivi. Si noti che a causa della tecnica del bit stuffing usata da tutti i protocolli derivati da HDLC, se è in corso una trasmissione non è possibile osservare un numero consecutivo di 1 superiore a 5.

Una volta osservato il numero prescritto di 1 sul canale di eco il terminale inizia la trasmissione della trama partendo ovviamente dal byte del flag. Se contemporaneamente anche un altro terminale inizia la trasmissione anche questo partirà a trasmettere il byte del flag. A causa del meccanismo di eco la trasmissione dei due terminali proseguirà fino a che entrambi trasmettono gli stessi bit perché entrambi osservano dei bit di eco congruenti con la loro trasmissione. Appena i terminali trasmettono un bit diverso uno dei due interromperà la trasmissione mentre l'altro proseguirà. Visto che il primo campo della trama sicuramente diverso per i due terminali è il campo address, chi dei due prosegue nella trasmissione dipende dal valore di tale campo.

Ad esempio se due terminali con TEI pari a 10 e a 31 rispettivamente iniziano la trasmissione per dei messaggi con SAPI=0, il terminale che interrompe la trasmissione è quello con TEI più alto in quanto il primo bit differente tra le due trasmissioni sarà uno 0 per il terminale con valore basso ed un 1 per il terminale con valore basso (Figura 28). Se invece il SAPI è diverso verrà interrotta la trasmissione del messaggio con SAPI maggiore indipendentemente dal valore del TEI (quindi il SAPI=0 ha priorità sugli altri).

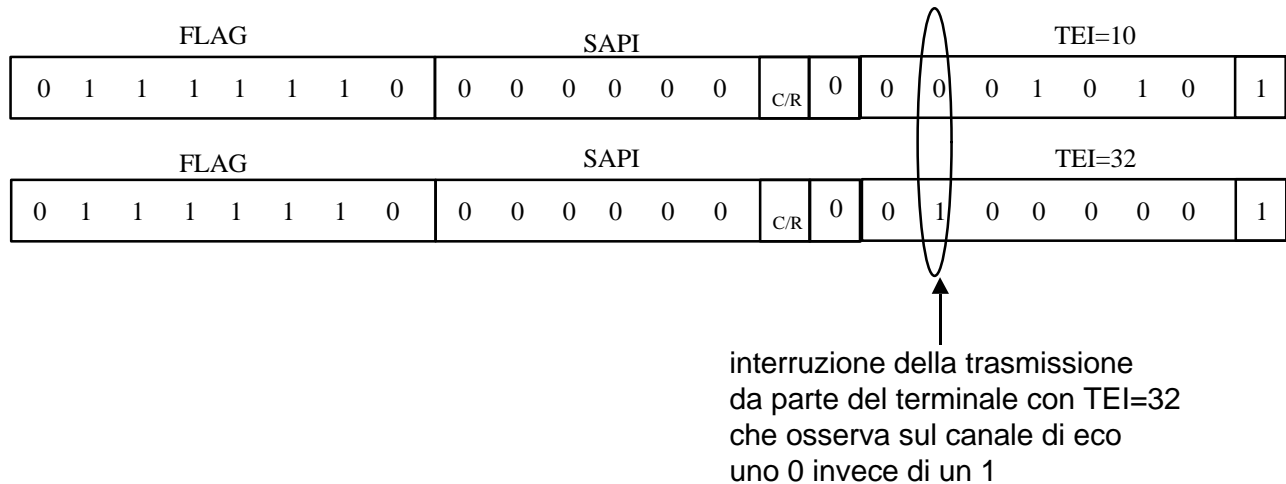


Figura 28: esempio di funzionamento della procedura di risoluzione delle contese

6. Cenni sulla segnalazione

La segnalazione è una componente importante della rete telefonica in quanto da esso dipende la funzionalità di rete di gestione automatica e su richiesta dei circuiti disponibili.

Scopo primario della segnalazione è quello consentire la comunicazione tra gli elementi della rete in modo da trovare un circuito disponibile da assegnare per la chiamata richiesta da un utente. Questa funzionalità della segnalazione è detta di chiamata di base e fa uso di due componenti della segnalazione, quella per il colloquio tra utente e rete che ha il compito di passare le informazioni sul destinatario e sullo stato della chiamata, e quella di rete che ha il compito di far colloquiare le centrali per la scelta del cammino e del circuito.

Nelle reti telefoniche moderne la segnalazione ha anche altri compiti oltre a quello del supporto della chiamata base. In particolare viene fornito il supporto a servizi supplementari e di rete intelligente che consentono di gestire servizi complessi come ad esempio il trasferimento di chiamata, i numeri verdi, indicazione del chiamante, ecc.

