

Capitolo III del Testo
Ettore Panella – Giuseppe Spalierno
Corso di Telecomunicazioni 2
Edizioni Cupido

Commutazione telefonica

1. Generalità

Per *commutazione telefonica* si intende l'insieme delle procedure atte a stabilire un collegamento tra due apparecchiature connesse ad una rete telefonica come ad esempio, telefoni, terminali di Personal Computer, telescriventi, ecc.

Il modo più semplice per realizzare una comunicazione tra due utenti è quello di collegare i due apparecchi telefonici mediante due fili. Se però il numero di utenti è elevato, diventa praticamente impossibile realizzare una rete che colleghi a due a due tutti i possibili utenti. Infatti, indicando con n il numero di utenti, è facile convincersi che il numero totale di collegamenti N_c è dato da tutte le combinazioni possibili, cioè:

$$N_c = \frac{n(n-1)}{2}$$

Per $n=1000$ sono necessari, circa 500000 collegamenti.

Gli utenti, pertanto, sono attestati in una centrale telefonica che consente di attivare solo i collegamenti che di volta in volta l'utenza richiede. In fig.1 si mostrano le diverse tipologie di collegamento.

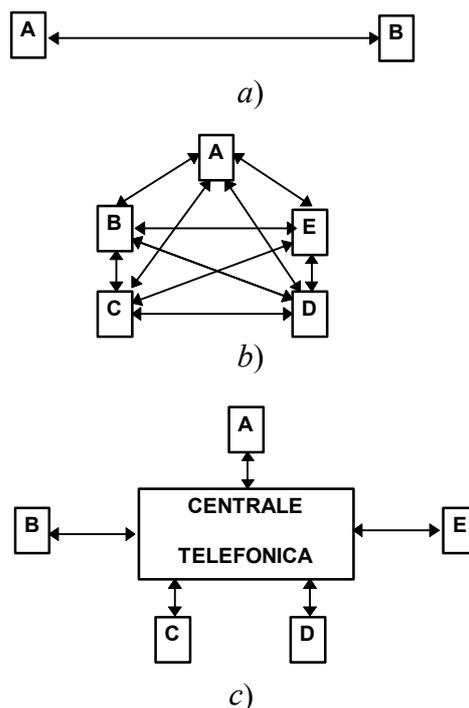


Fig.1 Schemi a blocchi dei fondamentali tipi di collegamento telefonico.

La fig.1a) si riferisce al collegamento tra due soli utenti. In questo caso è sufficiente un solo doppino che collega i due apparecchi telefonici A e B. Nella fig.1b) il collegamento è a maglia completa tra 5 utenti. In tal caso sono richiesti 10 doppini. Nella fig.1c), infine, si mostra il collegamento tra 5 utenti che si allacciano ad una *centrale telefonica*. In questo caso è la centrale che ha il compito di realizzare i collegamenti richiesti. Si osservi che il numero di doppini richiesti è esattamente uguale al numero di apparecchi telefonici attestati alla centrale.

Si definisce *commutatore automatico* o *autocommutatore* l'insieme dei dispositivi che realizzano la commutazione telefonica; cioè il collegamento temporaneo tra due utenti.

Il funzionamento di una centrale telefonica si può schematizzare facendo riferimento ad un centralino manuale. In esso sono presenti i blocchi fondamentali necessari alla commutazione:

- i dispositivi di interconnessione come cordoni con prese a jack;
- le segnalazioni intese come l'insieme delle informazioni che utente ed operatore si scambiano prima di effettuare il collegamento. Fanno parte delle segnalazioni anche il tono di chiamata e tutte le lampade presenti sulla consolle dell'operatore;
- il comando inteso come l'insieme delle procedure manuali che l'operatore deve effettuare per realizzare il collegamento.
- la tassazione cioè le spese che l'abbonato chiamante deve corrispondere all'ente di gestione come, ad esempio, la Telecom.

Normalmente il terminale di utente si attesta alla centrale mediante un collegamento a 2 fili (doppino telefonico). Dall'apparecchio telefonico il doppino giunge dapprima dentro degli *armadi di distribuzione* che sono dei cassoni metallici, collocati per le strade del centro urbano, in grado di ospitare, tipicamente, un centinaio di coppie telefoniche. Dall'armadio di distribuzione, tramite collegamenti sotterranei, la coppia telefonica si attesta al *permutatore di centrale* costituito da un insieme di telai metallici di notevoli dimensioni, su cui è possibile effettuare le *permute*, cioè i collegamenti che fanno corrispondere ad ogni doppino di utente un numero telefonico. I telai del permutatore sono numerati in modo progressivo ed univoco secondo ben determinate regole di assemblaggio atte a semplificare tutte le operazioni di manutenzione e gestione del permutatore. Il collegamento tra le diverse centrali telefoniche è a 4 fili: 2 per la trasmissione e 2 per la ricezione. Ciò si rende necessario poiché nel collegamento tra centrali è spesso indispensabile introdurre amplificatori unidirezionali per compensare le inevitabili attenuazione lungo le linee di trasmissione. Anche nel caso di collegamento in fibra ottica tra centrali è necessario impiegare due fibre, una per la trasmissione e l'altra per la ricezione. Il collegamento tra apparecchiature a 2 fili e quelle a quattro fili si realizza impiegando una forchetta telefonica

La rete telefonica sta subendo un ammodernamento tecnologico notevole necessario per poter supportare tutti i nuovi servizi multimediali che le società di telecomunicazioni intendono offrire ai loro utenti. Il doppino telefonico, che dall'apparecchio d'utente giunge all'armadio di distribuzione, sarà sostituito da cavi coassiali a larga banda e da quel punto in poi tutti i collegamenti saranno realizzati in fibra ottica.

Nelle centrali elettromeccaniche, ormai obsolete, la maggior parte delle funzioni di commutazione sono svolte da dispositivi elettromeccanici denominati *selettori* comandati o da circuiti elettrici a relè o da sistemi a componenti elettronici integrati.

Una centrale elettromeccanica è detta a *comando diretto* se il collegamento tra utente chiamante e utente chiamato si realizza sotto il diretto comando degli impulsi inviati dall'utente chiamante in centrale durante la composizione del numero telefonico.

Una centrale elettromeccanica è a *comando indiretto a registro* se gli impulsi relativi al numero telefonico selezionato sono prima memorizzati in un dispositivo, denominato *registro*, che successivamente comanda i selettori di centrale.

Una centrale, infine, è detta a *comando indiretto a connessione interstadio* se esiste un organo centralizzato, che ricerca tutti i percorsi possibili tra ingresso e uscita e realizza la connessione solo se esiste almeno un percorso libero.

Nelle centrali elettromeccaniche la commutazione avviene mediante la tecnica a *divisione di spazio* SDM (Space Division Multiplexing). Nella SDM i diversi canali di comunicazione sono costituiti da linee fisiche separate che s'interconnettono tra loro solo durante il collegamento. In fig.2 si mostrano gli schemi di principio di un sistema di commutazione SDM nel caso elementare che due utenti chiamanti I_1 e I_2 si debbano, se necessario, collegare a due utenti chiamati U_1 e U_2 .

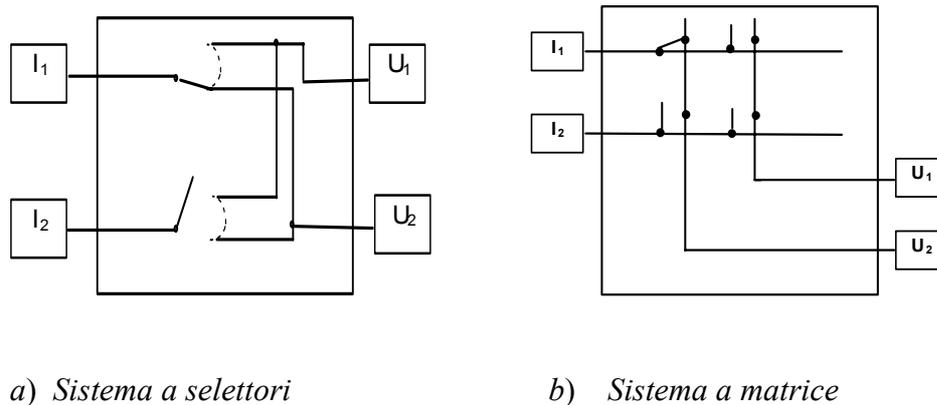


Fig.2 Schema di principio dei principali sistemi di commutazione.

Nella fig.2a), si mostra il sistema a selettori che realizza il collegamento tra I_1 e U_2 .

Ogni selettore presenta una linea di entrata cui è collegato l'utente chiamante I e due linee di uscita connesse in parallelo e collegate agli utenti U . La linea di entrata del selettore è collegata ad un braccio rotante che grazie al suo movimento consente di realizzare il collegamento telefonico desiderato.

Nella fig.2b) si mostra un commutatore a matrice che, come nell'esempio precedente, collega I_1 con U_2 . Agli incroci riga-colonna sono inseriti degli interruttori elettronici che, opportunamente comandati, consentono di stabilire i collegamenti desiderati.

Le moderne centrali telefoniche sono in tecnica digitale e basano il loro funzionamento sul principio della Divisione di Tempo TDM (Time Division Multiplexing) che si avvale della tecnica PCM (Pulse Code Multiplexing). La tecnica TDM consiste nel trasmettere su uno stesso canale fisico più trasmissioni telefoniche simultaneamente assegnando ciclicamente ad ogni utente un breve intervallo di tempo per la trasmissione. Il segnale trasmesso è di tipo digitale ed è ottenuto dalla conversione analogica-digitale dei segnali fonici.

Una centrale telefonica è detta ad *accessibilità piena* se, in assenza di traffico, tra qualunque ingresso e qualunque uscita esiste almeno un percorso diretto. Infine, una centrale è detta *non bloccante* se, in presenza di traffico, tra qualsiasi ingresso e qualsiasi uscita libera esiste almeno un percorso diretto.

2. Segnalazioni tra utente e centrale telefonica

Per poter instaurare un collegamento telefonico tra utente chiamante e utente chiamato è necessario, inizialmente, che vi sia uno scambio di informazioni tra utente e centrale denominato **segnalazioni**. Le segnalazioni riguardano anche il collegamento tra centrali e saranno esaminate nel paragrafo 10.

Le segnalazioni tra utente e centrale consistono nell'invio di particolari segnali fonici intermittenti detti *toni* a frequenza tipica di 425 Hz (corrispondente circa al LA musicale) e ampiezza compresa tra 1 e 2.5 Volt.

Quando un abbonato solleva il microtelefono si collega alla centrale che fornisce all'apparecchio telefonico una tensione di circa 48 V necessaria al funzionamento dell'apparecchio stesso; questa operazione esprime il desiderio di instaurare un collegamento. La centrale risponde con un segnale fonico a 425 Hz intermittente corrispondente alla lettera A dell'alfabeto Morse (punto e linea). Tale segnale detto *tono di centrale* ha un periodo di 2 sec. ed è costituito da un tono di 200 msec. , seguito da una pausa di 200 msec. , da un tono di 600 msec. ed un'ulteriore pausa di 1 sec..

Se è presente il tono di centrale l'utente chiamante seleziona il numero telefonico dell'abbonato con cui desidera collegarsi. Se il collegamento non può effettuarsi per mancanza di giunzioni libere in centrale o perché il chiamato è occupato allora l'utente chiamante riceve il *tono di occupato* corrispondente alla lettera E dell'alfabeto Morse. Tale tono consiste di una serie di segnali fonici di frequenza 425 Hz di durata di circa 500 msec. intervallati da pause di altrettanti 500 msec.

Se l'utente chiamato ha il telefono fuori posto o è in corso un trasferimento di chiamata viene inviato il *tono di congestione* cioè una serie di segnali fonici a 425 Hz ad intervalli di 200 msec.

Il *tono di inclusione* è inviato a due utenti già in conversazione da un operatore che intende inserirsi nel collegamento. Il tono di inclusione ha un periodo di 2 sec. e corrisponde alla lettera I dell'alfabeto Morse; esso consiste di un tono di durata di 200 msec. seguito da una pausa di 200 msec., da un ulteriore tono di 200 msec. e da una pausa di 1400 msec.

Se il chiamato è libero, il chiamante riceve il *tono di chiamata* ovvero una serie di T dell'alfabeto Morse. Tale segnale è costituito da segnali fonici a 425 Hz di durata di 1 sec. con pause di 4 sec.. Contemporaneamente la centrale invia al chiamato, allo stesso ritmo del tono di chiamata, un segnale a 25 Hz e ampiezza compresa tra 70 e 80 Volt, che attiva la suoneria.

