

Notiziario Tecnico

Archivio

3/1994

 **TIM**

Analisi delle caratteristiche delle fibre ottiche: aspetti teorici, aspetti tecnologici e criteri di progetto

G. Ferri, G. Galasso (*)

L'articolo si propone di evidenziare le caratteristiche principali delle fibre ottiche per telecomunicazioni attualmente installate in Italia e nel mondo. L'enfasi è posta, piuttosto che sull'analisi teorica, sulle caratteristiche reali delle fibre; particolare attenzione è dedicata anche alla giustificazione delle differenze, sia in termini di profilo d'indice di rifrazione che di prestazioni, tra la situazione reale e quella teorica. Tutti questi argomenti sono trattati per le fibre singolo modo, standard (SMR) e a dispersione spostata (SMDS).

1. Introduzione

Le fibre ottiche per Telecomunicazioni sono al giorno d'oggi ampiamente adottate sia nelle trasmissioni terrestri che sottomarine su brevi e lunghe distanze.

Le loro caratteristiche, a vari livelli, sono state oggetto di numerose pubblicazioni negli ultimi 20 anni, ma in ogni caso facendo ampio riferimento alle leggi teoriche che governano la propagazione di segnali ottici all'interno di strutture cilindriche guidanti. La complicazione della trattazione matematica è particolarmente evidente quando ci si riferisce alle fibre singolo modo, quelle per le quali la luce si propaga seguendo una "singola direzione", coincidente con l'asse della fibra. Tali fibre per loro natura hanno una dimensione degli ostacoli che si oppongono alla propagazione dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda della luce che si trasmette (qualche micron); tale circostanza rende non applicabili alcuni principi dell'ottica geometrica che permettono una descrizione intuitiva del modo di propagarsi della luce.

Nel presente lavoro si è cercato di illustrare le fibre ottiche da un punto di vista più "applicativo"; la via che si è seguita per raggiungere il suddetto scopo è di limitare gli aspetti teorici al minimo indispensabile, facendo ampio ricorso ad espressioni approssimate dei parametri ottici che permettono di legare le caratteristiche fondamentali delle fibre in modo più elementare. Si

sono potuti presentare i criteri di progetto di una fibra evitando ogni complicazione matematica.

Alcune considerazioni sono state dedicate al raffronto tra la struttura ideale delle fibre, alla quale si fa riferimento nei criteri di progetto, e quella reale, che si differenzia dalla prima per ragioni connesse al processo di fabbricazione. Le differenze saranno presentate principalmente in funzione delle prestazioni delle fibre.

Gli aspetti tecnologici saranno limitati ad alcune considerazioni sui materiali di base comunemente adottati per la fabbricazione delle fibre, necessaria premessa per introdurre alcuni concetti sull'attenuazione. Inoltre, sempre a livello di considerazioni generali, si accennerà brevemente alle ragioni tecnologiche che caratterizzano la forma reale del profilo d'indice di rifrazione.

2. Tecnologia

Le fibre di vetro sono essenzialmente composte di silice vetrosa SiO_2 . Tale componente di base presenta dal punto di vista tecnologico notevoli vantaggi ed inoltre, come vedremo nel seguito, permette il raggiungimento di caratteristiche ottiche decisamente soddisfacenti. Poiché le fibre ottiche per funzionare necessitano di una parte interna (nucleo) ad indice di rifrazione più alto della parte circostante (mantello), si ricorre ad altri materiali (droganti) che provvedono al suddetto scopo. Per ragioni la cui trattazione esula dallo scopo del presente lavoro si utilizza essenzialmente GeO_2 ; tale composto incrementa l'indice di rifrazione

(*) Ing. Giuseppe Ferri, ing. Giuseppe Galasso -F.O.S. Fibre Ottiche Sud- Battipaglia

della quantità desiderata, introducendo una perturbazione minima sul composto di base. La fibra in sostanza si presenta come un cilindro di silice del diametro di un centinaio di micron con una parte interna, composta da silice debolmente drogata con germanio, il cui diametro è inferiore a quello dell'intera fibra di più di un ordine di grandezza.

Dal punto di vista tecnologico per ottenere questa struttura si ricorre a materie prime sotto forma di composti alogenati (SiCl_4 , GeCl_4) in quanto essi sono disponibili in commercio in quantità discrete e si trasformano nella forma desiderata mediante reazioni chimiche facilmente e stabilmente ottenibili. Inoltre, per ragioni che saranno chiare al paragrafo successivo, si richiede a questi materiali di base di possedere elevata purezza (basso contenuto di ioni metallici). Per ottenere le prestazioni attuali delle fibre il contenuto massimo di ioni metallici è al di sotto di $50 \mu\text{g}$ per ogni Kg di SiCl_4 o GeCl_4 .

I composti SiO_2 e GeO_2 vengono ottenuti dai composti alogenati mediante semplice reazione di combustione; gli altri prodotti di reazione (principalmente HCl e Cl_2) sono sotto forma gassosa ed, inoltre, possono essere facilmente ridotti in forma di sostanze non tossiche (soluzioni acquose di NaCl).

Le prestazioni ottenibili dal punto di vista ottico allo stato attuale della tecnologia saranno oggetto dei paragrafi successivi.

3. Attenuazione

Consideriamo un elemento infinitesimo di materiale trasparente attraversato da un flusso di potenza elettromagnetica.

Applicando a tale elemento il principio di conservazione dell'energia, nell'ipotesi di materiale omogeneo ed escludendo fenomeni non lineari la variazione della potenza P , lungo l'asse di propagazione x , può essere espressa nel seguente modo:

$$\partial P = -\alpha P \partial x, \quad (1)$$

dove il coefficiente di attenuazione α , è la misura dell'opacità del materiale ed è espresso in decibel per unità di lunghezza (dB/km).

Se ipotizziamo che l'attenuazione non dipenda dalla coordinata spaziale (o dipenda debolmente), possiamo risolvere facilmente la (1) ricavando:

$$P(x) = P(0)\exp(-\alpha x). \quad (2)$$

Quindi, se il mezzo attraversato dal flusso di potenza ha una lunghezza pari ad L :

$$\alpha L = 10 \log \left(\frac{P(0)}{P(L)} \right). \quad (3)$$

L'attenuazione è, allora, una misura della progressiva diminuzione della potenza trasmessa e pertanto assume un'importanza fondamentale nello studio dei sistemi di telecomunicazione.

Allo scopo di analizzare in modo più approfondito questo importante fenomeno conviene considerare separatamente i due contributi fondamentali, l'intrinseco, che appartiene al materiale stesso che costituisce la fibra, l'estrinseco, che è una caratteristica del processo di fabbricazione.

3.1 Attenuazione intrinseca

Le cause intrinseche dell'attenuazione sono considerate impossibili da eliminare poiché dovute alla interazione tra l'energia elettromagnetica e la materia in cui essa si propaga.

Se analizziamo il campo elettromagnetico che viaggia all'interno della fibra, si può osservare che parte della sua energia viene ceduta agli atomi causando transizioni elettroniche. Questo fenomeno si manifesta principalmente nella regione a basse lunghezze d'onda (ultravioletto) ed ha un effetto limitato oltre $0.7 \mu\text{m}$. Infatti a lunghezze d'onda superiori contribuisce per meno di 1 dB/km. Per il grosso effetto che ha alle basse lunghezze d'onda esso viene comunemente denominato *assorbimento ultravioletto*.

D'altra parte nella regione ad alte lunghezze d'onda ($>1.7 \mu\text{m}$) compare un altro fenomeno che trae la sua origine dalla energia assorbita dalla matrice silicica e trasformata in vibrazione molecolare. Per la sua caratteristica spettrale si adotta comunemente la denominazione di *assorbimento infrarosso*.

L'insieme di questi due contributi genera, nei vetri a base silicica, una finestra ottica di bassa attenuazione ($<1 \text{ dB/km}$) che va da $0.7 \mu\text{m}$ a $1.7 \mu\text{m}$. In tale finestra ha un contributo non trascurabile un terzo fenomeno di attenuazione intrinseca che si chiama *scattering di Rayleigh* ed è dovuto alla diffusione della luce causata principalmente dalla non omogeneità di natura puramente casuale nella composizione del vetro. L'andamento della componente di attenuazione dovuta a tale fenomeno in funzione della lunghezza d'onda λ è del tipo λ^{-4} e, quindi nell'ambito della finestra definita precedentemente tenderebbe a far prediligere la zona a lunghezza d'onda maggiore.

3.2 Attenuazione estrinseca

Il processo tecnologico, benché attualmente abbia raggiunto un notevole livello di evoluzione, contribuisce in maniera non trascurabile al valore di attenuazione della fibra. L'insieme dei contributi costituisce l'attenuazione estrinseca.

I più comuni ioni metallici come accennato in precedenza, originano fenomeni di assorbimento che incrementano drasticamente l'attenuazione della fibra. Tuttavia il livello tecnologico raggiunto permette di considerare un evento accidentale la presenza di tracce di questi elementi.

Il fenomeno estrinseco che attualmente condiziona maggiormente l'attenuazione della fibra è l'assorbimento dovuto alla presenza di ioni OH^- . Tale assorbimento ha una caratteristica risonante con picchi a $0.95 \mu\text{m}$ e $1.38 \mu\text{m}$ nel campo di valori della lunghezza d'onda di interesse. La presenza di questi due picchi divide la finestra succitata in tre parti la prima finestra intorno a $0.85 \mu\text{m}$, la seconda finestra intorno a $1.3 \mu\text{m}$, la terza finestra intorno a $1.55 \mu\text{m}$.

I valori tipici di attenuazione consentiti dalla tecnologia attuale nell'ambito delle tre finestre valgono 0.6 dB/km per la prima, 0.35 dB/km per la seconda e 0.2 dB/km per la terza.

Come si vede la prima finestra presenta i valori più alti ed attualmente non è utilizzata per la trasmissione. Le altre due sono quelle di reale interesse nelle comunicazioni attuali ed i criteri che inducono a privilegiare l'una o l'altra saranno ampiamente trattati nel seguito.

4. Progetto di una fibra singolo modo con profilo a gradino

Come detto al paragrafo precedente, i fenomeni di attenuazione intrinseci ed estrinseci che intervengono nella silice suggeriscono l'utilizzo delle fibre ottiche a singolo modo con valori della lunghezza d'onda nelle regioni intorno a $1.3 \mu\text{m}$ ed a $1.55 \mu\text{m}$. Anche se i valori di attenuazione spingerebbero ad utilizzare le fibre in terza finestra, storicamente, per ragioni connesse alla disponibilità di componenti ci si è orientati alla seconda finestra. Per tale motivo rivolgeremo la nostra attenzione alla fibra ottimizzata al funzionamento intorno a $1.3 \mu\text{m}$, che rappresenta la quasi totalità delle installazioni terrestri attuali; in un paragrafo successivo dedicheremo la nostra attenzione anche alle fibre ottimizzate intorno a $1.55 \mu\text{m}$ che probabilmente rappresentano il futuro delle trasmissioni ottiche e che sono già ampiamente utilizzate nei collegamenti sottomarini.

Il problema che ci poniamo è, quindi, come progettare una fibra per ottimizzare le caratteristiche geometriche e trasmissive nella seconda finestra.

Partiamo dal presupposto di voler utilizzare una fibra con il profilo a gradino (fig. 1) che dal punto di vista tecnologico presenta diversi vantaggi legati soprattutto alla estrema semplicità della struttura. Per ottenerla, infatti basta drogare la silice che costituisce il vetro

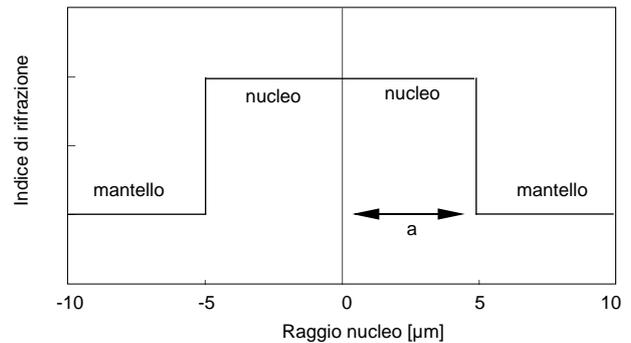


Figura 1 Profilo d'indice di rifrazione di una fibra a salto d'indice

(SiO_2) con una quantità opportuna ed uniforme di drogante (GeO_2) per elevare il profilo d'indice di rifrazione della regione centrale (nucleo).

Progettare questa fibra sostanzialmente significa determinare l'altezza e la larghezza del profilo più opportune per ottenere le migliori prestazioni in termini di dispersione, perdite per micro e macrocurvatura, perdite in fase di giuntaggio [1].

Cominciamo con il fissare alcuni concetti che verranno usati spesso nel seguito di questo lavoro.

L'indice di rifrazione del vetro in silice drogata con biossido di germanio (GeO_2) dipende sia dalla lunghezza d'onda λ che dalla percentuale molare di drogaggio⁽¹⁾ X secondo la relazione [2]:

$$n^2(\lambda, X) = 1 + \sum_{i=1}^3 \frac{[A_i + X(B_i - A_i)]\lambda^2}{\lambda^2 - [C_i + X(D_i - C_i)]^2}, \quad (4)$$

dove i valori delle costanti sono riportati nella tab. 1, nell'ipotesi che λ sia espressa in μm . Si noti infatti che le costanti C e D sono dimensionali e hanno le stesse dimensioni della lunghezza d'onda, mentre le costanti A e B sono adimensionali. Valori tipici di X per fibre a salto d'indice sono dell'ordine di qualche unità percentuale.

Nel seguito indicheremo con n_1 ed a l'indice di rifrazione ed il raggio del nucleo, mentre con n_0 l'indice di rifrazione del mantello che, per quanto detto, coincide con quello della silice pura (quindi $n_0 = n(\lambda, 0)$, cfr. (4)).

La dipendenza dalla lunghezza d'onda dell'indice di rifrazione è una delle cause dell'allargamento che un impulso di luce subisce quando si propaga all'interno

	1	2	3
A	0.696166	0.407943	0.897479
B	0.806866	0.718158	0.854168
C	0.068404	0.116241	9.896161
D	0.068973	0.153966	11.84193

Tabella 1 Valori delle costanti che compaiono nella (4)

(1) La percentuale molare di drogaggio è definita come $100 \times (\text{numero moli di drogante per mole di silice})$.

della fibra. Tale fenomeno è denominato "dispersione materiale" (D_m) e vale [3]:

$$D_m = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2}, \quad (5)$$

con c =velocità della luce nel vuoto.

Il secondo contributo alla dispersione viene dal fatto che parte della luce si propaga nel mantello e, quindi, a velocità differente visto il differente indice di rifrazione presente in questa zona della fibra. Questo contributo che è chiamato "dispersione di guida" (D_g) ha un'espressione analitica abbastanza complicata [3], ma per i nostri scopi può essere approssimato nel seguente modo [4] facendo comparire esplicitamente le variabili interessate al nostro progetto:

$$D_g = \begin{cases} -V(4.358 - 3.055V + 0.548V^2), & V \in [1.3, 2.5] \\ -V(0.167 - 2.72V^{-1} + 6.628V^{-2}), & V \in [2.5, 5.0] \end{cases} \quad (6)$$

con

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_0^2} \approx \frac{2\pi a}{\lambda} n_0 \sqrt{2\Delta} \quad (7)$$

$$\Delta = \frac{n_1 - n_0}{n_0} \quad (8)$$

La V definita nella (7) è spesso indicata come *frequenza normalizzata*, mentre la Δ come salto d'indice ed è sovente espresso in percentuale.

A questi due contributi andrebbero aggiunti la "dispersione modale", che trascuriamo perché limitiamo il nostro studio alle fibre a singolo modo, e la "dispersione di profilo" [3] che pesa poco soprattutto nel caso di fibre per telecomunicazioni che, avendo differenza di indice di rifrazione tra nucleo e mantello poco accentuata, possono essere considerate "debolmente guidanti".

Alla luce di queste considerazioni si ricava che la dispersione totale di una fibra a singolo modo è la somma di due contributi (D_m e D_g) e, quindi, come si può ricavare dalle definizioni, dipende dalla lunghezza d'onda, dal drogaggio del nucleo (attraverso l'indice di rifrazione) e dalla larghezza del nucleo (attraverso V). In fig. 2 è presentato l'andamento dei singoli contributi e della dispersione totale in funzione della lunghezza d'onda per una fissata struttura del nucleo ($a=4.35 \mu\text{m}$ e $\Delta=0.4\%$)⁽²⁾. Come si può osservare le caratteristiche del nucleo sono state scelte opportunamente, in modo da avere l'annullamento della dispersione totale nella zona intorno a $1.3 \mu\text{m}$. Per un'altra scelta del profilo (fig. 3) si può

(2) Si noti che, in base alle (4) e (8), una volta fissata una lunghezza d'onda, dal valore di Δ si può univocamente determinare il valore di X . Qui e nel seguito il drogaggio verrà quindi specificato attraverso i valori Δ piuttosto che di X , anche considerando che il valore di X varia molto lentamente al variare di λ per un fissato valore di Δ .

ottenere una dispersione totale nulla nella zona intorno a $1.55 \mu\text{m}$. Come già accennato le fibre ottimizzate per il funzionamento in questa regione saranno oggetto di un successivo paragrafo; quello che ci preme evidenziare ora è che per spostare la lunghezza d'onda di dispersione nulla occorre sostanzialmente agire sulla dispersione di guida, come si ricava dal confronto tra le figg. 2 e 3. Dalle (5) e (6) si ricava, quindi, che bisogna agire principalmente sulla larghezza del nucleo.

Passiamo ora al dimensionamento del profilo d'indice per ottenere una fibra *singolo modo, ottimizzata per il funzionamento in 2^a finestra*.

L'ipotesi che la fibra sia singolo modo si traduce, dal punto di vista del progetto, nel fatto che la lunghezza d'onda di taglio del secondo modo eventualmente propagantesi in fibra sia inferiore a $1.3 \mu\text{m}$. Traducendo in formule questo vincolo otteniamo:

$$\lambda_c = \frac{2\pi a}{2.405} n_0 \sqrt{2\Delta} \leq 1.3 \mu\text{m} \quad (9)$$

Osserviamo che la (9) attraverso la (8) evidenzia la dipendenza della lunghezza d'onda di taglio dall'altezza del profilo d'indice (attraverso Δ) e dalla sua larghezza (a).

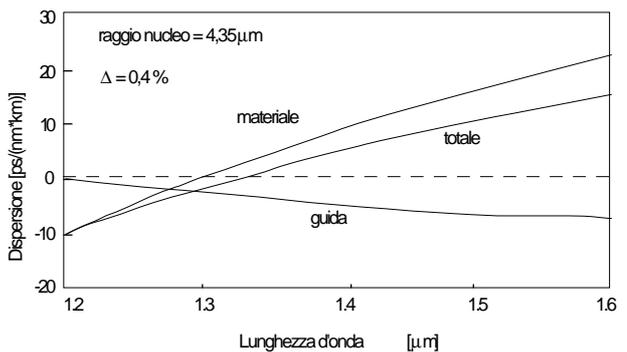


Figura 2 Andamento della dispersione materiale, di guida e totale per una fibra a salto d'indice al variare della lunghezza d'onda. La dispersione totale si annulla intorno a $1.3 \mu\text{m}$

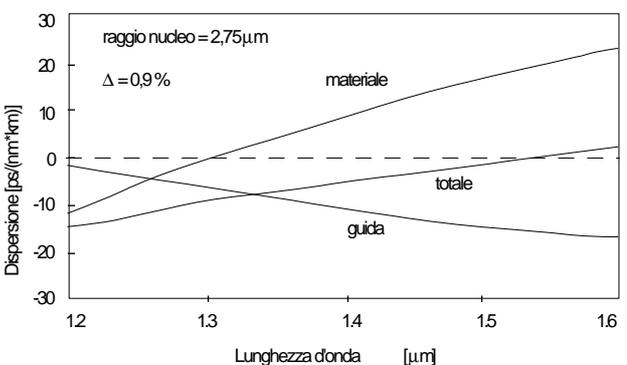


Figura 3 Andamento della dispersione materiale, di guida e totale per una fibra a salto d'indice al variare della lunghezza d'onda. La dispersione totale si annulla intorno a $1.55 \mu\text{m}$

In fig. 4 è rappresentato l'andamento della lunghezza d'onda di taglio al variare del raggio del nucleo per tre diversi valori di drogaggio. Si osserva immediatamente che volendo che la fibra funzioni in regime monomodale a 1.3 μm , una volta fissato il drogaggio, si determina un raggio massimo del nucleo.

Per continuare il nostro progetto abbiamo bisogno di qualche altro vincolo sulle caratteristiche del profilo. Precedentemente abbiamo mostrato come, manovrando la dispersione di guida, sia possibile annullare la dispersione totale ad una qualsiasi delle lunghezze d'onda di nostro interesse. Si può, pertanto, costruire un grafico che corredi la lunghezza d'onda di dispersione nulla (λ_0) con la dimensione del nucleo per determinate concentrazioni di drogaggio, analogamente a quanto fatto per la lunghezza d'onda di taglio. Il risultato è in fig. 5 e, per le stesse concentrazioni di drogaggio di fig. 4, mostra come per ottenere dispersione nulla nella zona di interesse (intorno a 1.3 μm) la dimensione del nucleo debba essere superiore ad un certo valore. Allora considerando contemporaneamente il vincolo su λ_c e su λ_0 si ottiene, per ogni valore di drogaggio, un intervallo abbastanza contenuto di possibili dimensioni del nucleo. Ad esempio per i valori di drogaggio considerati ($\Delta=0.3\%$, $\Delta=0.4\%$ e $\Delta=0.5\%$), si ottiene che valori

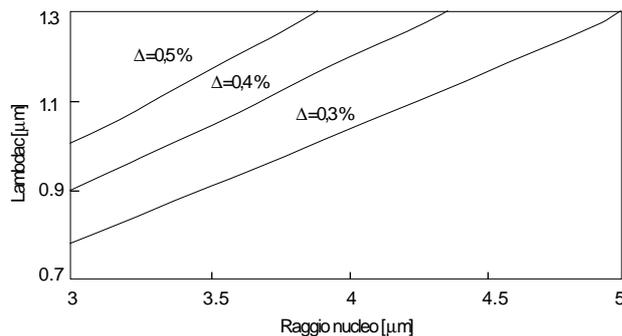


Figura 4 Andamento della lunghezza d'onda di taglio al variare del raggio del nucleo per diverse percentuali di drogaggio

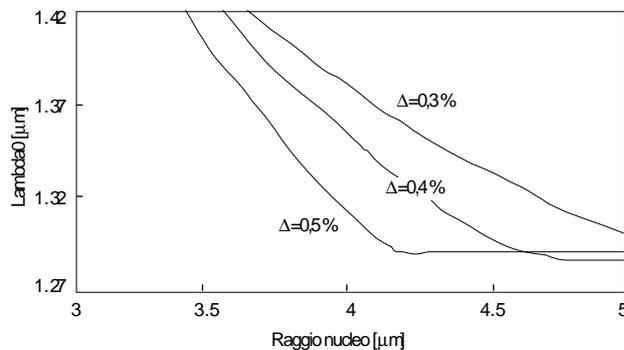


Figura 5 Andamento della lunghezza d'onda di dispersione nulla al variare del raggio del nucleo per diverse percentuali di drogaggio

opportuni del raggio del nucleo sono rispettivamente 5 μm , 4.5 μm e 4 μm . Si osservi anche che per valori di drogaggio superiori a 0.5% è impossibile soddisfare contemporaneamente i due vincoli, mentre per valori inferiori a 0.3% di drogaggio la luce che si propaga non è sufficientemente confinata nel nucleo.

Per approfondire quest'ultimo aspetto, conviene analizzare l'andamento del raggio del campo modale per le diverse configurazioni del profilo d'indice di rifrazione. Ancora una volta facciamo riferimento ad una formula approssimata che facilita la nostra analisi; questa formula, dovuta a Marcuse [5], mette in relazione il raggio del campo modale (w), il raggio del nucleo (a) e la lunghezza d'onda di taglio nel seguente modo:

$$w = a \left[0.65 + 0.434 \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^{1.5} + 0.01488 \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right)^6 \right] \quad (10)$$

Partendo dalla (10), in fig. 6 è rappresentato un grafico analogo ai precedenti per il raggio del campo modale a 1.3 μm . Si noti che per le tre strutture precedentemente individuate (0.3% - 5 μm , 0.4% - 4.5 μm e 0.5% - 4 μm) il raggio del campo modale vale 5 μm , 4.5 μm e 4 μm rispettivamente. Come si vede, negli esempi riportati il raggio del campo coincide con il raggio fisico del nucleo: ciò non significa che il campo è tutto contenuto nel nucleo, in quanto, dalla definizione di raggio modale [1] si desume che essa coincide con la larghezza di una gaussiana, ovvero con la distanza tra le due ascisse, giacenti da parte opposte rispetto al valore medio, in corrispondenza delle quali il valore della curva gaussiana è diminuito di un fattore prestabilito rispetto al valore massimo (per esempio, ad una distanza pari ad una deviazione standard σ dal valore medio il valore della gaussiana si riduce a circa il 60% del valore massimo, assunto in corrispondenza del valore medio). In altre parole abbiamo che, se il campo ha una intensità gaussiana, la sua larghezza (misurata ad un σ) coincide con la larghezza del nucleo e, quindi, comunque esiste una coda del campo non trascurabile che si propaga nel mantello.

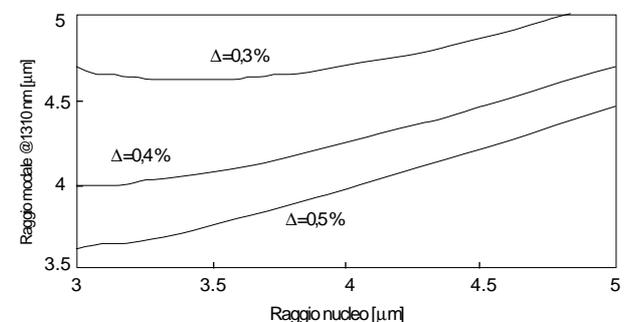


Figura 6 Andamento del raggio del campo modale a 1.31 μm al variare del raggio del nucleo per diverse percentuali di drogaggio

A questo punto del progetto abbiamo a disposizione 3 diverse configurazioni del profilo che dal punto di vista trasmissivo ci garantiscono grosso modo le stesse prestazioni; dobbiamo perciò far intervenire alcune considerazioni sul raggio modale per decidere qual è la soluzione migliore.

Il raggio modale ha molteplici effetti sulle caratteristiche delle fibre ottiche ed è estremamente complicato far intervenire, dal punto di vista matematico, tutti i vincoli che essi comportano. Per gli scopi di questo lavoro è sufficiente dividerli in due classi: nella prima si possono elencare gli effetti che spingerebbero a restringere il raggio modale quanto più possibile, nella seconda quelli che spingerebbero ad allargarlo. Dal punto di vista del progetto della fibra questa situazione porta a scegliere una soluzione di compromesso e, quindi, si predilige la struttura del profilo d'indice che assicura un raggio modale di circa $4.5 \mu\text{m}$.

Tornando agli effetti del raggio modale sulle caratteristiche trasmissive, possiamo dire che i motivi che spingono a ridurre il raggio modale sono:

- perdite per macrocurvatura;
- perdite per microcurvatura;
- perdite di giunzione per disallineamento angolare; mentre quelli che inducono ad aumentarlo:
- perdite di giunzione per disassamento laterale;
- perdite di accoppiamento con altri componenti.

Come accennato in precedenza l'insieme di questi fattori spinge a prediligere, nelle tre possibili configurazioni del profilo d'indice precedentemente individuate, la soluzione intermedia e cioè un raggio del mantello di $4.5 \mu\text{m}$ con un $\Delta=0.4\%$.

5. Profilo ideale e profilo reale

Il progetto del paragrafo precedente è stato sviluppato nell'ipotesi che il profilo d'indice sia del tipo a salto d'indice. Dal punto di vista tecnologico esistono dei limiti che impediscono di ottenere un tale tipo di profilo.

Il primo problema deriva dal fatto che, per come è strutturato il profilo a salto d'indice, dovrebbe esistere una transizione repentina tra la silice pura e la silice drogata. In generale è impossibile ottenere questa transizione in quanto il germanio tende a diffondere dalla zona a maggiore concentrazione in quella a minore. Il risultato di questo processo è che il profilo nella realtà presenta delle "code" di diffusione laddove dovrebbe esserci un salto. Il secondo problema, invece, è connesso direttamente al processo di fabbricazione delle fibre ottiche e, quindi, richiederebbe una spiegazione che si addentri in argomenti che esulano dallo scopo di questo lavoro. Ci limitiamo pertanto ad una spiegazione sommaria che, sebbene non sia rigorosa dal punto di vista tecnologico, ha il pregio della semplicità. In ogni caso per maggiori dettagli si può far riferimento alla letteratura specifica.

Ritornando al nostro secondo problema possiamo dire che il fenomeno della diffusione citato a proposito del salto d'indice si presenta anche lungo l'asse del profilo, in quanto, in prima battuta possiamo immaginare che la fibra in una prima fase di lavorazione per ragioni tecnologiche sia vuota nella zona centrale. In altri termini la fibra presenta al proprio interno un canale vuoto. Sempre per ragioni tecnologiche è importante che la quantità di drogaggio nella parte affacciata a questo vuoto sia molto limitata e praticamente coincida con la diffusione dalle zone circostanti. In una fase successiva questo vuoto viene eliminato, ma comunque l'indice di rifrazione presenta un buco ("dip") esattamente nella zona centrale ed una zona di diffusione nelle vicinanze. In conclusione un profilo nella realtà si presenta come in fig. 7 dove sono ben evidenziati sia il dip centrale che le zone di diffusione intorno al dip e nella zona del salto.

La presenza di disuniformità nel drogaggio e, quindi, nell'indice di rifrazione comporta che in generale nella relazione (4) compaia anche una dipendenza dalla coordinata radiale r (attraverso X); pertanto nel seguito quando vogliamo evidenziare questa dipendenza indicheremo l'indice di rifrazione del nucleo come $n_1(r)$.

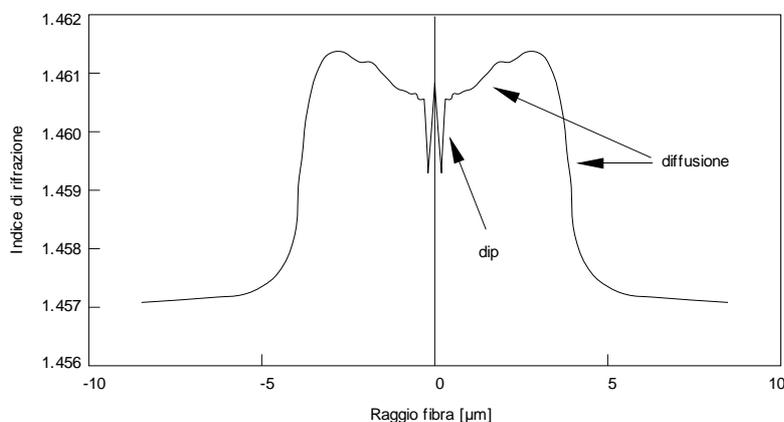


Figura 7 Profilo d'indice di rifrazione reale di una fibra a salto d'indice

Il problema che ci poniamo ora è capire quanto dei discorsi sviluppati al paragrafo precedente sia estendibile ad un profilo reale. Per affrontare questo problema ricordiamo che un possibile approccio (comunemente adottato) consiste nel definire un profilo a gradino equivalente; a titolo di esempio presentiamo l'approccio più immediato che consiste nell'approssimare il profilo reale con un rettangolo, in modo che i due profili abbiano i momenti di ordine zero e di ordine 2 (rispettivamente assimilabili ad area e larghezza) coincidenti. In formule, se indichiamo con $\Delta(r)$ la differenza d'indice relativa del profilo (cfr. eq. 8) otteniamo:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Delta(r) n_0 dr = 2a\Delta_s \quad (11)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Delta(r) n_0 r^2 dr = \frac{2}{3} a^3 \Delta_s \quad (12)$$

Risolvendo il sistema si ottengono Δ_s e a che sono l'altezza e la larghezza del profilo a salto d'indice equivalente. Tali parametri si definiscono anche caratteristiche ESI (Equivalent Step Index) del profilo.

Viene naturale a questo punto estendere tutte le considerazioni sviluppate al paragrafo precedente al profilo reale approssimato nella forma ESI. Per verificare la affidabilità di questa procedura riportiamo nella tab. 2 i risultati, in termini di parametri ottici fondamentali, ottenuti mediante la simulazione di un profilo reale e del profilo ESI corrispondente. Per completezza riportiamo anche i valori misurati sulla fibra avente il profilo in questione.

Alcune osservazioni sono importanti:

- 1) i dati reali (misurati) sono molto vicini ai dati simulati del profilo reale. Questo risultato evidenzia la affidabilità della tecnica di simulazione adottata.
- 2) la descrizione ESI tende a far sottostimare la λ_0 e sovrastimare il raggio del campo modale. Entrambe queste caratteristiche derivano dal fatto che il momento del 2° ordine utilizzato per derivare i parametri ESI (eq. 12), tende a trascurare la zona del dip e ad esaltare le code di diffusione all'altezza del salto.

	valori simulati		valori misurati
	profilo reale	profilo ESI	
λ_c [μm]	1.27	1.29	1.25
λ_0 [μm]	1.316	1.305	1.314
w [μm]	4.72	4.87	4.72

Tabella 2 Confronto tra i valori del raggio del campo modale, delle lunghezze d'onda di taglio e di dispersione nulla ottenuti mediante simulazione del profilo reale e di quello approssimato ESI e mediante misure

- 3) la lunghezza d'onda di taglio è ben approssimata dalla descrizione ESI del profilo. Questo risultato deriva dal fatto che la λ_c è direttamente correlata all'area del profilo e, quindi, al momento di ordine 0. Avendo imposto la uguaglianza di tale momento per ottenere i parametri ESI, ne consegue la buona approssimazione della λ_c .

6. Fibra a dispersione spostata

Come visto in precedenza la zona intorno a 1.55 μm dal punto di vista dell'attenuazione appare più promettente, in quanto lo scattering di Rayleigh è circa la metà di quello presente in seconda finestra. E' naturale, quindi, che quando la tecnologia ha messo a disposizione sorgenti e rivelatori efficienti intorno a questa lunghezza d'onda, l'attenzione dei costruttori si sia concentrata su fibre ottimizzate per dispersione all'utilizzo in terza finestra (fibre a dispersione spostata).

In fig. 3 si è mostrato come, agendo sulla dispersione di guida, con un profilo a salto d'indice sia possibile annullare la dispersione totale intorno a 1.55 μm . Anche dal punto di vista storico questo tipo di profilo ha rappresentato il primo tentativo di produrre una fibra a dispersione spostata. Purtroppo i risultati dal punto di vista dell'attenuazione sono stati estremamente modesti in quanto i valori effettivi erano di circa 0.6 dB/km rispetto a 0.15 dB/km previsti dallo scattering di Rayleigh [6]. In altri termini si sono trovati oltre 0.4 dB/km di perdite indotte dal processo di fabbricazione rispetto ai soli 0.04 dB/km trovati a 1.3 μm .

Ovviamente una soluzione del genere non destava nessun interesse dal punto di vista industriale. La causa di questo eccesso di attenuazione risiede negli sforzi residui che presenta la fibra dopo la fase di filatura a causa del diverso coefficiente di espansione termica che hanno la silice non drogata e quella drogata. Il fenomeno non si manifesta nelle fibre ottimizzate per l'utilizzo in seconda finestra perché esse richiedono una percentuale di drogaggio men che dimezzata rispetto a quelle a dispersione spostata (cfr. figg. 2 e 3).

La soluzione che si è adottata per ridurre gli sforzi residui consiste nell'evitare che la transizione tra le due zone (quella drogata e quella non drogata) avvenga in modo brusco; è intuitivo che la intensità di detti sforzi segua la variazione dell'indice di rifrazione e, quindi rendendo graduale la transizione se ne riduce drasticamente l'effetto. Questa considerazione ha suggerito l'uso di un profilo triangolare. La situazione dal punto di vista dell'attenuazione è migliorata drasticamente, infatti sono stati raggiunti valori intorno a 0.21 dB/km a 1.55 μm .

La situazione non può essere migliorata ulteriormente (fino a raggiungere 0.19 dB/km delle fibre a salto d'indice) a causa della maggiore concentrazione di

germanio in ogni caso richiesta. Un problema comunque persisteva a causa delle elevate perdite per curvatura che il profilo triangolare presenta, in quanto ha valori di λ_c al di sotto di $1.0 \mu\text{m}$ e w di circa $5.0 \mu\text{m}$.

La soluzione ottimale è stata infine raggiunta aggiungendo due piccoli triangoli al lato del triangolo centrale, con il solo scopo di portare la λ_c intorno a $1.2 \mu\text{m}$ e w a circa $4.0 \mu\text{m}$.

In fig. 8 è mostrato il profilo reale delle fibre a dispersione spostata. Il dip nella zona centrale è ancora presente (la sua origine è stata discussa al paragrafo precedente), mentre le code di diffusione ai lati sono mascherate dalla forma triangolare del profilo.

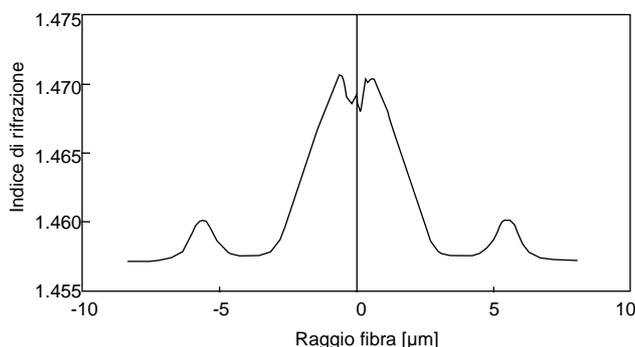


Figura 8 Profilo d'indice di rifrazione reale di una fibra a dispersione spostata

7. Conclusioni

Partendo da brevi considerazioni di carattere teorico e qualche accenno ai problemi tecnologici sono state presentate le caratteristiche fondamentali delle fibre ottiche a singolo modo standard (SMR) ed a dispersione spostata (SMDS). Sono state, inoltre, introdotte alcune formule approssimate che legano in maniera elementare i parametri caratteristici del profilo d'indice ai parametri funzionali delle fibre SMR. A partire da esse si è potuto discutere in modo approfondito il dimensionamento di una fibra ottica. L'influenza del processo tecnologico sulla forma del profilo d'indice è stata altresì discussa, insieme con l'effetto sulle prestazioni della fibra. Si è infine presentato il profilo reale di una fibra SMDS e sono stati brevemente discussi i criteri che hanno portato alla sua sintesi.