Nel seguito si forniscono dei cenni alle problematiche associate alla segnalazione con riferimento alle funzionalità di chiamata base.

6.1 La segnalazione utente-rete

Compito principale della segnalazione utente-rete è quello di consentire all'utente di richiedere il servizio e di ricevere dalla rete le informazioni sullo stato della sua richiesta.

Nella maggior parte degli accessi di uso domestico attualmente utilizzati l'interfaccia è ancora una interfaccia analogica e quindi anche la segnalazione utente-rete passa attraverso questa interfaccia. In Figura 29 è illustrata schematicamente la segnalazione che viene scambiata tra utente e rete su una interfaccia analogica tradizionale durante la fase di instaurazione di una chiamata telefonica.

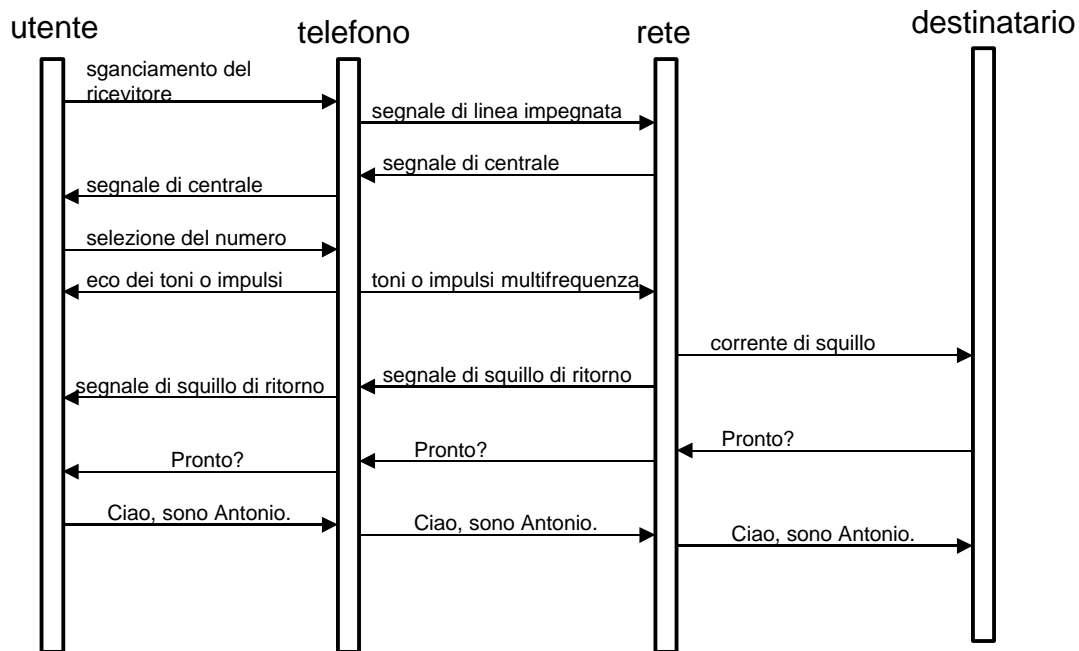


Figura 29: schema di segnalazione utente-rete per chiamata base su interfaccia analogica

Quando un utente solleva il proprio ricevitore comunica alla rete che ha intenzione di fare una chiamata. Dopo lo sganciamento sulla linea analogica verso la centrale fluisce una corrente continua che serve a segnalare alla centrale l'avvenuto sganciamento (segnale di *hook-off*). Dalla rete giunge un tono di centrale (segnale di libero o *dial tone*) che indica all'utente che la rete è in attesa di ricevere indicazioni sulla chiamata.

L'utente può, dunque, comporre il numero del destinatario sulla tastiera. L'informazione sui numeri composti giunge in centrale sotto forma di impulsi multifrequenza (DTMF – Dual Tone MultyFrequency) o mediante i vecchi impulsi decadici. A questo punto la rete ha il compito di cercare un circuito disponibile che colleghi l'utente chiamante e quello destinatario. Quando il circuito viene chiuso, la rete genera un segnale di squillo che giunge al telefono del destinatario. Contemporaneamente la rete genera anche un segnale di squillo di ritorno verso il telefono del chiamante che dunque viene informato che il destinatario è stato raggiunto e che si è in attesa di una risposta. Appena il destinatario alza il ricevitore la conversazione può iniziare.

Nel caso di accesso analogico tutta la segnalazione passa attraverso il canale analogico che collega utente a centrale sotto forma di segnali particolari che vengono interpretati dall'apparecchio telefonico o direttamente dall'utente. Si parla in questo caso di segnalazione in banda.