Appena il chiamato solleva il microtelefono inizia la procedura di tassazione che termina con la chiusura di uno dei due microtelefoni. In tabella 1 si riassumono le caratteristiche dei principali toni di segnalazione.

Tabella 1
Segnalazioni di centrale

Segnalazione	Tono (sec)	Pausa (sec)	Tono (sec)	Pausa (sec)	Periodo (sec)
Centrale	0.2	0.2	0.6	1	2
Occupato	0.5	0.5	--	--	1
Congestione	0.2	0.2	--	--	0.4
Inclusione	0.2	0.2	0.2	1.4	2
Libero	1	4	--	--	5

3. Componenti fondamentali di una Centrale elettromeccanica

Anche se le centrali di tipo elettromeccanico saranno, a breve termine, completamente sostituite da quelle numeriche in tecnica PCM, è opportuno descriverne il principio di funzionamento per poter meglio comprendere i meccanismi fondamentali che sono alla base della commutazione telefonica.

In fig.3 si mostra lo schema a blocchi semplificato di una centrale elettromeccanica.

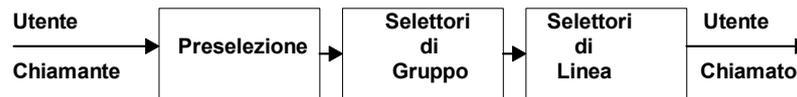


Fig.3 Schema a blocchi di un autocommutatore elettromeccanico.

Gli stadi di preselezione, di gruppo e di linea sono costituiti, essenzialmente, da bracci meccanici rotanti denominati, genericamente, *selettori*.

Lo stadio di preselezione è costituito o da preselettori o da cercatori di chiamata.

Il *preselettore* è un dispositivo ad una entrata ed n uscite (tipicamente 10 o 25 oltre alla posizione di riposo) costituito da un braccio meccanico a rotazione libera. Quando l'abbonato sgancia il microtelefono, il preselettore ruota, automaticamente, alla ricerca di una uscita libera. Le uscite dei preselettori si collegano, normalmente, alle entrate dei selettori di gruppo.

Il *cercatore di chiamata* è un dispositivo a n entrate (tipicamente 100) ed 1 uscita. Quando l'abbonato solleva il microtelefono il cercatore di chiamata si pone automaticamente in rotazione libera alla ricerca del chiamante. Travata tale linea il cercatore di chiamata si ferma. In fig.4 si riportano i relativi simboli grafici.

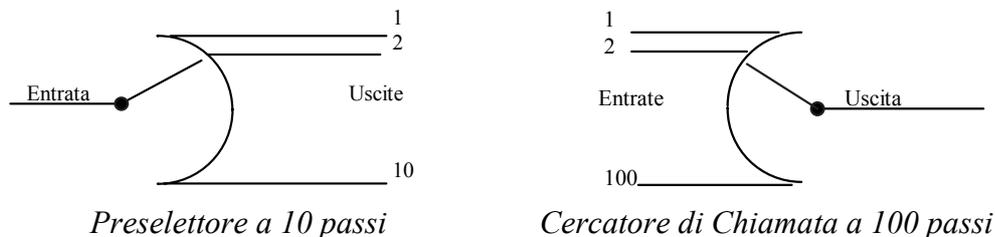


Fig. 4 Simboli elettrici di un preselettore e di un cercatore di chiamata.

I *selettori di gruppo* e i *selettori di linea* sono denominati selettori a grande spostamento.

Il tipo più utilizzato è quello a sollevamento e rotazione a 100 posizioni mostrato in fig.5.

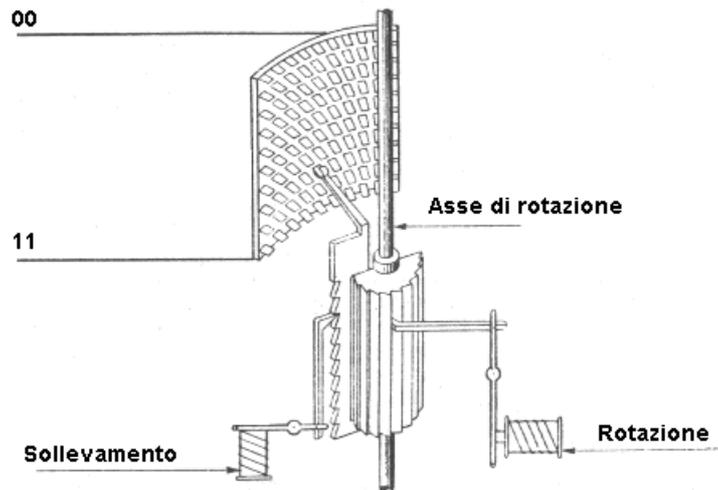


Fig. 5 Selettore a 100 passi a sollevamento e rotazione.

La posizione desiderata viene raggiunta mediante due movimenti il primo di sollevamento del braccio meccanico, il secondo di rotazione. Il comando richiede, pertanto, due cifre telefoniche una per ogni movimento. Nel selettore di linea entrambi i movimenti sono comandati direttamente dall'utente mentre compone le due cifre telefoniche. Nel selettore di gruppo il movimento di sollevamento è comandato direttamente dalla prima cifra telefonica, successivamente il braccio mobile ruota liberamente alla ricerca della linea individuata dalla seconda cifra telefonica.

Nella pratica i selettori hanno, tipicamente, tre bracci mobili solidali tra loro. Due si connettono ai fili di fonia, denominati "filo a" e "filo b", e il terzo, detto "filo c" è impiegato per le operazioni di segnalazione. Altri tipi di selettori a grande spostamento sono quelli a rotazione e penetrazione a 500 posizioni. Tali selettori sono a comando indiretto e sono necessarie due cifre per raggiungere la posizione desiderata. Il primo movimento è di rotazione a 25 passi, il secondo movimento è di penetrazione a 20 passi.

4. Collegamento per 10 utenti

Il collegamento mostrato in fig. 6 è di principio, ed illustra come sia possibile collegare un utente chiamante A con uno dei dieci utenti indicati con U.



Fig. 6 Collegamento di un utente A con 10 utenti U.

Per realizzare il collegamento è sufficiente disporre di un selettore a comando diretto ad un ingresso e 10 uscite, oltre a quella di riposo. Quando il chiamante compone il numero telefonico (in questo caso una sola cifra decimale 1,2,3,.....9,0) invia al selettore un numero di impulsi esattamente uguale alla cifra selezionata. In particolare lo zero corrisponde a 10 impulsi.

Tali impulsi fanno ruotare il braccio del selettore di altrettanti passi raggiungendo, così, la posizione desiderata. Se si espande il collegamento di fig. 5 utilizzando 10 selettori a 10 passi, come riportato in fig. 6, è possibile realizzare 10 collegamenti in modo che 5 utenti possono collegarsi, contemporaneamente, con altrettanti utenti.

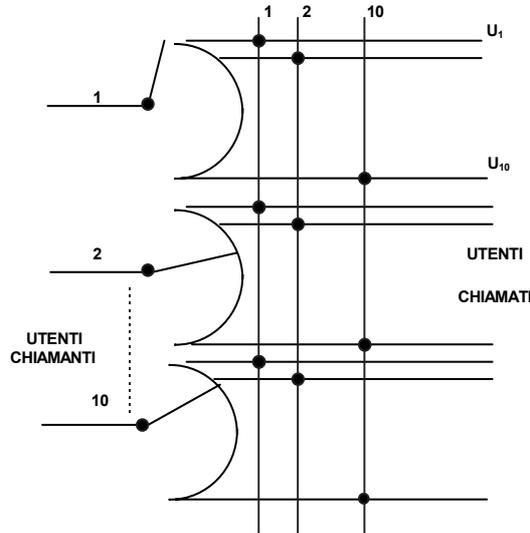


Fig. 6 Collegamento a 10 utenti.

Dalla fig. 6 si osserva che ad ognuno dei 10 abbonati è assegnato un selettore a 10 passi. I passi omologhi di uscita sono collegati tra loro. Inoltre, per convenzione e per maggior chiarezza grafica dello schema di funzionamento, i 10 abbonati sono disegnati sia a sinistra che a destra del selettore. In realtà, fisicamente, le linee di uscita dei selettori ritornano sugli ingressi omologhi.

Se, ad esempio, l'abbonato n°1 desidera collegarsi con il n° 10 dovrà comporre il numero telefonico 0 (il numero 0 corrisponde a 10 impulsi di comando). Tale numero sarà tradotto, in centrale, nella rotazione di 10 passi del selettore 1 ed in tal modo si sarà formato il collegamento tra i due utenti.

5. Collegamento per 100 utenti

Per aumentare il numero di collegamenti si devono impiegare selettori a grande spostamento come quello a sollevamento e rotazione di fig. 5. Impiegando solo selettori a 100 passi a sollevamento e rotazione è possibile allacciare fino a 100 abbonati. Il movimento completo richiede due numeri. La posizione di riposo è in basso a sinistra; in tal modo la cifra delle decine realizza il sollevamento, quella delle unità la rotazione.

In fig. 8 si riporta la matrice delle coordinate numeriche del selettore a sollevamento e rotazione, che individua la coppia delle cifre telefoniche che si devono comporre per raggiungere la linea di uscita desiderata.

01	02	03	04	05	06	07	08	09	00
91	92	93	94	95	96	97	98	99	90
81	82	83	84	85	86	87	88	89	80
71	72	73	74	75	76	77	78	79	70
61	62	63	64	65	66	67	68	69	60
51	52	53	54	55	56	57	58	59	50
41	42	43	44	45	46	47	48	49	40
31	32	33	34	35	36	37	38	39	30
21	22	23	24	25	26	27	28	29	20
11	12	13	14	15	16	17	18	19	10

Fig. 8 Coordinate spaziali di un selettore a 100 posizioni a sollevamento e rotazione.

Il selettore a 100 passi a sollevamento e rotazione ampiamente utilizzato nelle centrali elettromeccaniche, fu inventato da A.B. Strowger nel 1892. In fig. 9 si riporta lo schema di principio di un impianto a 100 abbonati realizzato con 100 selettori di linea del tipo a sollevamento e rotazione.

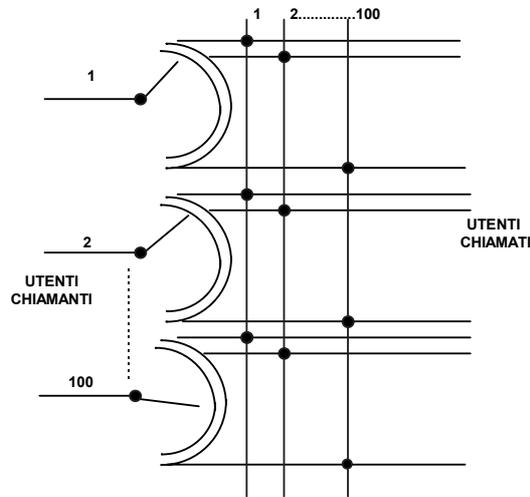


Fig. 9 Impianto per 100 abbonati realizzato mediante 100 selettori a 100 posizioni.

I due archi nel simbolo del selettore a sollevamento e rotazione indicano i due movimenti necessari per il suo funzionamento. Anche in questo caso per chiarezza grafica le linee di utente sono disegnate sia a sinistra che a destra dei selettori.

Il sistema opera in modo analogo a quello di fig. 7 con l'unica differenza che in questo caso il numero telefonico è di due cifre.

Il collegamento mostrato in fig. 9 non è ottimale poiché utilizza un numero di selettori di linea superiore a quello effettivamente necessario. Infatti, se tutti i 100 utenti decidessero di collegarsi tra loro contemporaneamente 50 saranno i chiamanti e 50 i chiamati. Pertanto solo 50 selettori saranno impegnati nel collegamento. Inoltre, si deve tenere conto che:

- i selettori a sollevamento e rotazione sono costosi;
- la teoria del traffico telefonico mostra che nelle ore di punta il numero di collegamenti richiesti è in media il 10% del numero totale di abbonati.

Per risolvere i due precedenti problemi una centrale a 100 abbonati viene realizzata impiegando 100 preselettori, poco costosi, uno per ogni abbonato e 10 selettori di linea a sollevamento e rotazione collegati come in fig. 10. Quando un abbonato solleva il microtelefono il proprio preselettore entra in rotazione libera alla ricerca di un selettore di linea libero. Trovatolo si ferma. L'utente chiamante compone in successione le due cifre telefoniche che comandano direttamente il selettore di linea nei due movimenti di sollevamento e rotazione alla ricerca del collegamento con l'utente chiamato.