Bibliografia

- [1] Di Vita, P. et al.: *Fibre ottiche per Telecomunicazioni: fibre monomodali*. «Notiziario Tecnico SIP», Vol. 2, n. 3, Dicembre 1993.
- [2] Fleming, J.W.: *Dispersion in GeO₂-SiO₂ glasses*. «Applied Optics», Vol. 23, n. 24, 15 December 1984.
- [3] Di Vita, P. et al.: *Fibre ottiche per Telecomunicazioni: propagazione*. «Notiziario Tecnico SIP», Vol. 2, n. 2, Agosto 1993.
- [4] Ohashi, M. et al.: *Simple Approximations for Chromatic Dispersion In Single-Mode Fibers With Various Index Profiles*. «J.O.L.T.», Vol. LT-3, n. 1, February 1985.
- [5] Marcuse, D.: *Gaussian approximation of the fundamental modes of graded-index fibers*. «J. Opt. Soc. Amer.», Vol. 68, 1978, pp. 103-109.
- [6] Aisle, B.J. et al.: *A Review Of Single-Mode Fibers With Modified Dispersion Characteristics*. «J.O.L.T.», Vol. LT-4, n. 8, August 1986.

Le tecnologie ottiche nella rete di accesso

F. Caviglia , F. Montalti, F. Nanni, F. Parente, D. Suino (*)

Vengono passati in rassegna i più recenti sviluppi nei componenti progettati e specificati per la rete ottica realizzata in Italia dalla SIP e sono riportati i risultati di alcuni anni d'impiego. L'attenzione è principalmente dedicata alla rete ottica di distribuzione ed ai seguenti componenti: cavi ottici a nastro, giunti, connettori. Sono inoltre brevemente illustrate le configurazioni previste per la rete di distribuzione ottica e le tipologie di apparati utilizzate.

1. Introduzione

Dal 1986 i cavi in fibra ottica sono i soli utilizzati in Italia nella rete di giunzione e per trasmissione a lunga distanza. Attualmente è stato installato oltre 1 milione di km-fibra e l'incremento annuale è tra i più elevati nei paesi industrializzati: si prevede che entro il 1996 si supereranno i 2 milioni di km-fibra [1].

L'impiego delle fibre ottiche nella rete di distribuzione da parte della SIP (Società Italiana per le Telecomunicazioni) ha avuto inizio in modo intensivo nel 1991 e si sviluppa secondo la seguente strategia:

- impiego di "Multiplex" di Utente per la graduale sostituzione del rame nella rete primaria. Vengono attualmente usati multiplex numerici ad alta capacità (480 canali telefonici) per applicazioni FTTC (Fiber To The Curb); si prefigura inoltre, per il futuro, anche l'impiego di multiplex compatti da 30 canali a livello di edificio (FTTB, Fiber To The Basement);
- realizzazione di un rilegamento completamente ottico per i principali utenti affari, utilizzando Sistemi di Accesso flessibili per fornire i diversi servizi. Normalmente il rilegamento è realizzato con un doppio instradamento (topologia ad anello). Recentemente è stato avviato un progetto speciale che prevede, entro qualche anno, il collegamento di alcune migliaia di grandi utenti affari, e la fornitura di servizi

avanzati e di alta qualità, basandosi su una gestione centralizzata. I primi utenti, situati a Roma, Milano, Torino e Napoli, sono stati collegati nel 1992.

Per favorire l'introduzione delle fibre nella rete di distribuzione, sin dal 1988 la SIP è impegnata in un grande sforzo tecnologico, al fine di ottimizzare tutti i componenti di rete in termini di costi e di prestazioni. Ciò ha portato allo sviluppo di una serie di componenti, indicata con il nome di "Sistema Cavo", consistente in un insieme integrato di elementi modulari (cavi a nastro, dispositivi di smistamento per nastri o "fan-out", connettori, muffole, telai di permutazione, ecc.) il cui montaggio avviene il più possibile nell'ambiente ben controllato di una fabbrica.

Una rassegna dei principali componenti del "Sistema Cavo" della SIP e i risultati delle prime prove in campo sono già stati oggetto di pubblicazione [2], [3]. Nel presente lavoro vengono esaminati gli ultimi sviluppi tecnologici del "Sistema Cavo" e vengono riportati i risultati di una esperienza biennale. Sono inoltre brevemente illustrate le configurazioni previste per la rete di distribuzione ottica e le tipologie di apparati utilizzate.

2. Fibre, nastri e cavi

Il cavo a nastri di fibre appare una soluzione conveniente per la rete di distribuzione, nella quale l'elevato numero di fibre presenti esige un basso costo e facilità nel separare le fibre in gruppi, identificarle e giuntarle. Inoltre è necessario progettare cavi aventi alta

(*) Dott. Francesco Caviglia, dott. Diego Suino -CSELT- Torino; dott. Francesco Montalti, dott. Fabrizio Nanni, ing. Fulvio Parente -Telecom Italia DG- Roma

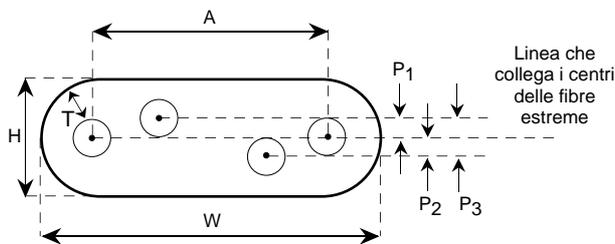
densità di impaccamento delle fibre, così da mantenere basse le dimensioni esterne, per un'agevole installazione all'interno delle tubazioni.

I cavi progettati per la rete di distribuzione SIP (ma usati anche nella rete di giunzione) sono cavi a nastri, con nastri a quattro fibre inseriti su un nucleo scanalato. Essi hanno una doppia guaina plastica, una protezione in nastro d'acciaio ed usano filati aramidici come membro di forza [2]. Vengono utilizzati cavi con 4, 8, 20, 60, 100 e 400 fibre (i primi due sono cavi per derivazioni d'utente). Sia i nastri che i cavi sono progettati e fabbricati in Italia, in conformità alle esistenti norme Europee.

Uno sforzo speciale è stato dedicato alla qualità del nastro, per la sua importanza determinante nelle prestazioni del cavo. Il nastro è del tipo "Incapsulato"; le fibre sono colorate per facilitarne l'identificazione e sono facilmente separabili tra loro. Le specifiche geometriche per il nastro ed i valori misurati su un campione tipico di produzione sono riportati nella fig. 1.

Per ottimizzare le prestazioni del nastro, una nuova fibra ottica con rivestimento speciale, denominata "Z1", è stata sviluppata da FOS, il produttore italiano di fibre ottiche. Il nuovo rivestimento conferisce alle fibre caratteristiche migliori soprattutto in termini di una ridotta sensibilità alle microcurvature ed all'effetto dell'acqua [4]. Nella fig. 2 sono riportati i risultati di prove su nastri con fibre Z1 e con fibre standard.

Per quanto riguarda la sensibilità all'acqua, la prova a cui si fa principalmente riferimento è l'immersione dei nastri in acqua a 20 °C. I nastri con fibre standard mostrano, col passare del tempo e già pochi giorni



	valori prescritti	valore medio	scarto quadratico medio	valore massimo	valore minimo
H (µm)	380 ± 30	381	8	397	364
W (µm)	1130 ± 50	1130	10	1133	1107
T (µm)	> 25	60	3	91	26
A (µm)	765 ± 30	754	5	763	745
P ₁ (µm)	± 30 *	2	11	26	-17
P ₂ (µm)	± 30 *	1	11	28	-19

* inoltre P₃ non deve essere superiore a 50 µm

Figura 1 Specifiche geometriche per il nastro e valori misurati su un campione tipico di produzione

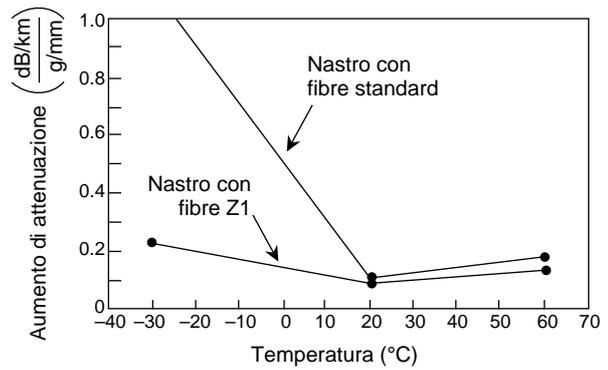


Figura 2 Risultato della prova con bobina espandibile, a 1550 nm, che mostra, alle basse temperature, il miglior comportamento alle microcurvature della fibra Z1

dopo l'immersione, un apprezzabile aumento dell'attenuazione. Al contrario i nastri con le fibre Z1, entro il periodo di prova attualmente raggiunto (oltre un anno) non hanno mostrato alcun significativo aumento di attenuazione. Nella fig. 3 viene mostrato un comportamento tipico.

Sono in corso prove a temperature più elevate (60 °C) ed i primi risultati confermano la tendenza di cui sopra.

Il nastro non cablato è caratterizzato e qualificato con severe prove ambientali (ad esempio: prove in temperatura, immersione in acqua, pressione laterale).

I cavi sono caratterizzati nella gamma di temperature da -30 °C a 60 °C, dove il massimo aumento ammesso per l'attenuazione è di 0,05 dB/km come media tra le fibre, e di 0,1 dB/km come valore massimo; non viene invece ammesso alcun aumento di attenuazione nella gamma da -15 °C a 40 °C. La resistenza alla trazione dei cavi è relativamente alta (ad esempio di 450 kg per il cavo a 100 fibre) per consentire la posa di lunghe pezzature di fabbrica nelle tubazioni.

I cavi usati nella rete a lunga distanza hanno struttura simile, ma con fasci di fibre su un nucleo scanalato

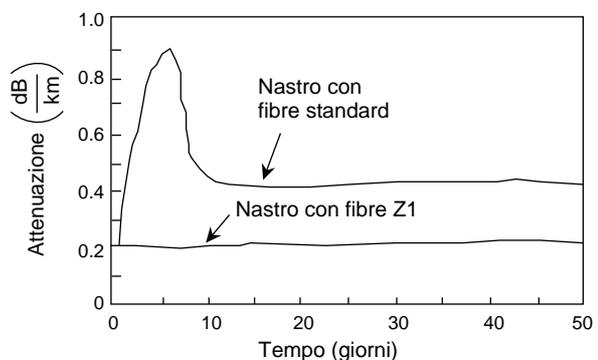


Figura 3 Esempio di un tipico comportamento dell'attenuazione a 1550 nm di nastri con fibre standard e fibre Z1, durante l'immersione in acqua a 20 °C

(dieci fibre per ogni scanalatura). La potenzialità massima è di 100 fibre.

I dati raccolti durante le prove di collaudo delle fibre non cablate e dei cavi sono archiviati in una base dati sviluppata da SIP e CSELT [5]. Ciò consente di analizzare l'evoluzione nel tempo della produzione dei cavi e di effettuare confronti tra prodotti provenienti da fabbricanti diversi.

I dati di attenuazione delle fibre appartenenti a cavi con nastri e a cavi con fasci di fibre su nucleo scanalato sono riportati nella tab. 1. Il confronto tra fibre non cablate e fibre cablate, oppure tra cavi a nastri e cavi con fasci di fibre non mostra alcuna differenza.

I risultati ottenuti durante l'installazione dei cavi e dopo oltre tre anni di vita degli stessi sono positivi, sia sotto l'aspetto delle prestazioni ottiche che di quelle meccaniche.

3. Giunzione multipla delle fibre

Uno dei vantaggi offerti dall'impiego della tecnologia dei cavi a nastro è il risparmio consentito dalla giunzione multipla delle fibre. La tecnica della giunzione multipla a fusione è largamente usata nella rete SIP. Le prestazioni in termini di attenuazione sono pienamente soddisfacenti,

		λ (nm)	Numero di dati	Media (dB/km)	S.Q.M. (dB/km)
Cavo con nastri di fibre	Fibre non cablate	1310	2741	0.34	0.010
		1550	2741	0.19	0.007
	Fibre cablate	1310	585	0.34	0.014
		1550	2744	0.20	0.010
Cavo con fasci di fibre	Fibre non cablate	1310	22362	0.34	0.010
		1550	22362	0.19	0.007
	Fibre cablate	1310	7430	0.34	0.013
		1550	22236	0.20	0.009

Tabella 1 Statistiche del coefficiente di attenuazione misurato su cavi a nastri e su cavi con fasci di fibre su nucleo scanalato

	Media (dB)	S.Q.M. (dB)	Percentuale oltre 0.3 dB
Con controllo attenuazione giunto	0.06	0.04	0
Senza controllo attenuazione giunto	0.15	0.10	10

Tabella 2 Valori tipici delle attenuazioni ottenute nella giunzione a fusione di nastri a quattro fibre. Quando l'attenuazione è controllata durante l'esecuzione del giunto, i giunti mal riusciti vengono ripetuti (al massimo due volte)

come già riportato in [2]; i risultati ivi citati sono stati confermati dall'ulteriore esperienza, come indicato dai dati che compaiono nella tab. 2.

Un'altra tecnica di giunzione multipla usata nella rete SIP è il ben noto giunto meccanico di tipo MT [2], [3]. Esso viene principalmente usato nelle terminazioni di centrale per il collegamento dei "fan-out", cioè degli elementi che servono a smistare le fibre del nastro su quattro fibre singole, ciascuna munita di un connettore. Le sue prestazioni sono accettabili ma la sua convenienza rispetto alla giunzione a fusione è ancora in corso di esame. In futuro verranno sperimentate anche altre tecniche di giunzione meccanica.

Nella configurazione standard, ad ogni utente affari viene portato un nastro a quattro fibre (due coppie di fibre). Per migliorare l'affidabilità della connessione dalla centrale al punto di distribuzione, gli instradamenti delle due coppie di fibre sono differenti. Per consentire la connessione di un utente al punto di distribuzione mediante una semplice giunzione del nastro, si è sviluppato uno speciale dispositivo detto "diramatore ottico" (fig. 4).

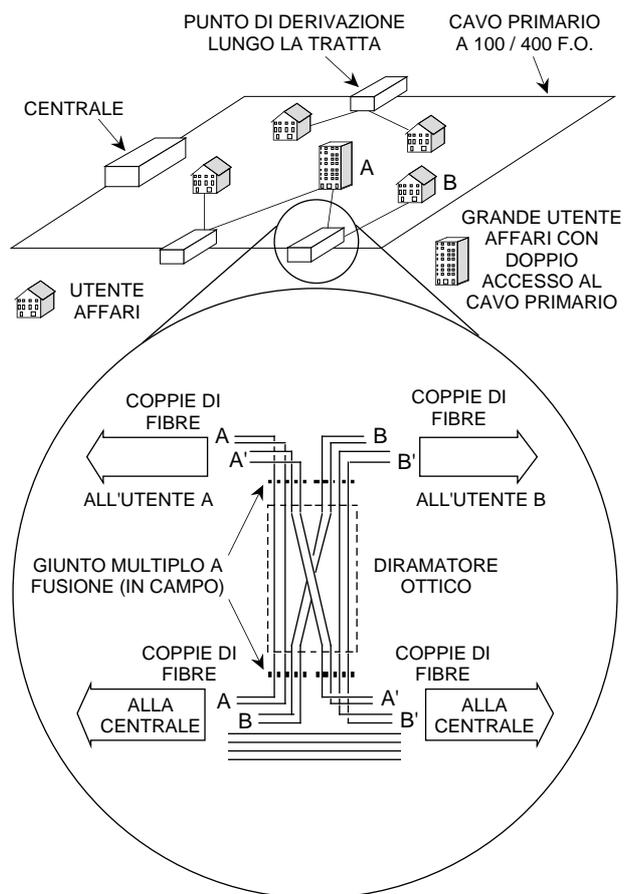


Figura 4 Struttura della rete ad anello e uso del diramatore ottico

Questo dispositivo viene montato in fabbrica giuntando a fusione le singole fibre di quattro spezzoni di nastro, e proteggendo l'insieme con un involucro; esso è progettato per garantire un'alta affidabilità e l'assenza di rumore modale.

4. Connettore SC

Nel perfezionamento della rete ottica, per quanto riguarda costi e prestazioni, i connettori rivestono un ruolo di primaria importanza, sia per la quantità dei pezzi impiegati, sia per le prestazioni richieste dall'utilizzo in una rete di crescente flessibilità. Da parte della SIP è stato quindi dedicato un notevole sforzo a questo componente, come descritto nel seguito.

Il primo tipo di connettore usato nella rete in fibra ottica monomodale (1985) fu il connettore biconico, a quel tempo largamente usato in tutto il mondo e le cui prestazioni erano allineate con le esigenze dei sistemi di trasmissione. A partire dal 1988, l'evoluzione della rete verso sistemi di trasmissione a velocità sempre più elevata e le tecnologie di interconnessione resesi disponibili, suggerirono la revisione della struttura della rete e dei suoi componenti, compresi i connettori. Un'attenta analisi del mercato dei connettori ed il confronto tecnico tra le diverse soluzioni portarono alla scelta del connettore SC, che venne sperimentalmente introdotto nel 1989, sulla rete a lunga distanza e su quella di distribuzione (fig. 5).

A partire dal 1991, il connettore SC è stato adottato in modo definitivo sull'intera rete SIP. Dall'inizio del 1992, i connettori sono per la maggior parte fabbricati in Italia.

Le azioni intraprese per assicurare la qualità dei connettori SC da usare nella rete SIP comprendono:

- la preparazione di un dettagliato Capitolato Tecnico, basato sulle norme di riferimento internazionali (IEC, CECC);

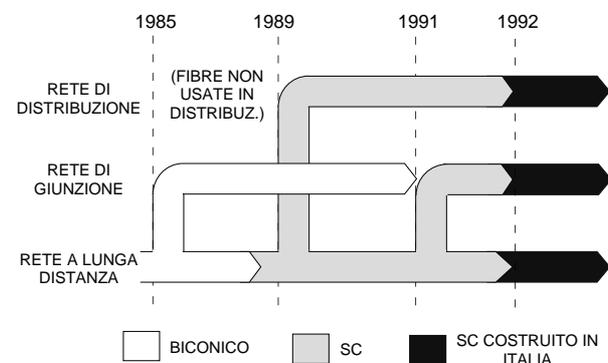


Figura 5 Evoluzione dei connettori ottici usati nella rete SIP

- l'approntamento (presso CSELT e presso i produttori di connettori) di laboratori in grado di caratterizzare e qualificare i connettori;
- studi dettagliati su aspetti critici di qualificazione e misura;
- una lunga serie di prove di accettazione per i connettori forniti alla SIP.

Per quanto riguarda il terzo punto, si possono citare i lavori dedicati alla qualificazione delle spine dei connettori sotto l'aspetto della attenuazione di riflessione ed alla misura del ritiro della fibra.

La qualificazione sotto l'aspetto della attenuazione di riflessione pone problemi quando deve essere effettuata sulle singole spine e non sul connettore completo (due spine accoppiate). Il problema viene risolto utilizzando spine di riferimento o "master" da accoppiare al connettore in prova durante la misura. Le caratteristiche da richiedere ai connettori master e la loro influenza sulle attenuazioni di riflessione misurate sono state oggetto di un'attenta analisi; è stato quindi messo a punto un metodo che consente di qualificare le spine master da usare nelle misura di attenuazione di riflessione e di valutare una "attenuazione di riflessione intrinseca" per ogni singola spina [6].

Il ritiro della fibra rispetto alla superficie lappata all'estremità della ferula è un parametro critico in un connettore ottico a contatto fisico, come il connettore SC. Questo parametro è abbastanza difficile da misurare, a causa del suo valore estremamente basso (secondo il Capitolato Tecnico SIP, il ritiro non deve superare i 50 nm. In tale documento è anche indicato un algoritmo per ricavare in modo univoco il valore del ritiro dal profilo della superficie della spina). La misurazione viene solitamente eseguita con analizzatori meccanici di profilo, ma possono anche essere usate, con qualche vantaggio, tecniche interferometriche. I sistemi di misura interferometrici sviluppati presso lo CSELT per questo parametro sono descritti in [7].

Per assicurare la qualità del prodotto, i singoli componenti e i connettori finiti sono sottoposti a numerose prove di qualificazione e di accettazione. Questa intensa attività di misura ha permesso di disporre attualmente di una grande quantità di dati, che mostrano le prestazioni del connettore prodotto in quantità, in termini di attenuazione di inserzione, attenuazione di riflessione e parametri geometrici.

Un'attenzione particolare viene dedicata alla compatibilità (cioè alla possibilità di interconnessione) tra prodotti di costruttori diversi.

Le figg. 6 e 7 riportano tipici esempi di distribuzione delle attenuazioni di inserzione e riflessione, misurate su coppie di spine prodotte da costruttori diversi (sia italiani che giapponesi).

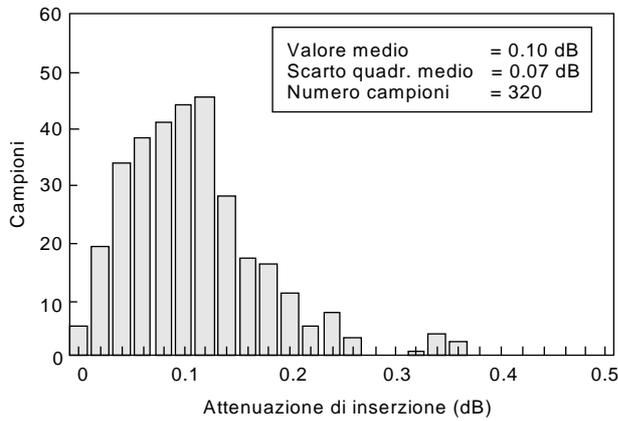


Figura 6 Distribuzione delle attenuazioni di inserzione misurate a 1550 nm su connettori formati accoppiando spine di costruttori diversi. Il Capitolato tecnico SIP prescrive un valore ≤ 0.2 dB ed un valore massimo ≤ 0.5 dB

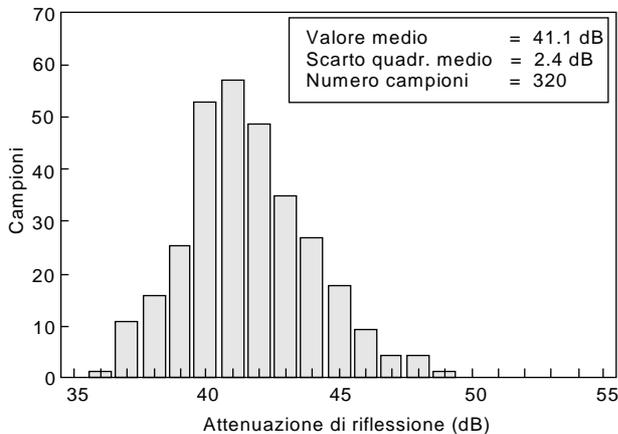


Figura 7 Distribuzione delle attenuazioni di riflessione misurate su connettori formati accoppiando spine di costruttori diversi. Le Specifiche Tecniche SIP prescrivono un valore minimo ≥ 35 dB

5. Infrastrutture di rete e posa dei cavi

Per ottimizzare i vantaggi offerti dall'uso dei cavi a nastro in termini di costi e prestazioni, è stata sviluppata una serie completa di accessori d'impianto (muffole, elementi di terminazione, ecc.).

I nuovi accessori sviluppati sono stati provati in opera con risultati positivi e sono correntemente usati nella rete. Due esempi sono mostrati nelle figg. 8 e 9.

Si sta inoltre dedicando attenzione alle tecniche di installazione dei cavi, al fine di minimizzare i relativi costi, diretti ed indiretti. In particolare sono oggetto di lavoro sperimentale le seguenti tecniche:

- impiego di mezzi radar per la prospezione sotterranea, al fine di sveltire le operazioni di scavo e di poter scegliere il percorso più conveniente;
- uso della tecnica del "Microtunnelling" (cioè la spinta

orizzontale di tubazioni nel sottosuolo);

- posa dei cavi nelle tubazioni mediante la spinta di aria o acqua pompata nelle stesse.

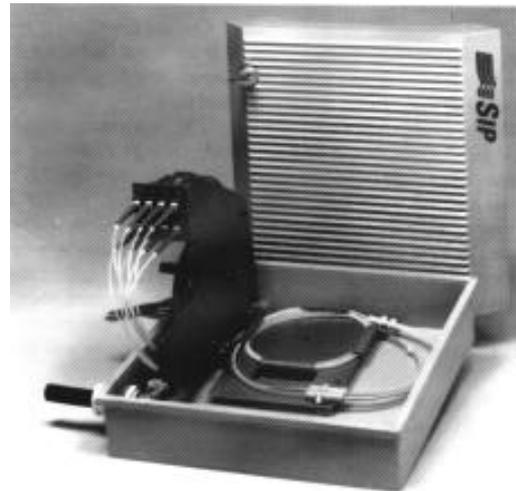


Figura 8 Borchia per la terminazione d'utente

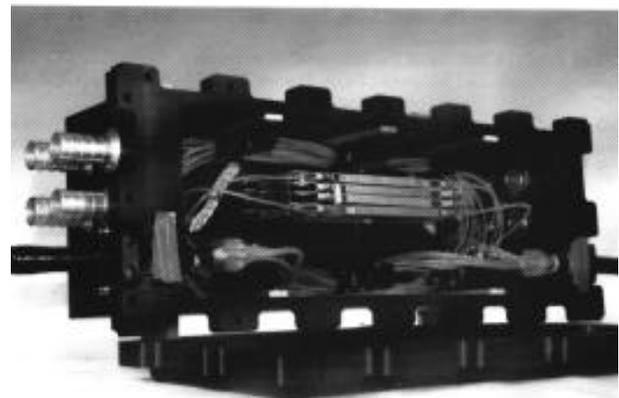


Figura 9 Muffola di giunzione impiegata nei punti di derivazione lungo la linea

6. Configurazioni ed apparati delle reti ottiche d'accesso

Sono nel seguito descritte le configurazioni attualmente previste per le reti ottiche d'accesso (FTTC, FTTO -Fiber To The Office-, FTTB) (fig. 10), nonché le loro potenziali evoluzioni definite per rendere possibile il trasporto di servizi a larga banda ; sono inoltre brevemente illustrate due configurazioni di rete (FTTC-Coax e FTTB-Passiva) (fig. 10), appositamente strutturate per la fornitura dei servizi a larga banda ed in particolare del video diffusivo; queste ultime architetture possono prefigurarsi come le future soluzioni a lungo termine per il trasporto dei nuovi servizi.

Per ogni configurazione sono anche riportate, in modo sintetico, le diverse tipologie di apparati trasmissivi utilizzati.

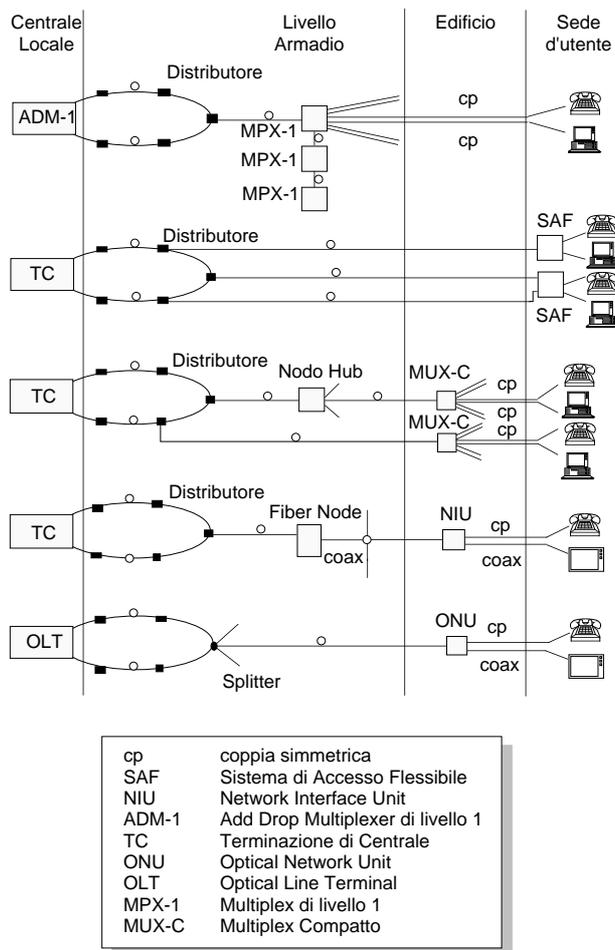


Figura 10 Architetture delle reti di accesso ottiche

FTTC

L'attuale architettura di rete FTTC, concepita per fornire i servizi tradizionali di fonia e dati, prevede l'impiego della fibra ottica in rete primaria con multiplex sincroni ad alta capacità MPX-1 collegati ad anello su linee a 155 Mbit/s (STM-1) ed installati in sostituzione dei normali armadi di distribuzione.

I multiplex MPX-1, la cui capacità di raccolta utenza per apparato è equivalente a 480 canali telefonici, sono connessi all'anello con terminali ottici integrati che equipaggiano connettori SC: tali terminali sono ridonati allo scopo di permettere l'inserimento in configurazioni ad anello; la rete secondaria tra i multiplex e gli utenti è invece realizzata tramite i tradizionali cavi in rame a coppie simmetriche.

Nella porzione di rete ottica tra la centrale ed i distributori è realizzato un anello "fisico" assegnando percorsi diversi alle due linee relative al multiplex; nella parte finale della rete, tra il distributore e l'apparato, è invece previsto soltanto un anello "logico", trasportando tramite un unico nastro da 4 fibre le due

linee trasmissive fino ad uno o più multiplex.

È possibile adattare tale configurazione di rete alla fornitura di servizi a larga banda, ad esempio del tipo video interattivo VOD (Video on Demand), equipaggiando gli apparati multiplex con terminali di linea che consentano la trasmissione su coppie in rame di segnali video tramite tecniche di compressione del segnale; per avere consistenti penetrazioni è necessario aumentare la capacità trasmissiva dell'apparato, utilizzando un segnale di linea del tipo STM-4 a 622 Mbit/s.

FTTO

In caso di utenza affari con elevato numero di circuiti è attualmente adottata una configurazione di rete che prevede l'introduzione di fibra ottica fino alla sede d'utente; tale soluzione comporta l'installazione di un Sistema di Accesso Flessibile (SAF) presso il cliente servito.

Un sistema SAF può fornire un elevato numero di canali telefonici e dati, adattandosi con estrema elasticità alle esigenze dell'utenza; il collegamento verso la rete in fibra è effettuato con linea in doppio di capacità variabile (8/34/140 Mbit/s) in dipendenza del numero di circuiti trattato.

I terminali di linea dell'apparato equipaggiano connettori SC ed il collegamento verso la rete in fibra è effettuato tramite la borchia di fig. 8; le due linee ottiche che giungono all'apparato presentano una diversità di percorso fino al distributore, mentre l'ultimo tratto fino alla sede d'utente può essere effettuato tramite uno o due nastri da 4 fibre, a seconda che si voglia fornire o meno una diversità di percorso completa (i due nastri sarebbero estratti da distributori diversi).

FTTB

L'introduzione in profondità della fibra in rete di distribuzione potrà essere realizzata con apparati del tipo MUX-C (Multiplex compatto d'utente) presenti presso i singoli edifici e connessi verso rete su fibra ottica tramite linea 4x2 Mbit/s; il collegamento verso centrale potrà essere realizzato in configurazione punto-punto con fibre dedicate da centrale ad edificio, oppure in configurazione a stella utilizzando un apparato del tipo "nodo HUB", che sia in grado di consolidare i flussi provenienti da più MUX-C in un unico segnale aggregato, allo scopo di ridurre il numero di fibre necessario nella rete primaria.

L'apparato MUX-C equipaggia connettori SC ed è collegato alla rete tramite un singolo nastro da 4 fibre; esso è in grado di restituire canali telefonici e dati, condotti agli utenti su coppie simmetriche.

La necessità di fornire servizi a larga banda potrà portare ad un incremento della capacità trasmissiva dell'apparato MUX-C, che potrebbe in futuro essere equipaggiato con linee a 155 Mbit/s.

FTTC-Coax

L'architettura prevede l'utilizzazione della fibra ottica nella parte primaria della rete, tra un terminale di centrale ed un "fiber node" installato a livello di armadio oppure in prossimità degli edifici; la porzione terminale di rete potrà invece essere realizzata tramite un cablaggio in cavo coassiale fino a delle terminazioni poste a livello di singolo edificio.

Il terminale di centrale, previsto con capacità di 480 utenti, svolge essenzialmente la funzione di aggregare servizi sia di telefonia/dati sia a larga banda in un unico segnale trasmesso verso il proprio Fiber Node.

Quest'ultimo, che si configura essenzialmente come un apparato "stradale", attua la conversione del segnale da ottico ad elettrico e viceversa; ciascun Fiber Node è collegato ad un insieme di Network Interface Unit (NIU), poste all'interno degli edifici, tramite più reti punto-multipunto in cavo coassiale.

Le terminazioni NIU provvedono a ricostruire i singoli segnali relativi ai diversi servizi ed a restituirli correttamente verso l'utenza, tramite cablaggi su coppia in rame o cavo coassiale.

FTTB Passiva

Questa architettura prevede un terminale di centrale del tipo Optical Line Terminal (OLT), con capacità di 480 canali telefonici, collegato a più Optical Network Unit (ONU) tramite una rete in fibra ottica di tipo punto multipunto con topologia ad albero; tale rete è realizzata tramite splitter passivi che distribuiscono il segnale ottico su un certo numero di fibre (indicativamente 16) in modo da poter realizzare configurazioni ad albero.

Ogni terminazione ONU è collocata presso un singolo edificio e restituisce verso gli utenti sia i segnali fonia/dati sia i segnali a larga banda, condotti agli utenti tramite coppie in rame o cavi coassiali.

7. Conclusioni

L'evoluzione delle reti di telecomunicazioni verso l'impiego di tecniche avanzate, basate sulle fibre ottiche, sta seriamente impegnando la SIP, come tutti gli altri gestori di servizi di telecomunicazioni, con l'obiettivo far fronte alle differenziate esigenze degli utenti e di disporre di una rete di telecomunicazioni con caratteristiche avanzate, di alta qualità ed affidabile. Le fibre ottiche sono oggi già largamente usate nella rete, e si prevede che i prossimi anni siano caratterizzati dall'uso massiccio di sistemi su fibra ottica anche nella rete di distribuzione.

L'importanza dell'impiego di tecnologie che

consentano sia di realizzare un risparmio economici che di garantire un'elevata qualità della rete, è un aspetto a cui è dedicata una grande attenzione.

Come sopra evidenziato, le azioni SIP volte all'ottimizzazione dell'impiego delle fibre ottiche nella rete di distribuzione sono numerose e continue; una particolare attenzione è stata dedicata ai componenti utilizzati, quali i connettori, i giunti e gli accessori d'impianto.

I risultati di oltre tre anni di esperienza nell'uso in campo dei cavi con nastri di fibre sono soddisfacenti e nei prossimi anni il loro impiego proseguirà in modo massiccio.

Bibliografia

- [1] Esposito, F.; Lombardi, F.; Gambaro, A.: *Optical Systems in the Italian Telecommunication Network*. Sarà pubblicato su: «Fiber and Integrated Optics».
- [2] Esposito, F.; Montalti, F.; Nanni, F.: *O. F. Ribbon Cable System Technology: the Italian Experience*. Proc. 40th International Wire and Cable Symposium, St. Louis, USA, Novembre 18-21, 1991, pp. 749-757.
- [3] Calantoni, A. et al.: *Field Trials in Italy with the Ribbon Cable System*. Proc. EFOC/LAN '92 10th Conference on European Fiber Optic Communications and Networks, Parigi, Francia, Giugno 24-26, 1992, pp. 238-244.
- [4] Carones, G.; Pannullo, A.; Zuccala, A.: *A Novel Optical Fibre for Ribbon Application*. Proc. EFOC & N '93 11th Conference on European Fiber Optic Communications and Networks, The Hague, Olanda, 30 Giugno - 2 Luglio 1993, pp. 222-228.
- [5] Bortot, R. et al.: *A Data Base for the Acceptance Test Results on SIP Optical Cables*. Proc. EFOC & N '93 11th Conference on European Fiber Optic Communications and Networks, The Hague, Olanda, 30 Giugno - 2 Luglio 1993, pp. 277-280.
- [6] Caviglia, F. et al.: *Assessing the Return Loss Performance in Physical Contact Optical Connectors*. Proc. EFOC/LAN '92 10th Conference on European Fiber Optic Communications and Networks, Parigi, Francia, Giugno 24-26, 1992, pp. 61-64.
- [7] Bollero, A. et al.: *Interferometric Analysis of Optical Connector End Surface*. Proc. EFOC & N '93 11th Conference on European Fiber Optic Communications and Networks, The Hague, Olanda, 30 Giugno - 2 Luglio 1993, pp. 68-71.

Rete di distribuzione in fibra ottica: qualificazione e normativa dei componenti

M. Artiglia, P. Di Vita, F. Esposito, P. Morra, F. Nanni, M. Potenza, A. Rossaro (*)

La crescente disponibilità di portanti e dispositivi ottici sempre più flessibili ed efficienti consente di introdurre architetture di rete innovative per sistemi di trasmissione di elevate prestazioni. È importante perciò che le normative sui sistemi e quella sui portanti ottici e relativi componenti siano strettamente collegate tra loro, poiché lo sviluppo coerente di entrambe rappresenta una condizione chiave per l'evoluzione delle reti di telecomunicazione.

In questo lavoro viene fatta una panoramica degli enti di normativa impegnati nella definizione degli standard dei portanti e dispositivi ottici impiegati nella rete di distribuzione in fibra ottica.

Particolare attenzione è rivolta alla normativa riguardante le fibre ottiche che di fatto è piuttosto ben assestata, mentre vengono illustrati i lavori in corso e le attività future per dispositivi più recenti, quali gli amplificatori ottici in fibra.

1. Introduzione

La standardizzazione è uno degli aspetti basilari per lo sviluppo di qualsiasi prodotto industriale, dal momento che i documenti di normativa riflettono gli accordi presi tra produttori e consumatori consentendo una vasta e razionale diffusione del prodotto in oggetto. Questo è particolarmente vero nel caso delle comunicazioni in fibra ottica dove lo sviluppo tecnologico è estremamente rapido. Infatti già si intravedono per i componenti ottici nuove funzionalità ed applicazioni, mentre si profilano prestazioni della rete ottica sempre più avanzate. Grazie alla disponibilità di amplificatori ottici ed in particolare di Amplificatori in Fibra Ottica (*Optical Fibre Amplifiers, OFAs*) caratterizzati da alta efficienza e grande versatilità, sarà possibile addirittura l'introduzione di nuove architetture di reti ottiche di telecomunicazioni. La standardizzazione dei componenti e dei sistemi diventa quindi una condizione chiave per un razionale sviluppo della rete ottica e attualmente c'è una fervida attività per coprire con un'adeguata normativa tutto il panorama dei dispositivi e componenti che realizzano questo complesso tipo di rete.