Ben diverso, invece, è il caso in cui l'interfaccia tra utente e rete sia di tipo digitale ISDN. In questo caso, come già accennato, tutta la segnalazione passa in forma di messaggi sulle trama trasportate dal canale D dell'interfaccia d'accesso e si parla, quindi, di segnalazione fuori banda.

L'insieme dei protocolli che definiscono la segnalazione utente rete è detto DSS1 e sono definiti nella raccomandazioni ITU-T Q.930 (principi generali) Q.931 (funzioni per chiamata base) e Q.932 (servizi supplementari). I messaggi dei protocolli di DSS1 sono trasportati direttamente nel campo dati del LAPD (Figura 30).

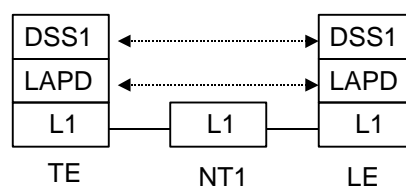


Figura 30: schema dei protocolli per il trasporto della segnalazione utente-rete

I messaggi per la chiamata base Q.931 sono formati da una parte iniziale comune a tutti e da una sequenza di elementi informativi aggiuntivi la cui presenza e tipo dipende dal messaggio considerato. In Figura 31 è illustrato il formato base dei messaggi.

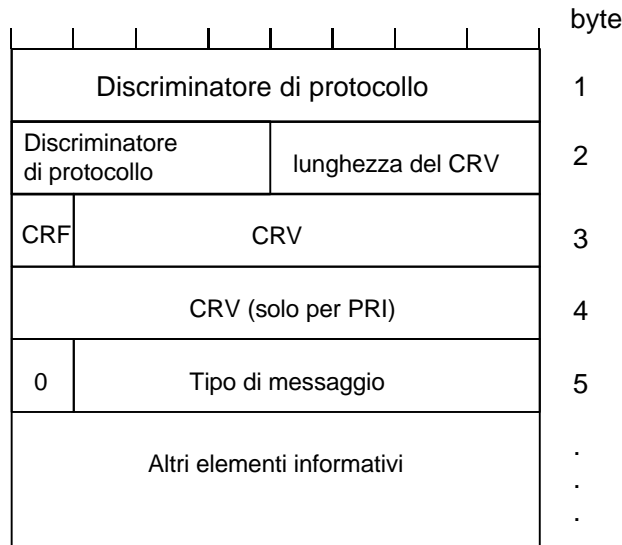


Figura 31: formato generale dei messaggi DSS1

Il discriminatore di protocollo indica il protocollo secondo il quale vengono costruiti i messaggi e vale [000010000000] per il Q.931 (sono definiti altri valori come ad esempio quelli per messaggi X.25). Il CRV (Call Reference Value) è un identificatore di chiamata e viene stabilito all'inizio della chiamata dalla parte (utente o rete) che prende l'iniziativa. Per evitare che utente e rete possano scegliere lo stesso numero per differenti chiamate viene anteposto al CRV un bit, il CRF (Call Reference Flag), che identifica la parte che ha generato l'identificatore (chi ha originato la richiesta pone CRF=0 mentre l'altro estremo pone CRF=1). IL CRV può avere lunghezza variabile secondo quanto indicato nel campo "lunghezza del CRV". Per i messaggi Q.931 il CRV è di un byte per l'interfaccia BRI e di due byte per l'interfaccia PRI.

Il campo "tipo di messaggio" contiene un discriminatore che identifica il tipo di messaggio trasportato. La parte di contenuto informativo che segue dipende dal tipo di messaggio considerato. In Tabella 1 è contenuto un elenco di messaggi usati nella fase di instaurazione della chiamata base.

ALERTING	indicazione di squillo
CALL PROCEEDING	tutte le informazioni per l'instaurazione sono state ricevute e sono in fase di elaborazione
CONNECT	fase di instaurazione completata
CONNECT ACKNOWLEDGE	conferma del messaggio di CONNECT
PROGRESS	segnale di attesa
SETUP	richiesta iniziale di chiamata
SETUP ACKNOWLEDGE	conferma del messaggio di SETUP
DISCONNECT	chiusura della connessione
RELEASE	rilascio della chiamata
RELEASE COMPLETE	conferma del messaggio di RELEASE
RESTART	riavvio del protocollo di segnalazione
RESTART ACKNOWLEDGE	conferma del messaggio di RESTART
INFORMATION	informazioni aggiuntive durante l'instaurazione

Tabella 5:alcuni messaggi Q.931

In Figura 32 è riportato lo schema dello scambio di messaggi coinvolti nell'instaurazione della chiamata base in ISDN. Nella figura la parte che descrive lo scambio di messaggi tra i terminali del chiamante e del destinatario e la rete è relativa alla messaggistica standard del DSS1 e in particolare di Q.931, mentre la segnalazione tra utente e terminale ovviamente non è standard e la sua implementazione dipende dal tipo di terminale e dalle procedure adottate dal gestore di rete.