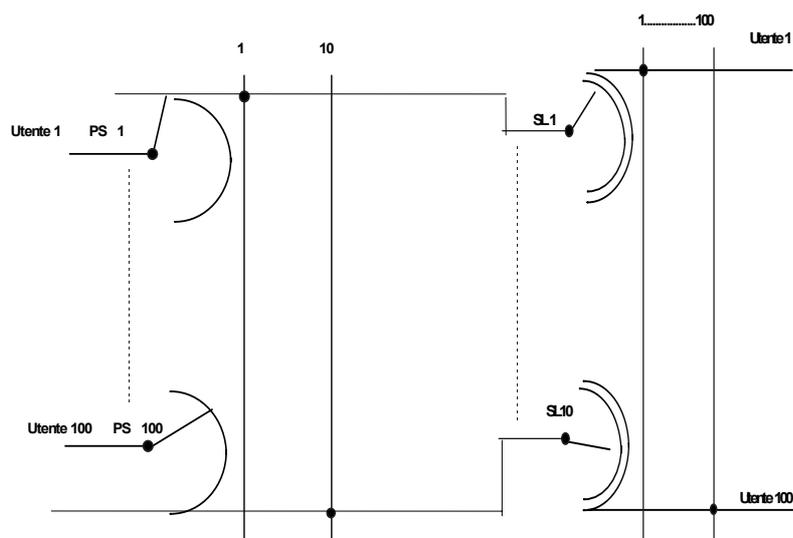


Fig. 10 Impianto a 100 abbonati realizzato con 10 preselettori PS a 10 posizioni e 10 selettori di linea SL a 100 posizioni a sollevamento e rotazione.

Un impianto a 100 abbonati, analogo nel funzionamento a quello di fig. 10, si può realizzare sostituendo ai 100 preselettori 10 cercatori di chiamata a 100 ingressi. Gli ingressi omologhi sono connessi insieme in modo da ottenere le 100 linee d'abbonato. Le 10 uscite dei cercatori di chiamata si collegano alle corrispondenti entrate dei selettori di linea.

Usare dei preselettori o dei cercatori di chiamata nello stadio di preselezione è del tutto equivalente per cui nella pratica sono impiegate indifferentemente entrambe le soluzioni.

6. Collegamento per più di 100 utenti

Se gli abbonati che accedono alla centrale sono più di 100 è necessario inserire tra lo stadio di preselezione e i selettori di linea dei *selettori di gruppo* indicati con I SG, II SG, III SG, ecc. Nel caso di una centrale a 1000 abbonati è sufficiente inserire un solo stadio di gruppo come indicato in fig. 11.

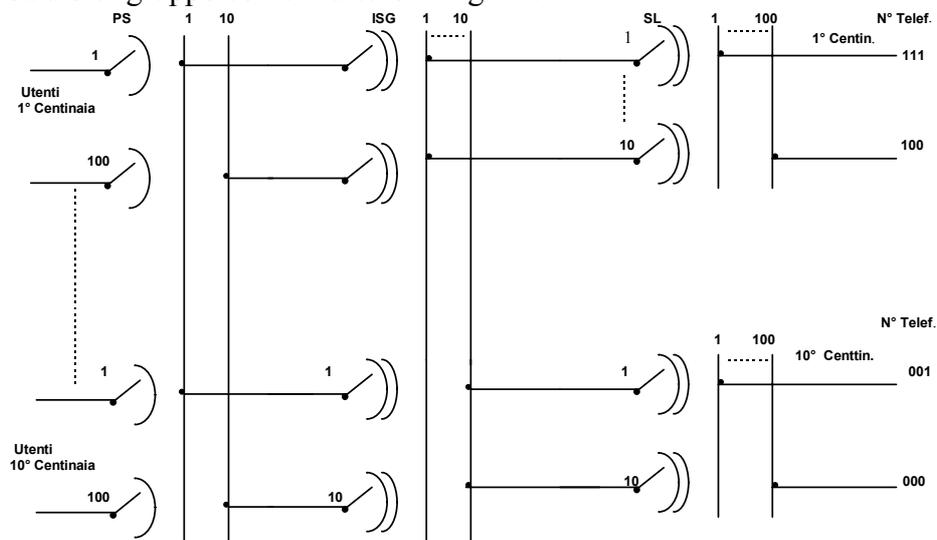


Fig. 11 Impianto per il collegamento di 1000 abbonati.

I 1000 abbonati, collegati ognuno al proprio preselettore PS, sono divisi in 10 gruppi da 100 abbonati. Le 10 uscite di ogni centinaio si allacciano alle corrispondenti entrate dei 10 selettori di gruppo SG. Si ricordi che ogni SG ha 100 uscite costituite da 10 livelli ciascuno a 10 passi. Tutti i livelli dello stesso ordine dei 100 SG sono multiplati tra loro; cioè tutti i 100 livelli 1, tutti i 100 livelli 2, ecc. sono collegati tra loro e danno luogo a 10 uscite verso i 10 selettori di linea SL del corrispondente centinaio. I 100 utenti multiplati, per esempio, sui 10 selettori di linea del livello del 1° centinaio avranno una numerazione compresa tra 111 e 100 e così per gli altri gruppi. Agli utenti di una centrale con 1000 abbonati sono, ovviamente, assegnati numeri telefonici a 3 cifre che vanno da 111 (nel 1° centinaio) a 000 (nel 10° centinaio). Supponiamo che un utente voglia collegarsi con l'abbonato n°683. Sollevato il microtelefono, il preselettore si pone in rotazione alla ricerca di un selettore di gruppo libero. Trovatolo si ferma. L'utente compone la cifra 6 e il corrispondente SG solleva il proprio braccio fino al livello 6 e successivamente entra in rotazione alla ricerca di un selettore di linea libero. E' indifferente quale dei 10 SL sia utilizzato poiché ai fini del collegamento sono equivalenti. La rotazione libera ha una velocità di circa 40 passi al secondo in modo che la ricerca del selettore di linea libero sia compresa nel tempo di pausa tra la formazione della prima e seconda cifra del numero telefonico. Il sistema ha così individuato il 6° centinaio. Le ultime due cifre 83 comandano direttamente i movimenti di sollevamento e rotazione del selettore di linea che, finalmente, si posiziona sulla linea dell'abbonato chiamato 683.

Dallo schema di fig. 10 si deduce che i preselettori svolgono la funzione di *concentrazione* poiché associano a 1000 linee di entrata solo 100 linee di uscita. I selettori di gruppo svolgono la funzione di *distribuzione* poiché distribuiscono i diversi gruppi di 100 abbonati sui selettori di linea. Questi svolgono la funzione di *espansione*, opposta a quella di concentrazione, riportando le linee di uscita a 1000. In fig.12 si riporta lo schema semplificato della stessa centrale a 1000 abbonati.

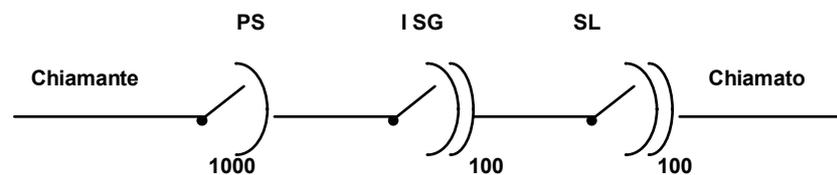


Fig.12 Schema a blocchi semplificato di una centrale a 1000 abbonati.

Una centrale a 10000 abbonati ha una struttura analoga a quella della centrale a 1000 utenti analizzata in fig.10. con la differenza che necessita di un secondo insieme di selettori di gruppo indicati con II SG. In fig.13 si riporta lo schema semplificato di una centrale a 10000 abbonati.

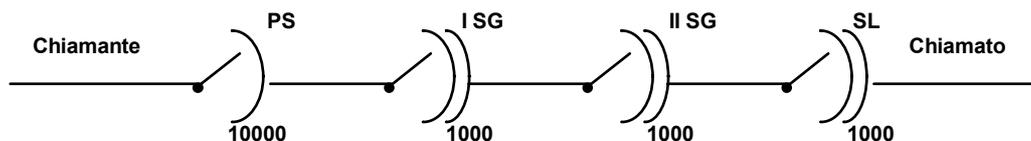


Fig.13 Schema a blocchi semplificato di una centrale a 10000 abbonati.

La selezione del collegamento richiede 4 cifre decimali ed i numeri telefonici saranno compresi tra 1111 e 0000.

In questo caso la centrale sarà costituita da 10000 preselettori, 1000 selettori di gruppo I SG per la selezione della 1° cifra telefonica, 1000 selettori di gruppo II SG per la selezione della 2° cifra ed infine 1000 selettori di linea per la selezione delle ultime due cifre del numero telefonico.

Inserendo ulteriori selettori di gruppo è possibile realizzare centrali ad elevato numero di abbonati. Tipicamente una singola centrale di commutazione non gestisce mai più di 100000 abbonati.

7. Commutazione numerica

I sistemi di trasmissione e di commutazione hanno subito una rapida e continua evoluzione passando dalle classiche tecniche analogiche, che hanno dominato lo scenario delle telecomunicazioni per quasi un secolo, a quelle numeriche apparse nei primi anni '60. Si prevede che entro la fine del secolo tutte le centrali telefoniche italiane saranno in tecnica numerica sia per gli apparati di trasmissioni che per quelli di commutazione.

Gli **autocommutatori numerici** sono dei sistemi elettronici che impiegano dispositivi a circuito integrato di notevole complessità. Le funzioni di commutazione avvengono sotto il comando ed il controllo di uno o più elaboratori, funzionanti in multiprocessing, forniti di un sofisticato software per telecomunicazioni. I principali compiti a cui deve assolvere un autocommutatore numerico si possono sintetizzare nei seguenti punti:

- riconoscere la richiesta di connessione da parte dell'utente chiamante;
- memorizzare il numero telefonico dell'utente chiamato;
- scegliere e realizzare una via di collegamento tra chiamante e chiamato;
- mantenere il collegamento per tutta la durata della conversazione;
- abbattere il collegamento alla chiusura delle apparecchiature telefoniche di uno dei due utenti;
- gestire i servizi supplementari quali memorizzazione dei tempi di conversazione e dei numeri telefonici chiamati, sveglia, avviso di chiamata, ecc.
- gestire la tassazione;
- analizzare, in tempo reale, tutte le operazioni di commutazione segnalando le anomalie di funzionamento;
- inviare ad un centro elettronico di supervisione tutte le informazioni necessarie alla gestione, alla manutenzione e al controllo della centrale.

In fig.14 si riporta lo schema a grandi blocchi di una centrale di commutazione numerica in tecnica PCM.

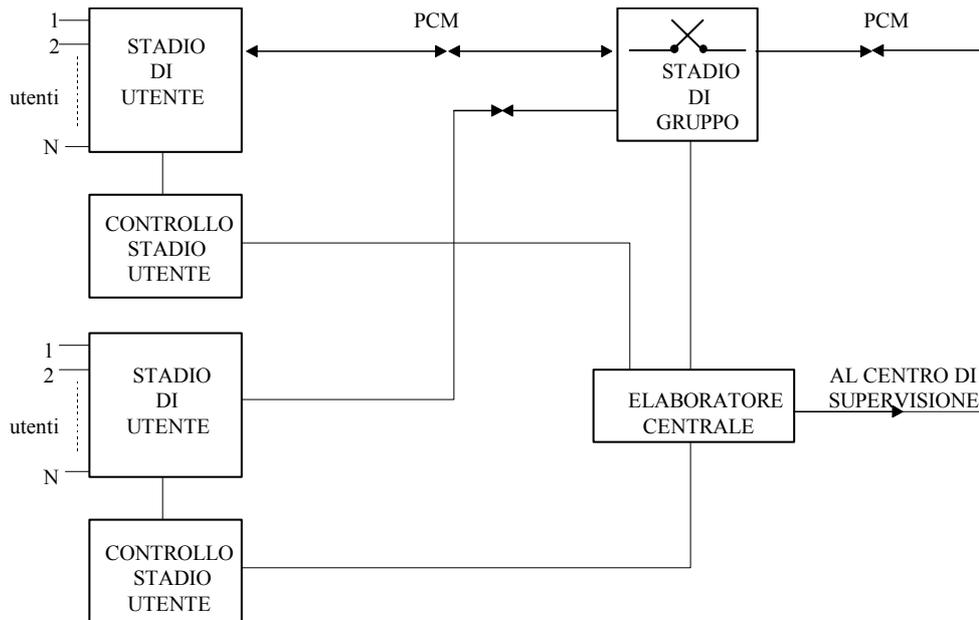


Fig.14 schema a blocchi di una centrale numerica.