Lo scopo dell'attività di normativa è duplice: specificare i parametri fisici che determinano le prestazioni di ciascun dispositivo e caratterizzare quest'ultimo in termini di tali parametri tramite opportuni metodi di misura. Ciò dovrebbe permettere l'ottimizzazione dell'interfacciamento dei vari componenti ed il pieno sfruttamento delle capacità dei sistemi ottici, nonché il miglioramento delle configurazioni di questi. E' altresì chiaro che una prematura standardizzazione potrebbe d'altro canto frenare l'evoluzione naturale della tecnologia, per cui si comprende come sia difficile individuare il limite da porre agli standards al fine di non ostacolare il veloce sviluppo delle comunicazioni ottiche. Sono appunto gli enti di standardizzazione che si fanno carico di trovare questo difficile compromesso per mediare le diverse esigenze.

Per capire l'importanza e la complessità del problema, è il caso di menzionare i principali enti di standardizzazione che operano a livello internazionale come ITU-T (ex CCITT) (*International Telecommunication Union - Telecommunication Standardisation Sector*) e l'IEC (*International Electrotechnical Commission*).

Questi gruppi sono coadiuvati da alcuni enti regionali come l'EIA/TIA negli USA, il TTC in Giappone, e l'ETSI (*European Telecommunication Standard Institute*) e il CECC (*Cenelec Electronic Components Committee*) in Europa, che si preoccupano di portare all'attenzione della comunità internazionale le necessità che sorgono a

(*) dott. Massimo Artiglia, dott. Pietro Di Vita, dott. Pierangelo Morra, dott. Marcello Potenza, ing. Alberto Rossaro -CSELT-Torino; dott. Feliciano Esposito, dott. Fabrizio Nanni -Telecom Italia DG - Roma

livello locale e che devono essere armonizzate nell'ambito dei progetti globali; questi enti provvedono, inoltre, a diffondere gli standards concordati a livello internazionale.

Nei prossimi paragrafi verrà presentato lo stato delle attività di standardizzazione nel campo della rete di distribuzione e dei relativi componenti, in particolare delle fibre ottiche singolo-modo.

2. Stato della normativa

L'attività di normativa relativa alla rete di distribuzione ha inizio fin dagli anni settanta, quando le maggiori Amministrazioni riscontrano la necessità di rendere la porzione di rete che si interfaccia con l'utente il più possibile omogenea e standardizzata. Questa esigenza è diventata indispensabile all'inizio degli anni ottanta con la definizione della ISDN (*Integrated Services Digital Network*) che deve offrire all'utente un numero ragionevolmente basso di interfacce standard in modo da garantire la possibilità di connettersi al sistema trasmissivo tramite terminali prodotti da costruttori diversi. Con la globalizzazione del mercato l'esigenza di costruire apparati di trasmissione compatibili si è poi estesa dall'interfaccia utente/rete fino all'interfaccia tra il terminale di linea e la centrale di commutazione.

Per quanto riguarda il sistema trasmissivo usato, il portante fisico di gran lunga preferito nei moderni sistemi di telecomunicazioni è costituito dalle fibre ottiche monomodali (*Single-Mode Fibres, SMF*) grazie alla loro bassa attenuazione e all'elevata larghezza di banda; anche per le reti di distribuzione questo mezzo è diventato praticamente obbligatorio viste le enormi potenzialità trasmissive che permettono alle reti di sopportare più agevolmente i nuovi servizi a larga banda e futuri incrementi di traffico. Ruoli rilevanti nel progresso delle telecomunicazioni in fibra ottica sono stati ricoperti dallo sviluppo delle tecniche di caratterizzazione delle fibre e dall'intensa attività di standardizzazione sviluppata dagli enti nazionali ed internazionali.

2.1 Enti di normativa

L'attività di normativa ha avuto una notevole crescita durante gli anni ottanta, dal momento che, in questo periodo, sono nati parecchi enti di standardizzazione a livello mondiale, europeo o frutto di collaborazione tra alcune nazioni. Gli enti che hanno giocato un ruolo determinante nell'attività di normativa sono stati l'ITU-T, l'IEC e l'ETSI. Questi comitati si sono trasformati da enti di consultazione periodica tra Amministrazioni e Gestori delle Telecomunicazioni in veri e propri centri di progetto sistemistico a cui partecipano attivamente anche le industrie.

Per quanto concerne la rete di distribuzione ottica, i gruppi di lavoro che hanno sviluppato gran parte della normativa sono ovviamente quelli che si occupano degli aspetti trasmissivi: per quanto concerne l'ITU-T il Gruppo di Studio (SG - Study Group) 15, per l'IEC il comitato tecnico TC86, mentre per l'ETSI il comitato tecnico TM1; nel seguito viene data una breve descrizione dell'organizzazione ed attività di ciascun organismo.

2.1.1 Gruppo di studio 15 dell'ITU-T (Transmission Systems and Equipments)

L'attività del Gruppo di Studio 15 dell'ITU-T, volta alla definizione dell'apparato trasmissivo, è sempre stata strettamente legata ai lavori condotti dal Gruppo di Studio 13 (General Network Aspects) dove viene definita la struttura del sistema di trasmissione ed al Gruppo di Studio 6 (Outside Plants) che cura gli aspetti impiantistici e quelli relativi alla costruzione dei cavi ottici. Il Gruppo di Studio 15 è suddivisa in cinque *Working Parties* (WP) di cui il WP4 è particolarmente importante per quanto concerne la rete di distribuzione in fibra ottica.

Working party 4: Trasmissione ottica

Il WP4 studia attualmente le caratteristiche dei cavi in fibra ottica, definisce le interfacce e i sistemi di linea ottica per la rete di distribuzione ed è coinvolto nella definizione delle differenti topologie di rete. Per ciò che riguarda la rete di distribuzione, non c'è una normativa particolare sui cavi ottici, in quanto si prevede di utilizzare gli stessi usati nella rete di giunzione, già pienamente standardizzati. Il WP4 ha il compito di ratificare i parametri caratteristici della fibra ed i corrispondenti metodi di misura, da usarsi in fase di qualificazione. Le questioni di studio proposte da questo WP per il prossimo periodo di lavoro (1993 - 1996) sono date in tab. 1.

ITU-T SG15/WP4: Transmission Systems and Equipments	
Questione 23/15	Characteristics and Test Methods of Optical Fibres and Cables
Questione 24/15	Characteristics of Optical Systems for Use in Local Area Network
Questione 25/15	Characteristics of Optical Systems for Inter-Office and Long-Distance Networks
Questione 26/15	Transmission-Related Characteristics of Optical Components and Subsystems, Including Optical Amplifiers
Questione 27/15	Characteristics of Optical Fibre Submarine Cable Systems
Questione 28/15	Reliability and Availability of Optical Systems

Tabella 1 Struttura delle questioni del SG15/WP4 proposta per il prossimo periodo di studio (1993-1996)

I documenti inerenti ai vari tipi di fibre, le definizioni dei vari parametri ed i metodi di misura relativi sono costituiti dalle Raccomandazioni riportate in tab. 2.

G.650	(Definition and test methods for the relevant parameters of single-mode fibres)
G.651	(Characteristics of a 50/125 µm multimode graded index optical fibre cable)
G.652	(Characteristics of a single mode optical fibre cable)
G.653	(Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre cable)
G.654	(Characteristics of a 1500 nm wavelength loss-minimized single-mode optical fibre cable)

Tabella 2 Raccomandazioni ITU-T SG15/WP4 sulle fibre ottiche

2.1.2 Comitato Tecnico TC86 dell'IEC (Fibre Optics)

L'IEC, si occupa di fibre ottiche nel Comitato Tecnico TC86 ed in particolare nel sottocomitato SC 86A. L'IEC è strutturato in Comitati Tecnici e in Sottocomitati con relativi "gruppi di lavoro" (*Working Groups*) per gli argomenti di studio specifici o più corposi. Il Comitato Tecnico TC86 comprende 4 Working Groups (tab. 3) e 4 Sottocomitati Tecnici (tab. 4):

WG1: Fibre Optic Terminology And Symbology
WG2: Fibre Optic Safety Aspects
WG4: Fibre Optic Test Equipment Calibration
WG6: Optical Fibres Amplifiers

Tabella 3 Gruppi di lavoro del Comitato TC86 dell'IEC

SC86A Optical Fibres and Cables	WG1: Optical Fibres WG2: Optical Cables
SC86B Fibre Optic Interconnecting Devices and Passive Components	WG4: Standard Tests and Measurement Methods for Fibre Optic Interconnecting Devices and Passive Components WG5: Reliability of Fibre Optic Interconnecting Devices and Passive Components WG6: Standards and Specifications for Fibre Optic Interconnecting Devices and Passive Components
SC86C Fibre Optics Systems Specifications	WG1: Fibre Optic Subsystems WG2: Fibre Optic Sensors

Tabella 4 Sotto-comitati del TC86 dell'IEC e relativi gruppi di lavoro

I documenti prodotti costituiscono dei veri e propri Standard Internazionali.

Quelli emessi finora riguardanti le fibre ottiche sono elencati in tab. 5.

IEC 793/1,	"Optical fibres - Part 1: Generic specifications"
IEC 793/2,	"Optical fibres - Part 2: Product specifications"

Tabella 5 Raccomandazioni IEC TC86 sulle fibre ottiche

2.1.3 Comitato tecnico TM dell'ETSI

Il comitato tecnico TM tratta in ETSI tutti gli aspetti legati alle tecniche di trasmissione e di moltiplicazione ed è quindi di notevole rilevanza per quel che concerne le tematiche relative alla rete di distribuzione in fibra ottica. Esso è suddiviso in cinque sottocomitati tecnici tra i quali uno di particolare interesse per gli aspetti qui presi in considerazione:

Sottocomitato tecnico TM1

Tale sottocomitato si occupa della definizione degli apparati, dei sistemi e degli aspetti tecnologici dei componenti e dei cavi siano essi ottici o tradizionali. Ultimamente TM1, che nel passato ha definito gli apparati per la rete plesiocrona, sta definendo i sistemi per la nuova gerarchia sincrona di trasmissione. Questo sottocomitato ha sempre collaborato intensamente con il sottocomitato TM3 per quanto riguarda la definizione sistemistica degli apparati.

Nell'ambito di tale sottocomitato sono stati sviluppati due Standard Europei di Telecomunicazione provvisori:

- "I-ETS on G.652 type single-mode fibres";
- "I-ETS on G.653 type dispersion shifted single-mode fibres".

3. Standardizzazione delle fibre ottiche singolo-modo

Tra gli scopi dell'attività di normativa delle fibre ottiche c'è la necessità di individuare un opportuno insieme di parametri atti a caratterizzare completamente la fibra e congiuntamente di descrivere in modo univoco le relative tecniche di misura, in vista della qualificazione dei mezzi trasmissivi per l'impiego in tutte le tipologie di reti e sistemi.

Il progresso nel campo della standardizzazione delle misure di fibre a singolo modo segue principalmente tre indirizzi:

- miglioramento delle tecniche di misura già esistenti;
- nuove tecniche di misura richieste dai nuovi dispositivi in fibra ottica;
- nuove tecniche di misura richieste dall'evoluzione delle reti ottiche di telecomunicazione.

L'attività di standardizzazione, iniziata a metà degli anni '70, ha raggiunto oggi un livello di maturità soddisfacente. I due organismi internazionali, ITU-T e IEC, hanno pubblicato diverse raccomandazioni (tabb. 2 e 5) di notevole importanza [1-6], sia per quanto riguarda la formulazione di definizioni univoche per i parametri rilevanti, sia per quanto riguarda l'accurata descrizione dei metodi di misura e dei relativi campi di tolleranza. In particolare l'ITU-T ha provveduto alla raccomandazione di un metodo di riferimento (*Reference Test Method, RTM*) per ogni parametro specificato; tale metodo è direttamente legato alla definizione del parametro stesso e garantisce il massimo grado di accuratezza, in modo da poter essere considerato di assoluta validità. Oltre a questo metodo l'ITU-T raccomanda uno o più metodi alternativi (*Alternative Test Method, ATM*) di uso più agevole nelle applicazioni pratiche ed univocamente collegati ai RTM.

In tab. 6 vengono illustrati i più importanti parametri atti alla caratterizzazione delle fibre ottiche singolo-modo ed i relativi metodi di misura RTM e ATM [1], cui seguirà un quadro conciso della normativa inerente.

Parametro	RTM	ATM
Diametro di campo modale	Campo lontano	Apertura variabile Campo vicino
Lunghezza d'onda di taglio (λ_c) (in fibra non cablata)	Potenza trasmessa	Tamburo sdoppiato
Lunghezza d'onda di taglio (λ_{cc}) (in fibra cablata)	Potenza trasmessa	(22 m di fibra non cablata)
Lunghezza d'onda di dispersione nulla (λ_0) Pendenza di dispersione nulla (S_0) Coefficiente di dispersione cromatica	Sfasamento	Ritardo dell'impulso Interferometria
Diametro del mantello Errore di concentricità del campo modale Non circolarità del mantello	Campo vicino trasmesso	Campo vicino rifratto Illuminazione laterale Campo vicino trasmesso a formazione d'immagine
Coefficiente di attenuazione	Taglio	Retrodifusione Perdita d'inserzione
Perdita per curvatura	[100 giri-diam: 75 mm]	(Equivalente)

Tabella 6 Metodi di misura di riferimento (RTM) e alternativi (ATM) per fibre ottiche singolo-modo attualmente raccomandati dal ITU-T

3.1 Diametro di campo modale

Il Diametro di campo modale (*Mode Field Diameter, MFD*) fornisce delle importanti informazioni sulla sensibilità della fibra a micro- e macro-curvature e sul suo comportamento alle giunzioni [7,8]. Tutti gli enti di standardizzazione hanno adottato la definizione di MFD che si basa sull'inverso della larghezza quadratica media della distribuzione di campo lontano della fibra (la cosiddetta definizione alla "Petermann II") [9,21]. Conseguentemente il metodo di misura di riferimento è diventato la tecnica di *scansione in campo lontano (Far Field, FF)* del diagramma di radiazione all'uscita della fibra, mentre le tecniche dell'*apertura variabile (Variable Aperture, VA)*, e con *scansione in campo vicino (Near Field, NF)* sono considerate metodi di misura ATM. Le tecniche di scansione con *disassamento laterale (Transverse Offset, TO)* e *confiltro a semipiano (Knife-Edge, KE)*, che furono ampiamente utilizzate negli anni passati ed originariamente incluse tra gli ATM, sono state escluse dal novero di questi ultimi da tutti i Comitati di standardizzazione a causa della complessità dell'apparato di misura e delle ambiguità presenti nell'elaborazione dei risultati sperimentali. Questa decisione è stata presa coerentemente con i risultati di varie campagne di misura internazionali [10,11].

3.2 Lunghezza d'onda di taglio

Dalla definizione dell'ITU-T, la lunghezza d'onda di taglio (*Cut-off Wavelength, CWL*) è la lunghezza d'onda al di sopra della quale il rapporto espresso in dB tra la potenza totale trasmessa dalla fibra, inclusi i modi di ordine superiore, e la potenza guidata dal modo fondamentale, è minore di 0.1, in condizioni di eccitazione modale uniforme. La determinazione della CWL è importante per determinare la regione spettrale di operazione monomodale della fibra in esame.

A riguardo della standardizzazione della CWL alcuni problemi sono tuttora aperti. In effetti attualmente vengono date due definizioni: quella di CWL su fibra non cablata (λ_c) e quella di CWL su fibra cablata (λ_{cc}). In entrambi i casi il RTM è costituito dalla tecnica della *potenza trasmessa* di cui sono accettate due versioni (della *curvatura* e del *riferimento multimodale*). Proprio l'esistenza di queste due varianti costituisce un problema per un'univoca definizione di RTM [1]: in effetti, alcuni laboratori hanno messo in luce differenze sistematiche tra i valori di CWL misurati secondo le due tecniche. Poiché solo la prima è strettamente legata alla definizione di CWL, ciò sottolinea la necessità di considerare la variante del riferimento multimodale come un metodo a sé stante e di relegarlo tra gli ATM una volta che venga chiarita la relazione che lo lega alla variante della

curvatura da ritenersi come (unico) RTM. Il comitato europeo ETSI ha già provveduto a mettere in opera un cambiamento siffatto ed è probabile che altri comitati ne seguano l'esempio a breve scadenza. Ulteriori raffinamenti del metodo sono però necessari. Infatti si è riscontrato recentemente in RRT (Round Robin Test) internazionali [12,13] una bassa riproducibilità delle misure di CWL su fibra non cablata. Inoltre per quanto riguarda le misure di CWL su fibra cablata (λ_{cc}), data la poca praticità del RTM raccomandato, è attualmente in fase di studio l'affidabilità dell'ATM proposto.

3.3 Coefficiente di attenuazione e perdite

La standardizzazione del parametro di attenuazione delle SMF è attualmente piuttosto ben consolidato. Il RTM raccomandato dall'ITU-T è il metodo del *taglio*, che però è parzialmente distruttivo e richiede l'accesso ad entrambe le facce della fibra da misurare. Questi aspetti hanno favorito la diffusione della tecnica della *retrodifusione* (backscattering), raccomandata dall'ITU-T come ATM [1], che è molto pratica per le misure su impianti esterni e necessita dell'accesso ad una sola terminazione della fibra. Inoltre questa tecnica permette d'individuare guasti o perdite concentrate e localizzare perdite di linea o di giunto, anche su fibre direttamente operanti in campo.

In questo periodo si è aperto un dibattito riguardante la definizione delle specifiche di attenuazione per applicazioni di sistema; infatti mentre è stata accettata una prescrizione di valori di coefficiente di attenuazione al centro delle due finestre di trasmissione, sarebbe interessante considerare le proprietà di attenuazione su uno spettro di lunghezze d'onda più ampio attorno al valore nominale di operazione. Ciò permetterebbe di raggiungere un valido compromesso tra costi e prestazioni allo stato delle attuali applicazioni e delle tecnologie disponibili. Sarebbe possibile, ad esempio, utilizzare sorgenti con specifiche sullo spettro d'emissione meno stringenti, come nel caso di reti di distribuzione, oppure considerare un valore standard di attenuazione lungo una certa gamma di lunghezze d'onda per applicazioni WDM (Wavelength Division Multiplexing). Inoltre un parametro di crescente importanza per i fabbricanti e gli utilizzatori di componentistica ottica è costituito dalla *perdita ottica di ritorno* (Optical Return Loss, ORL). La sua determinazione è interessante, specialmente nei giunti e nei connettori, al fine di evitare che la luce riflessa all'indietro possa incidere sulle proprietà emissive di sorgenti laser e quindi sul funzionamento dell'intero sistema di trasmissione.

Crescente considerazione è anche riservata ad un altro parametro caratterizzante le perdite ottiche della fibra: *l'uniformità longitudinale*. Tale parametro mirerebbe a garantire la sostanziale uniformità del campione in esame specialmente per ciò che concerne i parametri misurabili solo

alle estremità della fibra stessa (si pensi al MFD o alla CWL).

Il problema della sua definizione e dei metodi con cui misurarla appare tra le questioni del prossimo periodo di studio del Gruppo di Studio 15 dell'ITU-T.

3.4 Dispersione

La Dispersione Cromatica (*Chromatic Dispersion, CD*) stabilisce il limite di capacità trasmissiva di una fibra ottica. Attualmente il coefficiente di dispersione cromatica, $D(\lambda)$, è standardizzato in termini di lunghezza d'onda del punto di dispersione nulla (λ_0) e di pendenza della curva di dispersione in funzione della lunghezza d'onda (S_0), ossia il coefficiente angolare della retta tangente alla curva $D(\lambda)$, nel punto $\lambda = \lambda_0$.

Il metodo di riferimento per la misura di questo parametro è la tecnica dello *sfasamento* (*Phase Shift Technique, PS*), mentre i metodi alternativi sono la tecnica del *ritardo d'impulso* (*Pulse Delay, PD*) ed il metodo *interferometrico* (*Interferometric Method, IM*); quest'ultimo, caratterizzato da un'accuratezza molto elevata (risoluzione temporale: 0.1 ps), può essere impiegato solo con corti spezzoni di fibra ottica.

Tutti i metodi che permettono di determinare il coefficiente di dispersione cromatica tramite il ritardo di gruppo condividono un aspetto piuttosto delicato: la scelta di una funzione adatta ad interpolare i valori sperimentali. Le funzioni d'interpolazione standard raccomandate attualmente sono lo "*Sviluppo di Sellmeier a tre termini*" per le fibre a dispersione non spostata e la "*interpolazione parabolica*" per le fibre a dispersione spostata. Manca per il momento un'opportuna funzione d'interpolazione per le fibre a dispersione appiattita anche se l'argomento è materia di studio da parecchio tempo.

Una caratteristica delle SMFs di particolare interesse per i sistemi ad alta velocità su lunga tratta, per la quale si sente la necessità di una standardizzazione, è la Dispersione di Polarizzazione (*Polarisation-Mode Dispersion, PMD*). Essa nasce dal fatto che, contrariamente a ciò che accade in una fibra ideale, le due polarizzazioni ortogonali del modo fondamentale di una fibra reale non si propagano con la stessa velocità di gruppo a causa delle fluttuazioni dei parametri geometrici della fibra stessa, o degli stress casuali che si generano durante il processo di cablaggio e che provocano fenomeni indesiderati di *birifrangenza*. La distribuzione statistica del ritardo di gruppo relativo alle due polarizzazioni porta ad uno sparpagliamento dell'impulso lanciato; questo comportamento diventa particolarmente rilevante nei sistemi a lunga distanza e alta capacità di trasmissione dove vengono impiegate fibre a bassissima dispersione e laser a riga molto stretta. In queste applicazioni la PMD può quindi contribuire in modo significativo al degrado delle prestazioni del sistema. Il fenomeno, che è particolarmente interessante, è stato inserito nella lista degli argomenti urgenti da

approfondire nel prossimo periodo di studio dell'ITU-T per definire i parametri adatti a descrivere la PMD e per scegliere un metodo di riferimento tra i tanti oggi disponibili: *Metodo della Scansione in Lunghezza d'onda (Wavelength Scanning)*, *Metodo Interferometrico (Interferometer)*, *Matrici di Jones (Jones Matrix)*, *Metodo Polarimetrico (Polarimeter)*.

3.5 Geometria

I parametri geometrici rilevanti di una fibra ottica singolo-modo sono: il MFD, il diametro del mantello, l'errore di concentricità del diametro di campo modale e la non circolarità del mantello. Lasciando da parte il MFD, già considerato in un paragrafo precedente, il metodo di riferimento per la misura dei parametri geometrici è la tecnica del *campo vicino trasmesso*. I metodi di misura alternativi sono attualmente i seguenti: il metodo del *Campo Vicino Rifratto (Refracted Near-Field)*, il metodo dell'*Illuminazione Laterale (Side View Technique)* ed il metodo del *Campo Vicino Trasmesso a Formazione D'immagine (Imaging Technique)*. La situazione per quanto concerne la caratterizzazione dei parametri geometrici non è, allo stato attuale delle cose, soddisfacente. Infatti per alcuni parametri l'errore di riproducibilità è confrontabile con il campo di tolleranza raccomandato, anche utilizzando il RTM.

Il problema della geometria delle fibre ha assunto ultimamente grande rilievo per l'impiego di queste, soprattutto negli innovativi "cavi ottici a nastro" (*Ribbon*), e relativi connettori meccanici nella rete di distribuzione o in progetti ancora più ambiziosi come quello che prevede l'utilizzo della fibra fino a casa dell'utente (*Fibre To The Home, FTTH*). La necessità di ottenere tolleranze più severe sulla geometria delle fibre è dettata dall'esigenza di garantire un più rigoroso allineamento delle fibre a nastro per ridurre le perdite e per diminuire i costi dei connettori e dei giunti meccanici. In tal senso si stanno effettuando notevoli sforzi per migliorare l'accuratezza dei metodi di misura esistenti e per ricercarne di più precisi [14,15]; fra questi sono meritevoli di menzione il *metodo interferometrico* ed il *metodo micrometrico* per il notevole interesse che stanno riscuotendo. Attualmente è in corso una campagna di misura, nell'ambito dell'ITU-T SG15/WP4, con lo scopo di identificare i metodi di misura più riproducibili e gli algoritmi più soddisfacenti per l'analisi dei dati sperimentali.

3.6 Aspetti meccanici

Le specifiche in quest'area sono mirate a caratterizzare l'affidabilità delle fibre ottiche in servizio in funzione delle condizioni ambientali ed operative. A causa dell'impiego crescente delle fibre (cavi aerei, sotterranei e sottomarini)

in tutti i sistemi trasmissivi, sta diventando di estrema importanza la previsione del tempo di sopravvivenza di queste ultime. Quest'aspetto è attualmente di particolare interesse dal momento che non sono ancora stati messi a punto modelli matematici per effettuare questo genere di previsioni.

L'IEC ha recentemente costituito un Gruppo di lavoro *Ad Hoc* per quanto riguarda gli aspetti meccanici ed i modelli probabilistici di previsione di vita delle fibre. È stato inoltre raccomandato un metodo, recentemente riesaminato dall'ITU-T, per la misura del carico di rottura, mentre è stato aggiunto alla Racc. G.650 (ITU-T) un parametro che misura la resistenza della fibra alla corrosione.

Si sta valutando, in ambito internazionale, l'introduzione di altri parametri per una più approfondita caratterizzazione meccanica.

4. Evoluzione della rete ottica

Lo sviluppo degli amplificatori ottici in fibra e a semiconduttore ha portato ad un impressionante miglioramento delle prestazioni dei sistemi di trasmissione ottici. Collegamenti trasparenti al formato di cifra senza perdite sono oramai praticamente una realtà, tecniche di trasmissione non lineari facenti uso di solitoni consentiranno di vincere l'effetto della dispersione e con tecniche di multiplazione in lunghezza d'onda (WDM) si potrà sfruttare meglio l'enorme banda delle fibre ottiche. Queste interessanti caratteristiche dei futuri sistemi di trasmissione spingono, in maniera sempre più decisa e rapida, verso una rete di telecomunicazione completamente ottica. Questa permetterà prestazioni fino a poco tempo fa impensabili, consentite soprattutto dalla possibilità di effettuare l'elaborazione di informazioni in modo parallelo. Sono altresì allo studio nuove architetture di rete per sfruttare al meglio tali potenzialità, che consentiranno di fornire agli utenti nuovi servizi ad alta tecnologia come la TV ad alta definizione via cavo o la distribuzione di segnali provenienti dai satelliti. In questo panorama molti enti di standardizzazione stanno già pensando alla costituzione o stanno già costituendo nuovi gruppi di studio per sviluppare la normativa di queste nuove tecnologie destinate a trasformare il mondo delle telecomunicazioni.

4.1 Standardizzazione degli amplificatori ottici

La normativa degli amplificatori ottici interessa attualmente quelli a fibra, per i quali esiste già un mercato con un ampio ventaglio di applicazioni. Essa presenta in modo particolare quegli aspetti delicati che sono connessi al rapido sviluppo di questi dispositivi. I primi prototipi risalgono infatti a circa cinque anni fa e molti aspetti di ricerca, anche di base, sono ancora in

corso. Ciò nondimeno gli amplificatori ottici sono commercialmente disponibili già da qualche anno, prodotti ormai da più di una dozzina di fornitori e, parallelamente, le applicazioni previste si stanno progressivamente ampliando nei diversi settori delle telecomunicazioni. Conseguentemente si avverte l'urgente necessità di una normativa non solo dei parametri caratterizzanti gli amplificatori ottici ma anche dei criteri del loro inserimento nelle diverse applicazioni, al fine di permettere una valutazione uniforme dei diversi dispositivi e di evitare incompatibilità di inserzione in sistemi già specificati. In contrapposizione a tale necessità, e proprio a causa degli sviluppi ancora in corso che testimoniano il bisogno di un ulteriore assestamento di taluni aspetti di questi dispositivi, c'è una certa tendenza ad usare prudenza nella preparazione delle specifiche, preferendo attendere in diversi casi che il prodotto sia sufficientemente consolidato.

Gli amplificatori ottici vengono attualmente utilizzati fondamentalmente nelle tre seguenti applicazioni: come amplificatori di potenza (subito a valle del trasmettitore), come pre-amplificatori (immediatamente a monte del ricevitore) e come amplificatori di linea. Ciascuna di queste applicazioni possiede i propri requisiti sistemistici che vanno tenuti nel giusto conto nello sviluppo della normativa. Inoltre per gli amplificatori di potenza e i pre-amplificatori esistono due configurazioni: l'amplificatore ottico come dispositivo a sé stante e l'amplificatore ottico come sottosistema (integrato nel trasmettitore o nel ricevitore, rispettivamente). L'amplificatore di linea va sempre considerato come un dispositivo a sé stante. Queste due configurazioni richiedono specifiche diverse, con implicazioni assai differenti sulle corrispondenti specifiche dei terminali di linea. La maggior parte del lavoro è stata finora svolta per la prima delle due configurazioni, che richiede un approccio più semplice.

L'ITU-T ha già emesso una raccomandazione sugli amplificatori ottici come dispositivi a sé stanti [16], contenente le definizioni dei parametri di specifica delle caratteristiche ottiche trasmissive. Le procedure dei metodi di misura di tali parametri, in virtù di un accordo tra i due gruppi di lavoro ITU-T e IEC, sono sviluppate dal gruppo IEC e inserite solo nelle corrispondenti specifiche di base IEC, cui la raccomandazione ITU-T fa esplicito riferimento.

L'IEC ha provveduto a sviluppare la versione definitiva della specifica generica sugli amplificatori ottici ("*Generic Specification on OFA*"), che include le definizioni sia dei parametri trasmissivi che di quelli meccanici e ambientali. Tale specifica contiene anche una parte di definizione dei parametri rilevanti dei sottosistemi (trasmettitori e ricevitori) amplificati otticamente. Sono anche in corso di approvazione una serie di specifiche di base sui metodi di misura dei parametri menzionati. È stato infine approvato un rapporto tecnico contenente le definizioni

dei parametri più significativi dei componenti ottici all'interno dell'amplificatore ottico ("*Technical Report on OFA components*").

A livello europeo l'ETSI, riguardo alle definizioni e metodi di misura dei parametri degli amplificatori ottici, ha fatto propria la raccomandazione ITU-T [16], non ritenendo necessaria al momento la preparazione di un proprio documento sull'argomento. È stato invece preparato un rapporto tecnico [20] sulle applicazioni degli amplificatori ottici nelle reti a lunga distanza e di distribuzione e sulla loro integrazione nella normativa già esistente per i sistemi di linea.

L'attività di normativa sugli amplificatori ottici, appena iniziata, prevedibilmente si espanderà in maniera considerevole nel prossimo futuro. Benché lo studio dell'amplificatore ottico come dispositivo a sé stante sia già stato sostanzialmente impostato, molto lavoro rimane da fare sull'amplificatore come sottosistema integrato. Una spinta ad accelerare quest'ultima attività proviene dal parallelo rapido sviluppo della normativa sui sistemi di linea, particolarmente quelli ad elevata frequenza di cifra di trasmissione, per i quali l'utilizzo dell'amplificazione ottica appare irrinunciabile nella gran parte dei casi per assicurare i passi di rigenerazione che ne rendano conveniente l'adozione in rete.

Tenendo conto di tali esigenze l'attività dell'ITU-T si concentrerà dapprima sullo sviluppo di una raccomandazione riguardante le caratteristiche generiche degli amplificatori ottici nelle tre tipiche applicazioni di amplificatore di potenza, pre-amplificatore e amplificatore di linea. Dovrà anche essere valutata la possibilità di inserire i sottosistemi amplificati otticamente in tale raccomandazione o sviluppare per essi una raccomandazione autonoma. Successivamente dovrebbe essere preparata un'altra raccomandazione riguardante gli aspetti connessi all'effettivo inserimento degli amplificatori ottici nelle linee di trasmissione, includendo le caratteristiche di affidabilità e sicurezza nonché le specifiche sui parametri rilevanti nelle diverse applicazioni. Tali raccomandazioni verranno studiate col criterio di mantenere, per quanto possibile, la compatibilità con le specifiche già assestate dei sistemi di linea in cui andranno inseriti. Nei casi in cui questa compatibilità non sia completamente possibile, l'obiettivo sarà quello di concordare gli elementi di modifica delle corrispondenti raccomandazioni sui sistemi e sui terminali di linea, in maniera da includere pienamente i sistemi amplificati otticamente. Naturalmente proseguirà anche l'attività di aggiornamento della raccomandazione già emessa [16].

Parallelamente l'IEC proseguirà lo sviluppo di metodi di misura per i parametri rilevanti degli amplificatori ottici, e successivamente dovrebbe preparare le specifiche di prodotto per gli amplificatori ottici nelle diverse applicazioni, includendo i sottosistemi amplificati otticamente.

L'attività ETSI sarà nel prossimo futuro principalmente indirizzata alla preparazione di proposte di raccomandazioni da sottoporre all'ITU-T.

5. Standardizzazione dei sistemi e componenti

Come conseguenza dell'alta flessibilità della rete ottica che permette svariati impieghi, dalla piccola LAN (Local Area Network) privata, alla rete di distribuzione, ai servizi a larga banda su scala internazionale, vi sarà nell'immediato futuro un'enorme richiesta di dispositivi e componenti ottici. Questa nuova esigenza imporrà ovviamente la disponibilità di opportuni standards che regolino, a diversi livelli funzionali, l'interfacciamento dei nuovi componenti e dispositivi ottici nei sistemi di telecomunicazioni.

E' necessario regolamentare le caratteristiche trasmissive, comportamentali ed operative di questi nuovi componenti in modo da utilizzare materiale di diversi fornitori per realizzare collegamenti e sistemi ottici compatibili.

5.1 Normativa dei sistemi

La standardizzazione nel campo delle reti ottiche di telecomunicazioni deve agire su tre fronti: elaborazione di norme sul funzionamento, sulla gestione (management) e sulla manutenzione [17].

A livello di sistemi ottici di telecomunicazioni l'attività di standardizzazione del ITU-T sta evolvendo da una normativa ISDN verso una normativa che tenga conto delle nuove prospettive offerte dalla B-ISDN; inoltre dovrà preparare la definizione del nuovo ambiente per lo sviluppo, nonché l'introduzione delle future reti a larga banda ed i servizi ad essa associati (CATV, HDTV).

L'ETSI ha costituito recentemente un gruppo di lavoro che sta lavorando su aspetti di architettura delle MAN (*Metropolitan Area Network*), sui protocolli di trasmissione e sui futuri servizi della B-ISDN da introdurre a livello di rete pubblica europea [18].

Attualmente per le reti digitali sono disponibili standards solo per le reti SONET (Synchronous Optical Network) e SDH (Synchronous Digital Hierarchy), mentre a livello di reti analogiche (servizi di CATV) e reti di distribuzione passive (*Passive Optical Network, PON*) la normativa è ancora ad uno stato iniziale e necessita di ulteriore sviluppo ed approfondimento.

5.2 Normativa dei dispositivi

Lo stato della normativa e standardizzazione a livello internazionale sui giunti, connettori e dispositivi passivi non è ancora sviluppata in modo da fornire un preciso punto di riferimento per le scelte che possono essere fatte nella rete di distribuzione.

Le attività del ITU-T dedicate ai componenti passivi per fibre ottiche fanno capo allo Study Group SG6 "Outside Plant", ed in particolare alle questioni 10/6

"Performance and acceptance tests for optical fibre cables and associated hardware" e 13/6 "Passive optical components". La questione 10/6 ha come oggetto lo studio delle prove da effettuarsi sulle giunzioni, sui connettori e sugli accessori di terminazione e distribuzione. I lavori inerenti alla questione 10/6 interagiscono fortemente con l'attività del Sottocomitato IEC SC86B. La questione 13/6 ha come obiettivo lo studio dei componenti ottici passivi che possono essere inseriti in rete. Allo stato attuale lo SG6 ha in via di pubblicazione la raccomandazione L.12 "Optical fibre joints" in cui vengono fornite notizie e consigli riguardanti le prestazioni ottiche, meccaniche e ambientali dei giunti e dei relativi metodi di caratterizzazione.

In sede IEC la normalizzazione dei componenti passivi è affidata al Sottocomitato SC86B che si occupa di elaborazione di specifiche su giunti, connettori, componenti passivi (dispositivi di diramazione, attenuatori, multiplatori) e relativi parametri funzionali (WG6); determinazione dei metodi di misura per la caratterizzazione e verifica dei parametri funzionali (WG4), aspetti di affidabilità (simulazione guasti, tempo di vita) (WG5).

A livello europeo la normalizzazione dei componenti è affidata al CECC (WG26 per i connettori e WG27 per i componenti passivi) il quale si avvale della collaborazione di ETSI (TM1) per il settore specifico delle telecomunicazioni.

Si stanno tra l'altro svolgendo studi anche sugli isolatori e commutatori ottici che sembrano destinati a giocare un ruolo importante nelle reti PON.

Un'importante caratteristica tipica di tutti i componenti ottici passivi, ed in particolare dei connettori, è la quantità di luce riflessa indietro rispetto a quella lanciata (*Optical Return Loss, ORL*); come già accennato in precedenza al momento non esiste una specifica di tale parametro ed essa è materia di studio in diversi comitati di normativa.

6. Qualificazione

L'apertura dei mercati impone che sia garantita la compatibilità del prodotto tra le varie nazioni, verificandone la conformità alla normativa in materia, tramite un'accurata attività di caratterizzazione e qualificazione del prodotto. In questi ultimi tempi, come conseguenza della crescente complessità degli apparati di telecomunicazioni che richiedono sofisticate verifiche e metodologie di prove, si è vista fiorire un'intensa attività di qualificazione.

Per quanto riguarda le fibre ottiche ed i componenti optoelettronici, accanto ad un'accresciuta attività di sviluppo di tecniche di misura sempre più efficienti dei parametri significativi, vi è stato un parallelo afflusso

sul mercato di strumentazione specifica in continuo miglioramento in termini di prestazioni, costi e versatilità. E' confermata la tendenza all'aumento di strumenti tipicamente optoelettronici, quali analizzatori di spettro ottici, radiometri e sorgenti stabilizzate.

In genere la caratterizzazione delle fibre ottiche e dei componenti optoelettronici viene già oggi eseguita in modo piuttosto soddisfacente.

A tale proposito va sottolineata l'importanza ricoperta dalle varie campagne di misura di confronto tra laboratori, note anche come *Round Robin Tests (RRT)*, che hanno svolto un'attività propedeutica a quella di standardizzazione vera e propria con lo scopo di stabilire il grado di accuratezza e di ripetibilità delle misure condotte con le diverse tecniche sperimentali disponibili.

Nel considerevole numero di RRT effettuati a proposito della caratterizzazione di SMF, vanno specialmente ricordate le campagne organizzate dal NIST (ex NBS) negli Stati Uniti, incentrate su un singolo parametro (MFD, CWL, ...), e quelle condotte nell'ambito del Progetto di Ricerca Europeo COST 217, nelle quali tutti i parametri elencati in tab. 6 sono stati oggetto d'indagine.