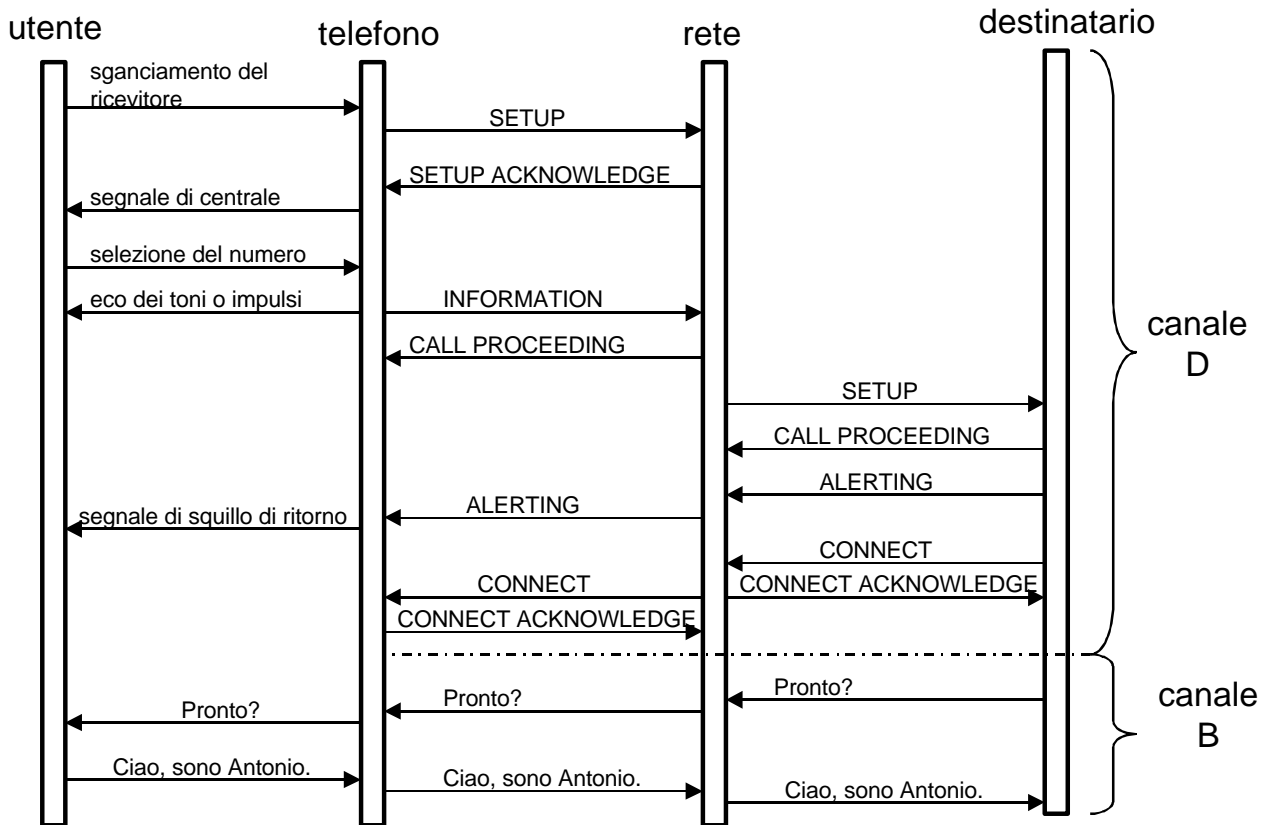


Figura 32: schema di segnalazione utente-rete per chiamata base su interfaccia digitale ISDN

La fase di instaurazione della chiamata è iniziata dal chiamante mediante l'invio di un messaggio di SETUP nel quale il terminale inserisce le informazioni iniziali di cui la rete necessita per instaurare la connessione. Ad esempio tra le informazioni inserite vi è l'indicazione del tipo di servizio richiesto, le capacità di trasporto dell'utente (servizi supportati, codifiche, ecc.), il canale B che si suggerisce di utilizzare, ecc.

Al ricevimento del messaggio di SETUP, la rete si accerta della sua correttezza ed invia indietro un messaggio di SETUP ACKNOWLEDGE che riscontra il ricevimento del SETUP e richiede all'utente di aggiungere alcune informazioni aggiuntive non presenti nel messaggio di SETUP. Di solito tra queste vi è il numero del destinatario che viene incluso dall'utente in un messaggio di INFORMATION.