Il numero di giunzioni che si attestano ad una centrale numerica dipendono dalla dislocazione territoriale della centrale stessa. Tipicamente una centrale numerica PCM è in grado di gestire un traffico massimo di 100000 giunzioni.

Lo *stadio di utente*, sotto il controllo di un elaboratore, ha il compito di smaltire il traffico locale, nell'ambito della stessa centrale, e di inviare allo stadio di gruppo il traffico esterno diretto verso altre centrali. Lo stadio di utente deve, se necessario, realizzare anche la conversione analogica-digitale in tecnica PCM.

Lo *stadio di gruppo* detto anche stadio di transito ha il compito di smaltire il traffico telefonico relativo ai diversi stadi di utente.

L'*elaboratore centrale* sovrintende alla gestione e alla realizzazione di tutte le operazioni di commutazione ed invia ad un centro di supervisione tutte le informazioni relative ai diversi stadi di commutazione in modo da consentire un ottimale funzionamento dell'intero sistema.

L'utenza che si collega ad una centrale numerica si interfaccia ai vari dispositivi di commutazione mediante unità a microprocessore controllate dall'elaboratore centrale. Tale unità di interfaccia è denominata BORSCHT le cui iniziali indicano le principali operazioni che essa svolge:

Battery	;Alimentazione del doppino telefonico
Over Voltage	;Protezione contro le sovratensioni
Ringng	;Invio del tono di chiamata
Supervision	;Rivelazione dello sgancio e degli impulsi di chiamata
Coding	;Codifica e conversione analogico-digitale e digitale-analogico
Hybrid	;Conversione da 2 a 4 fili e viceversa
Testing	;Test dei segnali e delle procedure di collegamento

7.1. Commutazione numerica PCM

Prima di analizzare le tecniche di funzionamento di un autocommutatore numerico è opportuno richiamare le caratteristiche di tempificazione di un flusso primario PCM.

Una trama PCM a 2.048 Mb/s contiene 32 canali, numerati da 0 a 31, ciascuno dei quali, della durata di 3.9 μ s, è costituito da 8 bit. L'intervallo di tempo di 3.9 μ s dedicato a ciascun canale è indicato con ITn dove n è un numero compreso tra 0 e 31. Dei 32 canali 30 sono di fonia e trasportano l'informazione relativa agli utenti in conversazione e 2 sono impiegati per gestire le operazioni di sincronizzazione e segnalazione. La durata complessiva della trama primaria PCM è di 125 μ s. Nel seguito, per semplificare lo studio, si considererà la possibilità di commutare tutti i 32 canali del fascio PCM indipendentemente se sono di fonia o di servizio.

L'operazione di commutazione numerica tra due canali di uno stesso fascio PCM consiste nello scambiare tra loro i byte informativi contenuti nei rispettivi time slot: Ad esempio, per mettere in comunicazione i tributari (utenti) associati ai time slot IT4 e IT19 è sufficiente scambiare il byte contenuto in IT4 con quello contenuto in IT19 e viceversa. In generale in una centrale numerica si attestano più flussi PCM per cui la commutazione riguarda non solo canali di uno stesso flusso a 2.048 Mb/s ma anche canali appartenenti a flussi primari diversi.

7.2. Matrice monostadio numerica T

Una *matrice monostadio numerica T*, detta monostadio T o struttura T, è, nel caso più semplice, un sistema elettronico a controllo numerico in grado di commutare tra loro i 32 canali di un flusso primario PCM. In fig. 15 si riporta lo schema a blocchi simbolico del monostadio T. In particolare viene evidenziata la commutazione tra il tributario associato al time slot IT4 con quello associato a IT19. In questo caso il contenuto informativo trasmesso dall'utente associato a IT4 è ricevuto dall'utente associato a IT19 e viceversa quello trasmesso da IT19 è ricevuto da IT4.

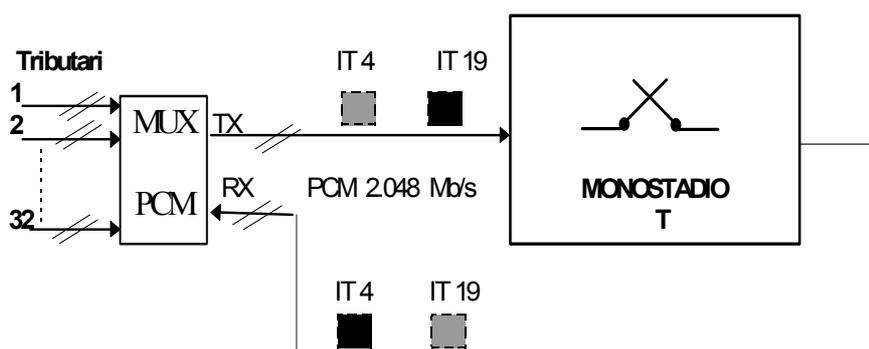


Fig.15 Monostadio T per la commutazione dei 32 canali di un flusso PCM.

La struttura monostadio T è investita al suo ingresso da un treno d'onde a 2.048 Mb/s che ogni 3.9 μ s riversa nella rete i byte informativi dei diversi tributari. Alla stessa velocità in uscita dal monostadio T è presente un flusso PCM con la posizione temporale degli ottetti informativi in funzione del collegamento che si intende instaurare.

Affinché possa avvenire la commutazione tra due canali la rete monostadio T deve contenere almeno una memoria di 32 locazioni ciascuna di 8 bit che consenta il

parcheggio dei 32 byte di canale. Tale memoria è detta *memoria di commutazione* ed è indicata con MC.

La commutazione tra due canali richiede le seguenti operazioni controllate dall'unità di elaborazione:

1. il byte di ciascun canale PCM deve essere convertito, in ingresso, da forma seriale in forma parallela in modo da poter essere manipolato in un solo time-slot di $3.9 \mu\text{s}$. A tale scopo è utilizzato un registro SIPO (Serial Input Parallel Output);
2. i byte dei 32 canali devono essere memorizzati nella MC nella stessa sequenza di arrivo. La scrittura nella MC è sincronizzata e gestita da una opportuna rete di tempificazione;
3. la lettura delle celle della memoria di commutazione non è in sequenza ma le locazioni sono lette in modo da realizzare la commutazione desiderata;
4. i byte letti in forma parallela sono convertiti, in uscita, in forma seriale in modo da ripristinare la struttura temporale della trama PCM. Si impiega un registro PISO (Parallel Input Serial Output).

In fig.16 si riporta lo schema a blocchi semplificato del monostadio T nel caso di commutazione tra i canali IT4 e IT19.

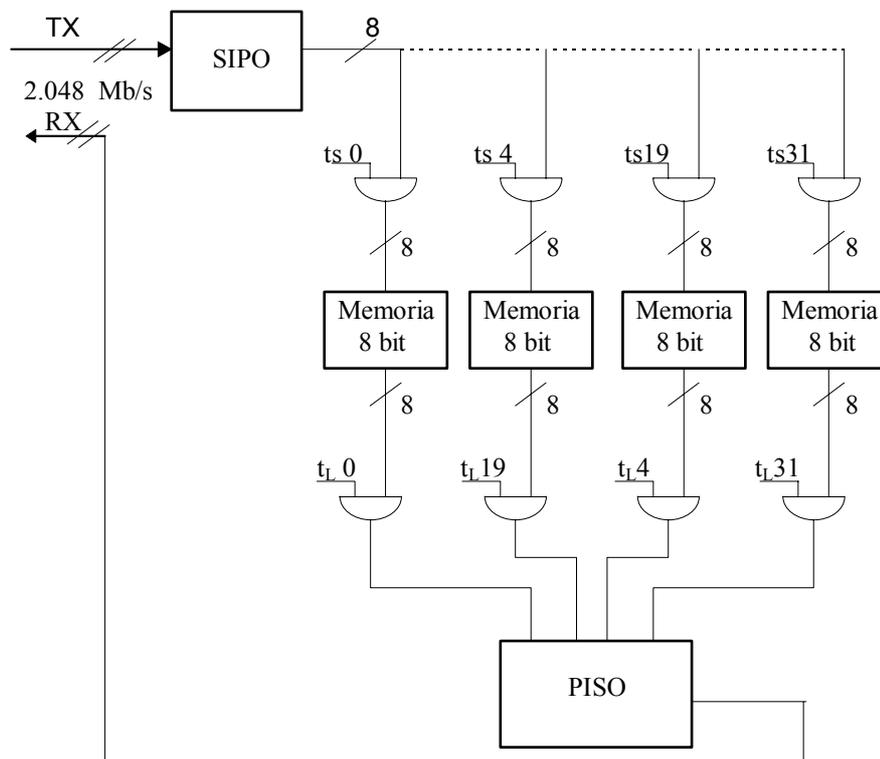


Fig. 16 Schema a blocchi semplificato di una rete monostadio T

Con $t_{s1}, t_{s2}, \dots, t_{s31}$ si sono indicati gli intervalli di tempo in cui è abilitata la scrittura delle singole celle di memoria, mentre con $t_{L1}, t_{L2}, \dots, t_{L31}$ le abilitazioni alla lettura. Si osservi che la commutazione tra IT4 e IT19 si ottiene, semplicemente, leggendo il contenuto della cella di memoria n°4 nel time-slot IT19 (abilitazione degli 8 AND con t_{L19}) mentre il contenuto della cella di memoria n°19 viene letto nel time-slot IT4 (abilitazione degli 8 AND con t_{L4}) della trama successiva. Le abilitazioni alla scrittura e alla lettura della memoria di commutazione devono rimanere attive per tutta la durata

del collegamento tra l'utente associato a IT4 e quello associato a IT19. Il tempo minimo t_{\min} e massimo t_{\max} di permanenza di un byte di canale nella memoria vale:

$$t_{\min} = 3.9 \mu\text{s}; \quad t_{\max} = 125 - 3.9 = 121.1 \mu\text{s}$$

Nel time slot di $3.9 \mu\text{sec}$ si devono compiere due operazioni distinte e sequenziali: la scrittura in memoria e la lettura dalla memoria per cui, supponendo i tempi di lettura e scrittura uguali tra loro si ha:

$$t_s = t_L = \frac{3.9 \mu\text{s}}{2} = 1.953 \mu\text{s}$$

Una rete monostadio T, in generale, deve poter commutare oltre che i canali di un fascio PCM anche i canali appartenenti a fasci PCM diversi. Se i fasci PCM su cui operare sono N allora il monostadio T presenta al suo ingresso un multiplexer MUX che consente di ottenere un unico fascio costituito da $N \cdot 2.048 \text{ Mb/s}$ per ogni verso di trasmissione. Su questo fascio si potrà operare la commutazione dei canali con le medesime modalità descritte per il monostadio T (fig.15) ad un solo fascio primario a 2.048 Mb/s . In uscita un demultiplexer DMX ricostruisce gli N fasci primari a 2.048 Mb/s . In fig. 17 si riporta lo schema a blocchi di una rete monostadio T per la commutazione di N fasci PCM.

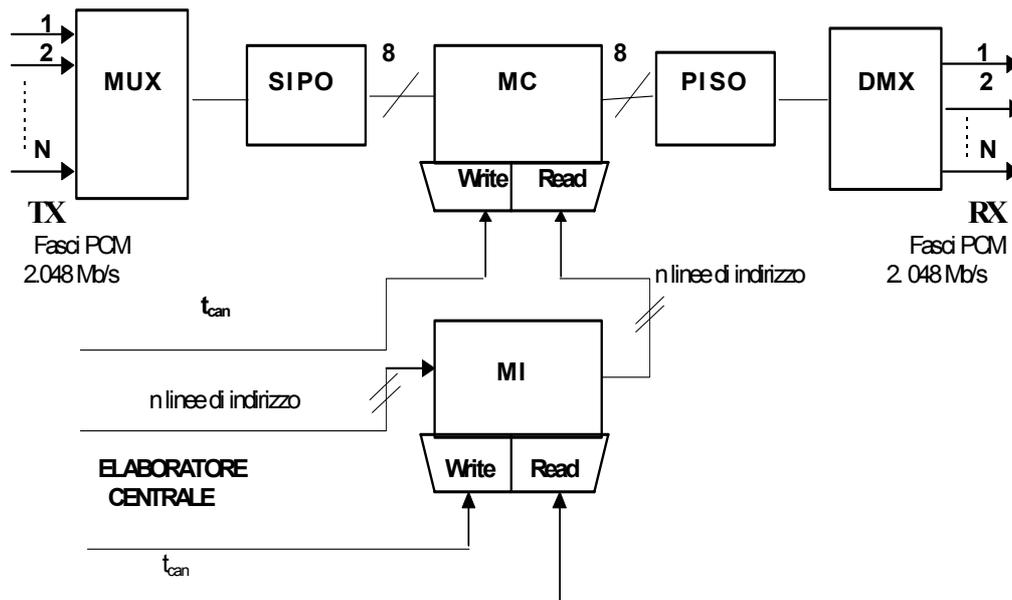


Fig. 16 Schema a blocchi di una rete monostadio T a più fasci PCM.