L'attività per migliorare le tecniche di qualificazione del prodotto è tuttora in corso ed in continua evoluzione.

Il controllo di qualità di materiali, componenti ed apparati viene perseguito attraverso procedure di accettazione, basate sempre più sulla collaborazione tra esercente e fornitore (*co-making*) nella messa a punto di procedure di misura e di liste di controllo relative a sistemi, processi e prodotti.

Fondamentale importanza ha anche assunto lo sviluppo di metodi di osservazione ed indicatori di qualità, oltre alla raccolta di dati sul campo utili per correlare il risultato ottenuto con le scelte fatte a monte, sia per la prevenzione che per la verifica del modello di valutazione del processo produttivo.

Attualmente in Italia si sente l'urgenza di istituire dei laboratori atti ad effettuare una certificazione ufficiale di qualità su prodotti, in particolar modo fibre ottiche, usati nelle telecomunicazioni. Questa necessità è ovviamente sentita soprattutto dagli esercenti che richiedono ai fornitori un prodotto di qualità garantita. A tale proposito va ricordato che all'estero già esistono dei laboratori che ricoprono questo ruolo, vedi NIST negli Stati Uniti e NPL in Gran Bretagna.

7. Conclusioni

La globalizzazione del mercato richiede come requisito fondamentale la rispondenza del prodotto utilizzato ad una vigente normativa; diventa quindi indispensabile, per lo sviluppo delle reti di telecomunicazioni ottiche, la disponibilità di standards riconosciuti a livello

internazionale. Questo requisito sta diventando una condizione preliminare per poter offrire i nuovi servizi di telecomunicazione ed i relativi sistemi trasmissivi.

La standardizzazione gioca inoltre un ruolo importante nel processo di regolamentazione e costituisce un aspetto decisivo in vista di un mercato aperto delle telecomunicazioni.

L'evoluzione verso una rete ottica di distribuzione di tipo B-ISDN vede gli enti di normativa impegnati su più versanti per fronteggiare il grande impegno costituito da questo progetto così avanzato. Per quanto riguarda i componenti principali utilizzati in queste reti si è visto che la normativa delle fibre ottiche ha raggiunto un livello di maturità piuttosto soddisfacente, mentre è in corso un imponente lavoro sui dispositivi di più recente innovazione, in particolare sugli OFA. Anche i componenti ottici passivi sono oggetto di studio in ambito di normativa internazionale, mentre si fa sempre più insistente la domanda per standards relativi a servizi di rete a larga banda (HDTV), nonché reti ottiche passive.

Criteri di indiscriminazione tra fornitori, concatenazione di reti internazionali, disponibilità di servizi di qualità o intercambiabilità di apparati, portano alla conclusione che mercati più ampi saranno disponibili solo per servizi completamente standardizzati o che facciano uso di dispositivi regolamentati da precise normative.

Questo dovrebbe indicare la necessità di una rapida introduzione degli standards al fine di evitare problemi associati a realizzazioni di rete incompatibili. L'ISDN è un chiaro esempio di come la lentezza nel processo di armonizzazione e standardizzazione sia stata una delle cause che hanno ritardato la disponibilità di questo servizio rispetto ai tempi preventivati. D'altro canto l'introduzione di standards non deve essere prematura o affrettata onde evitare che rappresenti un ostacolo allo sviluppo ed all'applicazione di nuove più potenti tecnologie.

Bibliografia

- [1] *Definition and test methods for the relevant parameters of single-mode fibres.* ITU-T Recommendation G.650.
- [2] *Characteristics of a single-mode optical fibre cable.* ITU-T Recommendation G.652.
- [3] *Characteristics of a dispersion shifted single-mode optical fibre cable.* ITU-T Recommendation G.653.
- [4] *Characteristics of a 1550 nm wavelength loss minimised single-mode optical fibre cable.* ITU-T Recommendation G.654.
- [5] *Optical fibres - Part 1: Generic specifications.* International Standard IEC 793/1.
- [6] *Optical fibres - Part 2: Product specifications.* International Standard IEC 793/2.

- [7] CSELT Technical Staff: *Fiber Optic Communications Handbook*. TAB/McGraw-Hill, Blue Ridge Summit (PA), (1990).
- [8] Artiglia, M. et al.: *Mode Field Diameter Measurements in Single-Mode Optical Fibers*. «J. Lightwave Technol.», Vol. 7, n. 8, 1989, pp. 1139-1152.
- [9] Petermann, K.: *Constraints for fundamental-mode spot size for broadband dispersion-compensated single-mode fibres*. «Electron. Lett.» Vol. 19, 1983, pp. 712-714.
- [10] COST 217 Group: *Interlaboratory measurement campaign on single-mode fibres*. «IEE Proc. Pt. J», Vol. 136, n. 6, 1989, pp. 307-314.
- [11] Walker, B.; COST 217 Group: *COST 217 intercomparison and analysis of fibre mode field diameter measurements*. «IEE Proc. Pt. J», Vol. 138, n. 6, 1991, pp. 373-378.
- [12] Kuyt, G.; COST 217 Group: *COST 217 interlaboratory comparison of uncabled and cabled fibre cut-off wavelength measurements*. Tech. Dig. of the Optical Fibre Measurement Conference, York (U.K.), Sept. 17-18, 1991, pp. 12-15.
- [13] Jacobs, S.A.; Peckham, D.W.: *The anomalous structure observed in single-mode fiber cutoff wavelength measurements: theory and solutions*. Tech. Dig. of the Symposium on Optical Fiber Measurements, Boulder (CO), 1990, pp. 49-54.
- [14] Kane, W.T.: *The first international fibre geometry round robin*. Tech. Dig. of the Optical Fibre Measurement Conference, York (U.K.), Sept. 17-18, 1991, pp. 119-122.
- [15] Young, M.: *Fiber Cladding diameter by contact micrometry*. Tech. Dig. of the Optical Fibre Measurement Conference, York (U.K.), Sept. 17-18, 1991, pp. 123-126.
- [16] *Definitions and test methods for the relevant generic parameters of optical fibre amplifiers*. ITU-T Recommendation G.661.
- [17] *Principles for a Telecommunications Management Network*. ITU-T Recommendation M.30.
- [18] Report of the meeting. ETSI NA 5 Working Party on MAN, Stockholm, Sweden (October 28-November 2, 1990).
- [19] *Generic specifications of optical fibre amplifier devices and subsystems*. ITU-T Recommendation G.662.
- [20] *Transmission and Multiplexing (TM); Application of optical fibre amplifiers in long distance and optical access networks*. ETSI DTR/TM-1019.
- [21] Di Vita, P.; Lisi, V.; Giaconi, M.; Vespasiano, G.: *Fibre ottiche per telecomunicazioni: fibre monomodali*. «Notiziario Tecnico SIP», Vol. 2, n. 3, Dicembre 1993, pp. 12-31.

Acronimi

ATM	Alternative Test Method
CATV	CABLE TeleVision
CD	Chromatic Dispersion
CECC	Cenelec Electronic Components Committee
CWL	Cut-off Wavelength
EIA/TIA	Electronics Industries Associations/ Telecommunications Industries Associations
ETSI	European Telecommunication Standard Institute
FF	Far Field
FTTH	Fibre To The Home
HDTV	High Definition TeleVision
IEC	International Electrotechnical Commission
IM	Interferometric Method
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardisation Sector
KE	Knife-Edge
LAN	Local Area Network
MAN	Metropolitan Area Network
MFD	Mode Field Diameter
NF	Near Field
NIST	National Institute of Standards and Technology
NPL	National Physics Laboratory
OFA	Optical Fibre Amplifier
ORL	Optical Return Loss
PD	Pulse Delay
PMD	Polarisation-Mode Dispersion
PON	Passive Optical Network
PS	Phase Shift Technique
RRT	Round Robin Test
RTM	Reference Test Method
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SMF	Single-Mode Fibres
SONET	Synchronous Optical NETWORK
TO	Transverse Offset
VA	Variable Aperture
WDM	Wavelength Division Multiplexing

Sistemi automatici per la sorveglianza degli impianti in cavo ottico⁽¹⁾

F. Caviglia, G. Ciochetto, E. Cottino, D. Dellerà, F. Montalti (*)

Viene fornito un quadro generale delle tecniche attualmente proposte per effettuare una sorveglianza in tempo reale della continuità e della funzionalità del portante fisico nei collegamenti in fibra ottica. È inoltre descritto uno specifico sistema di sorveglianza sviluppato in Italia (il sistema SMART-VDO) e in via di sperimentazione sulla rete trasmissiva di TELECOM ITALIA. Tale sistema è basato sull'uso di un OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) funzionante alla lunghezza d'onda riservata di 1625 nm, così da poter tenere sotto controllo anche fibre ottiche utilizzate per il servizio.

1. Introduzione

Con l'introduzione della fibra ottica il mondo delle telecomunicazioni ha assistito a profondi mutamenti soprattutto per quanto riguarda la quantità di informazioni e dati che possono essere trasferiti. Si è così verificato un proliferare di nuovi servizi offerti all'utenza, sia privata che affari, con l'obiettivo, ormai non più solo utopistico, di fornire la possibilità di trasferire elettronicamente l'informazione sotto qualunque forma - sia essa dati, audio video o immagini - in qualsiasi luogo ed istante a costi ragionevoli.

L'aumento della quantità di informazioni trasmesse rende più forte l'impatto, anche economico, di un eventuale disservizio; è pertanto auspicabile poter tenere sotto controllo lo stato del sistema di telecomunicazioni, non solo in termini di tasso di errore o BER (Bit Error Ratio) come avviene oggi, ma anche in termini di degrado del portante ottico, così da poter discriminare subito la causa di un eventuale disservizio.

Pertanto si può ritenere che nei prossimi anni verranno fatti notevoli sforzi sia nello studio che nella messa in opera di sistemi capaci di tenere sotto controllo i cavi ottici ed in particolar modo di individuare con precisione il punto in cui si deve

intervenire per ripristinare le funzionalità del collegamento o per rimuovere una causa di degrado che potrebbe portare, col passare del tempo, ad un disservizio del sistema [1-8]. Per poter sfruttare pienamente le potenzialità di simili sistemi è utile che essi possano operare anche in presenza di traffico sulle fibre sorvegliate.

Con questo tipo di manutenzione della rete in fibra ottica è possibile evitare sia i lunghi tempi necessari alla individuazione del guasto, sia i costosi addestramenti necessari per la formazione di personale qualificato nella ricerca dei guasti stessi.

2. Tecniche di sorveglianza

Negli ultimi anni sono stati proposti diversi metodi di sorveglianza della rete in fibra ottica, basati su differenti approcci al problema. Partendo dal presupposto che comunque lo scopo è quello di avere un'alta probabilità di rilevare un guasto non appena esso si verifica (e possibilmente anche di evidenziare situazioni critiche che possano preludere ad un guasto) riducendo così i tempi di fuori servizio, esistono due diverse modalità di sorveglianza dell'impianto.

(*) Dott. Francesco Caviglia, ing. Giovanni Ciochetto -CSELT-Torino; ing. Edoardo Cottino, dott. Daniele Dellerà -AET-Torino; dott. Francesco Montalti -Telecom Italia DG- Roma

(1) Rielaborazione aggiornata di un articolo di Caviglia-Cottino-Montalti, pubblicato sulla rivista OPTOLASER, marzo 1993, editore MASSON S.p.A. - Milano.

Un primo approccio (fig. 1a) consiste nel rilevare eventi macroscopici quali un esteso danneggiamento del cavo ottico, che ovviamente porterebbe ad un malfunzionamento o addirittura ad una interruzione del servizio su un rilevante numero di linee. A tale scopo sono stati realizzati sistemi di sorveglianza che si basano sull'uso di una o più fibre, tra quelle dei cavi sotto controllo, nelle quali viene inviato esclusivamente il segnale di sorveglianza. (Poiché non sono usate per il servizio, tali fibre sono talvolta indicate con il termine di fibre "buie"). Risulta evidente che un sistema così concepito non è in grado di rilevare il malfunzionamento di una singola fibra in servizio sulla quale venga trasmesso del traffico, ma solo guasti catastrofici del cavo stesso. Un ulteriore limite di una simile filosofia di sorveglianza è che una parte delle fibre del cavo non può essere utilizzata per la trasmissione di informazioni, quindi si ha una riduzione delle capacità di trasmissione del cavo stesso.

Per ovviare alle limitazioni legate ad questo primo tipo di approccio, sono stati studiati metodi di controllo che sfruttano come portanti del segnale di sorveglianza le fibre in servizio, come indicato in fig. 1b).

Per evitare interferenze con il segnale trasmesso, il segnale di sorveglianza deve essere inviato nella fibra ad una lunghezza d'onda differente da quella utilizzata per trasmettere i dati. L'inserimento dei due segnali sulla stessa fibra viene normalmente affidato a dei diramatori selettivi in lunghezza d'onda o WDM (Wavelength Division Multiplex). Diramatori dello stesso tipo sono usati anche in ricezione per separare il segnale utile da quello di sorveglianza. In una soluzione di questo tipo, l'accoppiatore WDM gioca un ruolo assai importante in quanto deve garantire basse attenuazioni di inserzione, unite ad un elevato valore di isolamento. Infatti attenuazioni elevate ridurrebbero la portata del

sistema (di trasmissione e/o di sorveglianza) mentre bassi valori dell'isolamento non garantirebbero una efficace separazione delle due lunghezze d'onda in ricezione. Inoltre, se si utilizzano diramatori WDM per ogni fibra del cavo, è necessario che il costo di tale componente sia tenuto basso. In luogo di dispositivi WDM possono essere usati anche diramatori di tipo non selettivo o WIC (Wavelength Independent Couplers); in questo caso è necessaria una riserva di dinamica di almeno 3 dB e, per evitare interferenze reciproche tra trasmissione e sorveglianza, si devono inserire filtri ottici (che vengono talvolta utilizzati anche con i WDM per aumentare la selettività).

Se i dati sono trasmessi alla lunghezza d'onda di 1310 nm (seconda finestra ottica) la sorveglianza può utilizzare una lunghezza d'onda attorno ai 1550 nm (terza finestra ottica) e viceversa. Se però si adotta una lunghezza d'onda di sorveglianza al di fuori di queste due finestre, cioè delle due regioni spettrali comunemente usate per la trasmissione, si ha la possibilità di mettere sotto sorveglianza con lo stesso apparato tutti i cavi, indipendentemente dalle caratteristiche dei sistemi di trasmissione usati, incluse eventuali fibre utilizzate per servizio contemporaneamente alle due lunghezze d'onda.

Per entrambe le soluzioni, a) e b) di fig. 1, è possibile stabilire un'ulteriore distinzione basata sulla tecnica utilizzata per trasmettere e rilevare il segnale di sorveglianza. Una prima possibilità consiste nell'adottare un sistema di trasmissione punto a punto, che prevede l'utilizzo di un trasmettitore ed un ricevitore separati, come indicato in fig. 1c). La seconda possibilità è basata sull'uso di un riflettometro ottico o OTDR (Optical Time Domain Reflectometer), capace di rilevare il segnale di retrodiffusione della fibra; questa soluzione permette di mettere sotto sorveglianza una fibra accedendovi da un solo lato (fig. 1d).

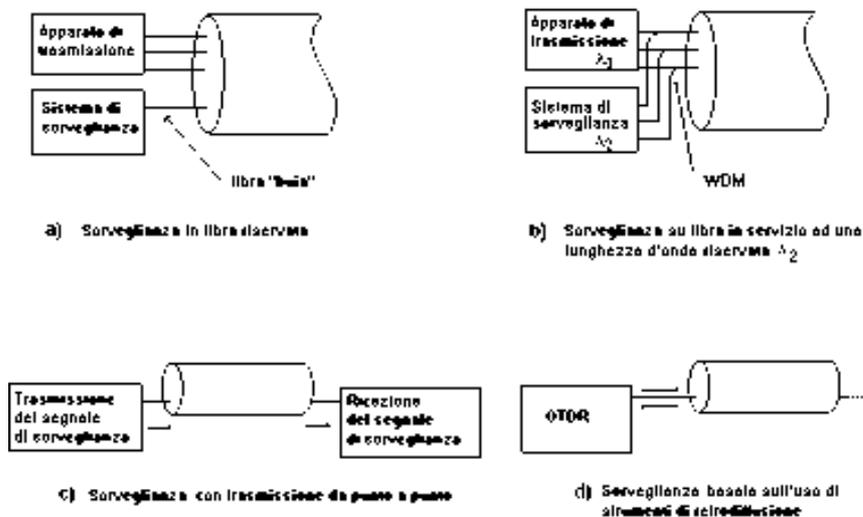


Figura 1 Possibili alternative per un sistema di sorveglianza degli impianti in cavo ottico

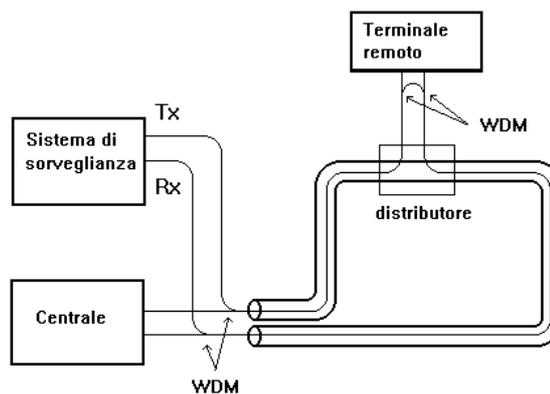
Con la tecnica della trasmissione da punto a punto, è possibile avere costantemente sotto controllo l'attenuazione globale della linea in esame; questa può essere continuamente confrontata con un valore precedentemente memorizzato, in modo da evidenziare eventuali interruzioni o variazioni nella attenuazione. Il metodo si presta bene per il controllo dei collegamenti della rete di giunzione, dove trasmettitore e ricevitore possono essere sistemati nelle centrali ai due estremi della sezione da sorvegliare. Per ridurre i costi, lo stesso ricevitore (e/o trasmettitore) può essere condiviso da più fibre utilizzando, per esempio, un commutatore ottico. In questo modo le fibre del cavo possono essere messe sotto sorveglianza ciclicamente tramite un calcolatore interfacciato al sistema.

Nel caso della rete di distribuzione, la dispersione dei terminali remoti rende pratico l'uso di un sistema di questo genere solo se esso può lavorare su un "anello", cioè se trasmettitore e ricevitore possono essere entrambi nella centrale. Nell'ipotesi, assai realistica, che ai terminali remoti arrivino coppie di fibre, un anello per la sorveglianza sulle fibre in servizio può essere ottenuto usando una coppia di diramatori WDM a tali terminali e giuntando tra di loro le due porte relative alla lunghezza d'onda di sorveglianza; ciò è mostrato nella fig. 2a), dove la rete di distribuzione è mostrata con la parte primaria avente la topologia ad anello adottata nella rete italiana, per offrire all'utente una doppia via di accesso alla centrale. Se per la sorveglianza dell'impianto viene scelto il metodo della fibra dedicata, questa sarà normalmente estesa solo alla parte comune dell'impianto: ad esempio dalla centrale sino ad un organo di distribuzione, oppure, se l'impianto prevede una distribuzione primaria con topologia ad anello, la fibra dedicata potrà percorrere tutto l'anello (fig. 2b).

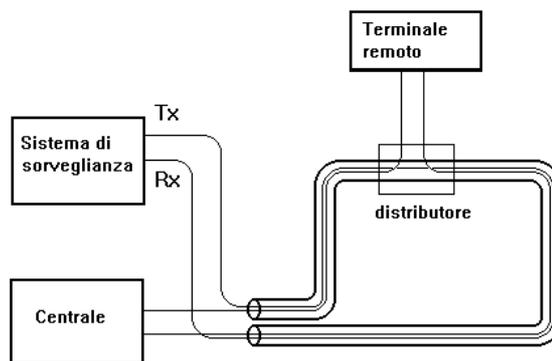
Apparecchiature per realizzare sistemi di sorveglianza con trasmissione da punto a punto tali da poter essere utilizzati sia per il controllo su fibre dedicate, sia per sorvegliare fibre in servizio, sono offerte da alcuni costruttori di apparati.

La seconda tecnica di monitoraggio, cioè quella mediante OTDR, è in grado di fornire non solo informazioni sull'attenuazione globale della linea, ma anche sull'andamento dell'attenuazione lungo la stessa e sulle riflessioni presenti nei diversi punti, e quindi può dare segnalazioni più analitiche in caso di degradazioni sulla linea. Inoltre essa necessita di un solo punto di accesso alla linea, e sulla rete di distribuzione non richiede quindi di dover realizzare forzatamente degli anelli.

Per controllare la tecnica dell'OTDR richiede strumentazione più complessa e costosa e invia in linea un segnale potenzialmente più disturbante per i sistemi di trasmissione (impulsi a potenza relativamente alta, che rendono necessario l'uso di diramatori WDM o filtri con elevato potere di separazione). L'uso di un commutatore ottico che invia il segnale di prova a diverse fibre in



a) Anello con chiusura sul terminale lontano



b) Anello con fibra riservata al sistema di sorveglianza

Figura 2 Sorveglianza da punto a punto su rete di distribuzione con parte primaria avente topologia ad anello

successione è in questo caso indispensabile per ridurre i costi delle apparecchiature. Le caratteristiche di questo commutatore (affidabilità, stabilità di attenuazione, bassa riflessione) sono molto importanti per il buon funzionamento del sistema.

Per i vantaggi sopra esposti, la tecnica dell'OTDR è quella più utilizzata nei sistemi di telesorveglianza già realizzati o in fase di sperimentazione. Un valido esempio di sistema di telecontrollo di questo genere è quello realizzato in Giappone da NTT per la sua rete di distribuzione e denominato AURORA (Automatic Optical Fiber Operations and Support System) [4,5].

Il sistema (fig. 3) prevede il controllo a scansione di più linee mediante un OTDR localizzato in centrale e pilotato da un calcolatore locale. Tutta l'attività è gestita da un calcolatore centrale in cui risiede un base di dati, nel quale vengono immagazzinati i dati rilevati. Il calcolatore centrale comunica poi, via modem, con il calcolatore locale. E' previsto anche l'uso di un calcolatore di controllo portatile per pilotare sul luogo i test da effettuare.

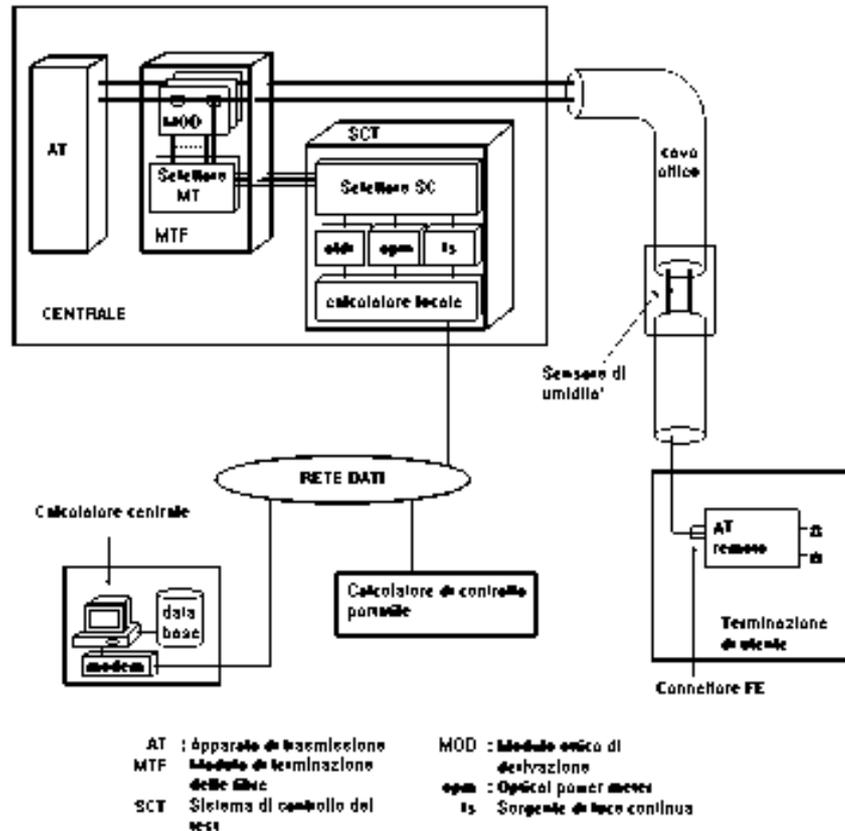


Figura 3 Sistema di sorveglianza "Aurora": configurazione di base

Il segnale di controllo viene inviato sulla fibra selezionata mediante due selettori ottici distinti, posti in cascata. Il primo consente allo strumento di misurazione di selezionare una fibra all'interno di un nastro a 4 fibre (SC-type Fiber Selector); a sua volta il nastro in questione costituisce l'ingresso del secondo selettore (MT-type Fiber Selector) che lavora su una matrice di 10x25 nastri. L'insieme di due selettori permette così di selezionare ogni singola fibra su un fascio di 1000 (250 nastri). Ciascun nastro viene accoppiato ai nastri di linea mediante un modulo ottico di derivazione (Optical Branch Module), costituito da un diramatore WIC e da un filtro ottico verso il ricevitore.

I moduli ottici di derivazione e il commutatore di tipo MT sono inseriti in un unico telaio. In un secondo telaio sono invece alloggiati il commutatore di tipo SC, l'OTDR ed il calcolatore locale, oltre ad altri strumenti accessori, quali una sorgente in luce continua ed un "power meter". Un filtro alla porta dell'OTDR rende lo strumento sensibile solo alla sua lunghezza d'onda di lavoro (che è intorno ai 1550 nm).

In linea si ha quindi la presenza contemporanea di due segnali: il segnale dell'apparato di trasmissione (trasmesso a 1310 nm) ed il segnale di sorveglianza (trasmesso a 1550 nm). L'estremità della linea verso il terminale remoto termina su uno speciale connettore in cui è inserito un filtro ottico che provvede a discriminare le due lunghezze d'onda, consentendo la trasmissione

del segnale utile e riflettendo il segnale di prova. Tale connettore (FE connector) è una versione modificata del connettore SC.

Tornando al sistema nel suo complesso, la procedura di individuazione del guasto si basa su un confronto tra i dati acquisiti e gli stessi dati, memorizzati, relativi ad una situazione standard di corretto funzionamento.

Il controllo viene effettuato sulla posizione e sul valore del picco di riflessione dovuto al connettore FE terminale. Le tolleranze entro cui tali valori possono variare senza dare origine ad una segnalazione di errore sono rispettivamente 2.5 m per la posizione e 1.8 dB per il livello. La segnalazione di un guasto può dare origine ad una successiva più dettagliata analisi della traccia fornita dall'OTDR, in grado di produrre dati più precisi riguardanti la posizione del danno.

Le verifiche fatte sul sistema da NTT forniscono risultati soddisfacenti: la probabilità di errore sull'apparato di trasmissione non è peggiorata dall'introduzione del segnale di controllo.

Un analogo sistema (FITAS: Fiber Transfer and Test System) è stato realizzato dalla stessa NTT per la rete di giunzione e consente, oltre che di controllare le fibre in servizio, di commutarle automaticamente su fibre di riserva. (In questo caso la sorveglianza avviene a 1310 nm se i sistemi di trasmissione funzionano a 1550 nm, o viceversa) [6].

Sistemi commerciali basati sull'impiego di strumenti di retrodiffusione sono stati realizzati e posti sul mercato da parte di alcune ditte costruttrici di OTDR. Pur non presentando una struttura elaborata come quella di AURORA, garantiscono comunque una sorveglianza continua mediante una serie di misure automatiche sulle fibre in esame.

Un sistema di sorveglianza basato sulla tecnica OTDR è stato sviluppato in Italia dalla AET Telecomunicazioni [7,8]. Tale sistema, il cui funzionamento è descritto in dettaglio nel successivo paragrafo, è denominato SMART-VDO (VDO è acronimo per Valutazione del Degrado Ottico). Esso è attualmente oggetto di sperimentazione da parte di TELECOM ITALIA, con l'assistenza tecnica dello CSELT, sulla rete di giunzione ed a lunga distanza, come ricordato nel successivo paragrafo 3.

3. Il sistema in via di sperimentazione in Italia

Il sistema sviluppato da AET per la sorveglianza e la valutazione del degrado degli impianti in cavo ottico, è pensato per integrarsi nei sistemi di supporto per l'Esercizio e la Manutenzione della Rete Trasmissiva, fornendo tutte le informazioni utili alla valutazione dello stato delle prestazioni dei collegamenti in portante ottico. In particolare consente di individuare il manifestarsi di variazioni nell'attenuazione di fibre, giunti e connettori ottici che, comportando un degrado dei collegamenti possono, successivamente, essere fonte di disservizio.

Le considerazioni svolte in precedenza sulle diverse strategie di sorveglianza, hanno indotto AET ad impiegare la tecnica basata sull'utilizzazione di un OTDR la cui lunghezza d'onda di lavoro è stata scelta al di sopra delle lunghezze d'onda utilizzate dai sistemi di

trasmissione come indicato in fig. 4 (le fibre prevalenti sulla rete ottica italiana, quelle del tipo a dispersione non spostata, sono utilizzate con sistemi di trasmissione sia a 1310 nm sia a 1550 nm). Il laser per uno strumento con queste caratteristiche è oggi realizzabile tramite una lega quaternaria PAlGaAs, che consente uno spettro di lunghezze d'onda da 1200 nm a 1670 nm. Una seconda possibilità è quella di utilizzare i laser a 1650 nm usati come sensori di gas; occorre verificare spettro e potenza di tali sorgenti ma soprattutto il comportamento delle fibre alla lunghezza d'onda scelta.

Un ulteriore vantaggio legato all'utilizzo di una lunghezza d'onda superiore ai 1600 nm, è legato alla maggiore sensibilità che in tale regione l'attenuazione della fibra presenta nei confronti delle curvature indotte da eventuali sollecitazioni meccaniche anomale, che possono così essere facilmente individuate (anche se in questo senso non si raggiunge la sensibilità offerta dai sistemi OTDR basati sull'effetto Brillouen, che sono perciò stati proposti anche per questo impiego [2]). In base a considerazioni fatte sia sulla attenuazione introdotta dalla fibra al di sopra dei 1600 nm (che può risultare troppo elevata se si sale eccessivamente in lunghezza d'onda) sia sulla minima spaziatura da lasciare tra canale di sorveglianza e terza finestra di trasmissione, si è giunti ad una soluzione di compromesso utilizzando un OTDR equipaggiato con una sorgente a 1625 nm.

Nella fig. 5 è riportato una schema a blocchi che descrive l'architettura del sistema SMART-VDO; in esso sono evidenziati gli elementi fondamentali del sistema di sorveglianza, quali il commutatore ottico ad elevata potenzialità, l'OTDR e i diramatori ottici WDM.

Il commutatore ottico è stato interamente sviluppato e realizzato da AET; esso possiede una capacità massima di 240 fibre attestabili ed elevata stabilità dei parametri ottici e meccanici anche dopo molte migliaia di inserzioni. In fig. 6 è rappresentata la distribuzione

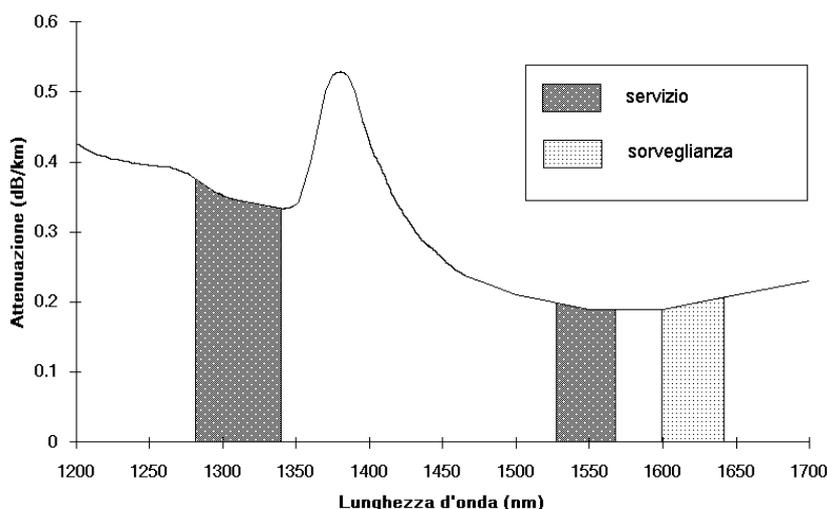


Figura 4 Curva di attenuazione di una linea ottica e zone spettrali utilizzate per il servizio e la sorveglianza

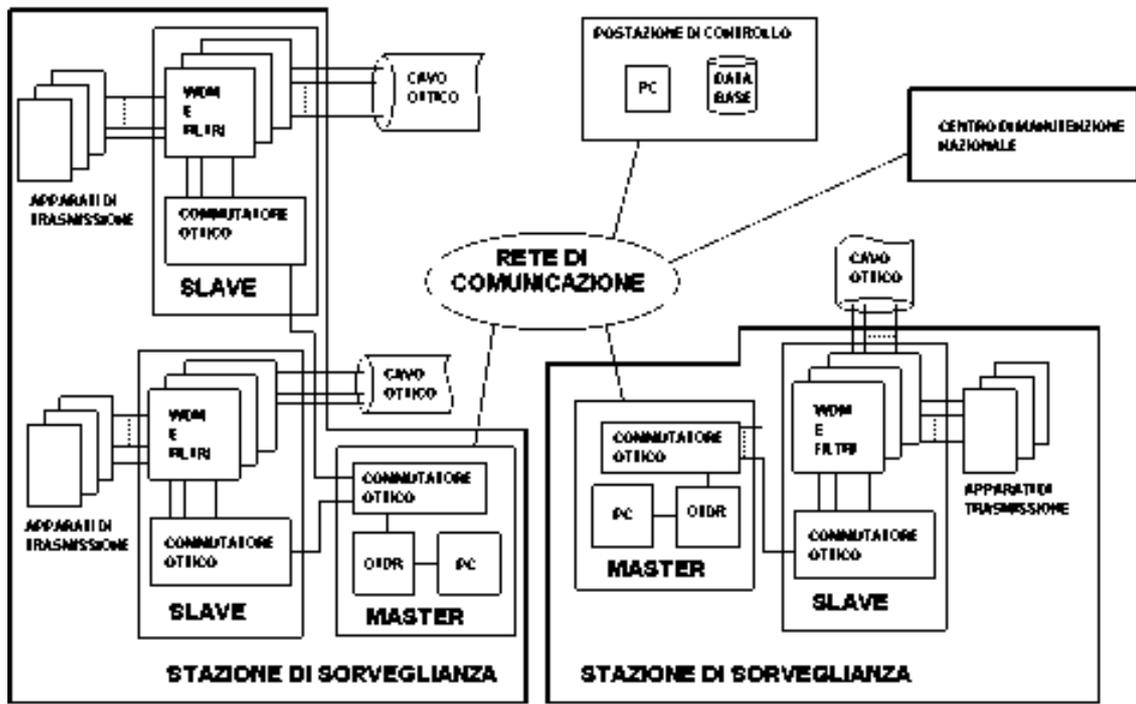


Figura 5 Architettura del sistema di sorveglianza SMART-VDO

statistica dei valori di attenuazione di inserzione relativa, circa 300.000 inserzioni. L'OTDR, come già detto, è equipaggiato con un laser a 1625 nm e con un filtro che lo rende sensibile solo a questa lunghezza d'onda.

Il sistema è previsto per l'uso con diramatori ottici WDM (ma è possibile pure impiegare diramatori WIC). I dispositivi WDM sono realizzati su specifiche AET e sono fabbricati con la tecnologia a fibre fuse; sono stati previsti due tipi di diramatori: il primo consente di sorvegliare una fibra su cui il servizio sia trasmesso a 1310 nm, mentre il secondo consente la sorveglianza con servizi trasmessi a 1550 nm (la caratteristica di trasmissione di questo tipo di WDM è riportata, a titolo di esempio, nella fig. 7). Filtri

ottici che bloccano il segnale a 1625 nm sono disponibili per la protezione dei ricevitori dei sistemi di trasmissione.

Il software che gestisce il sistema è stato completamente sviluppato in AET, grazie anche all'esperienza maturata nelle misure automatiche di precollaudo dei cavi ottici.

Il sistema SMART-VDO è in grado di operare sia su fibre in servizio che su fibre dedicate e fornisce periodicamente l'andamento dell'attenuazione totale di ogni collegamento, segnalando l'eventuale violazione di una fascia di tolleranza, per confronto con il relativo livello di riferimento. Ciò permette:

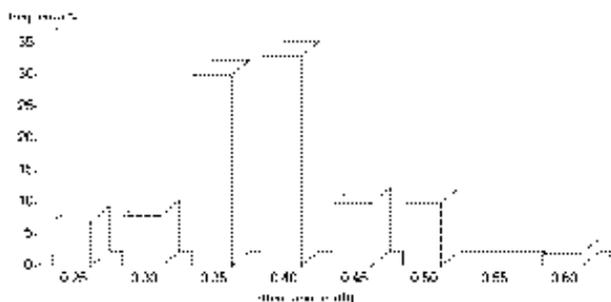


Figura 6 Distribuzione statistica dei valori di attenuazione di inserzione misurati sul commutatore ottico del sistema SMART-VDO (300000 inserzioni)

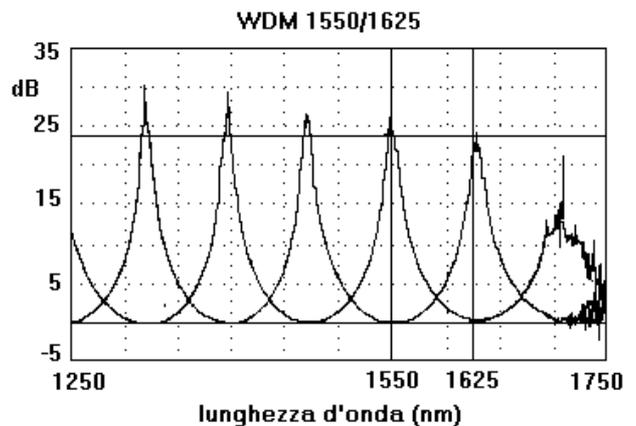


Figura 7 Andamenti di attenuazione per le due vie del diramatore WDM previsto per l'uso con i sistemi in servizio nella terza finestra ottica

- la rapida esecuzione di controlli sulla continuità fisica del cavo;
- l'accertamento continuo della rispondenza di ciascuna fibra ai parametri che la caratterizzano;
- l'avviamento di procedure automatiche per la localizzazione di rotture e di fenomeni di degrado;
- l'analisi di tendenze verso condizioni di pre-allarme che precludono a guasti;
- la presenza di un archivio storico relativo ai collegamenti ottici ed alle loro eventuali anomalie.

Queste opportunità possono permettere notevoli economie per la sensibile riduzione dei tempi di mancato traffico.