Quello che accade normalmente nell'interazione tra utente e terminale (telefono ISDN) è che il messaggio di SETUP con formato standard viene inviato dal terminale al momento dello sganciamento del telefono. Dopo che la rete ha inviato il riscontro viene inviato sul canale B un segnale di libero (dial-tone) in modo analogo a quanto avveniva con l'interfaccia analogica. Di solito i telefoni fanno sì che la composizione del numero venga replicata localmente con dei toni ancora una volta per simulare lo stesso comportamento dell'interfaccia analogica cui l'utente è abituato. Il messaggio di INFORMATION parte solo dopo che tutti i numeri sono stati raccolti dal terminale.

Al ricevimento del messaggio di INFORMATION la rete invia un messaggio di CALL PROCEEDING ad informare che è in corso la fase di instaurazione del circuito. In questa fase, all'interno della rete viene scambiata della segnalazione di rete che verrà descritta brevemente nel prossimo paragrafo.

Appena il destinatario viene raggiunto, la rete gli invia un messaggio di SETUP. Il terminale può rispondere con un messaggio di CALL PROCEEDING ad indicare che è in corso l'elaborazione dell'informazione e

l'inoltro della chiamata (di solito questo accade con terminali complessi o con centralini privati che hanno bisogno di tempo per commutare localmente la chiamata verso il telefono interno) e poi con un messaggio di ALERTING che indica che il terminale è stato raggiunto e che è in corso la ricerca dell'utente (normalmente si ha lo squillo del telefono).

Quando il destinatario accetta la chiamata (normalmente alzando la cornetta), il terminale invia un messaggio di CONNECT. Al ricevimento del CONNECT la rete informa il chiamante inviando a sua volta un messaggio di CONNECT. Tali messaggi sono riscontrati con dei messaggi di CONNECT ACKNOWLEDGE che chiudono la fase di instaurazione della chiamata sul canale D. A questo punto il circuito è chiuso sul canale B e la fase di trasferimento dell'informazione può iniziare.

In Figura 33 è mostrata la fase finale della connessione durante la quale viene abbattuta la chiamata. La procedura ha inizio quando il terminale di una delle due parti invia un messaggio di DISCONNECT alla centrale e contemporaneamente rilascia il canale B. La rete risponde con un messaggio di RELEASE e inizia le procedure per rilasciare le risorse di rete e poi inviare un messaggio di DISCONNECT all'altro utente. Il terminale che ha dato inizio alla procedura chiude il suo scambio di messaggi con un RELEASE COMPLETE che serve da riscontro del precedente RELEASE. Anche quando l'altro terminale riceve il DISCONNECT risponde con un RELEASE che consente alla rete di liberare il canale B e di chiudere lo scambio con un messaggio di RELEASE COMPLETE finale.

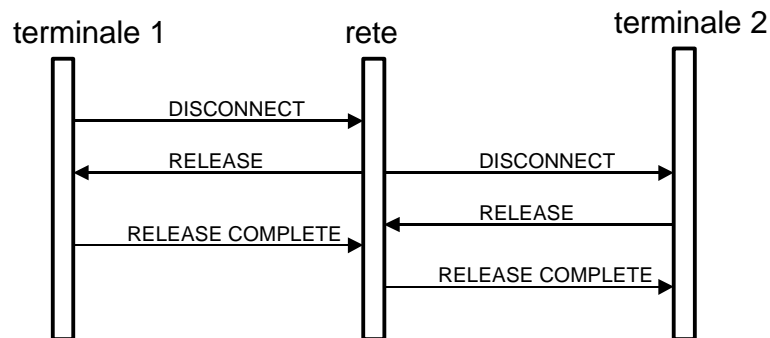


Figura 33: schema della fase di abbattimento della chiamata

6.2 La segnalazione di rete

Il sistema di segnalazione in rete è una componente essenziale che fornisce un meccanismo per scambiare tra le centrali informazioni sul controllo delle chiamate, sul loro instradamento e sullo stato delle linee.

In passato (prima degli anni '70) la segnalazione per instaurare una chiamata telefonica in rete veniva trasportata *in banda*, ovvero mediante lo scambio di toni, simili a quelli usati nell'interfaccia d'utente, tra le centrali; tali toni venivano trasportati nella banda fonica del canale che si intendeva mettere su. Il circuito veniva messo su tratta per tratta mediante l'invio della segnalazione in banda da parte di una centrale alla volta sul canale del fascio prescelto verso la centrale successiva sul cammino.