L'abilitazione alla scrittura e alla lettura della memoria di commutazione, costituita da $32 \cdot N$ celle di memoria a 8 bit, è controllata dall'elaboratore centrale. Il tempo di canale vale:

$$t_{\text{can}} = \frac{3.9}{N} \quad [\mu\text{s}]$$

I tempi t_s e t_L necessari per le operazioni di scrittura e lettura valgono:

$$t_s = t_L = \frac{t_{\text{can}}}{2} \quad [\mu\text{s}]$$

L'indirizzamento ai canali da commutare è gestito da una ulteriore memoria denominata *memoria di indirizzamento* MI che, comandata dall'elaboratore centrale, ha il compito di fornire gli indirizzi delle celle di memoria che, all'interno della memoria di commutazione, devono essere commutate. Poiché le locazioni di memoria da indirizzare sono $32 \cdot N$, il numero n di linee di indirizzo deve soddisfare la seguente relazione:

$$2^n = 32 \cdot N$$

da cui:

$$n = \log_2(32 \cdot N)$$

Se, ad esempio, si devono commutare i canali x e y del fascio moltiplicato a $N \cdot 2.048$ Mb/s, l'elaboratore centrale deve scrivere nella memoria MI l'indirizzo di y nella cella x^{ma} e l'indirizzo di x nella cella y^{ma} . Tali indirizzi devono rimanere memorizzati per l'intera durata del collegamento.

Nell'intervallo di tempo x^{mo} si deve:

- scrivere il byte relativo al canale x nella cella x^{ma} della memoria MC;
- leggere la cella x^{ma} di MI dove è scritto il valore di y ;
- leggere la cella y^{ma} della memoria MC, che contiene il byte relativo al canale y , il cui indirizzo è fornito da MI.

Analogamente, nell'intervallo di tempo y^{mo} si deve:

- scrivere il byte relativo al canale y nella cella y^{ma} della memoria MC;
- leggere la cella y^{ma} della memoria MI dove è scritto il valore di x ;
- leggere la cella x^{ma} della memoria MC, che contiene il byte relativo al canale x , il cui indirizzo è fornito da MI.

In altre parole la memoria di commutazione MC contiene i dati informativi mentre la memoria di indirizzamento MI contiene gli indirizzi dei canali da commutare.

Nelle centrali numeriche PCM per realizzare la commutazione con la tecnica della rete monostadio T si impiega un circuito integrato della grande scala di integrazione denominato **ECI** (Elemento di Commutazione Integrato). Tale dispositivo accetta in entrata 8 fasci PCM a 2.048 Mb/s e genera in uscita altrettanti fasci PCM a 2.048 Mb/s. L'integrato ECI è in grado di operare la commutazione di 256 canali ($32 \cdot 8 = 256$). Più integrati ECI connessi a matrice e comandati da un microprocessore consentono di realizzare reti di commutazione ad elevato numero di canali.

La rete monostadio T può essere impiegata per sistemi in grado di commutare un numero limitato di giunzioni PCM. Infatti, all'aumentare del numero di fasci PCM diminuisce il tempo a disposizione per la lettura e la scrittura delle memorie MC e MI che può divenire incompatibile con la velocità operativa dei circuiti digitali impiegati. Ad esempio, nel caso di 64 fasci PCM si ha che i tempi necessari alla lettura e scrittura delle memorie risultano:

$$t_s = t_L = \frac{3.9 \mu s}{2 \cdot N} = \frac{3.9 \mu s}{2 \cdot 64} = 30.5 \text{ ns}$$

Nella pratica si utilizzano memorie a semiconduttori in tecnologia ECL che consentono tempi di accesso in memoria di pochi nanosecondi. Ciò permette di ottenere reti monostadio T modulari in grado di commutare diverse migliaia di canali telefonici.

Per commutare un maggior numero di canali si ricorre a strutture modulari con più reti monostadio T.

7.3. Reti bistadio tempo-spazio TS e spazio-tempo ST

In fig.18 si riporta lo schema a blocchi di una rete bistadio tempo-spazio TS.

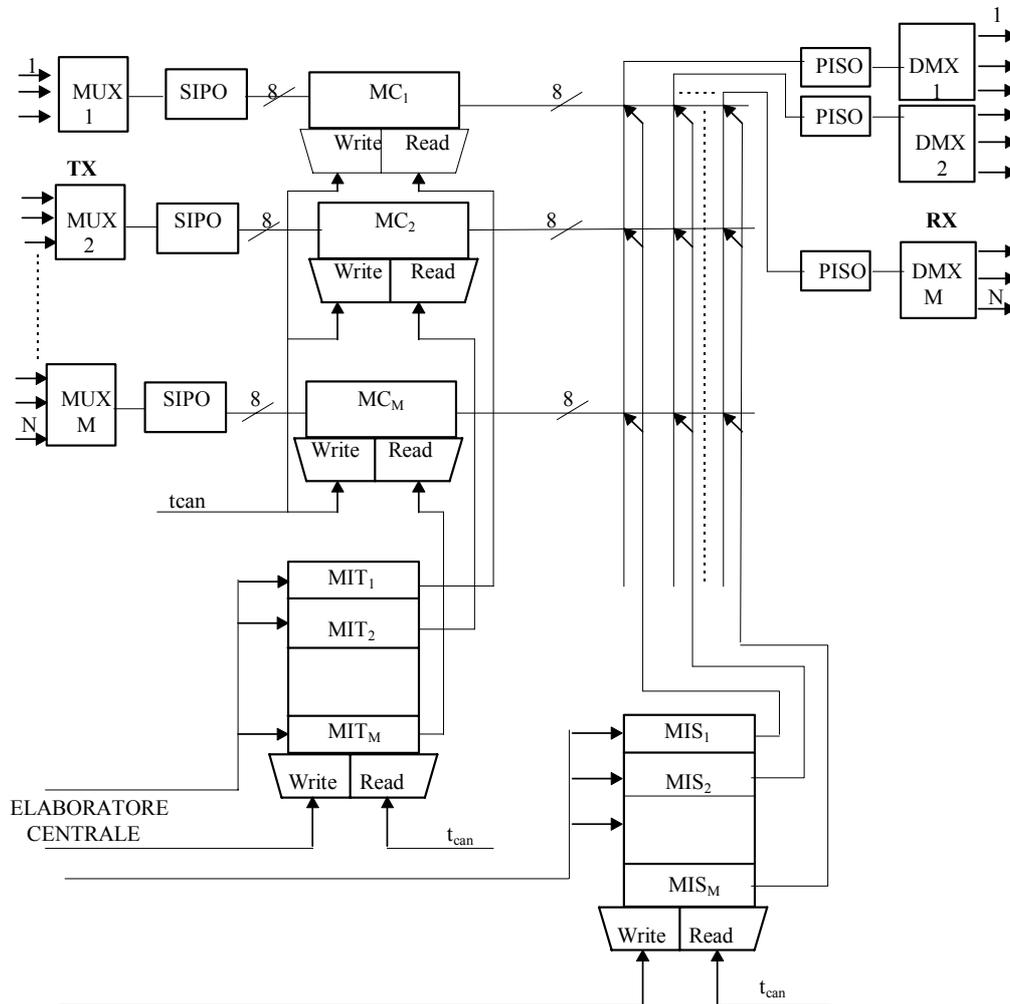


Fig. 18 Schema a blocchi di una rete bistadio tempo-spazio.

Gli N fasci PCM ciascuno a 2.048 Mb/s sono divisi in M gruppi ognuno dei quali è moltiplicato da un multiplexer MUX e genera un flusso binario di:

$$\frac{N}{M} \cdot 2.048 \quad [\text{Mb/s}]$$

Tali flussi sono dapprima convertiti dalla forma seriale a quella parallela da un registro SIPO e successivamente immessi in M reti monostadio a T con memoria di commutazione MC e memoria di indirizzamento MI di capacità di $32 \cdot N/M$ celle di memoria a 8 bit. Le linee di uscita delle memorie MC confluiscono in una particolare struttura denominata *matrice spaziale a divisione di tempo* SDT. Tale struttura è costituita da una matrice di linee ai cui incroci sono inserite delle porte logiche AND (non indicate in figura) comandate da una particolare memoria denominata *memoria di indirizzamento spaziale* MIS che definisce l'incrocio che deve essere commutato. La funzione della memoria SDT è quella di scambiare un canale da un fascio ad un altro senza modificarne la posizione temporale. Cioè, se il canale x appartiene al fascio A nel

time-slot K, dopo la commutazione il canale x si troverà in un nuovo fascio, diciamo B, sempre però nel time-slot K.

Il circuito di uscita della rete TS contiene dei registri di conversione dalla forma parallela a quella seriale PISO e un insieme di M demultiplatori DMX in grado di ricostruire i flussi PCM a 2.048 Mb/s.

Per commutare due canali, ad esempio il canale i del gruppo X con il canale k del gruppo Y, l'elaboratore centrale deve effettuare le seguenti operazioni:

- traslare il byte del canale i nell'intervallo di tempo k^{mo} ;
- trasferire nell'intervallo di tempo k^{mo} il byte del canale i sull'uscita Y;
- traslare il byte del canale k nell'intervallo di tempo i^{mo} ;
- trasferire, nell'intervallo di tempo i^{mo} , il byte del canale k sull'uscita X.

I tempi di scrittura e lettura per una rete bistadio TS si valutano mediante la seguente relazione:

$$t_s = t_L = \frac{3.9}{2} \cdot \frac{M}{N} \quad [\mu s]$$

La commutazione può essere realizzata anche mediante la *rete bistadio spazio-tempo* ST che presenta una struttura duale a quella TS descritta precedentemente. Nella rete ST la stadio di ingresso è una matrice spaziale SDT mentre lo stadio di uscita è una rete monostadio T.

7.4. Reti multistadio

Le reti di commutazione multistadio si realizzano mediante il collegamento in cascata di più stadi di tipo T e SDT. In tutte le reti multistadio almeno una deve essere di tipo T. Al primo stadio sono collegate le terminazioni di ingresso mentre all'ultimo stadio quelle di uscita con i soliti registri serie/parallelo e parallelo/serie. Nella seguente tabella 2 si riportano le strutture multistadio più comuni.

Tabella 2
Strutture multilivello.

Numero stadi	Struttura della rete
2	TS, ST
3	TST, STS, TTT
4	TSST, STTS
5	TSSST, STTTS
6	STSSTS TSSSST

Si può dimostrare che le strutture di tipo T hanno un costo inferiore a quelle di tipo SDT. Queste ultime, però, presentano una maggiore affidabilità di funzionamento. Le strutture maggiormente impiegate sono quelle tristadio TST e TTT. In tutte le centrali telefoniche per garantire un servizio efficiente e continuo, le schede elettroniche degli apparati sia di trasmissione che di commutazione sono sempre doppie; una scheda è in funzione e l'altra è in riserva calda cioè è attivata ma non abilitata. In caso di avaria della scheda principale entra immediatamente in funzione quella di riserva in modo da garantire una continuità del servizio. Una serie di segnalazioni indicano al tecnico di centrale come intervenire per ripristinare il normale funzionamento. Alcuni esempi di centrali numeriche attualmente in uso sono:

FACE 1240 ,ITALTEL UT e ERICSSON-FATME AXE.