Dallo schema di fig. 5 risulta la presenza due tipi di telai: uno denominato "master" e l'altro "slave". Il telaio master contiene l'OTDR, un commutatore ottico che consente di instradare il segnale di sorveglianza verso i diversi telai slave ed un elaboratore (PC). Il telaio slave contiene il commutatore ottico ad elevata potenzialità, i diramatori WDM e i filtri; i telai slave possono essere collocati anche in una centrale diversa da quella dove è installato il telaio master. Tramite l'elaboratore del telaio master, viene effettuato un controllo ciclico su tutte le fibre connesse, per il rilevamento di eventuali degradi od interruzioni; nella sua memoria una tabella di configurazione elenca le fibre da sorvegliare con la relativa lunghezza; l'elaboratore è così in grado di ricavare i parametri per la gestione dell'OTDR ed il dato di attenuazione relativo alla fibra in misura. Tale valore viene confrontato con uno o più valori di riferimento e con diversi livelli di allarme. Al variare dello stato di una fibra, viene generato un messaggio di "variazione di stato", indicante l'identificativo della fibra in oggetto ed il suo attuale stato; contemporaneamente viene avviata una ulteriore campagna di misura sulla fibra, allo scopo di identificare l'eventuale punto di rottura o deterioramento. A ricerca esaurita vengono inoltrati messaggi indicanti il tipo di guasto e, in caso di rottura, la posizione esatta del punto in cui essa è avvenuta. Il controllo ciclico avviene in modo sequenziale su tutte le fibre passando ogni volta da un cavo al successivo; in tal modo si riduce al minimo il tempo di non sorveglianza su ciascun cavo. Durante il controllo ciclico delle fibre vengono acquisite e memorizzate, oltre ai valori di attenuazione totale, anche le tracce di retrodiffusione rilevate dall'OTDR.

Come mostrato nello schema di fig. 5, il sistema di sorveglianza SMART-VDO non è previsto per essere usato isolato nel mondo della centrale, infatti è possibile controllare, tramite una rete di comunicazione facente capo ad una postazione di controllo, una o più stazioni di sorveglianza. Tale rete può essere basata su linee dedicate, o commutate, o su una rete a commutazione di pacchetto X.25. Ogni postazione di controllo comprende un posto operatore corredato di monitor grafico; è però

possibile collegare ad essa, tramite una LAN, ulteriori posti operatore dai quali è possibile effettuare tutte le operazioni di controllo.

Le principali funzioni svolte dalla postazione di controllo sono le seguenti:

- Raccolta, elaborazione ed archiviazione dei dati provenienti dai telai master.
- Presentazione in tempo reale, sia su video che su stampante, degli allarmi relativi a fibre con attenuazione anomala. L'allarme viene segnalato a tutti i posti operatore collegati.
- Presentazione dei dati raccolti in forma grafica, sia su video che su stampante.
- Configurazione e controllo dei telai master.
- Diagnostica dei componenti del sistema (strumentazione, elaboratori, linee di comunicazione).

Pertanto è possibile comunicare ai telai master i parametri caratteristici del ciclo di scansione e delle misure, modificare in qualsiasi momento la sequenza di misura (per esempio abilitare o meno il controllo di una determinata fibra), richiedere informazioni circa lo stato degli allarmi o curve acquisite dall'OTDR.

Sotto l'aspetto dell'inserimento in rete delle apparecchiature di sorveglianza, possono essere identificate tre diverse configurazioni (fig. 8):

- configurazione copropagante;
- configurazione contropropagante;
- configurazione mista contro/copropagante.

La configurazione copropagante prevede di inviare il

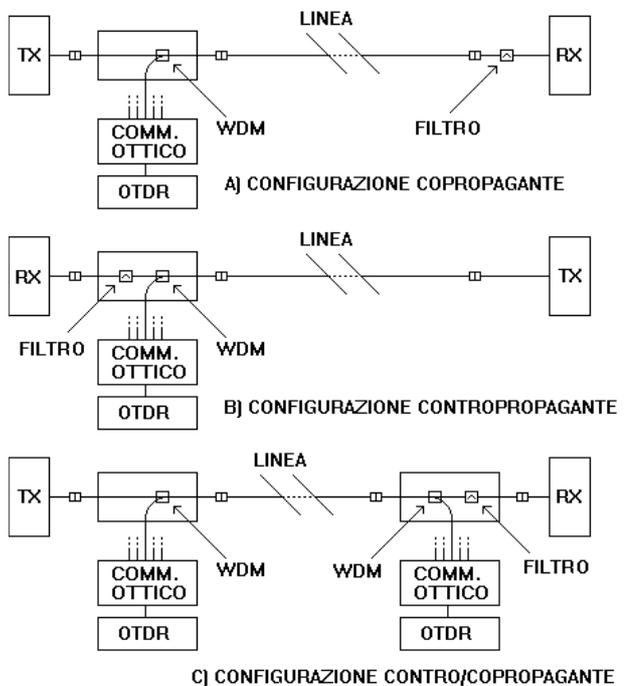


Figura 8 Possibili configurazioni per l'inserimento in rete del sistema SMART-VDO

segnale dell'OTDR a 1625 nm nella stessa direzione di quello del sistema di trasmissione a 1310 o 1550 nm; in questo caso occorre utilizzare in ricezione un filtro di blocco a 1625 nm, per evitare che il segnale dell'OTDR possa disturbare il servizio.

La configurazione contropropagante prevede di inviare il segnale dell'OTDR a 1625 nm in direzione opposta a quello del sistema di trasmissione a 1310 o 1550 nm, in tal caso non occorre il filtro a protezione del trasmettitore grazie alla non coerenza tra le sorgenti laser. Un filtro verso il ricevitore non è strettamente necessario, ma la sua presenza è comunque opportuna, per la possibile presenza di riflessioni in linea.

La configurazione contro/copropagante prevede di inviare il segnale dell'OTDR, alternativamente, nella stessa e nell'opposta direzione del sistema di trasmissione. Ciò implica una sincronizzazione dei due OTDR al fine di evitare un conflitto tra i due. Essa viene utilizzata quando l'attenuazione della linea da sorvegliare è superiore alla massima dinamica disponibile dall'OTDR.

Per verificare sperimentalmente la funzionalità del sistema di sorveglianza SMART-VDO e gli eventuali fenomeni di interferenza fra segnale dell'OTDR e di trasmissione, sono state condotte una serie di prove, prima in laboratorio e poi in impianto su linee ottiche di diversa lunghezza. In particolare sono state eseguite (nella centrale Torino Lancia della rete IRI TEL) prove con sistemi plesiocroni a 565 Mbit/s funzionanti alla lunghezza d'onda di 1310 e 1550 nm su linee sino a 60 km, con il sistema di sorveglianza in configurazione prima copropagante e poi contropropagante, utilizzando diramatori sia WDM sia WIC. I trasmettitori dei sistemi avevano potenza di circa -3 dBm; sono state fatte valutazioni del tasso di errore con potenze in ricezione tra -34 e -36 dBm (un attenuatore posto in linea, dal lato ricezione, permetteva di abbassare la potenza sotto il livello dovuto all'attenuazione propria della linea). In nessun caso si sono osservati aumenti del tasso di errore allorché il sistema di sorveglianza, inizialmente spento, veniva messo in funzione.

Prove simili sono state fatte anche con sistemi SDH a 2.5 Gbit/s operanti alla lunghezza d'onda di 1550 nm; anche in questo caso i risultati sono stati positivi.

I potenziali vantaggi offerti dal sistema di sorveglianza considerato, hanno spinto, verso la fine del 1993, gli operatori italiani SIP e IRI TEL ad avviare una sperimentazione (v. tab. 1) rispettivamente sulle reti di giunzione di alcune regioni e sulle linee a lunga distanza della dorsale Roma-Milano; la sperimentazione attualmente prosegue da parte di TELECOM ITALIA sugli stessi collegamenti. Il sistema SMART-VDO è attualmente oggetto di sperimentazione anche in altri Paesi: in Argentina sulla rete del locale TELECOM, ed in Brasile, sulla rete TELEMIG (tab. 1).

Data di avvio	Paese	Operatore	Numero di sistemi	Numero di cavi	Numero di fibre	km di fibra
7/93	Italia	SIP	1	5	80	916
2/94	Italia	SIP	4	18	260	9100
5/94	Italia	Iritel	6	9	168	28440
4/94	Argentina	Telecom	2	9	90	17370
10/94	Brasile	Telemig	1	2	68	5840

Tabella 1 Installazioni sperimentali del sistema di sorveglianza SMART-VDO avviate in Italia ed all'estero

Nella fig. 9 sono infine delineate le dimensioni del progetto per la sorveglianza della rete ottica a lunga distanza esistente in Italia, scaturito da un lavoro congiunto tra TELECOM ITALIA e AET.

I risultati della sperimentazione daranno indicazioni sui benefici ottenibili da sistemi di questo tipo, e consentiranno di sperimentare soluzioni per potenziarli ulteriormente o per superare eventuali problemi. In particolare AET ha già avviato, in collaborazione con CSELT, un'attività per incrementare la dinamica del sistema attraverso l'uso di un amplificatore ottico ad effetto Raman.

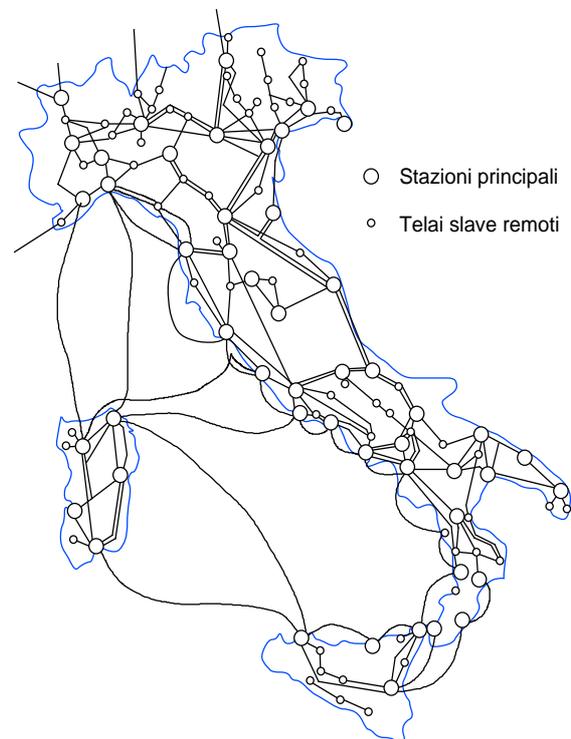


Figura 9 Progetto per la sorveglianza della rete ottica a lunga distanza di TELECOM ITALIA con il sistema SMART-VDO; nella cartina sono evidenziate le stazioni di sorveglianza. Il progetto prevede il controllo di 36754 km di cavo (11482 fibre per un totale di 764649 km)

4. Conclusioni

L'utilizzazione sempre più massiccia della fibra ottica nelle reti di telecomunicazione, sia a lunga distanza che di giunzione e distribuzione ha portato alla crescita dell'interesse verso sistemi che facilitino la supervisione dello stato della rete attraverso un controllo continuo del portante ottico, anche in presenza di traffico. Tra le diverse soluzioni proposte, l'approccio che sembra più promettente è quello della sorveglianza ciclica delle fibre in servizio tramite un OTDR, equipaggiato in modo tale da poter operare su una lunghezza d'onda non utilizzata per trasmissione nella rete sorvegliata (tipicamente compresa nella finestra spettrale 1600÷1650 nm); è così possibile non solo individuare tempestivamente la presenza e la posizione di interruzioni sulla linea, ma anche valutare eventuali leggere derive nell'attenuazione totale della tratta in fibra, o dei suoi componenti, con evidente vantaggio dal punto di vista della prevenzione dei guasti. Un sistema di sorveglianza di questo tipo è stato sviluppato in Italia dalla AET; la sua sperimentazione in campo da parte di TELECOM ITALIA, sulle reti di giunzione ed a lunga distanza, consentirà di valutare a fondo vantaggi ed eventuali problemi legati a questo tipo di sistemi e di porre le basi per un suo eventuale impiego sistematico nel prossimo futuro.

Transfer and Supervisory System for Trunk Optical Fibre Cables. International Wire and Cable Symposium IW&CS 91, St. Louis (USA), novembre 1991, pp. 787-792.

- [7] Cottino, E.; Dellerà, D.; De Paoli, S.: *1625 nm Monitoring System Design for the Preventive Maintenance of Fiber Optics Plants*. International Wire and Cable Symposium IW&CS 93, St. Louis (USA), novembre 1993, pp.799-804.
- [8] Cottino, E.; Artiglia, M.: *Out-of-band on-line monitoring of the optical network*. Symposium on Optical Fiber Measurements 1994, Boulder (USA), settembre 1994, pp. 25-30.

Bibliografia

- [1] Koyamada, Y.; Ohta, N.; Tomita, N.: *Basic Concepts of Fiber Optic Subscriber Loop Operation Systems*. International Conference on Communications ICC'90, Atlanta (USA), aprile 1990, paper 341.1.1.
- [2] Koga, H.; Kuwabara, T.; Mitsunaga, Y.: *Future Maintenance Systems for Optical Fiber Cables*. International Conference on Communications ICC'91, Denver (USA), giugno 1991, paper 11A.3.
- [3] Sankawa, I.; Koyamada, Y.; Furukawa, S.; Horiguchi, T.: *Optical Fiber Line Surveillance System for Preventive Maintenance Based on Fiber Strain and Loss Monitoring*. International Wire and Cable Symposium IW&CS 92, Reno (USA), novembre 1992, pp.81-87.
- [4] Takasugi, H.; Tomita, N.; Uenoya, T.; Nakamura, I.; Yokoo, Y.: *Design and evaluation of Automatic Optical Fiber Operation Support System*. International Wire and Cable Symposium IW&CS 90, Reno (USA), novembre 1990, pp. 623-629.
- [5] Uenoya, T.; Ashiya, F.; Tomita, N.; Satoh, K.; Sakai, T.: *Operation Administration and Maintenance Systems of the Optical Fiber Loop*. Globecom 90, S. Diego (USA), dicembre 1990, pp 1493-1497.
- [6] Matsumoto, H.; Yokoo, Y.; Sato, K.; Uenoya, T.: *Cable*

La trasmissione dei dati a pacchetto nella rete ISDN

R. Pietroiusti, D. Serafini (*)

Scopo di questo articolo e' di descrivere i servizi di trasmissione dati a pacchetto nel contesto della rete ISDN.

Vengono preliminarmente richiamate le architetture dei protocolli ISDN nelle interfacce di accesso utente-rete ed i principali concetti alla base della trasmissione dei dati strutturati a pacchetto, con riferimento sia alle normative internazionali che regolano la materia, sia alle possibili modalita' di realizzazione di tali servizi nella rete di telecomunicazione

Vengono infine illustrate le architetture di rete realizzate e le prestazioni offerte all'utente dalla rete ISDN nazionale, ed esaminate brevemente le possibili evoluzioni del servizio.

1. Introduzione

Generalmente nel contesto delle telecomunicazioni con il termine "dati" si indica il tipo di informazione scambiata da sistemi (personal computer, workstation, elaboratori) sotto forma di blocchi informativi strutturati, contenenti sia informazioni di controllo che d'utente, distinguendolo dalla tipologia voce e video. Il fattore di distinzione che caratterizza i tre tipi di informazione non risiede necessariamente nell'aspetto sintattico (infatti sia i dati che la voce e il video possono avere lo stesso tipo di codifica) ma soprattutto nei diversi requisiti che i vari tipi di flussi informativi pongono per il loro trasporto e trattamento nella rete di telecomunicazione.

In particolare per i dati risultano di particolare rilevanza:

- **elevate prestazioni di integrità informativa:** le informazioni non devono essere perse né alterate;
- **basso ritardo di trasferimento:** i vincoli temporali associati alla trasmissione dati sono meno stringenti di quelli per le comunicazioni di voce e video "real time", ma risultano comunque determinanti per conservare l'intelligibilità dell'informazione trasferita in relazione ai meccanismi di colloquio fra terminali, generalmente presenti nei protocolli di trasmissione dati;
- **sfruttamento ottimale delle risorse di trasferimento:** in generale nella trasmissione dei dati tra sistemi informativi la percentuale di reale utilizzo delle risorse di comunicazione è bassa rispetto alla durata della relazione di comunicazione stessa.

La rete di comunicazione, intesa come insieme di risorse di trasferimento delle informazioni, si dice commutata se l'uso delle risorse è condiviso da una molteplicità di utenti, abilitati a richiederne ed eventualmente ottenerne la disponibilità per un certo periodo di tempo, allo scopo di effettuare una trasmissione di informazioni da una qualsivoglia sorgente ad una qualsivoglia destinazione.

In relazione alla modalità di trasferimento delle informazioni e specificatamente all'allocazione delle risorse di rete per la relazione di comunicazione, le reti commutate possono essere:

- di tipo cosiddetto "orientate alla connessione" (**connection oriented**), quando riservano risorse fisiche e/o logiche, alla relazione di comunicazione per tutta la durata della stessa; cioè stabiliscono per tale durata una connessione fisica e/o logica fra i punti della rete che devono essere messi in comunicazione;
- di tipo cosiddetto "non orientate alla connessione" (**connectionless**), quando trasportano le informazioni fra punti della rete senza riservare risorse allo scopo.

Per reti commutate orientate alla connessione, la tecnica di commutazione può essere la commutazione di circuito (connessione fisica sorgente-destinazione) o la commutazione di blocco informativo (pacchetto, trama, cella) con connessione virtuale sorgente-destinazione costituita da relazioni stabilite a livello di tabelle di instradamenti dei nodi (circuito virtuale). Nelle reti orientate alla connessione il flusso informativo associato alla comunicazione è generalmente suddiviso logicamente e/o fisicamente e temporalmente in flusso dell'informazione d'utente e flusso di segnalazione (informazioni di controllo della connessione).

(*) Ingg. Romolo Pietroiusti, Domenico Serafini -Telecom Italia DG-Roma

modalità "Connection Oriented"

- * commutazione di circuito (es. rete telefonica di base)
- * commutazione di pacchetto (es. rete ITAPAC)
- * commutazione di trama (es. rete Frame Relay)
- * commutazione di cella (es. rete ATM)

Fasi di comunicazione : instaurazione, trasferimento dati, rilascio

Le reti commutate con modalità di trasferimento dell'informazione di tipo "**connectionless**" sono denominate anche reti a commutazione di messaggio. In tale modalità, il flusso informativo è strutturato in messaggi contenenti sia le informazioni d'utente sia le informazioni necessarie alla rete per il corretto instradamento e trasferimento dei messaggi stessi.

modalità "Connectionless"

- * commutazione di messaggio (es. servizi SMDS)

Fasi di comunicazione : trasferimento dati

Per **trasmissione dati a pacchetto** si intende il trasferimento di informazioni strutturate appunto in "pacchetti", conformemente al formato, alle procedure ed al protocollo definito nella raccomandazione X.25 dell'ITU (ex CCITT) per la trasmissione dei dati in reti a commutazione di pacchetto.

La raccomandazione X.25 definisce una pila protocollare, strutturata in 3 livelli conformi al noto modello

OSI ed assegna al suo livello 3 la funzione di organizzare i dati in pacchetti da instradare, attraverso i nodi della rete verso la destinazione tramite appunto la commutazione di pacchetto.

Con l'avvento della ISDN (primi anni 80) è nata l'esigenza di integrazione tra il mondo "telefonico" che, come noto, utilizza la commutazione di circuito, e il vasto campo applicativo della trasmissione dei dati X.25. E' stato pertanto necessario definire soluzioni architettoniche di rete capaci di integrare sullo stesso accesso d'utente le prestazioni e i servizi associati alle due tecniche di commutazione (circuito e pacchetto).

In particolare, considerata la diffusione d'impiego e la maturità dello standard X.25, ci si è orientati all'inclusione dello stesso nella emergente rete ISDN così com'era, senza modifiche alla sua pila applicativa. Per orientare al riguardo lo sviluppo dei sistemi sono state definite da parte dell'ITU due apposite norme: le raccomandazioni X.31 e X.32.

Prima di passare in rassegna queste due norme è utile richiamare alcuni concetti e principi della ISDN e della trasmissione dei dati X.25.

1.1 Generalità sul servizio di trasmissione dati a pacchetto nella ISDN

Uno dei principali vantaggi della trasmissione dei dati a pacchetto è la condivisione del mezzo trasmissivo da parte di una molteplicità di connessioni a circuito virtuale, ciascuna relativa al trasporto di flussi informativi sia d'utente sia di segnalazione di una comunicazione, con moltiplicazione su base statistica, dei pacchetti dei vari flussi informativi. A titolo esemplificativo in fig. 1 è rappresentata schematicamente una rete a commutazione di pacchetto con l'indicazione di connessioni a circuito virtuale.

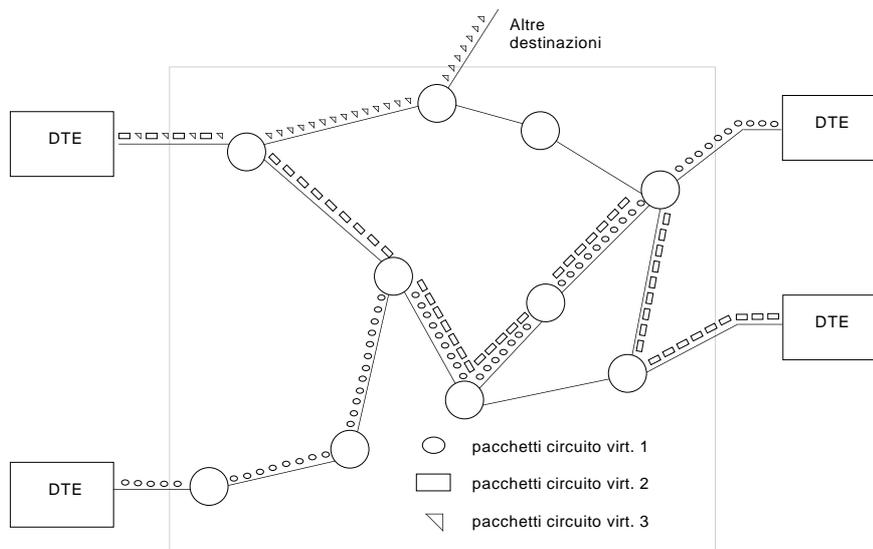


Figura 1 Connessioni a circuito virtuale in una rete a commutazione di pacchetto

La comunicazione in una rete a commutazione di pacchetto (PSPDN-Public Switched Packet Data Network) avviene in tre fasi:

- fase di **instaurazione della connessione** con la formazione di un circuito virtuale tramite lo scambio di informazioni di segnalazione (pacchetti di segnalazione);
- fase di **trasferimento dati** con lo scambio dei dati informativi d'utente tra sorgente e destinazione sulla connessione precedentemente instaurata; l'instradamento e la corretta trasmissione in rete dei pacchetti avviene sulla base delle informazioni di controllo contenute nei pacchetti stessi.
- fase di **rilascio della connessione** con il disimpegno delle risorse costituenti il relativo circuito virtuale attraverso lo scambio di pacchetti di segnalazione.

Le reti pubbliche a commutazione di pacchetto, in Italia la rete ITAPAC, si basano in genere sulla X.25 per il protocollo d'accesso e sulla X.75 per il protocollo di rete inter-nodo, come indicato schematicamente in fig. 2.

La raccomandazione X.25 definisce l'interfaccia utente-rete, cioè l'interfaccia tra il Data Terminal Equipment (DTE) di tipo a pacchetto ed il Data Circuit-terminating Equipment (DCE). La X.25 è strutturata in tre livelli gerarchici di protocollo:

- il livello fisico (ad esempio: X.21 bis) che definisce le caratteristiche fisiche ed elettriche dell'interfaccia DTE-DCE con una velocità di cifra fino a 64 kbit/s;
- il livello data link (Link Access Protocol Balanced-LAP-B) che assicura l'integrità della trasmissione dati;
- il livello di rete (Packet Level Protocol) che definisce le procedure di utilizzo dei circuiti virtuali per realizzare la moltiplicazione dei flussi dati.

I servizi di base che la X.25 permette sono: il servizio "Virtual Circuit" detto anche "Virtual Call" ed il servizio "Permanent Virtual Circuit". La velocità di accesso è attualmente di 64 kb/s, ma è possibile una estensione fino a 2 Mb/s, con un'adeguato livello fisico (X.21 bis).

La chiamata virtuale realizza una connessione logica tra due Data Terminal Equipment (DTE) operanti secondo la raccomandazione X.25. Questo servizio portante presuppone una fase di *instaurazione* della chiamata, ed

una fase di *trasferimento dati* seguita dallo *svincolo* della connessione. Il circuito virtuale permanente realizza una connessione logica tra due DTE predeterminati. Il servizio prevede che la connessione sia stabilita su base contrattuale in modo che i due DTE si scambino pacchetti relativi alla sola fase dati, omettendo quindi la fase di segnalazione.

Il servizio connectionless applica fondamentalmente la modalità "datagramma" del servizio a pacchetto. Può essere utile per tutte quelle applicazioni quali telemetria, allarmi, transazioni sporadiche, che non necessitano di procedure tipiche del servizio "connection oriented", quali ad esempio le procedure di riscontro sulla ricezione dei dati.

La raccomandazione X.75 definisce l'interfaccia tra i nodi a commutazione di pacchetto delle reti pubbliche (X.25, ISDN per il traffico dati).

1.1.1 Richiami sull'architettura dei protocolli di accesso ISDN

L'accesso base della rete ISDN prevede una struttura dei canali di comunicazione del tipo 2B+D.

Il canale B a 64kbit/s è usato per il trasporto dei flussi informativi dell'utente, esso costituisce l'unità elementare della commutazione a circuito nella ISDN; sul canale B possono essere stabilite tre tipi di connessioni:

- a commutazione di circuito, controllate tramite la segnalazione d'accesso sul canale D;
- a commutazione di pacchetto; in questo caso l'utente è connesso tramite una connessione a circuito ad una funzione a commutazione di pacchetto, quindi su tale connessione a circuito vengono instaurate, moltiplicandole, una o più connessioni a pacchetto secondo la raccomandazione X.25;
- semipermanenti; è una connessione equivalente ad una linea affittata stabilita su base gestionale e non su domanda tramite segnalazione d'utente.

Il canale D a 16 kbit/s è usato per il trasporto delle informazioni di segnalazione per il controllo dei canali B associati all'interfaccia; esso può essere usato altresì, quando non impegnato per segnalazione, per il trasporto di dati a commutazione di pacchetto o dati di telemetria a bassa frequenza di cifra (per es. 100 bit/s).

Con riferimento alle tipologie di connessioni ricordate, la fig. 3 riassume le pile dei protocolli standardizzate per ciascuna di esse confrontandole anche con la pila OSI.

I protocolli di accesso ISDN (protocollo del canale D) sono relativi ai primi tre livelli (fisico, collegamento dati e di rete) della pila OSI, essendo i rimanenti livelli (trasporto, sessione, presentazione ed applicazione) di validità da estremo a estremo e quindi riferiti agli apparati e alle applicazioni d'utente.

Il livello due (collegamento dati) del canale D è costituito dal LAP-D (Link Access Protocol, D-channel) basato sull'impiego di trame di tipo HDLC. Il livello tre del canale D si differenzia a seconda delle applicazioni.

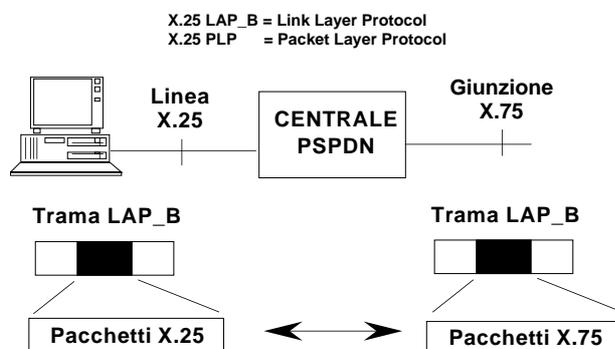


Figura 2 Interfacce d'accesso e di giunzione di una PSPDN

Applicazione	Segnalazione d'utente end-to-end					
Presentazione						
Sessione						
Trasporto						
Rete	Controllo chiamata I.451/Q.931	Livello di pacchetto X.25	(Allo studio)			Livello di pacchetto X.25
Collegamento dati	LAP-D (I.441/Q.921)			I.465/V.120	LAP-B	
Fisico	Interfaccia per accesso base I.430 o Interfaccia per accesso primario I.431					
↑ Livelli OSI	Segnalazione	Dati a pacchetto	Telemetria	Commutazione a circuito	Semi-permanente	Commutazione a pacchetto
	Canale D			Canale B		

Figura 3 Architettura dei protocolli ISDN all'interfaccia utente-rete

Per le funzioni di segnalazione relative al controllo delle chiamate sul canale B il protocollo è definito dalla raccomandazione Q.931. Per le applicazioni di trasmissione dati a pacchetto sul canale D, il livello 3 preposto al controllo dei circuiti virtuali è costituito dalla X.25, con i pacchetti trasportati dalle trame LAP-D.

Per quanto riguarda il canale B, le connessioni commutate a circuito hanno soltanto il livello fisico per un trasporto trasparente dei dati attraverso la rete ISDN e sono stabilite dal protocollo di controllo chiamate del canale D.

Per le applicazioni a pacchetto sul canale B, occorre prima stabilire una connessione a circuito, usando la segnalazione su canale D, o semipermanente, fra l'utente ed il nodo a commutazione di pacchetto, dopo di che si impiega il protocollo X.25 per la instaurazione ed il controllo dei circuiti virtuali; il trasporto dei pacchetti X.25 avviene tramite trame LAP-B anch'esse di tipo HDLC. Per il trasferimento dati su canale D a basso bit rate, quali telemetria, allarmi ecc., si può utilizzare in linea di principio sia la modalità "connection oriented" sia quella "connectionless".

I concetti di virtual call o *chiamata virtuale* e permanent virtual circuit *circuito virtuale permanente*, precedentemente descritti in relazione ai servizi delle reti a commutazione di pacchetto, si trasferiscono nella ISDN e si applicano alla interfaccia utente-rete, come avviene su un accesso dedicato della rete a pacchetto X.25.

Con riferimento all'accesso al servizio di trasmissione dati a commutazione di pacchetto nella ISDN, le funzionalità di rete preposte a tale compito possono essere:

- fornite da una "rete dedicata" a commutazione di pacchetto, (tipicamente una rete pubblica PSPDN) non integrata in ISDN;

- parte integrante della rete ISDN; cioè funzionalità di commutazione di pacchetto integrate nelle centrali locali della rete stessa.

Le modalità di realizzazione dei servizi, le procedure e le interfacce sono standardizzate per entrambi i casi nella raccomandazione X.31, specificamente concepita per consentire l'uso di terminali, apparati di commutazione e protocolli conformi alla X.25.

Per la rete di transito si utilizza in genere la rete pubblica PSPDN o si potrebbe anche realizzare l'integrazione della commutazione di pacchetto anche nelle centrali di transito ISDN.

1.2 La raccomandazione X.31

La X.31 definisce i seguenti aspetti di accesso al servizio di trasmissione dati a commutazione di pacchetto in ISDN:

- le procedure di interfaccia tra utente e rete ISDN per l'accesso al servizio;
- gli aspetti della commutazione a pacchetto forniti all'utente ISDN in accordo con le raccomandazioni della serie I sui servizi portanti;
- le funzioni degli adattatori di terminali (Terminal Adapter - TA) per la connessione dei terminali X.25.

Le due architetture di rete normalizzate nella X.31 per l'accesso al servizio a commutazione di pacchetto, sono denominate rispettivamente:

- caso A - minima integrazione- accesso a circuito alla PSPDN ;**
- caso B - massima integrazione- accesso a circuito virtuale ISDN.**

X.31 caso A: impiego di una PSPDN separata

Quando il servizio di commutazione di pacchetto è fornito con rete separata PSPDN l'accesso a tale rete è fatto tramite canale B; ciò significa che sia l'utente sia la rete PSPDN sono visti dalla rete ISDN come suoi utenti. A tale scopo, uno o più nodi della PSPDN sono dotati di dispositivi che provvedono all'interlavoro fra la rete ISDN e la rete PSPDN; tali dispositivi, denominati Packet Handler (PH) svolgono funzioni di accesso alla rete a pacchetto e sono connessi all'ISDN con interfaccia standard di accesso base (2B+D) o primario (3B+D).

In sostanza i PH possono essere considerati come porte di accesso tradizionali alla PSPDN, cioè dei DCE X.25, dotati di una interfaccia di accesso verso ISDN (Unità di Accesso da/a ISDN -UA). Il collegamento fra l'utente ed il PH è realizzato su canale B e la connessione può essere o a commutazione di circuito, stabilita tramite segnalazione su canale D, o semipermanente. Su tale connessione l'utente può stabilire connessioni virtuali secondo lo standard X.25 con qualsiasi altro utente che ha accesso alla PSPDN o direttamente tramite l'ISDN.

In questo caso l'ISDN fornisce solo il supporto fisico per l'accesso al servizio a commutazione di pacchetto, ovvero una connessione numerica commutata a 64 kbit/s. Il flusso dati è completamente trasparente all'ISDN.

Le configurazioni dei collegamenti possono essere rappresentate come in fig. 4.

L'utente, dotato di un terminale DTE X.25 è connesso all'interfaccia di accesso ISDN tramite un adattatore di terminale (TA).

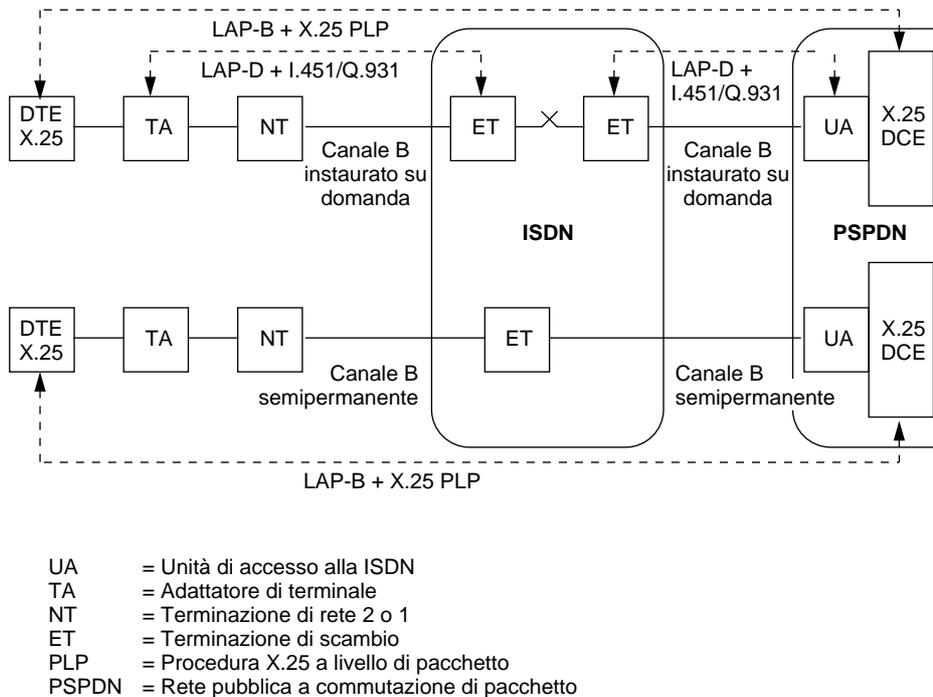


Figura 4 Accesso alla PSPDN per servizi a commutazione di pacchetto

La sequenza delle procedure, per instaurare una chiamata virtuale nel caso che l'accesso al PH avvenga su connessione commutata può essere rappresentata come in fig. 5.

La sequenza consiste nelle seguenti fasi principali:

- l'utente richiede, tramite segnalazione su canale D (I.451/Q.931), una connessione commutata su canale B con un PH;
- viene quindi instaurata una connessione a livello di dati fra utente e PH;
- l'utente instaura quindi un circuito virtuale secondo la X.25 con un altro utente della PSPDN o della ISDN.

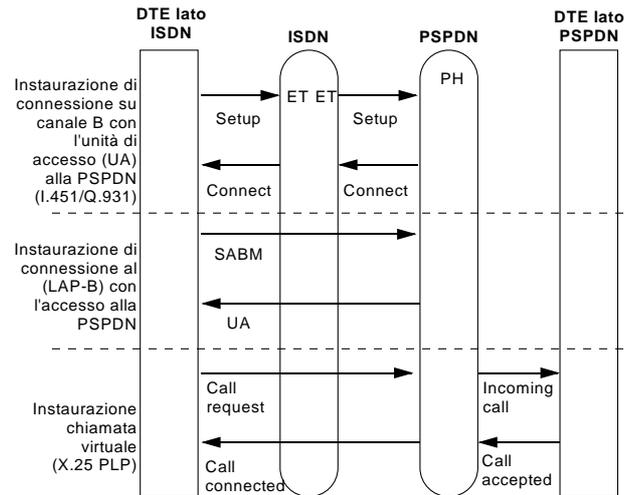


Figura 5 Instaurazione di chiamata virtuale

X.31 caso B: impiego di una PH integrato in ISDN

Quando la funzionalità di commutazione di pacchetto è integrata nella ISDN, le funzioni PH sono realizzate o nelle centrali locali ISDN o con apparati separati ma funzionalmente integrati con esse. In questo caso l'utente può connettersi col PH, questa volta interno alla rete ISDN, o tramite connessione su canale B di tipo commutato o semipermanente, con le stesse procedure viste nel caso precedente (caso A), oppure tramite canale D; in questo ultimo caso si impiega una connessione semipermanente all'interno della centrale fra il PH ed il terminale di segnalazione in centrale (ET) che distingue, con uno schema di indirizzamento, a livello di trame LAP-D quelle che portano i messaggi di segnalazione per il controllo dei canali B e quelle che portano i dati a pacchetto X.25.

La fig. 6 mostra lo schema generale di una rete ISDN con le funzionalità PH integrate.

Ogni centrale locale ISDN dovrà essere equipaggiata con funzioni di trattamento di pacchetto, le quali, anche se logicamente e funzionalmente appartenenti alla centrale ISDN, potranno fisicamente risiedere in un nodo PSPDN.

L'interconnessione fra le funzioni PH e i nodi della PSPDN, avviene mediante interfaccia X.75; nel caso di stessa tecnologia (stesso costruttore) si utilizza generalmente un protocollo di tipo proprietario.

L'utente ISDN può istaurare circuiti virtuali X.25 con qualsiasi altro utente ISDN impiegando o il canale B o il canale D, nonché con altri utenti della PSPDN o altre reti ISDN tramite comunicazioni di giunzione, tipicamente X.75, fra il proprio PH e l'altra rete coinvolta.

1.3 La raccomandazione X.32

Comunemente i DTE si connettono direttamente ad una rete a commutazione di pacchetto attraverso connessioni di tipo punto-punto, definite dalla X.25.