Successivamente questo metodo di segnalazione è stato sostituito dall'introduzione dei metodi di segnalazione fuori banda che prevedevano l'uso di canali dedicati per la segnalazione. I primi meccanismi di questo tipo prevedevano comunque l'uso di una segnalazione associata, ovvero con l'uso di un piccolo canale di segnalazione per ogni canale del fascio. Il meccanismo di interazione tra le centrali, dunque, era simile a quello della segnalazione in banda.

Il vero cambiamento nelle tecniche di segnalazione si è avuto con l'introduzione delle tecniche di segnalazione a canale comune CCS (Common Channel Signaling). Tali tecniche consentono lo scambio di informazioni tra le centrali con tecnica a commutazione di pacchetto di tipo datagram e permettono, dunque, di utilizzare una vera e propria rete segnalazione separata con i propri nodi e i propri canali per il controllo di tutta la rete telefonica. I messaggi scambiati tra le centrali per l'instaurazione di una chiamata vengono

instradati sulla rete di segnalazione a pacchetto e possono passare anche su percorsi diversi dal collegamento diretto tra le centrali.

Il sistema di segnalazione a canale comune utilizzato di fatto in tutto il mondo è l'SS7 (Signaling System number 7) le cui caratteristiche generali sono descritte nella raccomandazione ITU-T Q.700 che contiene anche i riferimenti per i numeri di raccomandazione delle varie parti del sistema. In Figura 34 sono mostrati schematicamente gli elementi della rete di segnalazione SS7.

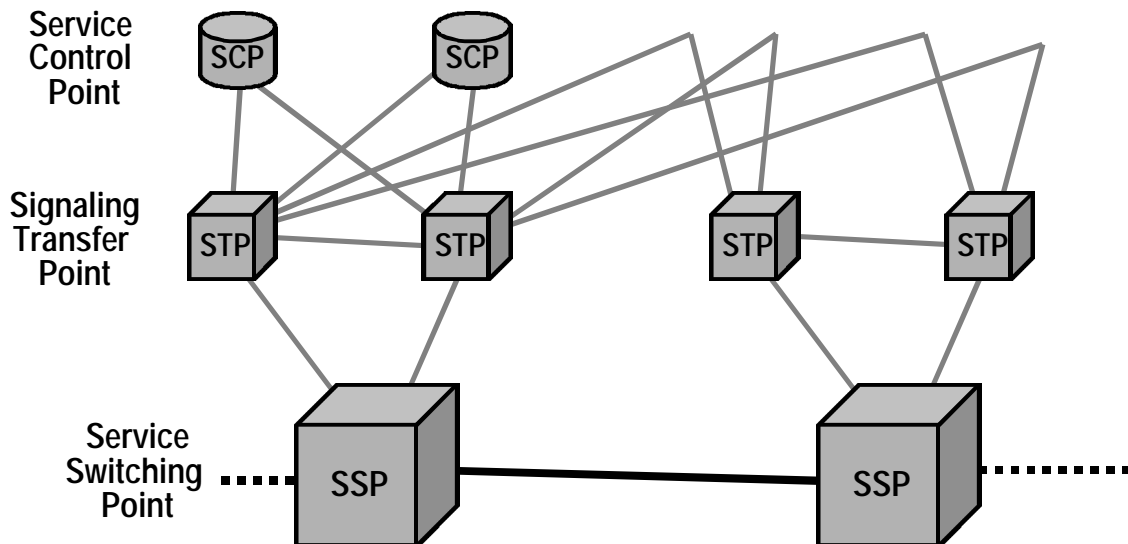


Figura 34: elementi della rete di segnalazione SS7

La centrale telefonica che si occupa della commutazione delle chiamate viene chiamata SSP (Service Switching Point). Le centrali sono collegate tra loro mediante i fasci di giunzione (linee in nero) che contengono un certo numero di canali per il servizio telefonico. Le centrali sono controllate da nodi della rete di segnalazione a pacchetto detti SP (Signaling Point) che scambiano messaggi mediante una rete di collegamenti separati (linee in grigio). Un SP che possa svolgere nella rete di segnalazione funzionalità di rete, ovvero fungere da nodo intermedio di instradamento nello scambio di messaggi tra altri SP è detto STP (Signaling Transfer Point). Gli SCP (Service Control Point) sono nodi particolari della rete di segnalazione che hanno il compito di fornire supporto a servizi avanzati offerti dalla rete, detti servizi di rete intelligente. Di solito questi nodi contengono dei database con informazioni che consentono alla rete di fornire servizi di rete intelligente come ad esempio la corrispondenza tra un numero 800 (numero verde) e dei numeri effettivi diversificati sulla base della zona di appartenenza del chiamante, o come le informazioni per l'applicazione di tariffe personalizzate all'utente, ecc.