8. Segnalazioni tra autocommutatori

Le segnalazioni tra centrali sia numeriche che analogiche hanno la funzione di garantire la corretta interconnessione tra gli autocommutatori. Nelle centrali analogiche le tecniche di segnalazione sono dette di *tipo associato* poiché viaggiano sul medesimo circuito interessato alla fonia. Il metodo di segnalazione analogico di tipo associato tende a scomparire per far posto al più efficiente sistema in tecnica PCM a *canale comune* descritto nel successivo paragrafo. Le segnalazioni di tipo associato si basano sui seguenti sistemi:

- **in corrente continua**, ottenuto mediante opportuna interruzione della corrente continua di alimentazione;
- **a frequenze in banda fonica**, impiegando una, due o più frequenze comprese entro la banda netta 300Hz-3400Hz. Il sistema ad una sola frequenza opera in modo on-off mediante l'invio di un segnale a frequenza di 2280 Hz secondo la normativa ITU-T n°3. Il sistema a due frequenze impiega le frequenze di 2040 Hz e 2400 Hz secondo la normativa ITU-T n°4. Infine la normativa ITU-T n°5 impone l'utilizzo di otto frequenze: 700-900-1100-1300-1500-1700-2400-2600 Hz. In questi ultimi due sistemi la codifica delle segnalazioni è affidata ad opportune combinazioni delle frequenze di lavoro. Con questo metodo durante l'invio delle segnalazioni non è consentita la comunicazione fonica.
- **a frequenza fuori banda fonica**, mediante l'impiego on-off di un segnale a frequenza di 3825Hz interno alla banda lorda 0-4KHz ma fuori da quella netta. Opportuni circuiti filtranti consentono di separare la banda fonica 300-3400 Hz dal segnale a 3825 Hz sia negli apparati di trasmissione che in quelli di ricezione. Tale tecnica è utilizzata nei sistemi FDM.
- **multifrequenza**, è utilizzato in impianti di collegamento con molti transiti tra centrali interdistrettuali. Il sistema di colloquio tra centrali impiega segnali di registro costituiti da *due frequenze* scelte tra le seguenti:
 - 1380;1500;1620;1740;1980 Hz per le segnalazioni in avanti sistema 2/6 (si legge 2 su 6);
 - 780;900;1020;1140 Hz per le segnalazioni a ritroso sistema 2/4;

Il sistema multifrequenza assegna alle diverse combinazioni di due frequenze i vari messaggi di segnalazione. La centrale di transito che riceve le cifre di selezione richiede l'invio delle cifre successive mediante la trasmissione a ritroso di un apposito codice del sistema 2/4. Nelle seguenti tabelle 3 e 4 si riportano alcuni dei numerosi segnali di registro impiegati nel sistema multifrequenza.

Tabella 3
Sistema di segnalazione multifrequenza 2/6 in avanti

Segnali in avanti	Frequenze gruppo 2/6 (Hz)
cifra 1	1380-1500
cifra 2	1380-1620
cifra 3	1500-1620
cifra 4	1380-1740
cifra 5	1500-1740
cifra 6	1620-1740
cifra 7	1380-1860
cifra 8	1500-1860
cifra 9	1620-1860
cifra 0	1740-1860
codice 11 per traffico internazionale	1380-1980
codice 12 per traffico internazionale	1500-1980

Tabella 4

Sistema di segnalazioni multifrequenza 2/4 a ritroso

Segnali a ritroso	Frequenze gruppo 2/4 (Hz)
richiesta cifra successiva	1020-1140
richiesta prima cifra	900-1140
linea occupata	900-1020
richiesta origine chiamata	780-1020
congestione	780-1140
posizione di conversazione	780-900

I segnali impiegati nei sistemi associati si possono suddividere nelle seguenti categorie:

- **segnali di linea:** impegno, svincolo, blocco della linea, fine conversazione, ecc. Sono gestiti da opportuni dispositivi collegati a ciascuna linea e hanno la funzione di preparazione e controllo della linea stessa.
- **segnali di registro:** origine della chiamata, cifre di selezione e fine selezione. Sono gestiti da dispositivi di controllo che si connettono alla linea solo durante le operazioni di selezione.

L'invio delle cifre di selezione può avvenire con due metodi denominati rispettivamente da *sezione a sezione* e da *estremo ad estremo*. Nel primo caso la centrale di partenza invia alla centrale successiva tutte le cifre per la selezione. Quest'ultima centrale decodifica tali cifre e definisce l'instradamento necessario per identificare l'utente. Nel metodo da estremo ad estremo, la centrale di partenza invia ai registri della centrale successiva solo le cifre necessarie ad un corretto instradamento della comunicazione telefonica.

Per quanto concerne la codifica dei messaggi di segnalazione essa può essere:

- **impulsiva.** In questo caso i segnali sono di tipo impulsivo e la codifica si ricava analizzando la durata e l'ordine con cui essi giungono all'apparato ricevente;
- **asservita.** La segnalazione viene trasmessa finché l'apparato ricevente non invia a quello trasmittente una ulteriore segnalazione che indichi la buona riuscita della trasmissione.

Per quanto concerne le centrali numeriche, che a breve sostituiranno completamente quelle analogiche, i metodi impiegati per le segnalazioni sono:

- sistema PCM di segnalazione associato;
- sistema PCM con segnalazione a canale comune.

8.1. Sistema PCM con segnalazione associata al canale

Ricordiamo che la trama primaria PCM a 2.048Mbit/sec, analizzata nel Capitolo relativo alla modulazione PCM, ha una durata di 125µsec e contiene la codifica a 8 bit di 32 canali di cui 30, detti *tributari*, dedicati alla fonia e 2 di servizio. La trama primaria è costituita da $32 \cdot 8 = 256$ bit. Ciascun canale, con capacità informativa di 64Kbit/sec, è indicato con IT_n, e ha durata di 3.9µsec. L'indice n assume i valori interi da 0 a 31. Alla fonia sono attribuiti tutti i canali della trama ad eccezione dei canali IT₀ e IT₁₆. Il byte contenuto in IT₀ consente l'allineamento e la sincronizzazione delle trame, mentre quello in IT₁₆ fornisce le segnalazioni e all'allineamento di multitrama.

Multitrama e segnalazioni.

Poiché il byte associato al canale IT₁₆ non contiene informazioni di fonia ma solo quelle relative alle segnalazioni, è evidente che in una sola trama non è possibile inviare

tutti i bit di segnalazione per la gestione dei 30 canali tributari. Infatti, se si utilizzasse un solo bit per la segnalazione di ciascun canale fonico con gli 8 bit contenuti in IT16 si potrebbero gestire le segnalazioni di solo 8 canali. E' necessario, pertanto, impiegare più trame per poter gestire completamente il sistema di segnalazione. Si è convenuto, a livello internazionale, di impiegare una struttura con 16 trame, indicate con T0, T1, T2, ..., T15, denominata **multitrama**. La multitrama è costituita da $16 \cdot 256 = 4096$ bit con durata pari a $16 \cdot 125 \mu s = 2 \text{ msec}$. In tal modo ogni intervallo IT16 è dedicato alle segnalazioni di 2 canali tributari impiegando 2 soli bit degli 8 disponibili. In pratica, però, si possono utilizzare 4 bit degli 8 disponibili in ciascun IT16 per gestire un canale fonico realizzando, in tal modo, un sistema di segnalazione con una grande potenzialità informativa che può essere vantaggiosamente utilizzata nei nuovi sistemi integrati di telecomunicazione. Si osservi che per esaurire le segnalazioni dei 30 canali di fonia sono necessarie 15 trame (ogni IT16 gestisce 2 canali) mentre si è detto che la multitrama è costituita da 16 trame. La trama in più è la trama T0. L'intervallo di tempo IT16 di tale trama non contiene bit di segnalazione veri e propri ma una particolare parola, indicata con W e denominata *parola di allineamento di multitrama*. A tale parola è affidato il compito di far riconoscere l'esatta sequenza delle trame da T0 a T15. La parola di allineamento di multitrama è:

Parola di multitrama W: 0000X₁S₂X₂X₃;

I primi 4 bit, posti al livello basso, rappresentano la effettiva informazione di allineamento e come tali devono essere riconosciuti dall'apparato ricevente. In caso contrario il cosiddetto *sesto bit* S₂ è posto al livello alto ed inviato a ritroso dall'apparato ricevente a quello trasmittente per indicare il *Fuori Allineamento Multitrama FAMT*. Tale situazione è segnalata dall'accensione di un diodo LED. Tutti gli allarmi, comunque, sono inviati mediante apposito modem di centrale ad un centro di elaborazione dati. I bit X₁ X₂X₃ se non utilizzati sono posti al livello logico 1, altrimenti ciascuno di essi può essere impiegato per la trasmissione di segnali, ad uso nazionale, a bassa velocità di 500 bit/sec (1 bit ogni 2 msec).

In tabella 5 si riporta il significato dei bit relativi al time slot IT16 della multitrama. Tale struttura di segnalazione a canale associato, è denominata *a due vie per verso*. Nell'IT16 della trama T0 è inserita la parola di allineamento di multitrama W, mentre negli IT16 delle trame da T1 a T15 sono inviati i bit di segnalazione. Con le lettere A e B si indicano i fili che si attestano nel multiplatore PCM relativi ai bit di segnalazione veloce e lenta, mentre il pedice di ogni lettera indica il numero di canale a cui è associata la segnalazione. Si osservi che la via di segnalazione veloce A si aggiorna ogni 8 trame (tempo di aggiornamento 1msec, con capacità informativa di 1Kbit/sec.) mentre quella lenta si aggiorna ogni 16 trame (tempo di aggiornamento 2msec, con capacità informativa di 500 bit/sec.). Ad esempio, la segnalazione veloce A₁ viene letta due volte nel tempo di multitrama e precisamente nella trama T1 e nella trama T9, mentre la segnalazione lenta B1 viene letta solo nella trama T1.

Tabella 5
Bit dell'IT16 relativi alle segnalazioni PCM a canale associato
a due vie per verso

TRAMA	BIT1	BIT2	BIT3	BIT4	BIT5	BIT6	BIT7	BIT8
T0	0	0	0	0	X ₁	S ₂	X ₂	X ₃
T1	A ₁	B ₁	A ₈	1	A ₁₇	B ₁₇	A ₂₄	1
T2	A ₂	B ₂	A ₉	1	A ₁₈	B ₁₈	A ₂₅	1
T3	A ₃	B ₃	A ₁₀	1	A ₁₉	B ₁₉	A ₂₆	1
T4	A ₄	B ₄	A ₁₁	1	A ₂₀	B ₂₀	A ₂₇	1
T5	A ₅	B ₅	A ₁₂	1	A ₂₁	B ₂₁	A ₂₈	1
T6	A ₆	B ₆	A ₁₃	1	A ₂₂	B ₂₂	A ₂₉	1
T7	A ₇	B ₇	A ₁₄	1	A ₂₃	B ₂₃	A ₃₀	1
T8	A ₈	B ₈	A ₁₅	1	A ₂₄	B ₂₄	A ₃₁	1
T9	A ₉	B ₉	A ₁	1	A ₂₅	B ₂₅	A ₁₇	1
T10	A ₁₀	B ₁₀	A ₂	1	A ₂₆	B ₂₆	A ₁₈	1
T11	A ₁₁	B ₁₁	A ₃	1	A ₂₇	B ₂₇	A ₁₉	1
T12	A ₁₂	B ₁₂	A ₄	1	A ₂₈	B ₂₈	A ₂₀	1
T13	A ₁₃	B ₁₃	A ₅	1	A ₂₉	B ₂₉	A ₂₁	1
T14	A ₁₄	B ₁₄	A ₆	1	A ₃₀	B ₃₀	A ₂₂	1
T15	A ₁₅	B ₁₅	A ₇	1	A ₃₁	B ₃₁	A ₂₃	1

Il metodo delle segnalazioni a due vie per verso, lenta e veloce, non è conforme alle normative internazionali dell'ITU-T e, allo stato attuale, non ha dimostrato reali vantaggi nella gestione dei sistemi di commutazione numerica. Pertanto, nei PCM di ultima generazione (normativa N2 e successive) si impiega il sistema di segnalazione a due vie per verso di tipo lento raccomandato dall'ITU-T. La tabella delle segnalazioni per tale sistema si ottiene ponendo al livello 0 tutti i bit della 3^a e 7^a colonna delle trame da T1 a T15. I sistemi PCM di ultima generazione risultano, comunque, compatibili e interfacciabili con quelli della generazione precedente con normativa N1 (ormai obsoleta) utilizzando la tabella 5.

Per ultimo si fa osservare che la normativa dell'ITU-T prevede anche l'uso di tutti i bit assegnati alle segnalazioni secondo la tabella 6.