Per alcuni tipi di DTE ad es. asincroni a carattere X.28 (es: tipo TTY, terminali video asincroni, personal computer con interfaccia asincrona), che trasmettono dati sotto forma di singoli caratteri, all'interno della rete è prevista una funzione di conversione che assembla i caratteri in pacchetti X.25 e viceversa (PAD-Packet Assembler Disassembler).

Qualora le connessioni punto-punto vengano sostituite da reti pubbliche commutate, quali la rete telefonica pubblica o la rete ISDN, le procedure di comunicazione tra un qualsiasi DTE e un DCE della PSPDN vengono standardizzate dalla raccomandazione X.32. Le raccomandazioni X.25 e X.32, consentono congiuntamente a qualsiasi DTE con accesso alla PSTN o ISDN, di connettersi con qualsiasi DCE (Access Unit - AU) appartenente alla PSPDN secondo uno schema generale di interconnessione schematizzabile come in fig. 7.

La X.32 regola principalmente la fase di instaurazione e di svincolo della connessione; e stabilisce una serie di servizi che la rete può mettere a disposizione, sulla base di opportune prestazioni X.25.

Nella X.32 si distinguono due modi principali di instaurazione dei circuiti virtuali: DIAL-IN e DIAL-OUT. Nel DIAL-IN o *selezione entrante*, il DTE effettua una chiamata verso la porta di accesso che svolge funzioni di DCE della PSPDN (interfaccia di rete X.32) che non appena riceve la chiamata costruisce sul canale B un circuito virtuale

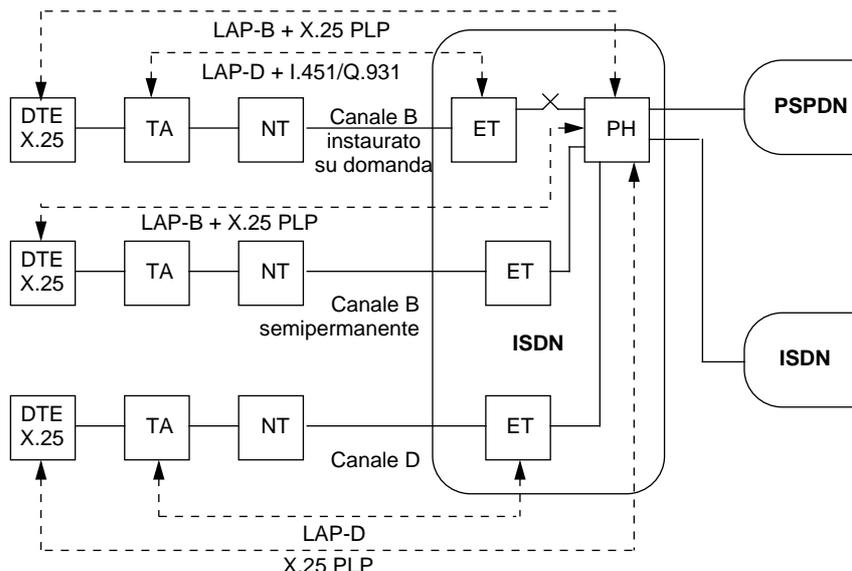


Figura 6 Architettura di accesso ISDN con le funzionalità PH integrate

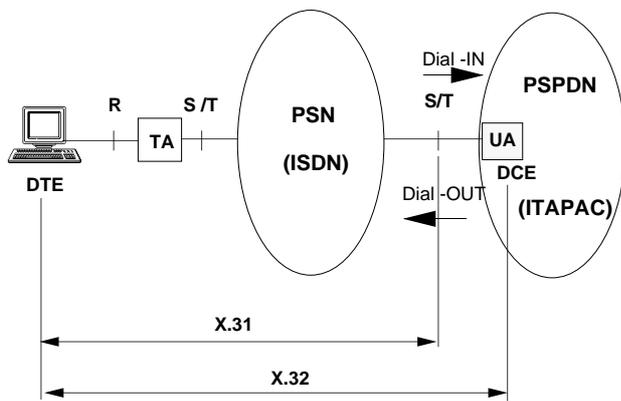


Figura 7 La raccomandazione X.32

conformemente alle procedure X.25. Nella modalità DIAL-OUT o *selezione uscente*, la porta (interfaccia X.32) che riceve una chiamata virtuale dalla PSPDN effettua una chiamata telefonica verso un DTE attestato alla rete ISDN.

L'accesso alla rete a commutazione di pacchetto in accordo alla raccomandazione X.32 comporta l'associazione ad ogni DTE di un profilo di utente, il quale stabilisce, attraverso specifici attributi, il tipo di servizio a cui il DTE può accedere.

I servizi offerti sono:

- non identificato
- identificato
- personalizzato

Il servizio "non identificato", non richiede una sottoscrizione contrattuale dell'utente e prevede che il DTE non fornisca la propria identità al DCE e consente sia selezioni entranti che selezioni uscenti. Poichè non è possibile effettuare la tassazione al DTE chiamante l'utente chiamato dovrà eventualmente accettare la tassazione.

I servizi "identificato" (o "standard") e "personalizzato", si differenziano dal primo poiché necessitano di una sottoscrizione contrattuale. Dato che i DTE sono identificati, essi possono effettuare chiamate tassate e ricevere chiamate con tassazione al chiamato.

Nel servizio identificato l'identità del DTE è esplicitamente concordata con la rete a pacchetto e gli attributi del servizio sono posti dalla rete ad un valore standard. Nel servizio personalizzato, gli attributi del servizio sono stabiliti dall'utente su base contrattuale, in relazione alle diverse funzionalità offerte dalla rete a pacchetto.

2. Il servizio dati a pacchetto nella rete ISDN italiana

Lo sviluppo del servizio a pacchetto ISDN in Italia è caratterizzato da due fasi:

- il Servizio Pilota (dal 1991), in cui la funzione di trattamento dati a pacchetto (Packet Handler - PH), è integrata nella ISDN con interfacce non standardizzate

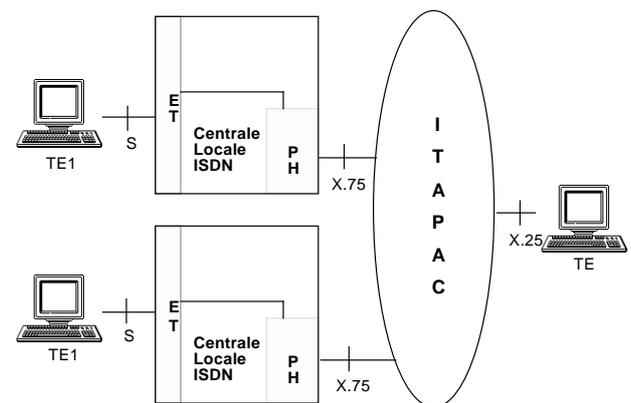
verso i moduli di trattamento dati a circuito ed interfacce normalizzate X.75 verso la rete ITAPAC (soluzione X.31 caso B ovvero di massima integrazione); Tale scelta è stata motivata, tra l'altro, dal fatto che ITAPAC in quel periodo non era ancora di proprietà del gestore SIP.

- il Servizio Larga Scala (a partire dal '94) in cui, in una prima fase, il servizio dati a pacchetto viene fornito con funzioni PH localizzate presso ITAPAC (soluzione X.31 caso A - minima integrazione) con interfacce di giunzione standardizzate verso i moduli a circuito. In entrambi i casi la rete ISDN offre solo un servizio di trasporto verso la funzione di trattamento dati a pacchetto (PH) ed è quest'ultima che gestisce il servizio secondo il protocollo X.25. Il passo successivo (step 2), prevede l'introduzione di un'interfaccia di rete tra i moduli di trattamento dati a circuito e quelli a pacchetto, denominata PHI (Packet Handler Access Point Interface) che permette una maggiore flessibilità di dislocazione delle funzioni PH, e la possibilità di offrire in modo integrato a livello di interfaccia di accesso i servizi a pacchetto sia su canale B che D.

2.1 La trasmissione dati a pacchetto nel Servizio Pilota ISDN

Nel Servizio Pilota il PH è stato allocato nelle centrali locali ISDN, in accordo a quanto previsto dal caso B della X.31. In fig. 8 è illustrata l'architettura di rete in cui ogni centrale locale ISDN possiede le funzioni di trattamento del pacchetto.

Il Packet Handler provvede all'interlavoro tra l'ISDN ed ITAPAC e le sue funzioni principali possono essere riassunte come segue:



TE1 = Terminale a pacchetto ISDN
ET = Exchange Termination
PH = Packet Handler

Figura 8 Servizio Pilota ISDN: Architettura per l'accesso al servizio a pacchetto

- 1 interfaccia verso l'utenza ISDN, con la gestione dei protocolli X.25 e verso altri moduli di centrale per la gestione delle connessioni sul canale B;
- 2 interfaccia verso PH allocati in altre centrali ISDN e verso ITAPAC per le procedure di connessione internodo;
- 3 commutazione attraverso l'analisi delle cifre, l'instradamento e la conversione della numerazione;
- 4 aspetti gestionali riguardanti i profili di utente e dati sulla tassazione, i dati di traffico e la configurazione delle linee d'utente.

L'accesso al servizio può avvenire attraverso il **canale B** e realizzato con connessioni commutate stabilite con segnalazione sul canale D.

Il canale B, una volta assegnato, rimane a disposizione di quel terminale sino a che l'ultima chiamata virtuale non sia stata svincolata.

Nel servizio Pilota non è stato offerto l'accesso mediante canale D.

I terminali supportati

I terminali dati a pacchetto supportati nel Servizio Pilota ISDN possono essere dotati di interfaccia S (tipicamente workstation e PC con schede di adattamento integrate) e quindi direttamente collegati al bus ISDN; i terminali a pacchetto X.25 (DTE X.25) utilizzano invece adattatori di terminali capaci di convertire l'interfaccia X.25 all'interfaccia S dell'accesso ISDN, come schematizzato in fig. 9.

L'Adattatore di Terminale X.25 (TA - Terminal Adapter) consente quindi il collegamento di terminali X.25 all'attacco di utente ISDN realizzando le seguenti funzioni:

- Attivazione dei livelli 1 e 2 della X.25.
- Gestione dei livelli 2-3 del protocollo su canale D per la:
 - instaurazione della chiamata sul canale B e per la successiva istaurazione dei canali virtuali.
- Adattamento della velocità mediante stuffing dalle diverse velocità dei DTE (300, 1200, 2400 ...bit/s) alla velocità di 64 kbit/s del canale B.

Realizzazioni delle Funzioni PH

Le realizzazioni industriali della funzione PH, relative alle centrali a commutazione numerica dei diversi fornitori per il servizio pilota, presentano caratteristiche tecnico-economiche molto diverse tra loro come indicato in fig. 10. Infatti le centrali Alcatel-Face (Sistema 1240) presentano

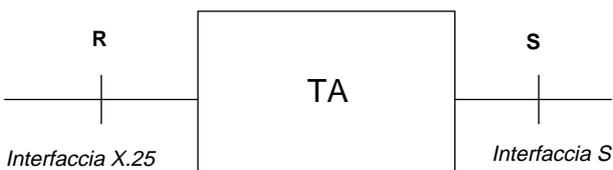
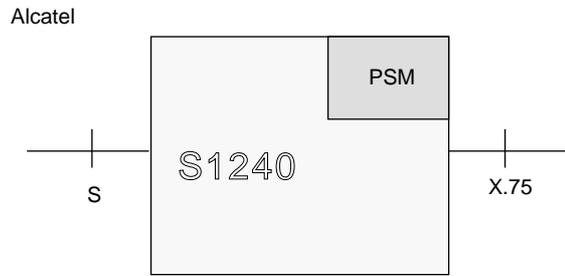
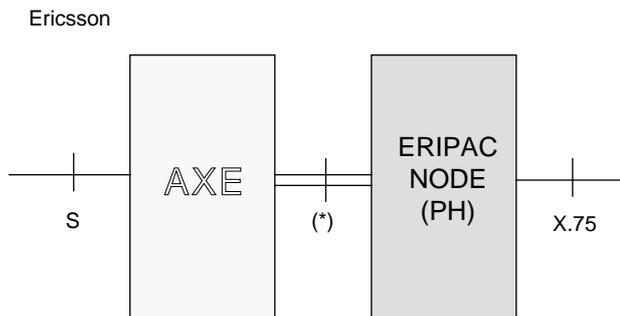


Figura 9 Adattatore di Terminale X.25: schema funzionale

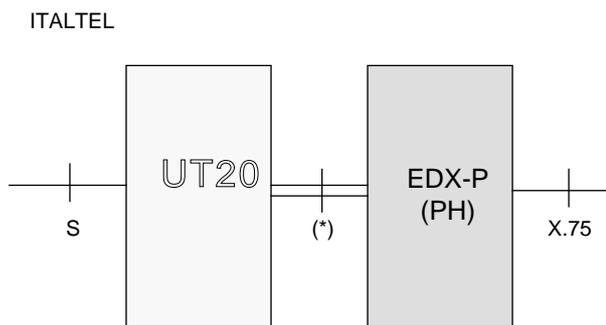


Modulo integrato di trattamento del pacchetto (PSM-Packet Switching Module)



(*) interfaccia di marca

Nodo ERIPAC (Tecnologia ERICSSON)



(*) interfaccia di marca

Nodo EDX-P (Tecnologia Italtel /SIEMENS)

Figura 10 Realizzazioni delle funzioni PH nel Servizio Pilota ISDN

una integrazione delle funzionalità a pacchetto a livello di modulo di centrale (integrazione intermedia), mentre le centrali Italtel ed Ericsson (rispettivamente Linea UT e AXE), prevedono una netta separazione funzionale e fisica, delle funzionalità a circuito da quelle a pacchetto.

Servizi e prestazioni aggiuntive a pacchetto nel Servizio Pilota ISDN

Le prestazioni aggiuntive a pacchetto offerte nel Servizio Pilota ISDN sono allineate con quelle fornite da ITAPAC. In particolare all'utente ISDN vengono offerte prestazioni, che dal punto di vista della tassazione

possono essere distinte in tre categorie:

- prestazioni fornite indistintamente a tutti gli utenti della rete:
 - Identificazione del DTE chiamante
 - Identificazione del DTE chiamato
- prestazioni assegnate su base contrattuale:
 - Chiamate entranti sbarrate
 - Chiamate uscenti sbarrate
 - Gruppo Chiuso di Utente (CUG)
 - Outgoing Switched Virtual Circuit (OSVC) e Incoming Switched Virtual Circuit (ISVC)
 - Assegnazione della classe di throughput di default
 - Indicazione della classe di throughput e della dimensione della finestra
 - Indicazione della classe di throughput
 - Negoziazione della dimensione del pacchetto
 - Accettazione della selezione rapida
 - Accettazione della tassazione al chiamato
- prestazioni richieste su base chiamata:
 - Richiesta di tassazione al chiamato
 - Richiesta di selezione rapida.

2.2 Il servizio dati a pacchetto nella ISDN a larga scala

Da aprile 1994 è stata avviata la graduale diffusione delle prestazioni ISDN su tutto il territorio nazionale (Servizio ISDN a Larga Scala ovvero Servizio ISDN pan-europeo), in accordo al MoU-Memorandum of Understanding firmato tra i gestori europei. Per quanto riguarda il servizio dati a pacchetto nazionale si è previsto un approccio articolato in due passi:

Step 1: Accesso trasparente a circuito, tramite canale B, a ITAPAC in accordo al caso A della X.31 illustrato in precedenza.

Le principali caratteristiche di questa fase sono:

- sfruttamento ottimizzato delle risorse della rete pubblica a pacchetto ITAPAC (risorse PH);
- semplicità e basso costo di implementazione del servizio sulle centrali locali ISDN;
- accesso numerico a circuito alle funzioni PH;
- nutrito set di prestazioni X.32/X.25.

Step 2: Offerta del servizio su canale B con caratteristiche simili a quelle dello Step 1 ed offerta del servizio a pacchetto anche su canale D su una struttura di rete con interfaccia standard verso il PH (Packet Handler Interface PHI) vedi fig. 11.

L'interfaccia di rete PHI, tra i moduli di trattamento a circuito e quelli a pacchetto, consente l'interconnessione di sistemi di costruttori diversi e quindi particolarmente utile in uno scenario di rete "multi-vendor" e risponde alla esigenza di razionalizzare il servizio dati a pacchetto sui canali B e D e di una ottimizzazione delle risorse PH; garantendo comunque una flessibilità architetturale in quanto il PH può risiedere sia nella ISDN che nella PSPDN.

L'interfaccia PHI è descritta nel successivo § 2.3.

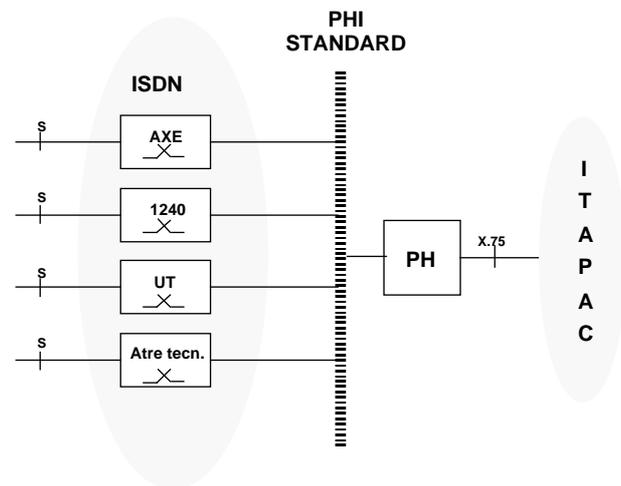


Figura 11 Architettura di rete con interfaccia PHI

	ACCESSO MEDIANTE CANALE B	ACCESSO MEDIANTE CANALE D
Massima portata	64 Kbit/s	16 Kbit/s
Massima lunghezza dei pacchetti	Come per la PSPDN	256 Ottetti
Massimo Numero di Terminali Attivi	1 o 2	8

Tabella riassuntiva delle caratteristiche dell'accesso al servizio

I terminali supportati

Il servizio ISDN larga scala consente la trasmissione dei dati a pacchetto su canale B (come per il servizio Pilota) e successivamente anche su canale D.

Per quanto riguarda le tipologie delle interfacce dei terminali e gli adattatori di terminali vale quanto detto per il Servizio Pilota.

Per l'accesso al servizio dati a pacchetto su canale D i terminali (DTE X.25) dovranno gestire la pila protocollare X.25 innestata sul LAP-D, con l'ovvio limite di velocità fino a 16 kbit/s.

2.3 L'interfaccia di rete PHI (Packet Handler Interface)

L'interfaccia PHI realizza un'interfaccia di rete normalizzata tra una centrale ISDN e le funzioni di PH (che possono essere allocate indifferentemente nella PSPDN o nella ISDN), utilizzando uno o più flussi a 2,048 Mbit/s.

L'interfaccia PHI consente l'accesso, per il trasferimento dati a commutazione di pacchetto, in conformità alla raccomandazione X.31 (caso A o caso B); le sue funzionalità possono essere separate in due insiemi,

come illustrato in fig. 12:

- funzionalità di accesso al servizio (Connection Related Function, CRF), comprendono sia le funzioni di controllo delle chiamate su canale B, sia le funzioni di multiplexazione statistica e trasporto a livello di trama delle chiamate su canale D; quest'ultime sono realizzate nella centrale locale ISDN nel Frame Handler (FH).

- funzionalità di trattamento dati a pacchetto preposte alla gestione del traffico dati sui canali B e D e sono allocate nel Packet Handler (PH). Dal punto di vista realizzativo il PH può appartenere a ITAPAC ovvero alla rete ISDN.

L'interfaccia PHI ha la struttura dell'accesso primario ISDN cioè 30B+D; alcuni canali a circuito detti Bb, portano i pacchetti trasmessi sui canali B dell'accesso d'utente con corrispondenza uno a uno, altri detti Bd portano i pacchetti trasmessi sui canali D dell'accesso d'utente previa opportuna multiplexazione nella centrale locale (Frame Handler).

I circuiti Bb a 64 kbit/s vengono attivati mediante segnalazione Q.931 sul canale D fra la centrale ISDN e il PH. Ogni volta che un utente desidera fare una chiamata a pacchetto su un canale B, viene impegnato un circuito Bb fra centrale ISDN e il PH, che è utilizzato da quel solo utente. Se invece un utente desidera fare pacchetto su canale D, i suoi pacchetti possono utilizzare un circuito Bd condiviso anche da altri utenti (multiplexazione di trama). L'uso ripartito fra più utenti dello stesso canale Bd è realizzato dalla funzione Frame Relay implementata sia nella centrale ISDN, sia nel PH. Le trame di differenti utenti che utilizzano un canale Bd sono differenziate dall'indirizzo delle trame (DLCI, Data Link Connection Identifier).

Per i canali Bd viene impiegato un protocollo dati che permette la multiplexazione statistica a livello di trama, realizzata da una funzione denominata Frame Handler (FH). Tale protocollo rappresenta un'estensione del protocollo Q.921 e può essere visto come una prima applicazione della tecnica

frame relay ad un'interfaccia di rete ISDN.

Per lo scambio di segnalazione tra il PH ed il modulo a circuito (centrale ISDN) si utilizza il canale Bs. Su questo canale si utilizza un protocollo (Q.931*) derivato da quello di canale D dell'accesso d'utente.

La caratterizzazione dei canali B di un PRA come canali Bb o Bd può essere stabilita in modo statico (OA&M) sia su CRF che PH oppure mediante procedure di tipo dinamico.

I servizi previsti per il canale D sono:

- 1) **accesso semipermanente**: il link logico (livello 1 e 2) fra utente e PH è attivato al momento della sottoscrizione del servizio. Ciò implica l'esistenza di un canale Bd semipermanente fra centrale ISDN e PH. Il DLCI assegnato all'utente è allocato al momento del contratto. I canali Bd non possono essere rilasciati in assenza di traffico.
- 2) **PLL (Permanent Logical Link)**: il collegamento logico è permanentemente predisposto dal momento della sottoscrizione, ma il livello 2 può essere disattivato sia da parte dell'utente sia da parte del PH, ad esempio per inattività prolungata. Il DLCI è allocato al momento del contratto. In questo caso i canali Bd sono rilasciati in assenza di traffico.
- 3) **accesso commutato**: la connessione fra utente ISDN e PH viene attivata su domanda dall'utente ISDN, oppure da una chiamata X.25 proveniente dalla rete a pacchetto. Il DLCI è assegnato al momento dell'attivazione del collegamento.

3. Aspetti evolutivi del servizio di trasmissione dati in ISDN

Il principio di separazione tra il piano di controllo (segnalazione) ed il piano d'utente (trasporto informazioni d'utente) per i servizi di telecomunicazione, è un concetto fondamentale dei modelli di riferimento

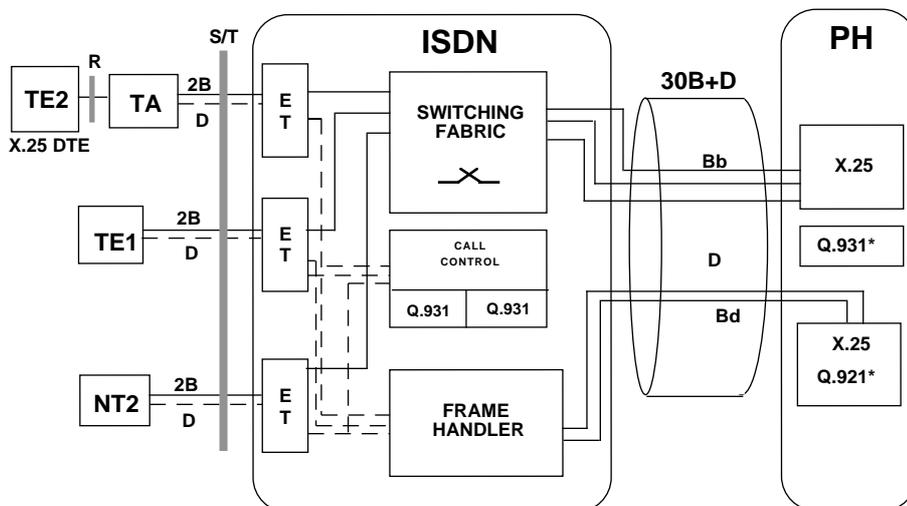


Figura 12 Struttura di base dell'interfaccia PHI

delle reti di telecomunicazioni.

Questo principio è stato tuttavia applicato solamente per i servizi a commutazione di circuito. I servizi a pacchetto sono stati sviluppati in riferimento al modello OSI classico. Nella X.31, per ridurre le problematiche di interlavoro, il servizio offerto dalla ISDN ha le stesse caratteristiche di quello X.25 offerto dalla PSPDN; ovvero il controllo di flusso ed il recupero degli errori sono duplicati a vari livelli, le funzioni di moltiplicazione avvengono al livello di rete, le informazioni relative alla fase di instaurazione e svincolo di una chiamata virtuale e quelle di trasferimento dati sono espletate dalla stessa entità. Di conseguenza i nodi della rete devono avere una notevole capacità elaborativa e complessità hardware.

Negli ultimi anni si sono proposti miglioramenti a tali aspetti, individuando un insieme di servizi portanti con le caratteristiche seguenti:

- separazione del piano di controllo dal piano d'utente;
- piano d'utente basato sul livello 1 ISDN e su parte del livello 2 ISDN del protocollo d'accesso su canale D.

La funzione di moltiplicazione statistica dei flussi informativi viene realizzata a livello 2.

Fra i principali servizi di questa categoria ci sono il Frame Relay (commutazione di trama) e Cell Relay (commutazione di cella). Queste sono due tecniche di trasmissione dati che possiamo inquadrare nella cosiddetta "commutazione di pacchetto veloce", e derivano da una evoluzione dei principi di commutazione a pacchetto X.25. La differenza tra le due tecnologie consiste principalmente nella modalità di trasferimento dell'informazione. La tecnica Cell Relay opera infatti con pacchetti di lunghezza fissa contenente un carico utile di informazione di 48 byte e una intestazione di 5 byte, mentre il Frame Relay utilizza pacchetti di informazione a lunghezza variabile (tipicamente della stessa lunghezza dei blocchi generati da una LAN).

La procedura standard di accesso, al collegamento per il Frame Relay è la Link Access Procedure D, LAPD (Q.921).

Nel Frame Relay le trame affette da errori o da altri malfunzionamenti della rete (ad es. congestione) vengono semplicemente scartate; per tale ragione il Frame Relay richiede alcuni requisiti fondamentali che preservino l'informazione da possibili errori, quali:

- terminali intelligenti capaci di supportare protocolli atti a risolvere il problema degli errori di trasmissione;
- linee trasmissive a basso tasso di errore;
- applicazioni che riescano a tollerare ritardi trasmissivi variabili e non abbiano restrizioni di "tempo reale" (applicazioni vocali e video).

Nel Frame Relay la trasmissione dei dati (informazione e controllo) avviene in trame di formato definito e contraddistinte ciascuna da una sequenza di bit di apertura e di chiusura chiamata "flag". È importante sottolineare che un solo pacchetto dati X.25 può essere inserito nel campo informativo di ciascuna trama.

Esistono tre tipi di trame che sono impiegate rispettivamente per attuare il trasferimento di informazioni (trama tipo I), le funzioni di supervisione (trama tipo S) e le funzioni di controllo non numerate (trama tipo U).

L'impiego di un servizio portante di tipo "frame mode" in ISDN richiede l'impiego di tale tecnica di trasferimento a tutte le interfacce di accesso e di rete, nonché delle relative procedure di segnalazione nel caso di un servizio su base commutata e non solo semipermanente.

Il servizio all'interfaccia utente-rete può essere offerto secondo i due scenari seguenti:

a) impiego di una rete Frame Relay separata: in questo scenario non è prevista all'interno della centrale ISDN una funzionalità di frame handling specifica, e l'ISDN si limita ad offrire una capacità di trasporto a circuito dall'utente ISDN verso una rete specializzata Frame Relay. Il servizio, offerto sui canali B o nxB, è a commutazione di circuito e per il trasporto dati viene utilizzato il protocollo Q.922 Annesso A. Per il controllo della connessione a circuito viene utilizzata la segnalazione sul canale D. L'utilizzo del servizio da parte dell'utente ISDN prevede una prima selezione per la connessione a circuito e successivamente una seconda selezione per l'instaurazione delle connessioni logiche frame relay attraverso le procedure di segnalazione Q.933 che impiegano un canale logico in banda (Data Link Channel Identifier - DLCI=0).

b) Impiego di funzionalità integrate in ISDN: questo scenario prevede all'interno della centrale ISDN la integrazione di funzionalità di frame handling similmente a quanto discusso per la trasmissione dati a pacchetto con l'impiego dell'interfaccia interna di rete denominata PHI.

Esperienze di esercizio sul CCS#7

G. Bertocchi, D. Del Giudice, N. Iannacone, P. Pianigiani, M. Vogni (*)

L'introduzione, nella rete di Telecomunicazioni italiana, della Segnalazione a Canale Comune # 7, oltre a permettere lo sviluppo e la realizzazione di nuovi servizi per il cliente, ha contribuito alla realizzazione di nuove prestazioni per il gestore.

I vantaggi per l'esercizio della rete sono stati evidenziati sul campo, in termini di riduzione dei tempi di formazione del collegamento, riduzione dei tempi di occupazione delle risorse, maggiore protezione contro gli errori nel trasferimento dei criteri e aumento del fattore di efficienza nell'utilizzo delle risorse di rete.

Sono state, anche, individuate alcune criticità rilevate in questi primi anni di esercizio, riguardanti la qualità della rete trasmissiva, il know-how del personale tecnico e l'affidabilità della nuova rete di segnalazione.

1. Introduzione

L'adozione della Segnalazione a Canale Comune ha contribuito in maniera considerevole alla ottimizzazione dell'uso delle risorse di rete.

La maggior espressività di tale tipo di segnalazione, infatti, permette un miglior sfruttamento delle potenzialità degli autocommutatori ed evita che risorse di rete siano impegnate in maniera infruttuosa.

Un secondo aspetto di fondamentale importanza discende direttamente dalla possibilità di scambiare all'interno della rete non solo criteri telefonici, strettamente legati al controllo della chiamata, ma messaggi con un contenuto informativo estremamente ricco. Questo ha decisamente aumentato la visibilità di ciò che accade all'interno della rete, permettendo la realizzazione di nuove forme di supervisione e controllo, che si stanno rivelando un valido aiuto per un sempre più efficiente esercizio della rete.

Scopo di questa memoria è illustrare i risultati ottenuti dall'introduzione del CCS#7 nel nostro territorio, facendo riferimento all'esperienza della nostra realtà nel periodo che va dal 1991 ad oggi.

Nella prima parte della memoria sono illustrati i principali vantaggi apportati alle attività dell'Esercizio,

analizzandone i vari aspetti da tre punti di vista diversi:

- Qualità del servizio telefonico di base
- Ottimizzazione delle risorse di rete
- Nuove prestazioni per il gestore

Infine si sono volute sottolineare alcune criticità evidenziate in seguito all'introduzione di questo nuovo sistema di segnalazione.

2. Qualità del servizio telefonico di base

In questo primo punto sono trattati gli aspetti più strettamente legati alla qualità del servizio, così come viene percepito dall'utenza.

2.1 Riduzione dei tempi di formazione del collegamento

Uno degli aspetti cui l'utenza risulta particolarmente sensibile è la rapidità di formazione del collegamento.

Sebbene i tempi di instaurazione della chiamata siano influenzati dal comportamento del chiamante, il CCS#7 ha contribuito notevolmente alla loro riduzione. La maggior efficienza del sistema di Segnalazione a Canale Comune si ottiene con l'adozione di due principi distinti:

- l'utilizzo di messaggi e non di segnali;
- la selezione in blocco.

Innanzitutto, nel sistema CCS#7, si ha una fusione dei criteri di linea ed i criteri di registro; infatti viene a mancare un criterio di "Impegno" distinto dalla

(*) Sig. Gianfranco Bertocchi, ing. Donatella Del Giudice, ing. Nicola Iannacone, ing. Pierluigi Pianigiani, ing. Marco Vogni, -Telecom Italia, Direzione Territoriale Rete Centro Nord, Esercizio- Bologna

Selezione, presente invece nel sistema CAS. Tuttavia, questo contributo è decisamente limitato rispetto alle possibilità offerte dalla selezione in blocco.

Il sistema CCS#7 consente infatti di inviare a valle tutte o, comunque, una parte delle cifre di selezione in un unico messaggio IAM; il messaggio IAM del CCS#7 consente quindi, al tempo stesso, di impegnare la giunzione desiderata e di far giungere a valle le cifre di selezione. Utilizzando queste possibilità, la riduzione dei tempi di instaurazione diventa significativa, rispetto ad un sistema CAS di tipo MFN o, in misura ancora maggiore, di tipo 2vv/1vv (2 vie per verso/1 via per verso).

2.1.1 Risultati

Come illustrato in fig. 1, i tempi di instaurazione hanno subito una drastica diminuzione passando da un sistema di segnalazione all'altro⁽¹⁾.

Prendendo, dalle misure di traffico, un campione di 15851 chiamate distribuite su giunzioni controllate da un Sistema di Segnalazione Associata (2vv/1vv) e 12196 chiamate su giunzioni controllate da un Sistema di Segnalazione a Canale Comune (TUP_N), si sono calcolati i tempi medi di instaurazione⁽²⁾ per tutte le chiamate che hanno ricevuto il criterio di "Fine Selezione".

Poiché la segnalazione utente-centrale risente del comportamento del chiamante, che influenza pesantemente i tempi di formazione del collegamento, sono stati estratti i dati relativi alle chiamate originate esclusivamente da utenza in possesso di apparecchi telefonici di tipo DTMF. In fig. 1 è possibile vedere come l'utilizzo di questo dispositivo contribuisca a ridurre ulteriormente l'overhead della chiamata. E' necessario evidenziare, però, che mentre la seconda e la quarta barra sono riferite a traffico originato da utenza DTMF, la prima e la terza sono riferite a traffico originato da utenza mista, con apparecchi sia DTMF che decadici.

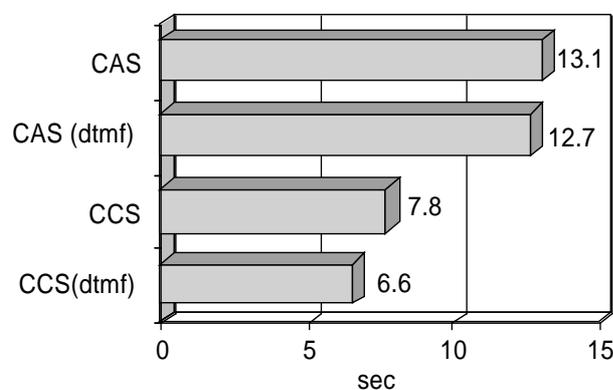


Figura 1 Tempi medi di instaurazione

2.2 Maggiore protezione contro gli errori nel trasferimento dei criteri

Rispetto ai sistemi CAS, il CCS#7 presenta una protezione intrinseca contro errori trasmissivi, che possono causare perdita o simulazione di criteri.

I disturbi introdotti sui portanti provocano effetti più sensibili sui sistemi CAS, in modo particolare per sistemi a segnalazione tipo 1vv, dove la presenza di microinterruzioni o di picchi di rumore può portare alla perdita di criteri. Questa sensibilità ai disturbi si traduce in errori di selezione o svincoli di chiamate, che incidono profondamente sulla qualità percepita dal cliente.

Al contrario, nel caso del CCS#7, i cui link di segnalazione sono a tutti gli effetti delle linee dati a 64 kb/s, la presenza di un protocollo di livello 2 permette di cautelarsi contro perdita o simulazione di criteri: un eventuale messaggio perduto viene ritrasmesso; ciò fa sì che i messaggi accettati siano corretti con elevatissima probabilità.

Per non perdere in efficienza, quando su un link si rileva un tasso di errore troppo elevato, che causerebbe continue ritrasmissioni dei messaggi, questo viene messo fuori servizio e tutto il traffico di segnalazione viene dirottato su un secondo link, senza alcun disservizio per la telefonia.

Occorre sottolineare che, sebbene il CCS#7 consenta una protezione dagli errori di segnalazione anche con tassi di errore relativamente alti, è comunque preferibile mantenere uno standard di qualità dei mezzi trasmissivi più elevato di quello richiesto per sistemi CAS; da ciò conseguono indubbi vantaggi in termini di qualità del servizio fornito.

2.2.1 Risultati

Prove sperimentali, i cui risultati sono riportati di seguito ed illustrati in fig. 2 ed in fig. 3, hanno dimostrato che il tasso di errore massimo permesso su un link di segnalazione CCS#7 è di circa $3 \cdot 10^{-5}$, oltre il quale questo viene messo fuori servizio, senza perdita di messaggi, dopo un tempo che dipende dal tasso di errore ed, in ultima analisi, anche dal traffico di segnalazione.

Al contrario, su sistemi CAS, BER appena oltre 10^{-5} già introducono apprezzabili errori di segnalazione, mentre il relativo flusso PCM viene messo fuori servizio solo per BER più elevati, attorno 10^{-3} . Ciò significa che sui sistemi CAS vengono introdotti errori molto prima che l'autocommutatore consideri non disponibili le giunzioni.

(1) Esempi di chiamate utilizzando giunzioni controllate da segnalazione di tipo MFN non sono disponibili, in quanto tale sistema non ha trovato applicazione nella realtà del nostro territorio.

(2) Il tempo di instaurazione è stato calcolato come intervallo tra l'impegno ed il Fine Selezione.

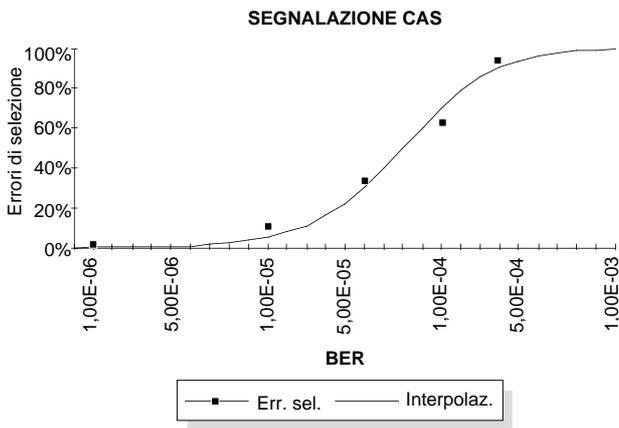


Figura 2 Percentuale di chiamate con errori di selezione (segnalazione CAS)

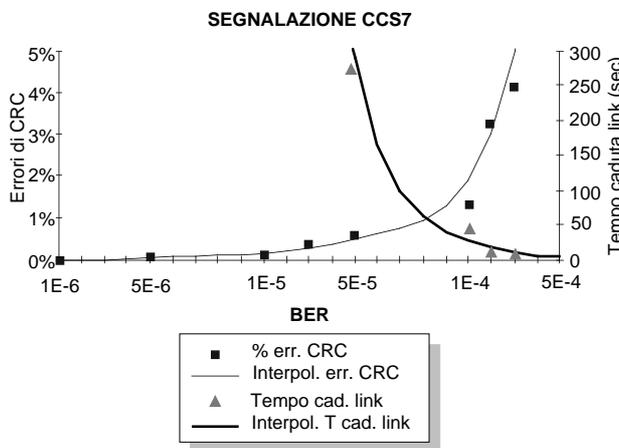


Figura 3 Percentuale di unità di segnalazione errate e tempi di caduta del link (segnalazione CCS#7)

3. Ottimizzazione delle risorse di rete

Obiettivo di un gestore di telecomunicazioni è di ottimizzare l'uso delle risorse di rete, eventualmente traendo vantaggio da sistemi di segnalazione che consentano di ridurre al minimo i tempi di overhead della chiamata.