La ridondanza è una componente importante del sistema in quanto lo scambio di segnalazione deve essere garantito anche in caso di guasto di un nodo o di un collegamento di segnalazione. Per questo motivo ogni centrale di commutazione è normalmente controllata da almeno due SP e più di un percorso è presente in rete per lo scambio di segnalazione tra ogni coppia di centrali.

Nella pratica i canali che costituiscono la rete di segnalazione sono ricavati dai fasci che congiungono le centrali di commutazione, ma questo ovviamente non cambia il fatto che la rete di segnalazione è di fatto una rete separata da quella del servizio di commutazione.

I servizi della rete telefonica, da quello di chiamata base a quelli di rete intelligente, richiedono lo scambio di informazione tra i nodi della rete. Lo scambio di tale informazione avviene mediante l'uso del servizio di comunicazione offerto dalla rete di trasferimento dei messaggi di SS7 definita da una pila di protocolli detti MTP (Message Transfer Part).

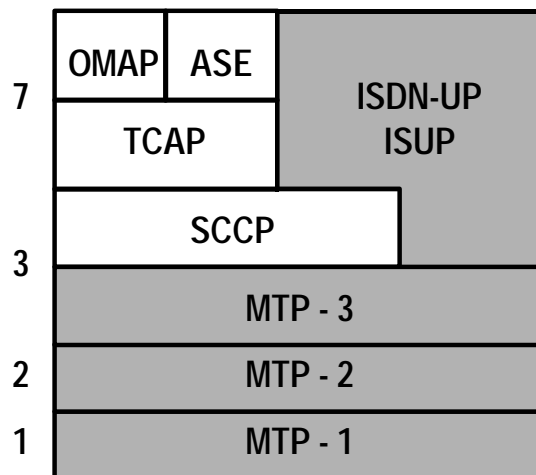
MTP è costituito da tre livelli, fisico, di linea e di rete. Il livello fisico ha il compito di trasferire l'unità informativa minima, il bit, tra i due estremi di un collegamento. Le sue caratteristiche dipendono dal tipo di canale fisico che è utilizzato. Di solito il canale è ricavato da uno di quelli definiti dalla trama PCM e quindi

il livello fisico è quello definito dallo schema E1 di multiplexazione, ma possono anche essere usati altri tipi di collegamenti come link satellitari o addirittura linee commutate analogiche con modem.

Il livello di linea ha il compito di dividere in trame il flusso di bit, di assicurare che le trame vengano trasferite senza errore tra i due estremi della linea, e di assicurare che la velocità di trasmissione sia controllata dalla velocità di assorbimento da parte del ricevitore. Allo scopo vengono adottate tecniche di divisione delle trame, di controllo d'errore mediante ritrasmissione e di controllo di flusso simili a quelle usate per HDLC.

Il livello di rete ha il compito di fare instradamento. Come detto la modalità di trasferimento dei pacchetti è datagram e quindi ogni pacchetto viene identificato mediante degli indirizzi di sorgente e di destinazione. L'instradamento adottato consente di ripartire il carico di traffico tra una coppia di nodi su tutti i cammini in rete che li collegano. Ciò consente di utilizzare efficientemente le risorse e di tenere basso il carico di ogni canale minimizzando il tempo di trasferimento dei messaggi.

L'architettura completa dei protocolli usati da SS7 è mostrata in Figura 35.



TCAP: Transaction Capabilities Application Part

SCCP: Signaling Connection Control Part

MTP: Message Transfer Part

OMAP: Operation, Maintenance and Administration Part

ASE: Application Service Element

Figura 35: architettura dei protocolli di SS7

Sopra ai tre livelli di MTP si appoggiano i protocolli che gestiscono i servizi veri e propri e che possono essere considerate le applicazioni che usano il trasporto di MTP. Nella gestione della chiamata base e di alcuni servizi avanzati le centrali utilizzano la ISDN User Part (ISUP) che si appoggia normalmente direttamente su MTP per il trasporto. Al contrario la gestione dei servizi di rete intelligente richiede una struttura più complessa. I processi applicativi veri e propri sono gli ASE (Application Service Element) che però non si appoggiano direttamente su MTP, ma usano un protocollo di sessione TCAP (Transaction Capabilities Application Part) e di un protocollo di trasporto orientato alla connessione SCCP (Signaling Connection Control Part). Anche i servizi di gestione e manutenzione remota della rete OMAP (Operation, Maintenance and Administration Part) si appoggiano su TCAP e su ASE.