Tabella 6
Bit dell'IT16 relativi alle segnalazioni PCM a canale associato a due vie per verso

TRAMA	BIT1	BIT2	BIT3	BIT4	BIT5	BIT6	BIT7	BIT8
T0	0	0	0	0	X ₁	S ₂	X ₂	X ₃
T1	A ₁	B ₁	C ₁	D ₁	A ₁₇	B ₁₇	C ₁₇	D ₁₇
T2	A ₂	B ₂	C ₂	D ₂	A ₁₈	B ₁₈	C ₁₈	D ₁₈
T3	A ₃	B ₃	C ₃	D ₃	A ₁₉	B ₁₉	C ₁₉	D ₁₉
T4	A ₄	B ₄	C ₄	D ₄	A ₂₀	B ₂₀	C ₂₀	D ₂₀
T5	A ₅	B ₅	C ₅	D ₅	A ₂₁	B ₂₁	C ₂₁	D ₂₁
T6	A ₆	B ₆	C ₆	D ₆	A ₂₂	B ₂₂	C ₂₂	D ₂₂
T7	A ₇	B ₇	C ₇	D ₇	A ₂₃	B ₂₃	C ₂₃	D ₂₃
T8	A ₈	B ₈	C ₈	D ₈	A ₂₄	B ₂₄	C ₂₄	D ₂₄
T9	A ₉	B ₉	C ₉	D ₉	A ₂₅	B ₂₅	C ₂₅	D ₂₅
T10	A ₁₀	B ₁₀	C ₁₀	D ₁₀	A ₂₆	B ₂₆	C ₂₆	D ₂₆
T11	A ₁₁	B ₁₁	C ₁₁	D ₁₁	A ₂₇	B ₂₇	C ₂₇	D ₂₇
T12	A ₁₂	B ₁₂	C ₁₂	D ₁₂	A ₂₈	B ₂₈	C ₂₈	D ₂₈
T13	A ₁₃	B ₁₃	C ₁₃	D ₁₃	A ₂₉	B ₂₉	C ₂₉	D ₂₉
T14	A ₁₄	B ₁₄	C ₁₄	D ₁₄	A ₃₀	B ₃₀	C ₃₀	D ₃₀
T15	A ₁₅	B ₁₅	C ₁₅	D ₁₅	A ₃₁	B ₃₁	C ₃₁	D ₃₁

In questo caso in ogni tramo da T1 a T15 ci sono 4 bit per il canale i-esimo e altri 4 bit i+16-esimo. Ad esempio, nella trama T₁ si ha l'invio di 4 bit di segnalazione per il canale tributario IT1 (A₁B₁C₁D₁) e 4 bit per il canale IT17 (A₁₇B₁₇C₁₇D₁₇). Con questo tipo di segnalazione si ottiene un sistema con elevata capacità informativa che ben si adatta ai nuovi apparati numerici integrati nelle tecniche e nei servizi.

Parole di allineamento A e B di IT0.

Nell'intervallo di tempo IT0 è inserito un byte che consente l'allineamento tra i canali. Il terminale PCM ricevente riconosciuta la posizione della parola di allineamento è in grado di stabilire, senza ambiguità, la posizione e l'ordine dei canali di fonia. Sono previste due parole di allineamento; una per le trame pari, denominata parola A, l'altra per la trame dispari, denominata parola B:

• **Trame pari, parola A:** $X_10011011$;

• **Trame dispari, parola B:** X_11S_11111 .

Il cosiddetto *terzo bit* S_1 viene forzato al livello alto per indicare un *fuori allineamento trama* (FAT) o una *manca di impulsi di ricezione* (MIR). Infatti, se il ricevitore registra un fuori allineamento trama comunica a ritroso tale situazione all'apparato trasmittente che commuta lo stato del bit S_1 dal livello basso 0 a quello alto 1. Tale situazione viene segnalata dall'accensione di un diodo LED. Il bit X_1 delle trame pari è utilizzato per la supervisione della qualità dei dati ricevuti mediante codice CRC (Cyclic Redundancy Check) secondo la normativa G704 dell'ITU-T. Il bit X_1 delle trame dispari è utilizzato per l'allineamento di multitrama del CRC e per trasmissioni dati internazionali a velocità di 500 bit/sec. La normativa G704 prevede la suddivisione logica della struttura di multitrama in 2 sotto-multitrame da 8 trame ciascuna, come mostrato nella tabella 7.

Tabella 7
Stato logico dei bit dell'IT0 nella struttura multitrama

SOTTO MULTITRAMA	TRAMA	BIT1 (X_1)	BIT2	BIT3	BIT4	BIT5	BIT6	BIT7	BIT8
1	T0	C_1	0	0	1	1	0	1	1
	T1	0	1	S_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
	T2	C_2	0	0	1	1	0	1	1
	T3	0	1	S_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
	T4	C_3	0	0	1	1	0	1	1
	T5	1	1	S_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
	T6	C_4	0	0	1	1	0	1	1
	T7	0	1	S_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
2	T8	C_1	0	0	1	1	0	1	1
	T9	1	1	S_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
	T10	C_2	0	0	1	1	0	1	1
	T11	1	1	S_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
	T12	C_3	0	0	1	1	0	1	1
	T13	Z_1	1	S_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
	T14	C_4	0	0	1	1	0	1	1
	T15	Z_2	1	S_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6

Nelle trame pari il bit X_1 è sostituito dai bit del codice CRC indicati con $C_1C_2C_3C_4$ sia nella prima che nella seconda sotto-multitrama. Nelle trame dispari X_1 contiene dei bit che svolgono il ruolo di parola di allineamento di multitrama del CRC. Tali bit assumono lo stato logico: 001011. Gli ultimi due bit indicati con Z_1 e Z_2 sono bit liberi impiegati per trasmissione di segnali ad uso internazionale con capacità informativa di 500 bit/sec ciascuno. Gli altri bit della tabella assumono i consueti valori delle parole di allineamento A e B. In particolare i bit indicati con $X_2X_3X_4X_5X_6$ delle trame dispari sono normalmente posti a 1 ma possono essere utilizzati per trasmissioni di segnali a 4 Kbit/s per uso nazionale. Il codice di correzione CRC contenuto nei bit $C_1C_2C_3C_4$ si

valuta come resto della divisione modulo 2 dei 2048 bit della sotto-multitrama precedente utilizzando il polinomio generatore $G(x) = x^4 + x + 1$. Il ricevitore calcola, con lo stesso metodo, il CRC della sotto-multitrama che riceve, lo memorizza, e lo confronta con il CRC della sotto-multitrama successiva. Se tali valori coincidono vuol dire che non ci sono errori. In caso contrario nella sotto-multitrama ricevuta vi è almeno un bit errato. In tal caso viene incrementato un *contatore di errori*. Se nel tempo di osservazione di 1 secondo si contano più di 910 parole di CRC errate il sistema si porta in uno stato di allarme e viene attivata una procedura per la ricerca di un nuovo allineamento. Ottenuto il nuovo allineamento il sistema, dopo 8msec, riprende la procedura di controllo del CRC.

In fig.19 si riporta la struttura della multitrama per il sistema PCM a 2.048 Mbit/sec. evidenziando, in particolare, la struttura della trama T0 e T7.

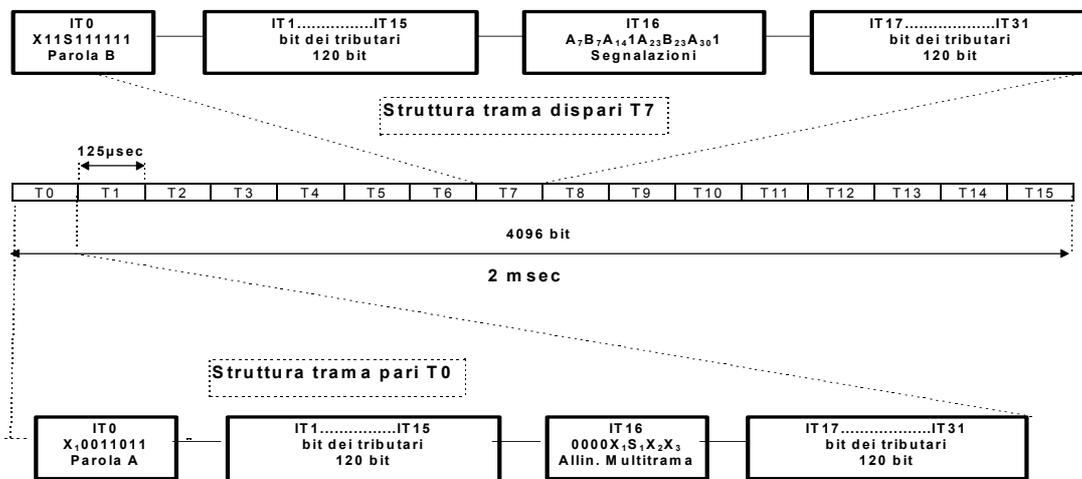


Fig.19 Struttura della multitrama PCM.

8.2. Sistema PCM con segnalazione a canale comune

Un sistema di segnalazione è detto a canale comune se il collegamento tra centrali prevede l'uso di un circuito unico e separato, da quello della fonia, dedicato esclusivamente alla trasmissione delle segnalazioni tra gli elaboratori di centrale denominato **canale comune di segnalazione** CCS (Common Channel Signalling). Il percorso delle segnalazioni a canale comune può essere completamente diverso da quello della fonia o parallelo ad esso; nel primo caso il sistema è detto di *modo quasi associato*, nel secondo caso il sistema è detto di *modo associato*. Il sistema a canale comune risponde alla normativa ITU-T n°7 della serie Q relativa alle centrali numeriche SPC (Stored Program Control). Le centrali di origine e destinazione delle segnalazioni sono denominate Signal Point SP, mentre le centrali che smistano le segnalazioni ad altre centrali sono denominate Signaling Transfer Point STP. L'impiego del metodo a canale comune consente, tra l'altro, di utilizzare l'intervallo IT16 della trama a 2.048 Mb/s per un ulteriore tributario. In tal modo nella trama primaria i canali utili dedicati all'utenza sono 31 invece di 30. Il canale IT0 dedicato all'allineamento non può essere, ovviamente, in nessun caso eliminato.

Il sistema di segnalazione a canale comune impiega i primi 4 livelli del modello ISO/OSI al fine di assicurare una perfetta compatibilità dei protocolli anche con i

sistemi per trasmissione dati. I livelli 1-2-3 sono relativi alla trasmissione dei messaggi MPT (Message Transfer Part) il livello 4 è quello di utilizzazione dei messaggi di segnalazione.

In particolare:

- **il livello 1** costituisce il circuito di segnalazione. Esso può essere numerico o analogico. Nel sistema numerico la velocità di trasmissione è di 64Kbit/sec. con l'impiego dell'IT16 nei PCM a 2.048Mbit/sec. o dei time-slot 67-68-69-70 nei PCM a 8.448Mbit/sec. Nei sistemi analogici si impiega modem con interfaccia V27 full-duplex a 4800bit/sec oppure modem con interfaccia V35 a 64Kbit/sec;
- **il livello 2** realizza il controllo e la gestione del circuito di segnalazione effettuando anche la rivelazione degli errori mediante il codice CRC.
- **il livello 3** esplica due principali funzioni: la prima relativa al trattamento dei messaggi con la quale il sistema esamina i campi del codice destinazione e origine per stabilire se l'informazione deve proseguire verso altre centrali oppure se la segnalazione ha terminato il suo percorso. In quest'ultimo caso il messaggio informativo è trasferito al livello 4. La seconda funzione è di gestione della rete di segnalazione e svolge numerose funzioni di controllo tra le quali lo *scambio*, il *ripristino*, il *trasferimento permesso* e il *trasferimento proibito*. Ad esempio, se due centrali si stanno scambiando informazioni e si verifica un guasto che tende ad interrompere il collegamento, il livello 2 rivela l'interruzione e invia al livello 3 le informazioni necessarie a realizzare uno *scambio* di collegamento con un'altra centrale della rete telefonica in modo da seguire una via alternativa di trasmissione senza interruzione del servizio. Durante lo scambio non vi devono essere perdite di informazioni. Una volta eliminato il guasto il livello 3 effettua il *ripristino* del collegamento. Le operazioni di scambio e ripristino necessitano anche dei messaggi di trasferimento permesso e trasferimento proibito.
- **il livello 4** è denominato User Part UP e gestisce l'utilizzazione delle segnalazioni. Il livello 4, in particolare, gestisce la Telephone User Part TUP (telefonia), la trasmissione dati, Data User Part DUP, la Organization and Maintenance Part OMUP (servi vari) e la ISDN User Part ISUP relativa ai sistemi ISDN. Ogni messaggio di segnalazione è scambiato sotto forma numerica utilizzando opportuni protocolli di comunicazione stabiliti dall'ITU-T costituiti, dai bit segnalazione veri e propri, e da un certo numero di bit di servizio suddivisi in vari campi informativi necessari per svolgere numerose funzioni di controllo. I campi informativi fondamentali sono costituiti da:
 - bit di flag per la delimitazione delle unità di segnalazione;
 - bit di indirizzo per identificare il canale a cui riferire la segnalazione;
 - bit per l'allineamento delle unità di segnalazione;
 - bit per la gestione della rete;
 - bit per la rivelazione degli errori di trasmissione;
 - bit per il controllo del tasso di errore sul circuito di segnalazione.