In questa ottica, due sono gli aspetti della chiamata che occorre esaminare:

- l'instaurazione;
- il rilascio.

In entrambi questi aspetti, l'adozione della Segnalazione a Canale Comune ha comportato notevoli vantaggi rispetto alla Segnalazione Associata con una significativa riduzione di tali tempi di overhead.

Nell'ipotesi di ridurre al minimo i tempi di instaurazione e di rilascio, il tempo di occupazione della

rete da parte di un utente tende a coincidere con il tempo di conversazione; si ottiene così il considerevole vantaggio di una riduzione delle risorse necessarie, con una conseguente diminuzione dei costi a parità di servizio offerto.

3.1 Riduzione dei tempi di occupazione delle risorse di rete nella fase di instaurazione

Gli aspetti relativi all'instaurazione della chiamata sono stati trattati nel precedente punto. Dai risultati ricavati dalle misure di traffico è emerso che, sulle giunzioni controllate dal CCS#7, si ha mediamente un risparmio di circa 6 secondi sul tempo di occupazione delle risorse.

3.2 Riduzione dei tempi di occupazione delle risorse di rete nel caso di chiamate non andate a buon fine

Molto interessanti appaiono anche i vantaggi introdotti dal sistema CCS#7 dal punto di vista del rilascio della chiamata, in modo particolare per chiamate non andate a buon fine.

Con i sistemi CAS, la centrale che determina il rilascio, indipendentemente dalla causa, deve fornire all'utente chiamante un tono che permetta di riconoscere il fallimento della chiamata. Ciò significa che il circuito telefonico, instaurato fino a tale centrale, resta impegnato finché l'utente, riconoscendo il tono di congestione o di occupato, non decide di riagganciare: solo allora, il treno viene svincolato e le risorse liberate.

La situazione tipica in cui avviene questo inutile impegno di risorse è la chiamata verso utente occupato. In questo caso, la chiamata deve comunque arrivare fino alla centrale terminale (l'unica che conosce lo stato dell'utente chiamato), la quale è responsabile di applicare il tono di occupato a ritroso.

Al contrario, con l'adozione della Segnalazione a Canale Comune, grazie alle maggiori possibilità espressive di tale sistema, si invia a ritroso un messaggio che specifica la causa di fallimento della chiamata (SSB, UNN, NNC, ecc.). Poiché tale messaggio arriva fino alla centrale di origine, non è più necessario che il tono verso il chiamante sia fornito dalla centrale terminale, in quanto è possibile applicarlo direttamente dalla centrale di origine, visto che già da quel punto si conosce la causa di fallimento della chiamata, consentendo quindi la liberazione del treno telefonico senza ulteriore occupazione di risorse di rete.

(3) I tempi di riaggancio del chiamante sono calcolati come differenza tra il Fine Selezione e il Riaggancio.

3.2.1 Risultati

Si è considerato un campione di 15851 chiamate distribuite su giunzioni controllate da Segnalazione Associata. Di queste 3756 non sono andate in conversazione, pur avendo ottenuto il criterio di *Fine Selezione*. A causa della scarsa espressività del sistema CAS non è possibile sapere quante di queste mancate conversazioni siano dovute ad un "Libero Non Risponde" (LNR) e quante invece ad altre cause, quali "Occupato", "Congestione", "Numerazione Inesistente" o altro.

Analizzando, però, la distribuzione dei tempi di riaggancio del chiamante⁽³⁾ (vedi fig. 4) è possibile individuare due curve distinte, con buona approssimazione imputabili ai due fenomeni considerati.

E' infatti presumibile che l'utente, udendo il "Tono di Libero" riagganci dopo un tempo decisamente più lungo di quello che lascerà trascorrere udendo un altro tipo di Tono.

Considerando, quindi che con la Segnalazione a Canale Comune, il tono che giustifica il fallimento della chiamata può essere applicato dalla centrale cui è attestato il chiamante, si può concludere (vedi fig. 5) che per il 57,33% delle chiamate che non vanno in conversazione si possono liberare le risorse di rete mediamente 4,62 secondi prima di quanto non si possa fare con la Segnalazione Associata.

3.3 Protezione contro i tentativi ripetuti

Per quanto riguarda le chiamate verso numerazioni inesistenti, la presenza di uno specifico messaggio CCS#7 produce un ulteriore vantaggio; infatti, grazie all'utilizzo del messaggio UNN è possibile fornire all'utente una fonia di cortesia che specifica che il numero chiamato è inesistente: in questo modo si evita

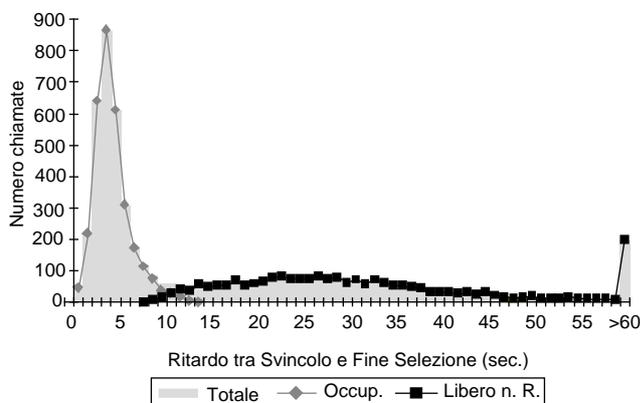


Figura 4 Tempo di occupazione delle risorse di rete successivo al tono di controllo per chiamate non andate in conversazione

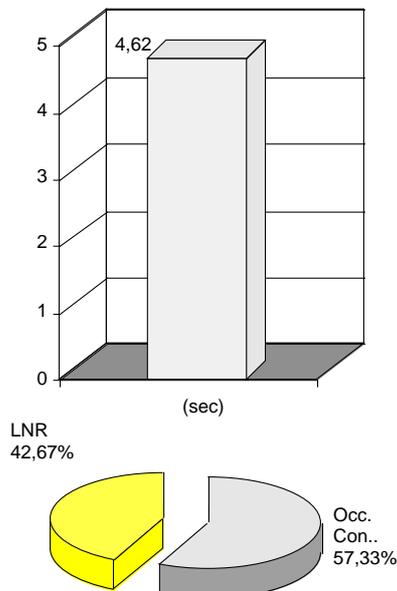


Figura 5 Tempo di occupazione delle risorse di rete risparmiato per chiamate fallite con Tono di Occupato o Congestione

il fenomeno dei tentativi ripetuti da parte dell'utente, il quale non potrebbe sapere che il numero selezionato è sbagliato in mancanza della fonia. Quest'ultimo aspetto cautela il gestore, nei confronti di tentativi di chiamata che comunque risultano infruttuosi, essendo destinati a non entrare mai in conversazione.

3.3.1 Risultati

Analizzando il traffico su una giunzione controllata in Segnalazione a Canale Comune (TUP_N), si è estratto un campione di 33774 occupazioni. Di queste, 329 sono state terminate con il messaggio UNN.

Estrapolando questi dati, si è calcolata la percentuale di occupazioni che, sulle giunzioni controllate da segnalazione CAS, falliscono a causa di tentativi ripetuti verso numerazioni inesistenti.

Da altri campioni si è calcolato che mediamente il chiamante, a fronte di un tono di occupato o congestione, ripete la selezione almeno altre 3 volte. Si può quindi calcolare che, nei casi in cui non sia fornito il previsto annuncio di cortesia, il 2,84% delle occupazioni di rete sono destinate a non entrare mai in conversazione perché dirette verso numerazioni inesistenti e potrebbero essere in questo modo evitate.

In base ai risultati ottenuti in precedenza si può concludere che, grazie alla protezione fornita dall'utilizzo del CCS#7 contro i tentativi ripetuti, si ha (vedi fig. 6) un risparmio di 17,72 secondi di occupazione delle risorse di rete sul 2,84% delle chiamate.

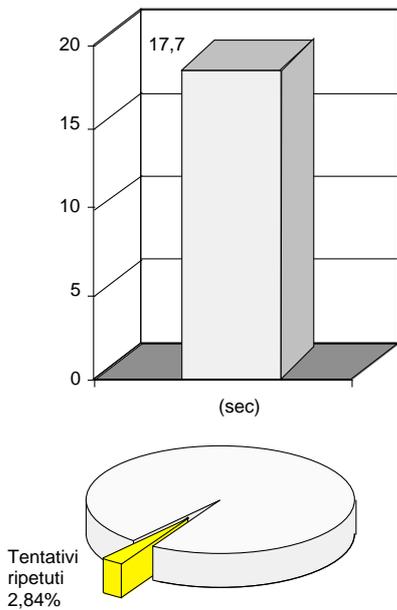


Figura 6 Percentuale di chiamate dirette verso numerazioni inesistenti

3.4 Protezione contro comportamenti anomali del chiamante

Il CCS#7 consente di minimizzare gli effetti del comportamento dell'utente chiamante. Gli autocommutatori numerici, infatti, permettono di separare l'analisi dell'instradamento dall'impegno effettivo della giunzione uscente; grazie a questa caratteristica è possibile impegnare la giunzione uscente solo quando l'utente chiamante ha effettivamente completato la selezione (selezione in blocco).

La fattibilità di questa metodologia è, però, vincolata all'impiego di un sistema di segnalazione sufficientemente veloce; quindi non può essere applicata nel caso di segnalazione uscente di tipo CAS. Infatti i tempi imposti da questo sistema sono tali che, evitando la sovrapposizione fra selezione d'utente e selezione verso valle, si introducono ritardi inaccettabili, con un evidente degrado della qualità percepita dal cliente.

L'adozione della selezione in blocco consente di ottimizzare l'impegno delle risorse di rete, poiché tutti i casi di selezione incompleta (riagganci o time-out di intercifra) non portano all'inutile impegno di circuiti. Purtroppo, la realtà attuale non consente di applicarla in modo completo, per varie difficoltà che si possono ricondurre a due caratteristiche della nostra rete telefonica:

- rete di segnalazione di tipo misto (CCS+CAS) a causa della presenza di impianti analogici;
- numerazione di tipo aperto.

Il primo aspetto limita in partenza l'applicabilità di questa strategia. Inoltre, l'esistenza di numerazioni di tipo aperto (a 6, 7 o 8 cifre + indicativo distrettuale), come anche la presenza di Gruppi a Numerazione Ridotta (GNR), rende necessario analizzare la selezione in maniera più fine, per

determinare il numero di cifre attese per un corretto impegno: ciò comporta, in particolar modo per numerazioni interdistrettuali, una ulteriore complicazione dei dati di analisi e di instradamento, con le conseguenti difficoltà di controllo, modifica e manutenzione degli stessi.

Attualmente la selezione in blocco viene applicata unicamente per le chiamate verso rete radiomobile (rete di segnalazione completamente a Canale Comune e numerazione di tipo chiuso) e per le chiamate distrettuali (non ancora completamente). Nei rimanenti casi si cerca comunque di massimizzare il numero di cifre presenti nel messaggio IAM iniziale.

3.4.1 Risultati

Si è analizzato un campione di 26006 chiamate urbane in un'area con numerazione a 6 cifre e segnalazione di tipo CAS; di queste 555 sono state svincolate dall'utente prima di avere terminato la selezione.

E' stato quindi calcolato che, in questi casi di selezione incompleta, si è avuto una occupazione di risorse media di 9,56 secondi che si sarebbe potuta evitare utilizzando la selezione in blocco (vedi fig. 7).

3.5 Utilizzo più efficiente delle risorse di rete

Nei paragrafi precedenti si sono approfonditi i vari aspetti del trattamento della chiamata che hanno tratto vantaggio dall'utilizzo del CCS#7.

La somma di questi contributi si può riassumere in un utilizzo più efficiente delle risorse di rete.

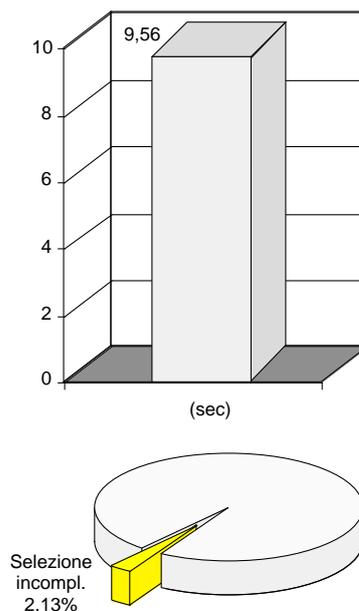


Figura 7 Percentuale di chiamate con selezione incompleta

3.5.1 Risultati

Il fattore di efficienza (E), definito come rapporto tra durata delle conversazioni e durata delle occupazioni, $E = DC/DO$, è, infatti, influenzato certamente dal comportamento dell'utenza ma soprattutto dal sistema di segnalazione presente in rete. In particolare è possibile esprimere il fattore E mediante la seguente formula:

$$E = \frac{T_c \cdot ASR}{(T_b + T_c) \cdot ASR + T_a \cdot (1 - ASR)}$$

dove:

ASR = Answer Seizure Ratio, rapporto tra il numero di conversazioni ed il numero di occupazioni;

T_a = Tempo medio di impegno per un tentativo non andato in conversazione;

T_b = Tempo medio di impegno che precede una conversazione;

T_c = Tempo medio di una conversazione.

L'introduzione della segnalazione CCS#7, tende a ridurre i tempi T_a e T_b , migliorando il fattore di efficienza E , come illustrato in fig. 8.

Per ottenere questi dati, sono stati utilizzati gli stessi campioni di chiamate relative al paragrafo 2.1.1.

3.6 Utilizzo del TS16

Ancora nell'ottica di ottimizzare l'uso delle risorse, non si deve dimenticare che il concetto stesso di Canale Comune permette di evitare l'occupazione di un canale di segnalazione a 64 Kb/s per ogni flusso, necessario nel Sistema a Canale Associato. Il passaggio dal CAS al CCS ha consentito il riutilizzo del 16° time slot su tutti i flussi del fascio (a parte le prime due dove sono presenti i link di segnalazione), aumentando la consistenza delle giunzioni foniche praticamente a costo zero.

3.6.1 Risultati

Nel nostro territorio, nella fase di trasformazione della segnalazione da CAS a CCS#7, grazie al recupero del TS16, si è avuto un incremento di terminazioni di giunzioni pari a 3555, nel 1993, e 3907, nel 1994, che corrispondono ad un incremento percentuale del 2,19% e 2,41% rispettivamente (vedi fig. 9) tenendo presente che al massimo potrà essere raggiunto il valore asintotico di 3,3%.

4. Nuove prestazioni per il gestore

Dal punto di vista del gestore della rete di telecomunicazioni le già citate caratteristiche del CCS#7 trovano nuove applicazioni.

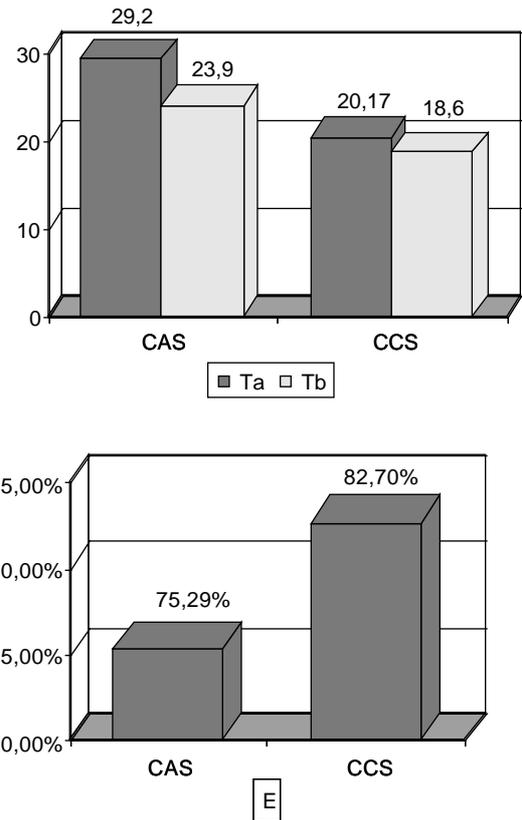


Figura 8 Confronto del Fattore di Efficienza, T_a e T_b

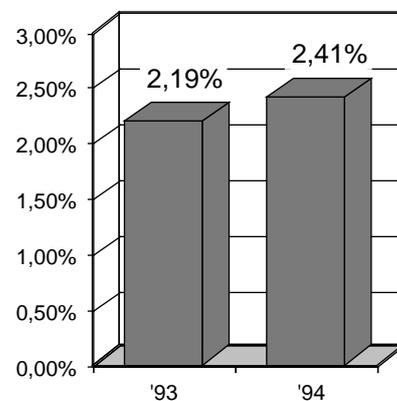


Figura 9 Incremento percentuale di terminazioni di giunzioni

Le possibilità di rendere sempre più efficace la supervisione ed il controllo della rete sono praticamente illimitate, a cominciare dalla maggiore espressività sulle cause di fallimento della chiamata fino alla possibilità di aprire un vero e proprio dialogo di tipo informatico fra i vari nodi della rete.

Sebbene, attualmente, si sia appena avviato l'utilizzo di tali applicazioni già si sono ottenuti alcuni considerevoli vantaggi.

4.1 Monitoraggio della rete grazie alla maggiore espressività sulle cause di fallimento della chiamata

La manutenzione della rete telefonica necessita di strumenti che forniscano informazioni sempre più dettagliate circa la localizzazione dei problemi, al fine di velocizzare la risoluzione degli stessi.

4.1.1 Risultati

Si consideri ad esempio il problema evidenziato recentemente dal fascio CCS#7 fra un SGU ed un SGT regionali che presentava un TER molto basso. Tale valore era causato da un significativo numero di chiamate con messaggio a ritroso NNC (National Network Congestion), come illustrato in fig. 10.

La disponibilità di tale messaggio ha permesso di indirizzare la ricerca del guasto. Si è così individuata la congestione in SGT, causata dal sovraccarico di alcuni processori, che non erano in grado di gestire il carico offerto dalla telefonia unitamente al carico delle misure a campionamento. Se lo stesso fascio fosse stato CAS, avremmo riscontrato un abbassamento del TER probabilmente non sufficiente a superare la soglia di attenzione, poiché nel calcolo dell'indice sarebbero state conteggiate esclusivamente le chiamate con Fine Selezione e numerazione incompleta (l'SGT, che generava la congestione, avrebbe restituito il criterio di Fine Selezione anche per le chiamate da lui stesso bloccate). Anche una verifica a posteriori sul Tono di Congestione, essendo fornito in seguito a varie situazioni (congestione, raggiunta numerazione inesistente, guasto d'utente, utente incapsulato, ecc.) non avrebbe permesso di discriminare il tipo di problema.

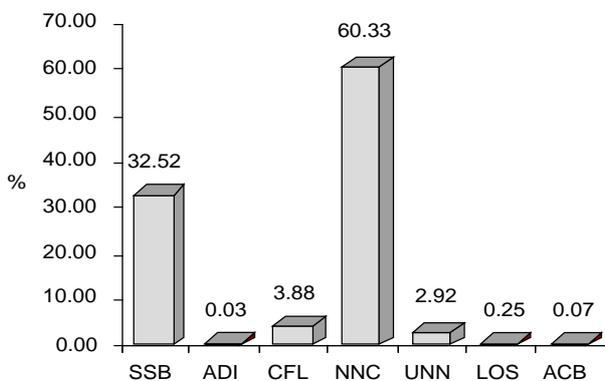


Figura 10 Distribuzione percentuale delle cause di fallimento della chiamata nel caso citato

4.2 Visibilità del traffico

La maggiore espressività del Canale Comune permette anche di analizzare il comportamento dell'utente, sia chiamante che chiamato. In particolare, per quanto riguarda il chiamato, essendo disponibili 3 tipi di Fine Selezione (indifferenziato, occupato, libero) è possibile determinare, a fronte dell'abbassamento del TEO (Tasso di efficacia del chiamato) la quota parte dovuta ad utenti occupati e quella ad utenti liberi (messaggi di Canale Comune SSB ed ACM 1). Tale suddivisione permette di indirizzare le offerte da proporre al cliente, quali il servizio di "Avviso di Chiamata" o di segreteria telefonica.

4.3 Esercizio e manutenzione

Gli aspetti principali possono essere sintetizzati nei punti seguenti:

- semplificazione dell'hardware;
- semplificazione della ricerca guasti;
- adozione di un unico sistema di segnalazione;
- visibilità dei flussi trasmissivi.

Innanzitutto, la centralizzazione della logica di segnalazione permette di semplificare l'hardware periferico. In mancanza della doppia conversione messaggio-segnaletto e segnaletto-messaggio, presente nei sistemi CAS, si perde la necessità di avere dei pre-elaboratori periferici, che effettuano la conversione dei criteri fisici in messaggi logici: basta pensare alla segnalazione MFN, che richiede una molteplicità di apparati dedicati, quali filtri, ricevitori ed inviati. La semplificazione dell'hardware comporta una riduzione dei costi di manutenzione, in particolar modo in termini di minore guastabilità.

Inoltre, negli interventi di ricerca dei guasti, il Canale Comune ha sicuramente introdotto dei vantaggi operativi.

Monitorando i due link di segnalazione con opportuna strumentazione, si ha infatti la visibilità completa di tutto il fascio, con la possibilità di stabilire facilmente la giunzione impegnata da una chiamata, su cui eventualmente condurre indagini più mirate.

Al contrario, nel caso di sistemi CAS, per la natura stessa di questo tipo di segnalazione, è necessario monitorare tutti i singoli flussi per avere visibilità dell'intero fascio, con tempi di intervento decisamente più lunghi.

A riguardo del terzo aspetto, è evidente che l'introduzione del Canale Comune ha permesso di adottare un unico standard di segnalazione, sia in ambito distrettuale, che interdistrettuale. Pur in presenza di casi particolari, in cui vi sono implementazioni di marca, che generalmente coincidono con un sottoinsieme dello standard, la segnalazione a Canale Comune permette di superare la precedente "colorazione" delle aree di commutazione, con evidenti vantaggi dal punto di vista della professionalità del personale tecnico e della

capacità di interventi correttivi.

Per quanto concerne l'ultimo punto, già l'introduzione in rete di autocommutatori numerici aveva reso possibile un valido controllo della qualità della rete trasmissiva analizzando gli allarmi dei flussi PCM (EPAT, FAT, MIR, AIS, etc...), sicuramente esaustivo per la qualità della fonia.

L'utilizzo della rete per prestazioni evolute, tipicamente l'ISDN, richiede un monitoraggio più puntuale per rilevare anche le anomalie che non fanno intervenire le soglie di allarme del flusso PCM; analizzando le informazioni fornite dal livello 2 del protocollo CCS#7, che dal punto di vista pratico è una linea dati a 64 kb/s è possibile ottenere un monitoraggio più approfondito.

A livello 2 Mbit/s l'osservazione è limitata ai flussi sede dei due link di segnalazione; però nell'ambito della direttrice viene comunque controllata la SOL (Sezione Omogenea di Linea), cioè il portante trasmissivo e le terminazioni di linea con più alto ordine gerarchico. Il flusso a 2 Mbit/s utilizzato dal CCS#7, infatti, subisce i vari passaggi di multi/demultiplazione (salti di gerarchia) previsti dalla rete trasmissiva per raggiungere l'altra terminazione della relazione; è quindi possibile analizzare la qualità della tratta numerica che nel collegamento fra due località ha la gerarchia PCM più alta.

4.4 OMUP in FACE

La possibilità di implementare parti applicative ad-hoc, quali OMUP, su un sistema di trasporto affidabile costituito da MTP e SCCP, consente di utilizzare la Rete di Segnalazione per scopi che vanno oltre la semplice telefonia, sfruttandone l'affidabilità e la capillare diffusione.

Nella politica di centralizzazione delle attività di Esercizio e Manutenzione è indispensabile remotizzare i terminali d'operatore, fare la supervisione degli allarmi e raccogliere i dati d'esercizio (contatori utenti, documentazioni addebiti e misure).

In misura diversa per le varie tecniche di autocommutatori, tutte queste prestazioni sono attualmente ottenute con le parti applicative della Segnalazione a Canale Comune: la possibilità di sfruttare le caratteristiche e gli stessi portanti della rete di segnalazione ha permesso di ottenere queste prestazioni con costi decisamente inferiori, senza impiego di risorse dedicate.

L'utilizzo della rete di segnalazione per prestazioni di esercizio e manutenzione è sistematico negli impianti di tecnica Alcatel Face 1240, che costituiscono la realtà più diffusa nel territorio della ex DR/ER. Tutte le prestazioni E&M, ovvero supervisione degli allarmi, remotizzazione dei terminali d'operatore e trasferimento dei dati d'esercizio, vengono fornite grazie alle potenzialità del CCS, utilizzando nel dialogo fra centrali la stessa rete di segnalazione usata per la telefonia. In questo caso, risulta vantaggioso per il gestore non dover

predispore risorse dedicate, grazie alla particolare topologia di rete imposta da questo tipo di tecnica, che prevede un elevato numero di impianti Stand-Alone.

Ad ulteriore dimostrazione che l'integrazione fra prestazione d'esercizio e servizi offerti dalla Segnalazione a Canale Comune è completa, va sottolineato che la prestazione DIA (Documentazione Integrale degli Addebiti) nella tecnica Alcatel Face 1240 è stata introdotta con la realizzazione di una parte applicativa per il CCS, chiamata TAXUP (TAXation User Part) che consente la raccolta dalle centrali verso CEM dei cartellini di documentazione di tutte le chiamate, utilizzando direttamente le prestazioni di MTP.

5. Criticità

Oltre ai vantaggi finora citati, offerti dall'impiego del CCS#7, vanno messi in evidenza anche alcune criticità riscontrate durante l'esercizio di tale tipo di segnalazione.

5.1 Introduzione del CCS#7 in rete

L'introduzione in rete del CCS#7 ha comportato sia l'attivazione di nuove direttrici che la trasformazione di fasci già esistenti in CAS. Questo ha reso necessaria una analisi degli instradamenti per applicare, per quanto possibile, la diversificazione sia delle strade che dei tipi di mezzo trasmissivo, relativamente ai percorsi dei due link di segnalazione, al fine di non vanificare l'efficacia del principio di ridondanza.

Ciò ha comportato la necessità di movimentare diversi circuiti per raggiungere l'obiettivo.

5.2 Centralizzazione

Uno degli aspetti critici della Segnalazione a Canale Comune è la centralizzazione del livello 3 che, come noto, gestisce tutta la rete di segnalazione attestata all'autocommutatore.

Nella realtà del nostro territorio si sono avuti due inconvenienti legati a questo aspetto, di cui uno ripetutosi più volte. Tali inconvenienti hanno coinvolto gli SGT di Bologna e Modena isolandoli, per tempi anche apprezzabili (circa mezz'ora), dalla intera rete telefonica.

5.3 Carico elaborativo

Un altro inconveniente emerso dall'impiego del Canale Comune è stato causato dal maggiore carico elaborativo che i processori sono chiamati a gestire quando si arricchisce o modifica il protocollo di segnalazione per implementare nuove prestazioni.

Esempio tipico è stata la recente trasformazione da TUP ad ISUP che, in diversi casi, ha determinato condizioni di sovraccarico con conseguente necessità di sostituire l'hardware con processori più veloci.

5.4 Qualità dei mezzi trasmissivi

Si è già accennato alla maggiore sensibilità dei link di segnalazione, sia al tasso di errore che alle microinterruzioni. Questa criticità ha reso necessaria una verifica sistematica della qualità del portante trasmissivo come attività preliminare alla attivazione del CCS#7.

Le maggiori difficoltà si sono incontrate in alcune tratte su ponte radio con scambio di tipo $N+1$. Nella nostra realtà il triangolo Ferrara-Porto Garibaldi-Ravenna, territorio tipicamente lacustre, è colpito da frequenti fenomeni di fading molto lunghi che coinvolgono sia il ponte in servizio che quello di riserva causando continue microinterruzioni. In questo caso è stato necessario attendere il completamento della posa della fibra ottica prima di attivare il CCS#7.

5.5 Know-how del personale

Il CCS#7 ha reso necessario l'addestramento del personale, che si è trovato a dover affrontare un radicale cambio di mentalità per adattare i tradizionali criteri telefonici ai nuovi concetti di protocollo di segnalazione.

Ciò ha comportato l'organizzazione, a livello regionale, di corsi monografici rivolti a tutto il personale tecnico, relativi sia al nuovo tipo di segnalazione che all'utilizzo della più complessa strumentazione.

6. Conclusioni

La fase iniziale di introduzione del CCS#7 nel nostro territorio può considerarsi ormai pressoché conclusa e, con essa, possono considerarsi risolte tutte quelle problematiche di assestamento, sia di tipo implementativo che di tipo conoscitivo.

Ancora molto lavoro dovrà essere fatto per sfruttare ulteriormente le potenzialità del CCS#7, traendo il massimo vantaggio dall'alto grado di numerizzazione esistente nella nostra rete; ma non vanno dimenticate le criticità ad esso legate, soprattutto riguardo all'aspetto della centralizzazione che, nella prospettiva di una Rete di Segnalazione, può portare ad isolare non una sola direttrice, come già avvenuto, ma potrebbe coinvolgere tutta la rete.

Come è stato illustrato nei punti precedenti, i risultati ottenuti sono comunque più che apprezzabili sotto molteplici punti di vista.

L'utente ha sicuramente gradito l'introduzione di nuovi

servizi, l'utilizzo di annunci di cortesia più mirati e la drastica riduzione dei tempi di instaurazione della chiamata.

Dal punto di vista del gestore, la riduzione dei tempi di overhead della chiamata ha portato ad un risparmio sull'occupazione delle risorse di rete che si traduce in una riduzione di circa il 10% sul numero di giunzioni per fasci di ultimascelta a fronte della variazione di efficienza individuata. Questo aspetto, unitamente ad altre considerazioni di tipo più strettamente impiantistico, si riassume in una notevole ottimizzazione dell'utilizzo delle risorse.

Infine, le sofisticate possibilità di trasferimento di informazioni, offrono ampie prospettive per l'esercibilità della rete, quali il reinstradamento automatico (Automatic Rerouting o Crankback) a seguito della ricezione di criteri di congestione da valle, la possibilità di riservare delle risorse di un fascio uscente ad uno specifico tipo di traffico (Selective Circuit Reservation), la possibilità di deviare il traffico a fronte di situazioni di emergenza (Network Traffic Management).

Acronimi

ACM	Address Complete Message
ADI	ADdress Incomplete
AIS	Alarm Indication Signal
ASR	Answer Seizure Ratio
BER	Bit Error Rate
CAS	Channel Associated Signalling
CEM	Centro di Esercizio e Manutenzione
CCS#7	Common Channel Signalling System n.7
CFL	Call Failure
DTMF	Dual Tone Multy-Frequency
EPAT	Errore sulla Parola di Allineamento Trama
FAT	Fuori Allineamento Trama
IAM	Initial Address Message
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISUP	ISdn User Part
LOS	Line Out of Service
MIR	Mancanza Impulsi Ricezione
MFN	Multifrequenza Nazionale
MTP	Message Transfer Part
NNC	National Network Congestion
OMUP	Operation & Maintenance User Part
PCM	Pulse Code Modulation
SCCP	Signalling Connection Control Part
SSB	SubScriber Busy
TER	Tasso di Efficacia della Rete
TEO	Tasso di Efficacia del Chiamato
TS	Time Slot
TUP	Telephone User Part
UNN	UNallocated Number

Criteria di dimensionamento degli accessi X.25 in Reti Private Virtuali

G. Lofrumento, T. Tofoni (*)

Le reti a commutazione di pacchetto sono da tempo una realtà consolidata nel panorama della trasmissione dati. Esse uniscono ad una notevole flessibilità nel tipo di accessi (che possono essere standard, es. X.25, X.28, etc., e/o basati su architetture di tipo proprietario, es. SDLC IBM), una possibilità di offerta di servizi notevolmente più ampia su altre reti per trasmissione dati (es., reti a commutazione di circuito o reti dedicate).

Uno dei servizi più importanti offerti dalle reti a commutazione di pacchetto, anche in vista dei recenti sviluppi del mercato dell'Outsourcing, è la Rete Privata Virtuale (RPV), che consiste nell'assegnazione, al cliente che ne faccia richiesta, di un insieme di risorse da lui in parte gestibili e controllabili tramite opportuni strumenti Hardware e Software. Il servizio di RPV permette la formazione di vere e proprie reti private di trasmissione dati che utilizzano però come strutture trasmissive e di commutazione quelle della rete pubblica.

La progettazione di una RPV richiede il corretto dimensionamento di tutti gli accessi d'utente costituenti la RPV stessa. Scopo di questo articolo è illustrare sia delle tecniche di dimensionamento basate sui classici risultati dell'Ingegneria del Traffico, che un programma, denominato STARNET, che permette al progettista di eseguire in modo amichevole tutte le fasi del progetto.

1. Introduzione

La progressiva crescita del mercato della trasmissione dati e l'avvento, in questo settore, della deregolamentazione, sta dando un notevole impulso alla razionalizzazione delle metodologie di progetto degli accessi d'utente alle reti a commutazione di pacchetto pubbliche. In particolare, va affrontato con particolare cura il progetto delle Reti Private Virtuali (RPV), ovvero di insiemi di risorse messe a disposizione di un cliente per effettuare trasmissione dati tra varie sedi periferiche.

In questo articolo si tratterà tale problematica solo per reti che adottano la tecnica del circuito virtuale (es. le reti X.25) in quanto sono queste che pongono i problemi più interessanti.

Infatti, mentre nelle reti *datagram* è sufficiente il dimensionamento dei circuiti fisici tra la rete ed il terminale (DTE, Data Terminal Equipment), in reti a circuito virtuale occorre effettuare il dimensionamento:

– a livello *logico*, in termini di numero massimo di

circuiti virtuali per DTE di tipo X.25;

– a livello *fisico*, in termini di numero e velocità delle linee fisiche di accesso X.25.

La distinzione tra livello logico e livello fisico è resa necessaria, per i DTE X.25, poiché su uno stesso circuito fisico di accesso è possibile aprire contemporaneamente più circuiti virtuali.

È da notare che non è necessario dimensionare a livello logico DTE di tipo X.28 in quanto questi hanno la possibilità di aprire un solo circuito virtuale per volta.

Lo stesso vale per DTE di tipo X.32, che pur avendo la possibilità di aprire più circuiti virtuali contemporaneamente, vengono tipicamente commercializzati in configurazione fissa. Inoltre, a livello fisico per DTE X.28 con accesso diretto è sufficiente il solo dimensionamento della velocità trasmissiva della (unica) linea fisica di accesso.

I criteri di dimensionamento proposti utilizzano alcuni classici modelli dell'Ingegneria del Traffico. In questo articolo si focalizzerà l'attenzione sugli aspetti fondamentali tralasciando, per non appesantire la trattazione, alcuni aspetti progettuali minori come la determinazione della *Classe di Throughput* di default e del *Carico Massimo* di linea.

Gli sforzi da effettuare per la progettazione di una

(*) Dott. Giovanni Lofrumento, ing. Tiziano Tofoni -SSGRR-L'Aquila

rete privata virtuale (RPV) risultano proporzionali alla sua complessità e pertanto può risultare essenziale avere degli strumenti automatici che possano agevolare il lavoro del progettista. In questo lavoro viene mostrato uno strumento software, realizzato alla SSGRR, il cui duplice obiettivo è quello di fornire un ausilio per la progettazione di una RPV e di rendere il più agevole possibile tale lavoro. A tale scopo lo strumento software implementa le procedure per effettuare il dimensionamento utilizzando diverse opzioni ed utilizza una interfaccia grafica amichevole che riduce al minimo i tempi di apprendimento e di uso da parte del progettista.

2. Dimensionamento del numero massimo di circuiti virtuali

2.1 Caratterizzazione del traffico offerto

Per affrontare il problema del dimensionamento dei circuiti virtuali che l'utente può attivare contemporaneamente, è richiesta la conoscenza sia del traffico di richieste di connessione (in ingresso ed in uscita) offerto nell'ora di punta dal DTE alla rete e dalla rete al DTE, sia dell'eventuale grado di perdita ammesso (in entrambi i sensi) per ogni DTE.

Il traffico offerto va determinato da dati caratteristici della tipologia di utenza. Qualora questi non siano disponibili si ricorre a valori standard deducibili dal tipo di attività svolta.

Una stima dell'intensità del traffico offerto può essere effettuata conoscendo il numero medio (globale) N_c di connessioni instaurate nell'ora di punta e la durata media di una connessione t_c (espressa in min).

Per definizione, l'intensità del traffico (globale) offerto è espresso dalla seguente relazione (vedi [1], cap. 1, per le definizioni relative all'Ingegneria del Traffico):

$$A = \frac{N_c t_c}{60} \quad (1)$$

Nelle RPV che prevedono più DTE X.25 è necessaria la definizione di una matrice delle intensità dei traffici offerti. Tale matrice ha come elemento (i, j) l'intensità del traffico offerto dal DTE_{*i*} al DTE_{*j*} (si considerano nulli per convenzione tutti gli elementi della diagonale principale della matrice).

Per determinare l'intensità del traffico offerto entrante $A_{i,e}$ ed uscente $A_{i,u}$ dal generico DTE_{*i*} è sufficiente sommare tutti gli elementi della colonna *i*-esima della matrice e, rispettivamente, tutti gli elementi della riga *i*-esima. In realtà, ciò facendo si sovrastima leggermente l'intensità del traffico offerto entrante in quanto si include in questo l'eventuale

traffico rifiutato nell'interfaccia dei DTE_{*j*}, $j \neq i$. L'intensità del traffico offerto entrante nel DTE_{*i*} è infatti:

$$A_{i,e} = \sum_{j \neq i} A_{ji} (1 - B_{j,u}), \quad (2)$$

dove $B_{j,u}$ è la perdita di traffico uscente dal DTE_{*j*}. Poiché normalmente i valori $B_{j,u}$ sono molto piccoli (valori tipici sono 0.01÷0.05) è possibile trascurarli nella (2).

Per meglio chiarire come si determinano le intensità dei traffici offerti da ciascun DTE, si consideri il seguente esempio di RPV costituita da due DTE X.25, denominati rispettivamente DTE₁, DTE₂. Il traffico con il resto degli utenti della rete a pacchetto è simbolicamente descritto da un DTE fittizio che sarà convenzionalmente chiamato *gateway* (GTW) che ovviamente non è oggetto di alcun tipo di dimensionamento (vedi fig. 1).