In figura Figura 36 è mostrato lo scambio di messaggi ISUP per l'instaurazione di una chiamata base insieme a i relativi messaggi DSS1 che transitano nelle interfacce utente-rete. Il messaggio IAM (Initial Address Message) viene indirizzato da una centrale alla successiva sulla base delle regole dell'instradamento telefonico ed ha il compito di tracciare il percorso e prenotare il circuito. Il messaggio ACM (Address Complete Message) informa la rete che la destinazione è stata raggiunta. Il messaggio di ANM (Answer Message) viene attivato dalla risposta dell'utente, ripercorre all'indietro il percorso impegnando i circuiti che da quel momento sono dedicati in modo esclusivo alla chiamata. Durante la fase di abbattimento della chiamata i messaggi di REL (Release) e di RLC (Release Complete) hanno il compito di disimpegnare passo-passo tutti i tratti del circuito che erano stati impegnati per la chiamata.

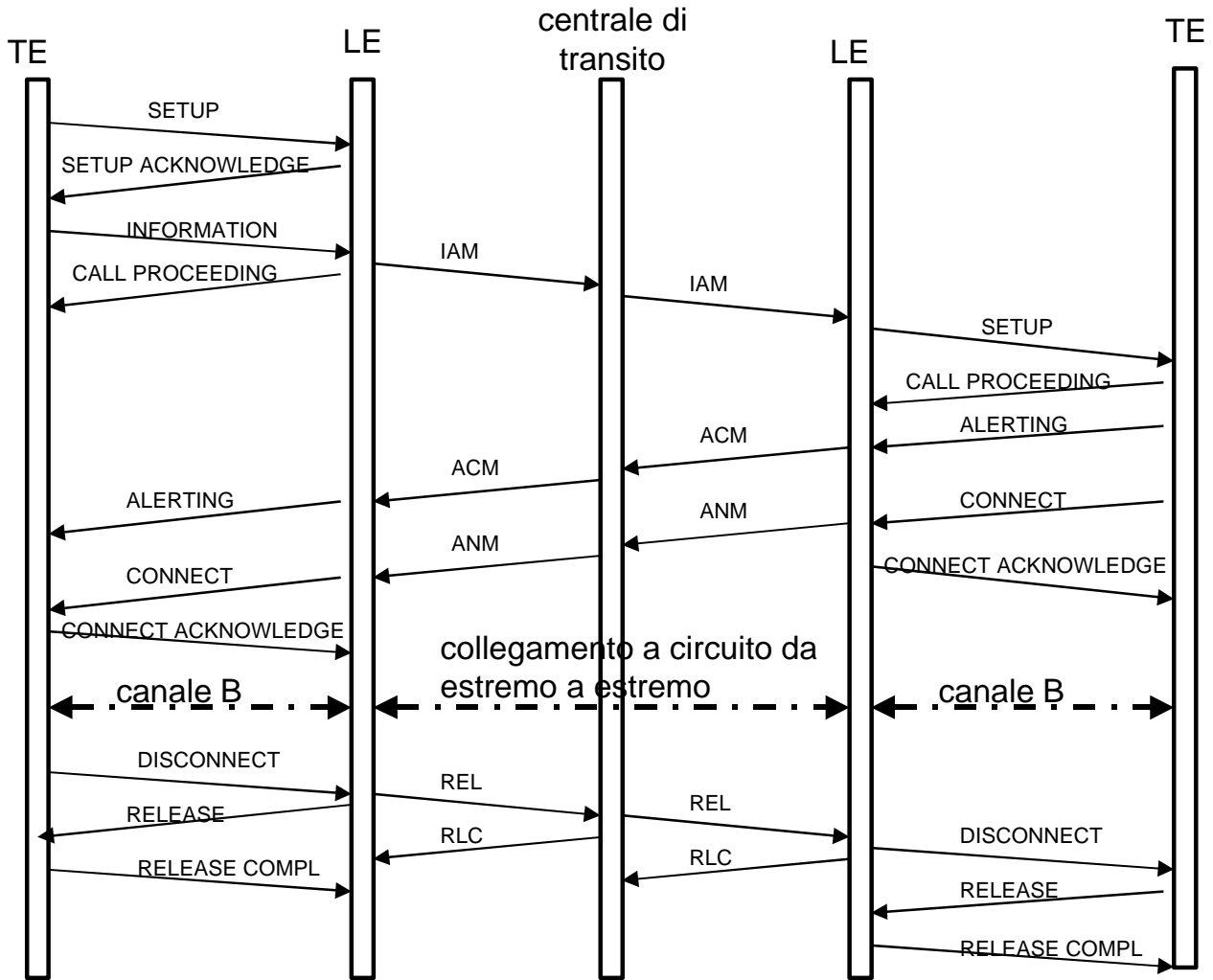


Figura 36: messaggi ISUP e DSS1 per l'instaurazione e l'abbattimento di una chiamata base