I numerosi sistemi e metodi per l'invio delle segnalazioni sono in continuo sviluppo e la scelta del tipo di segnalazione da adottare dipende dalla tipologia della rete telefonica e dal tipo di impiego cui è destinata (utente-centrale, centrale-centrale). Inoltre, anche all'interno della centrale telefonica esiste un sistema di segnalazioni finalizzate alla commutazione dei vari organi di centrale denominato *segnalazione nell'ambito della centrale*. La tendenza attuale per l'inoltro e la gestione delle segnalazioni tra centrali è, comunque, indirizzato verso il metodo di segnalazione a canale comune che rappresenta un eccellente compromesso tra velocità, qualità e quantità delle informazioni di

segnalazione. Tale metodo inoltre, ben si adatta ai sistemi integrati nelle tecniche e nei servizi della futura rete di telecomunicazioni nazionale e mondiale.

9. Traffico telefonico

La teoria del traffico telefonico ha come obiettivo fondamentale quello di valutare il numero complessivo di richieste telefoniche che una centrale è in grado di soddisfare. Il gestore del servizio di telecomunicazioni, ad esempio Telecom, quando deve installare o ampliare una centrale telefonica deve soddisfare due esigenze contrapposte:

1. impiegare centrali con il minor numero di organi di commutazione; quindi centrali economiche sia sotto il profilo del costo di impianto che di quello di esercizio e manutenzione;
2. fare in modo che le richieste di collegamento, da parte degli abbonati, siano sempre soddisfatte.

Centrali ad elevato numero di linee soddisfano sicuramente le esigenze dell'utenza ma risultano estremamente costose. Nella pratica, la progettazione di una centrale è il compromesso di varie esigenze come, ad esempio, l'area geografica in cui è ubicata la centrale, il tipo di utenza (affari, commerciale, privata, ecc.) e, non ultimo il fatto che, in media, solo il 10% degli abbonati chiedono simultaneamente il servizio. Una centrale telefonica, pertanto, ha un numero di canali di comunicazione inferiore a quello effettivamente necessario al collegamento contemporaneo di tutti gli abbonati. Ciò comporta che un certo numero di richieste non possano essere soddisfatte per mancanza di canali liberi. In questo caso la centrale invia all'utente il *tono di congestione*.

Lo studio della teoria del traffico telefonico si avvale di metodi statistici e sperimentali basati sull'analisi e sulle misurazioni del traffico in determinate ore della giornata. In particolare, tra le ore 10 e le 11 antimeridiane si ha la massima intensità di traffico telefonico; tale ora è detta *ora di punta*.

9.1. Intensità del traffico

Consideriamo una centrale di n abbonati e analizziamo come sia possibile valutare la probabilità p_x che, in un certo intervallo di tempo, degli n abbonati x siano in comunicazione. Si calcola, in via preliminare, mediante osservazioni sperimentali, la probabilità p che un generico abbonato sia in conversazione per un tempo Δt rispetto ad un prefissato tempo di osservazione T . Il tempo di osservazione T è, tipicamente, di 1 ora e l'analisi è fatta nell'ora di punta. Ad esempio, se $p = 1/30$ vuol dire che un abbonato parla, in media, 2 minuti in 1 ora. Nell'ipotesi che la probabilità p sia uguale per tutti gli abbonati, la probabilità p_x si valuta mediante la distribuzione di Bernulli:

$$p_x = \binom{n}{x} \cdot p^x \cdot (1-p)^{n-x} \quad (1)$$

Il termine:

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{x! (n-x)!}$$

è detto *coefficiente binomiale*.

Si ricordi che il fattoriale del numero n , vale: $n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (n-1) \cdot n$.

Ovviamente:

$$\sum_{x=0}^n p_x = 1$$

Ad esempio, se con $n = 10000$, $x = 200$, $T = 1$ h si calcola $p_x = 0.1$, vuol dire che, in media, nell'intervallo di tempo $\Delta t = p_x \cdot T = 0.1 \cdot T = 6$ minuti, su 10000 abbonati solo 200 sono in conversazione contemporaneamente.

Nota la probabilità p , che un generico abbonato sia in conversazione, il numero medio di utenti che sono in collegamento nel tempo di osservazione è:

$$y = n \cdot p \quad [\text{Erl}]$$

Tale parametro è denominato *intensità del traffico telefonico*. All'intensità del traffico telefonico (grandezza adimensionale) viene attribuita una unità di misura **Erl** in onore del Danese A.K. Erlang (1878-1929) che per primo sviluppò la teoria del traffico telefonico. Ad esempio, una intensità di traffico di 4 Erl, indica che su n linee solo 4 sono impegnate durante il tempo di osservazione. Ovviamente, se il numero di linee è più grande ma l'intensità di traffico è ancora di 4 Erl, in media, saranno impegnate sempre 4 linee ma la probabilità che una linea sia impegnata risulta più piccola. Per tale motivo, la probabilità di conversazione p è denominata anche *carico medio di giunzione*. E' chiaro, quindi, che se una centrale dispone di n giunzioni l'intensità del traffico telefonico sarà, al più, di n Erl.

L'intensità del traffico telefonico può essere valutata anche mediante la misura del numero C_s di *impegni di centrale* prodotti nel periodo di osservazione T e dalla misura del tempo medio t_m di queste occupazioni. Esprimendo i tempi in ore, vale la seguente relazione:

$$y = \frac{C_s \cdot t_m}{T} = \frac{V_t}{T} \quad [\text{Erl}]$$

Il termine $V_t = C_s \cdot t_m$, detto *volume di traffico*, rappresenta la somma dei tempi di occupazione della centrale

Se si suppone di mantenere l'intensità del traffico telefonico costante, ad un aumento del numero n di abbonati corrisponde una diminuzione della probabilità p . Al limite per n che tende all'infinito p tende a zero e, in tale ipotesi, si può dimostrare che la (1) assume una nuova espressione nota come distribuzione di Poisson:

$$p_x = \frac{e^{-np} \cdot (np)^x}{x!} = \frac{e^{-y} \cdot y^x}{x!} \quad (3)$$

La precedente relazione permette di calcolare, assegnata l'intensità del traffico y , la probabilità p_x che su n abbonati x siano contemporaneamente in conversazione nell'ipotesi, sempre verificata nella pratica, che n è molto grande e p molto piccola.

Nell'utilizzo della formula precedente è importante non confondere il *tempo medio di impegno* t_m col *tempo medio di conversazione* t_c . Quest'ultimo rappresenta il tempo effettivo di conversazione e la sua durata è soggetta a tassazione. Il tempo t_m , invece, tiene conto anche del tempo in cui la centrale è impegnata per stabilire un eventuale

collegamento che potrebbe non andare buon fine per mancanza di giunzioni libere oppure perché l'utente chiamato è occupato o non risponde alla chiamata.

Si definisce *traffico offerto alla centrale A* la somma tra l'intensità del traffico smaltito y e la parte residua R dell'intensità del traffico telefonico che la centrale non è in grado di smaltire per mancanza di giunzioni libere. Si ha:

$$A = y + R \quad [\text{Erl}]$$

Indicato con C_T il numero totale di impegni offerti alla centrale, con C_s quelli soddisfatti e C_p quelli persi, la precedente relazione si può porre nella forma:

$$\frac{C_T \cdot t_m}{T} = \frac{C_s \cdot t_m}{T} + \frac{C_p \cdot t_m}{T} \quad (4)$$

ovviamente: $C_T = C_s + C_p$

Si definisce *grado di perdita B* il rapporto tra il numero di impegni persi e il numero di impegni offerti alla centrale:

$$B = \frac{C_p}{C_T}$$

Il grado di perdita B consente di valutare il numero di collegamenti che non si possono realizzare per mancanza di giunzioni libere.

Essendo nella pratica $R \ll y$ risulta: $A \cong y$ e $C_T \cong C_s$, per cui il grado di perdita si può esprimere come:

$$B = \frac{C_p}{C_s}$$

Noto il traffico offerto alla centrale è possibile valutare, mediante la distribuzione di Poisson, la probabilità che x giunzioni di centrale siano impegnate. Sostituendo nella (3) y con A , si ha:

$$p_x = e^{-A} \cdot \frac{A^x}{x!} \quad (5)$$

Se la centrale è costituita da N giunzioni, sia in entrata che in uscita, si avranno delle perdite solo dopo che tutte le N giunzioni saranno impegnate.

Ricordiamo che lo sviluppo in serie di e^A , vale:

$$e^A = 1 + A + \frac{A^2}{2!} + \frac{A^3}{3!} + \dots + \frac{A^N}{N!} + \dots$$

Ponendo nella (5) $x = N$ e fermando lo sviluppo in serie di e^A al termine N si ottiene la seguente *formula di Erlang* per il calcolo della perdita B :

$$B = \frac{\frac{A^N}{N!}}{1 + A + \frac{A^2}{2!} + \frac{A^3}{3!} + \dots + \frac{A^N}{N!}} \quad (6)$$

In altre parole, se tutte le giunzioni sono impegnate, ulteriori richieste di collegamento saranno respinte e quindi la probabilità p_x , per $x = N$, fornisce direttamente il grado di perdita. La precedente formula consente di ricavare delle tabelle, note come *tabelle di Erlang*, che legano i tre parametri A , B , N . Pertanto, fissato il valore della intensità del traffico A e il grado di perdita B si può ricavare il numero N di giunzioni necessari per soddisfare il traffico assegnato A in relazione al grado di perdita B della centrale. In tab 8 si riportano alcuni valori relativi alle tabelle di Erlang.

Tab 8. Tabella di Erlang

Numero giunzioni N	B = 0.1%	B = 0.2%	B = 0.4%	B = 1%
1	0.001	0.002	0.004	0.01
10	3.09	3.43	3.82	4.46
15	6.08	6.58	7.17	8.11
20	9.41	10.07	10.82	12.03
30	16.68	17.61	18.66	20.34
40	24.44	24.60	26.92	20.01
50	32.51	33.88	35.43	37.90
100	75.24	77.47	80.01	84.06
120	92.96	95.48	98.36	102.96
140	110.90	113.70	116.89	122.01
180	147.26	150.56	154.33	160.42

Il grado di perdita massimo di una centrale è fissato da norme internazionali. Valori tipici sono:

- $B < 1\%$ per giunzioni in rete interdistrettuale;
- $B < 2\%$ per giunzioni distrettuali;
- $B < 2\%$ per gli organi di centrale.

Esempio

Due centrali telefoniche sono collegate tra loro ed è noto che il traffico tra la prima e la seconda centrale è $A_{12} = 100$ Erl, mentre quello inverso è $A_{21} = 120$ Erl. Calcolare il numero di fasci primari PCM a 2.048 Mb/s necessari per realizzare il collegamento nell'ipotesi che il grado di perdita sia $B = 0.1\%$. Determinare, inoltre, il numero di fibre ottiche necessarie per realizzare tale collegamento.

Risoluzione

Applicando la relazione (6) o utilizzando le tabelle di Erlang si ricava:

- per $A_{12} = 100$ Erl e $B = 0.001$: $N_{12} \cong 76$;
- per $A_{21} = 120$ Erl e $B = 0.001$: $N_{21} \cong 93$.

Il numero complessivo di giunzioni è: $N = N_{12} + N_{21} = 76 + 93 = 169$.

Poiché ogni fascio PCM supporta 30 canali tributari si ricava, immediatamente, che sono necessari almeno 6 fasci PCM. Dei 180 canali tributari di tali fasci ne restano disponibili 11 per altre applicazioni.

Il numero di fibre ottiche necessarie al collegamento, in gerarchia primaria a 2.048 Mb/s, è pari al doppio del numero di fasci PCM, nell'esempio 12 fibre, poiché per ogni fascio PCM è necessaria una fibra per la trasmissione e una per la ricezione.

Se la centrale fosse fornita di un moltiplicatore PCM di gerarchia superiore, ad esempio un 34 Mb/s, (480 canali) sarebbe sufficiente utilizzare solo 2 fibre ottiche, una per la trasmissione e l'altra per la ricezione.

Lo studio e la valutazione del traffico telefonico della rete di telecomunicazioni è complesso, ma fondamentale per ottimizzare il rapporto costo/qualità delle centrali telefoniche. Lo studio viene condotto, oltre che con tecniche sperimentali basate sull'osservazione del traffico nelle diverse ore della giornata, anche con tecniche di simulazione computerizzate che fanno uso di opportuni programmi di statistica. In appendice si riporta un programma per il calcolo del numero di giunzioni N utilizzando la formula di Erlang.