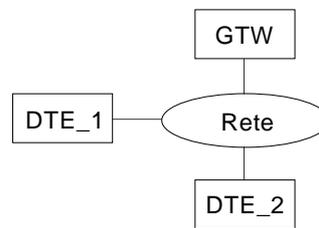


Figura 1 Configurazione della RPV dell'esempio

I dati di traffico sono raccolti nella matrice riportata nella tab. 1, dove la casella (i, j) contiene rispettivamente il numero medio globale di richieste di connessione nell'ora di punta e la durata media della connessione (espressa in min) delle connessioni originate dal DTE_{*i*} e dirette al DTE_{*j*}. L'ultima riga e l'ultima colonna contengono i dati di traffico da e verso il GTW.

	DTE_1	DTE_2	GTW
DTE_1	0	100;6	90;5
DTE_2	30;10	0	300;2
GTW	30;6	100;6	0

Tabella 1 Matrice dei dati di traffico

Da questi dati è possibile ricavare, utilizzando la relazione (1), la seguente matrice dei traffici offerti espressi in erlang:

	DTE_1	DTE_2	GTW
DTE_1	0	10	7.5
DTE_2	5	0	10
GTW	3	10	0

Tabella 2 Matrice dei traffici offerti di relazione espressi in erlang

Dalla tab. 2 è quindi possibile ricavare, per ciascun DTE, la seguente tabella delle intensità dei traffici entranti ed uscenti:

DTE	Entrante	Uscente
1	8	17.5
2	20	15

Tabella 3 Traffici entranti ed uscenti da ciascun DTE

L'intensità del traffico, benché sia il parametro statistico più importante, non permette da sola la completa caratterizzazione del traffico. Quest'ultima si ottiene specificando i modelli (probabilistici) per il meccanismo di generazione e per le durate delle richieste di connessione. Si supponrà nel seguito che il flusso delle richieste di connessione segua il classico *modello di Poisson* mentre non si farà alcuna ipotesi sulle proprietà statistiche delle durate delle connessioni poiché queste non influiscono sul modello adottato per il dimensionamento.

2.2 Criterio di dimensionamento

Per dimensionare il numero dei circuiti virtuali, che a fronte del dato traffico offerto garantiscono all'utente un determinato grado di servizio, è necessario rappresentare il sistema costituito dal DTE e dai circuiti virtuali con un modello matematico.

In particolare, i DTE si possono considerare, nell'ambito del calcolo del massimo numero di circuiti virtuali attivabili contemporaneamente, come sistemi di servizio a *pura perdita*. Tali sistemi funzionano secondo le seguenti modalità: la richiesta avanzata al sistema di servizio, che nel nostro caso consiste in una chiamata, è evasa subito se trova almeno una risorsa disponibile, cioè un circuito virtuale a disposizione; in caso contrario la richiesta viene rifiutata. Nella realtà una richiesta di connessione rifiutata viene tipicamente

riformulata dopo un tempo aleatorio. Il modello ipotizzato considera queste due richieste indipendenti tra loro, ovvero, come se fossero diverse.

Per il calcolo della probabilità di perdita B , che fisicamente rappresenta la *frazione di richieste rifiutate* (per mancanza di circuiti virtuali disponibili), sulla base delle ipotesi modellistiche sul traffico specificate nel paragrafo precedente è possibile applicare la nota *formula B di Erlang*⁽¹⁾:

$$B(N, A) = \frac{A^N / N!}{\sum_{k=0}^N \frac{A^k}{k!}}, \quad (3)$$

dove A è l'intensità del traffico offerto e N è il massimo numero di circuiti virtuali attivabili contemporaneamente.

Per determinare N dalla formula (3) si assumono noti i valori A e B e quindi si risolve in N l'espressione risultante⁽²⁾. A tale scopo la letteratura è ricca di strumenti sia tabellari che software [2].

Per dimensionare il numero di circuiti virtuali è necessario distinguere due differenti casi:

- si hanno a disposizione circuiti virtuali *specializzati* (Incoming Switched Virtual Circuit, ISVC e/o Outgoing Switched Virtual Circuit, OSVC);
- si hanno a disposizione circuiti virtuali *bidirezionali* (Both-ways Switched Virtual Circuit, BSVC).

Nel primo caso, per risolvere il problema del dimensionamento del DTE i -esimo è sufficiente applicare due volte la formula (3) tenendo separati il traffico entrante e quello uscente (eventualmente, qualora lo si desiderasse, con differenti valori di perdita in entrata e in uscita). In termini analitici, indicando con $N_{i,e}$ ed $N_{i,u}$ rispettivamente il numero massimo di circuiti virtuali entranti (ISVC) ed uscenti (OSVC) e con $B_{i,e}$ e $B_{i,u}$ rispettivamente i valori di progetto del grado perdita sul traffico entrante ed uscente, ciò che bisogna fare è determinare i più piccoli valori di $N_{i,e}$ e $N_{i,u}$ tali che siano soddisfatte le due disequazioni:

$$\begin{aligned} B(N_{i,u}, A_{i,u}) &\leq B_{i,u} \\ B(N_{i,e}, A_{i,e}) &\leq B_{i,e} \end{aligned} \quad (4)$$

(1) Si ricorda che per la validità della formula B di Erlang è sufficiente l'ipotesi che il flusso delle richieste di connessione segua un modello di Poisson, che i tempi di interarrivo di tali richieste siano indipendenti dai tempi di servizio e che questi ultimi siano variabili aleatorie indipendenti e equidistribuite. È noto infatti che la formula B di Erlang è invariante rispetto alla distribuzione di probabilità delle durate delle connessioni; queste entrano nella formula B di Erlang solo attraverso il loro valor medio (che insieme alla frequenza degli arrivi determina l'intensità del traffico offerto).

(2) A tale scopo è utile menzionare una semplice relazione ricorsiva che permette il calcolo di $B(N, A)$ per ogni valore intero di N e per $A > 0$. Posto $x_0 = 1$, la relazione è $x_N = 1 + Nx_{N-1}/A$, $N \geq 1$, ove $B(N, A) = 1/x_N$.

Viceversa, nel caso di circuiti virtuali bidirezionali (BSVC) si deve considerare un traffico globale caratterizzato da una intensità:

$$A_i = A_{i,u} + A_{i,e} \tag{5}$$

Indicando con N_i il numero massimo di circuiti virtuali e B_i il valore di progetto della perdita, la disequazione da risolvere per determinare N_i è quindi:

$$B(N_i, A_i) \leq B_i \tag{6}$$

Applicando il metodo esposto alla RPV dell'esempio descritto precedentemente (cfr. fig. 1), prendendo come valori di progetto per i gradi di perdita $B_{i,e} = B_{i,u} = B_i = 0.01$, si ottengono i valori riportati nella tab. 4:

	ISVC	OSVC	BSVC
DTE_1	15	27	36
DTE_2	30	24	47

Tabella 4 Risultati della procedura di dimensionamento a livello logico per la RPV dell'esempio in fig. 1

È possibile anche considerare il caso misto in cui si utilizzano sia circuiti virtuali specializzati che bidirezionali secondo uno schema a *trabocco* in cui i circuiti virtuali bidirezionali ricevono il traffico rifiutato dai circuiti virtuali specializzati. La procedura di dimensionamento è in questo caso relativamente più complessa e fa uso della formula B di Erlang per dimensionare i circuiti virtuali specializzati⁽³⁾ e della formula approssimata di Wilkinson per dimensionare i circuiti virtuali bidirezionali; essa non viene qui riportata per non appesantire l'articolo (è comunque stata implementata nel programma STARNET). È opportuno notare che la procedura di dimensionamento appena esposta potrebbe portare, in certe situazioni, a risultati poco significativi. Si pensi ad esempio di applicarla al caso di un DTE X.25 che al massimo può gestire un solo processo per volta (e quindi in grado di attivare un solo circuito virtuale per volta). Per tale situazione una corretta procedura di dimensionamento dovrebbe dare come risultato $N = 1$. Invece, se ad esempio il traffico generato da questa sola sorgente fosse di 0.3 erlang si otterrebbe $N = 3$, valore

(3) Ad esempio, con un vincolo sul rendimento degli stessi invece che sulla perdita in quanto un eventuale rifiuto di richiesta di connessione da parte dei circuiti virtuali specializzati non provoca la perdita della richiesta bensì il suo trabocco sui circuiti virtuali bidirezionali.

chiaramente ridondante. Per ovviare a questo inconveniente si definisce un valore N_{max} (convenzionalmente chiamato *n.ro di terminali logici*) scelto dal progettista, che limita superiormente il numero massimo di circuiti virtuali attivabili in una interfaccia. Il numero di circuiti virtuali risultanti dal dimensionamento sarà così $\min\{N, N_{max}\}$.

3. Dimensionamento delle linee fisiche

3.1 Caratterizzazione del traffico dati

Prima di descrivere la procedura di dimensionamento delle linee fisiche è necessario caratterizzare il traffico dati generato da ciascun circuito virtuale. In particolare, bisogna porre attenzione al meccanismo di generazione dei pacchetti e alle caratteristiche statistiche della loro lunghezza.

Un singolo circuito virtuale può essere modellato come una sorgente di pacchetti di tipo *burst* (vedi fig. 2) e quindi il meccanismo di generazione dei pacchetti può essere quantificato dai seguenti tre parametri fondamentali, che in generale dipendono dal DTE che origina il traffico (ad esempio DTE_i) e dal DTE che lo riceve (ad esempio DTE_j):

- la frequenza di generazione $\lambda_{p,ij}$ durante i periodi di attività della sorgente (espressa in pacch/s), detta anche frequenza di picco;
- il tempo medio di attività $\tau_{on,ij}$ della sorgente (questo parametro non verrà mai utilizzato nel seguito, ma potrebbe risultare indispensabile qualora si vogliono utilizzare, per il dimensionamento, modelli più sofisticati);
- il tasso di attività α_{ij} , che, indicando con $\tau_{off,ij}$ il tempo medio di inattività della sorgente, è definito come:

$$\alpha_{ij} = \frac{\tau_{on,ij}}{\tau_{on,ij} + \tau_{off,ij}} \tag{7}$$

Si noti che il tasso di attività decresce all'aumentare del rapporto $\tau_{off,ij}/\tau_{on,ij}$. In particolare, esso vale 1 se il tempo medio di inattività è nullo (ovvero, la sorgente è sempre attiva); questo caso può essere utile per modellare traffici in cui il trasferimento dei pacchetti avviene *senza pause*, come ad esempio in un trasferimento file. Tipicamente, un valore strettamente minore di 1 viene utilizzato per modellare traffici interattivi.

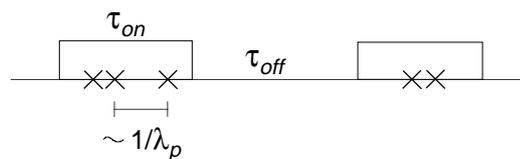


Figura 2 Tipico comportamento di un circuito virtuale attivo

La conoscenza della frequenza di picco e del tasso di attività della sorgente permette di calcolare la frequenza media $\lambda_{m,ij}$ dei pacchetti che la sorgente genera:

$$\lambda_{m,ij} = \alpha_{ij} \lambda_{p,ij}. \quad (8)$$

Nella realtà, normalmente a ciascuna linea fisica arriva un flusso di pacchetti che è il risultato della sovrapposizione di un numero finito di sorgenti di traffico del tipo appena descritto. La caratterizzazione di un tale flusso di arrivi è un problema alquanto complesso ed a tutt'oggi ancora oggetto di studio (vedi ad esempio tutti i lavori che riguardano i modelli analitici per valutare le prestazioni di multiplatori ATM). In questo lavoro abbiamo adottato una semplificazione consistente nel considerare il flusso totale degli arrivi di tipo *Poissoniano*. Questa semplificazione ha una sua giustificazione teorica in quanto si può dimostrare, sotto certe ipotesi, che la sovrapposizione di un elevato numero di sorgenti di traffico (anche eterogenee, ovvero caratterizzate da parametri diversi) ciascuna caratterizzata da una frequenza di emissione dei pacchetti molto piccola, costituisce approssimativamente un processo di Poisson. La frequenza globale che caratterizza il processo di Poisson si ricava immediatamente dai parametri caratteristici delle singole sorgenti. Indicando con $(\lambda_{p,i}; \alpha_i)$, i parametri caratteristici di m_i sorgenti omogenee ed ipotizzando M gruppi di sorgenti, la frequenza media globale risulta essere:

$$\lambda = \sum_{i=1}^M m_i \alpha_i \lambda_{p,i}. \quad (9)$$

Per completare la caratterizzazione del traffico dati è necessario descrivere statisticamente, tramite una distribuzione di probabilità oppure, in modo approssimato, tramite un insieme finito di parametri, la lunghezza dei pacchetti. Si adatterà nel seguito una descrizione approssimata basata sul valor medio l_{ij} e sul coefficiente di variazione CV_{ij} .

Si ricorda che il coefficiente di variazione è una misura della variabilità dei valori assunti da una grandezza aleatoria. Esso è definito come rapporto tra deviazione standard e valor medio. Più tale valore è grande più è elevata la variabilità della grandezza. In particolare, il coefficiente di variazione è nullo per grandezze deterministiche ed assume valore unitario per grandezze aleatorie caratterizzate da una distribuzione *esponenziale negativa*.

Questo completa la caratterizzazione del traffico dati. Un problema importante lasciato aperto è la determinazione (o meglio, stima) dei parametri caratteristici sin qui citati. Questo è un problema essenzialmente statistico che esula dallo scopo di questo articolo. Comunque, mentre stimare i parametri statistici associati alla lunghezza dei pacchetti (ovvero, lunghezza

media e coefficiente di variazione) è cosa relativamente agevole, la stessa cosa non si può dire per la stima della frequenza media (globale) dei pacchetti che interessa le linee fisiche. Quest'ultimo problema è un po' più delicato e ad esso si dedicherà il paragrafo successivo.

3.2 Stima della frequenza media dei pacchetti

È importante notare che il dimensionamento delle linee fisiche va basato su una scala temporale più piccola di quella considerata per il dimensionamento dei circuiti virtuali. Infatti, mentre nel caso del dimensionamento a livello logico le richieste di servizio sono costituite dalla connessione virtuale, e quindi il fenomeno va analizzato su un'ampia scala temporale (dell'ordine dell'ora), per il dimensionamento fisico le richieste sono costituite dai pacchetti dati, i quali sono generati solo quando il circuito virtuale è attivo; ciò implica che la scala temporale su cui analizzare il fenomeno è dell'ordine della durata della connessione virtuale, ovvero, dell'ordine dei minuti.

Conseguenza pratica fondamentale di questo ragionamento è che per il dimensionamento fisico è possibile considerare *costante* il numero di circuiti virtuali contemporaneamente attivi. Nel seguito si considererà tale costante pari al numero *medio* di circuiti virtuali contemporaneamente attivi, che altro non è, per definizione, che l'intensità del traffico (di connessione) smaltito dal gruppo dei circuiti virtuali⁽⁴⁾.

Per determinare una espressione generale che permetta la stima della frequenza dei pacchetti, è necessario esaminare un po' più da vicino cosa succede quando si apre una connessione virtuale.

Una volta che un circuito virtuale è stato aperto, inizia tra i due corrispondenti (chiamante e chiamato) uno scambio dati che di norma è bidirezionale. L'apertura di un circuito virtuale comporta così l'esistenza di due distinti flussi di pacchetti, uno uscente dal DTE (ovvero, pacchetti generati dal DTE chiamante e diretti verso il DTE chiamato) e l'altro entrante (ovvero, pacchetti generati dal DTE chiamato e diretti verso il DTE chiamante).

La caratterizzazione del traffico dati di un singolo circuito virtuale richiede quindi la caratterizzazione, tramite tutti i parametri indicati nel paragrafo precedente, di entrambi questi flussi di dati. Ciò sarà indicato nel seguito apponendo l'apice (*u*) a tutti i parametri relativi al flusso uscente e l'apice (*e*) a tutti quelli relativi al flusso entrante.

Alla luce di quanto appena detto risulta chiaro che è possibile definire due differenti tipi di frequenze dei

(4) Si ricorda che l'intensità del traffico smaltito A_s è immediatamente ricavabile, una volta noti l'intensità del traffico offerto A e il grado di perdita B , dalla nota relazione $A_s = A(1-B)$.

pacchetti, quella uscente e quella entrante. Per vedere come calcolarle si consideri prima il semplice caso di una RPV costituita da due DTE configurati in gruppo chiuso. Indicando con $A_{s,12}$ e $A_{s,21}$ rispettivamente il numero medio di circuiti virtuali contemporaneamente attivi nella direzione DTE_1DTE_2 e nella direzione DTE_2DTE_1, la frequenza dei pacchetti uscenti dal DTE_1 è dovuta alla sovrapposizione di due flussi di pacchetti, il primo costituito dai pacchetti che il DTE_1 genera ogniqualvolta apre una connessione verso il DTE_2, il secondo costituito dai pacchetti generati come risposta dal DTE_1 ogniqualvolta il DTE_2 apre una connessione verso il DTE_1 (si rammenta che lo scambio dati è bidirezionale!). Quindi, con ovvie notazioni si ha:

$$\lambda_1^{(u)} = \lambda_{12}^{(u)} A_{s,12} + \lambda_{21}^{(e)} A_{s,21}, \quad (10)$$

mentre per la frequenza entrante vale il viceversa:

$$\lambda_1^{(e)} = \lambda_{12}^{(e)} A_{s,12} + \lambda_{21}^{(u)} A_{s,21}. \quad (11)$$

Per il DTE_2 valgono relazioni analoghe (che si ottengono semplicemente scambiando i pedici 12 con 21 e viceversa).

Il ragionamento può essere facilmente esteso al caso di N DTE. Con ovvie notazioni, si hanno, relativamente al DTE_ i , le seguenti espressioni generali:

$$\lambda_i^{(u)} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \lambda_{ij}^{(u)} A_{s,ij} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \lambda_{ji}^{(e)} A_{s,ji}, \quad (12)$$

$$\lambda_i^{(e)} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \lambda_{ij}^{(e)} A_{s,ij} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \lambda_{ji}^{(u)} A_{s,ji}. \quad (13)$$

3.3 Criteri di dimensionamento

Anche per le linee fisiche, il passo preliminare per affrontare il problema del loro dimensionamento è la definizione di un modello matematico. A tale scopo è sufficiente notare che ogni linea fisica può essere pensata come due sistemi a coda indipendenti, uno per la trasmissione dei pacchetti uscenti, l'altro per la trasmissione dei pacchetti entranti (vedi fig. 3), dotati di una coda (memoria) che si può assumere di capacità infinita, e di una velocità di servizio identica e pari alla velocità del canale trasmissivo.

Da un punto di vista modellistico, ogni linea fisica (su porta di tipo full-duplex) può essere quindi vista come due sistemi di servizio indipendenti a servente singolo con coda infinita.

La procedura di dimensionamento delle linee fisiche segue la seguente filosofia:

- 1) si fissa una velocità di linea ammissibile (es., nella rete ITAPAC 2.4, 4.8, 9.6, 19.2, 48, 64 kbit/s);
- 2) si determina il carico dati complessivo (espresso in erlang) generato da tutti i DTE;

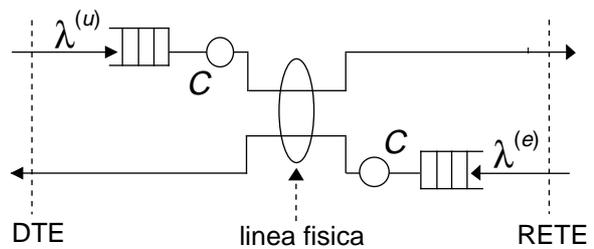


Figura 3 Modello di una linea fisica di accesso

- 3) in base al carico complessivo, si determina un numero minimo di linee necessarie per far fronte a tale carico senza incorrere in problemi di instabilità delle code (ovvero, esplosione delle stesse);
- 4) si ripartisce il carico generato dai terminali sulle varie linee fisiche e quindi si determina la linea fisica soggetta al carico più elevato;
- 5) si verifica se la linea fisica determinata nel punto precedente soddisfa una predefinita specifica sul grado di servizio (ad esempio, tempo medio di attesa in coda minore od al più uguale ad un valore predefinito); in caso di risposta affermativa si termina la procedura di dimensionamento, altrimenti si aumenta di una unità il numero delle linee fisiche e quindi si ritorna al punto 4).

L'intera procedura può essere ripetuta variando la velocità della linea fisica. Ciò permette di ottenere un insieme di soluzioni, una per ciascuna velocità. La scelta della soluzione finale va fatta tenendo conto di criteri di economicità, di disponibilità di apparati, etc.

Si cercherà ora di analizzare in dettaglio i vari punti della procedura di dimensionamento.

Il carico complessivo generato dai terminali si determina sommando i carichi generati da ciascun circuito virtuale attivo. Ogni circuito virtuale attivo nella direzione DTE_ i DTE_ j genera in uscita dal DTE_ i ed in entrata al DTE_ j , un carico:

$$r_{ij}^{(u)} = \lambda_{ij}^{(u)} \frac{l_{ij}^{(u)}}{C_i}, \quad (14)$$

mentre in uscita dal DTE_ j ed in entrata al DTE_ i , un carico:

$$r_{ij}^{(e)} = \lambda_{ij}^{(e)} \frac{l_{ij}^{(e)}}{C_i}. \quad (15)$$

Il carico complessivo in uscita dal generico DTE_ i è quindi:

$$r_i^{(u)} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N r_{ij}^{(u)} A_{s,ij} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N r_{ji}^{(e)} A_{s,ji}, \quad (16)$$

mentre quello in entrata è:

$$r_i^{(e)} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N r_{ij}^{(e)} A_{s,ij} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N r_{ji}^{(u)} A_{s,ji}. \quad (17)$$

Il numero minimo di linee fisiche necessario a far fronte a questo carico deve, per motivi di stabilità dei sistemi a coda, soddisfare la condizione:

$$N_{f,i} > \max\{r_i^{(u)}, r_i^{(e)}\} = r_i, \quad (18)$$

Una volta stabilito il numero minimo delle linee fisiche, si deve ripartire il carico sulle stesse. La ripartizione può essere fatta in modo arbitrario purché siano rispettati i vincoli fisici di stabilità, ovvero, il carico offerto a ciascuna linea fisica deve essere strettamente inferiore ad uno. Un criterio potrebbe essere quello di ripartire il carico sulle varie linee fisiche nel modo più uniforme possibile.

La soluzione di questo problema è tutt'altro che banale, in quanto risulta essere un problema di ottimizzazione combinatoria. Esistono in letteratura algoritmi che permettono la sua soluzione in modo approssimato ma sono tutti molto complessi.

Un modo per ovviare alla soluzione del problema di ottimizzazione combinatoria e comunque ottenere una buona soluzione è quello di ripartire in modo *uguale* il carico sulle linee fisiche. Così facendo, si ipotizza che la generica linea fisica riceva un carico pari a (si ometterà nel seguito per semplicità il pedice relativo al DTE in esame):

$$\rho = \frac{\max\{r^{(u)}, r^{(e)}\}}{N_f} = \frac{r}{N_f}. \quad (19)$$

Una volta ripartito il carico si deve controllare se la generica linea fisica soddisfa la specifica sul grado di servizio. Questa, data la natura del sistema a coda, deve in qualche modo interessare il tempo di attesa in coda, che deve essere sufficientemente piccolo.

Un criterio per definire la specifica sul grado di servizio potrebbe essere quello di imporre che il tempo medio di attesa in coda non superi un valore prefissato W_{max} , ovvero, utilizzando le notazioni standard della teoria delle code [1]:

$$E[W] \leq W_{max}, \quad (20)$$

Questo modo di procedere ha il vantaggio della semplicità in quanto richiede il solo calcolo del tempo medio di attesa in coda, per cui sono accessibili, almeno per i modelli più noti, formule esatte. D'altra parte, non si impone con questo criterio nessun vincolo sulla varianza del tempo d'attesa in coda, che quindi potrebbe risultare inaccettabilmente grande.

Per ovviare a questo inconveniente si potrebbe adottare un criterio (più stringente) che impone un vincolo sulla distribuzione del tempo d'attesa. Ad esempio, si potrebbe imporre che la probabilità che il tempo di attesa in coda sia inferiore ad un certo valore t_α sia superiore ad α con t_α e α valori prefissati.

Ciò si traduce formalmente nel criterio:

$$F_W(t_\alpha) = P\{W \leq t_\alpha\} \geq \alpha. \quad (21)$$

Il criterio appena descritto richiede però la conoscenza dell'intera distribuzione del tempo di attesa in coda (e quindi non del solo tempo medio d'attesa) che purtroppo per molti modelli non è nota.

Nel caso che qui si sta studiando, la maggiore difficoltà nell'applicazione del criterio (20) sta nel fatto che i tempi di trasmissione dei pacchetti hanno una distribuzione non nota a priori in quanto è nota solo in modo empirico la distribuzione della loro lunghezza. Ciò implica che il modello di sistema a coda da utilizzare è il modello M/G/1, ovvero un modello caratterizzato da un flusso degli arrivi Poissoniano (vedi par. 3.1), tempi di servizio che hanno distribuzione generica, un unico servente (il canale trasmissivo) e capacità della coda infinita.

Per il modello M/G/1 è nota la formula del tempo medio d'attesa in coda (formula di Pollaczek-Khintchine):

$$E[W] = \frac{\lambda E[H^2]}{2(1-\rho)} = E[H] \frac{\rho(1+CV^2)}{2(1-\rho)}, \quad (22)$$

dove $E[H]$ e $E[H^2]$ sono rispettivamente il primo e il secondo momento della distribuzione del tempo di servizio, mentre CV è il coefficiente di variazione (rapporto tra deviazione standard e valor medio) di tale distribuzione. Della funzione di distribuzione invece, si conosce l'espressione della sola trasformata di Laplace-Stieltjes (funzione caratteristica) che nella maggior parte dei casi è quasi impossibile da invertire analiticamente (e spesso anche molto difficile da invertire numericamente!).

Se il coefficiente di variazione della lunghezza dei pacchetti è unitario (o almeno vicino all'unità) è possibile utilizzare il modello M/M/1 (ovvero, un modello con tempi di servizio di distribuzione esponenziale) per il quale la distribuzione del tempo di attesa in coda è nota (formula del Molina) ed è la seguente ([1] par. 2.5):

$$F_W(t) = P\{W \leq t\} = 1 - \rho e^{-(1-\rho)t/t_s}, \quad (23)$$

dove t_s è il tempo medio di trasmissione di un pacchetto.

È quindi possibile, utilizzando la (23), verificare se la specifica descritta dalla (21) è soddisfatta.

L'adozione del modello M/M/1 è consigliabile in pratica poiché ha il vantaggio che tra tutti modelli del tipo M/G/1 che hanno una distribuzione dei tempi di servizio con coefficiente di variazione inferiore od al più uguale ad uno (e questo è il caso più frequente nelle applicazioni), è quello che ha le prestazioni peggiori. Basare il dimensionamento su tale modello può portare quindi, qualora si abbia un coefficiente di variazione della lunghezza dei pacchetti inferiore all'unità, ad un leggero sovradimensionamento delle linee fisiche.

3.4 Esempio di dimensionamento delle linee fisiche

Per meglio comprendere la procedura di dimensionamento delle linee fisiche descritta nel paragrafo precedente, si esporrà ora un esempio pratico.

Si consideri ancora la RPV del paragrafo 2.1, con gli stessi dati sul traffico di connessione descritti nella tab. 2.

Si supponga per semplicità che tutti i pacchetti scambiati tra i DTE abbiano una lunghezza media $l=800$ bit e coefficiente di variazione unitario.

Siano inoltre note le matrici delle frequenze dei pacchetti uscenti ed entranti per ciascun circuito virtuale, riportate rispettivamente nelle tabb. 5a e 5b.

Si suppongano infine i seguenti valori che definiscono le specifiche descritte dalle relazioni (20) e (21): $W_{max}=t_{\alpha}=1$ s, $\alpha=0.9$.

Si considererà, per semplificare l'esposizione, il solo dimensionamento delle linee fisiche del DTE_1.

Si fissi inizialmente $C_1=2400$ bit/s. Il carico complessivo (espresso in erlang) in uscita dal DTE_1 si ottiene dalla relazione generale (16) (dove il valore di $A_{s,ij}$ viene approssimato, poiché la perdita imposta sul traffico di connessione è piccola, dal valore A_{ij} rilevabile direttamente dalla matrice di tab. 2):

$$\begin{aligned} r_1^{(u)} &= \frac{1}{C_1} [\lambda_{12}^{(u)} A_{12} + \lambda_{13}^{(u)} A_{13} + \lambda_{21}^{(e)} A_{21} + \lambda_{31}^{(e)} A_{31}] = \\ &= \frac{800}{2400} [0.1 \cdot 10 + 0.2 \cdot 7.5 + 0.5 \cdot 5 + 0.2 \cdot 3] = \\ &= 1.86 \text{ Erlang} \end{aligned} \quad (24)$$

	DTE_1	DTE_2	GTW
DTE_1	0	0.1	0.2
DTE_2	0.1	0	0.3
GTW	0.4	0.2	0

(a)

	DTE_1	DTE_2	GTW
DTE_1	0	0.4	0.2
DTE_2	0.5	0	0.1
GTW	0.2	0.1	0

(b)

Tabella 5 Matrici delle frequenze dei pacchetti uscenti (in pacch/s), (a), ed entranti, (b) per ciascun circuito virtuale

Analogamente, dalla relazione generale (17) si ottiene il carico complessivo entrante:

$$\begin{aligned} r_1^{(e)} &= \frac{1}{C_1} [\lambda_{12}^{(e)} A_{12} + \lambda_{13}^{(e)} A_{13} + \lambda_{21}^{(u)} A_{21} + \lambda_{31}^{(u)} A_{31}] = \\ &= \frac{800}{2400} [0.4 \cdot 10 + 0.2 \cdot 7.5 + 0.1 \cdot 5 + 0.4 \cdot 3] = \\ &= 2.4 \text{ Erlang} \end{aligned} \quad (25)$$

Quindi, il carico da considerare per il dimensionamento è pari a 2.4 erlang (ossia, valore massimo tra i due valori di carico globale appena determinati).

Dalla (18) si ottiene immediatamente che il numero minimo di linee fisiche necessarie è pari a $N_{f,1}=3$. Ripartendo il carico uniformemente sulle linee fisiche, si ottiene che ciascuna sopporta mediamente un carico $\rho=2.4/3=0.8$ Erlang. Applicando la formula (22), che nel caso particolare di $CV=1$ diventa:

$$E[W] = \frac{\lambda t_s^2}{1-\rho} = \frac{\rho t_s}{1-\rho}, \quad t_s = \frac{l}{C_1} \quad (26)$$

si ottiene:

$$E[W] = \frac{0.8 \cdot \frac{800}{2400}}{1-0.8} = 1.33 \text{ s} \quad (27)$$

Dalla (23), che in questo caso è applicabile poiché si è supposto $CV=1$, si ottiene invece:

$$F_W(1 \text{ s}) = 1 - 0.8e^{-\frac{(1-0.8)}{800/2400}} = 0.56. \quad (28)$$

Come si può notare, in entrambi i casi un numero di linee fisiche pari a 3 non è sufficiente a soddisfare la specifica sul grado di servizio. Per cui è necessario tentare con $N_{f,1} = 4$.

Il carico sopportato da ciascuna linea fisica è in questo caso pari a $\rho=2.4/4=0.6$ Erlang. Ripetendo i calcoli appena effettuati si ottiene: $E[W]=0.5$ s e $F_W(1 \text{ s})=0.82$.

La specifica sul tempo medio di servizio risulta quindi soddisfatta mentre non lo è quella sulla distribuzione del tempo di attesa. Si lascia al lettore verificare che quest'ultima è soddisfatta con $N_{f,1}=5$.

Gli stessi calcoli possono essere ripetuti per $C_1=4800$ bit/s. Lasciando al lettore i dettagli algebrici, si dimostra che in questo caso entrambe le specifiche sul grado di servizio sono soddisfatte per $N_{f,1}=2$. Infine, se $C_1=9600$ bit/s si dimostra che una sola linea fisica è sufficiente a soddisfare entrambe le specifiche.

A questo punto l'algoritmo di dimensionamento termina in quanto ovviamente l'eventuale incremento della velocità trasmissiva della linea fisica porta comunque alla soluzione $N_{f,1}=1$.

La soluzione finale da scegliere dipende da fattori economici, affidabilistici, e prestazionali. Prescindendo dai primi due, dei quali si può tener conto in modo poco

più che banale, è bene notare che la soluzione con linee di capacità più elevata è sempre quella da preferire dal punto di vista delle prestazioni di traffico e ciò a causa del principio di condivisione delle risorse tipico dei sistemi di servizio [1].

4. Automatizzazione delle procedure di dimensionamento delle RPV X.25

Dai precedenti paragrafi si evince che la progettazione di una RPV solitamente risulta lunga e onerosa soprattutto quando la rete è complessa. Infatti, bisogna inserire molteplici informazioni associate ai DTE, ai collegamenti ed al traffico dipendenti dalle caratteristiche della rete e successivamente bisogna applicare degli algoritmi di dimensionamento. Per agevolare la progettazione della RPV può, quindi, risultare molto comodo avere a disposizione uno strumento software che:

- faciliti la progettazione topologica della rete (inserimento dei DTE, delle linee di accesso, etc.);
- faciliti l'inserimento di tutte le informazioni ad essa associate (caratteristiche dei DTE, delle linee fisiche e del traffico);
- consenta la modifica della rete e delle relative informazioni;
- permetta di effettuare il dimensionamento e la tariffazione della rete.

Una delle caratteristiche fondamentali di uno strumento automatico, oltre naturalmente a quelle di base come funzionalità e affidabilità, è l'interfaccia verso l'utente, cioè la sua usabilità. Spesso strumenti che hanno ottime funzionalità vengono poco utilizzati perché risultano o di difficile comprensione o molto articolati per il loro utilizzo. Risulta essenziale, quindi, durante la progettazione di uno strumento software, considerare sia le strategie risolutive per costruirlo in modo che espletino le funzionalità richieste, sia quelle che permettono di definire una interfaccia adatta anche a persone poco esperte nell'interazione con il computer.

L'interfaccia uomo-macchina ha subito grosse trasformazioni negli ultimi anni; infatti si è evoluta da quella a caratteri (tipica di molti programmi su PC DOS o stazioni di lavoro (*workstation*) UNIX) a quella grafica (tipica di ambienti come *Microsoft Windows* e *Apple Macintosh*) permettendo in tal modo maggiore libertà e flessibilità sia durante la sua progettazione sia nel suo successivo utilizzo da parte dell'utente.

4.1 Il programma STARNET

Per automatizzare la progettazione di una RPV è stato realizzato uno strumento software, denominato STARNET, con l'obiettivo di poter disegnare, dimensionare ed effettuare la tariffazione di una RPV.

Un secondo obiettivo, non meno importante, è stato quello di poter effettuare le precedenti operazioni nel modo più semplice e naturale possibile riducendo al minimo il tempo di apprendimento dello strumento e quello del suo successivo riutilizzo. È stata data, quindi, molta importanza alla progettazione dell'interfaccia uomo-macchina per la quale è stata utilizzato il *toolkit Motif* [3], [4], [5], [6] insieme al sistema *X Window* [7], detto X in breve, operanti entrambi su *workstation* con sistema operativo UNIX. L'utilizzo di X con il toolkit Motif è dovuto al fatto che rappresenta ormai uno standard *de facto* che comporta i seguenti vantaggi:

1. uniformità di utilizzo: programmi diversi basati su Motif hanno praticamente la stessa modalità operativa di interazione;
2. semplicità di utilizzo: i comandi che l'utente può utilizzare sono disponibili tramite *menu* o pulsanti ben visibili nell'interfaccia;
3. semplificazione nella scrittura del programma: il toolkit Motif fornisce molte funzioni di utilità che facilitano l'utilizzo delle risorse di X.

Prima di illustrare le caratteristiche di STARNET è opportuno introdurre brevemente il sistema *X Window* ed il *toolkit Motif*.

4.2 Il sistema X Window e il toolkit Motif

Il sistema X Window è stato sviluppato per la realizzazione di interfacce grafiche per applicativi che operino principalmente su *workstation*. L'architettura di X è basata sul modello *Client-Server* dove il server (o X server) è un processo che ha il completo controllo dello schermo ed il client (o X client) è un processo applicativo che realizza una particolare funzionalità. L'X client non effettua mai operazioni di I/O sullo schermo, ma delega queste attività all'X server con il quale interagisce attraverso messaggi, chiamati anche *eventi*. L'insieme dei messaggi che l'X server scambia con l'X client viene chiamato *X protocol* e definisce le modalità di comunicazione garantendo l'indipendenza delle applicazioni dalla macchina, dalla rete di comunicazione e dal sistema operativo.

Il sistema X è stato progettato per essere utilizzato anche in ambienti distribuiti; infatti, un X server può avere contemporaneamente più X client e questi ultimi possono essere concorrenti, ovvero allocati sulla stessa macchina, oppure distribuiti su nodi connessi in rete locale o geografica. Per evitare ridondanze di gestione uno degli X client dell'X server, chiamato *window manager*, ha le funzioni di controllo delle caratteristiche delle finestre presenti sullo schermo come: l'aspetto grafico, la dimensione, la posizione, l'ordinamento e così via. Il sistema X ha diversi window manager, alcuni dei quali sono *Motif*, *Open Look*, *twm*. L'interfaccia grafica di STARNET è stata realizzata con il window

manager e toolkit Motif, sviluppato dalla *Open System Foundation (OSF)*, perché è il più diffuso ed è ormai diventato uno standard *de facto*.

4.3 I Componenti di una interfaccia grafica

Un'interfaccia grafica Motif è costituita da un insieme di *widget* che rappresentano le entità che l'utente vede e attraverso i quali interagisce con il programma mediante degli eventi che genera su di essi. Un widget è rappresentato da una struttura dati che combina una finestra X (X window) con un insieme di procedure, dipendenti dal tipo di widget, mediante le quali vengono eseguite le operazioni su di essa. Esempi di widget sono: pulsanti, menu, finestre, campi di finestre. Ogni widget ha dei parametri, detti anche *risorse*, che possono essere modificati secondo le esigenze dell'utente e del programma; esempi di risorse sono il colore, le dimensioni, il tipo di bordo, lo spessore dell'ombreggiatura, il tipo di carattere.

Naturalmente l'interfaccia di un'applicazione X sarà costituita dalla composizione di diversi widget che interagiscono fra loro. La complessità di un'interfaccia è strettamente dipendente dal numero dei widget che la compongono. L'interfaccia principale di STARNET è riportata schematicamente in fig. 4 e risulta costituita dai widget indicati.

La dinamica di un'interfaccia X presenta problematiche diverse da quelle di un programma convenzionale poiché è basata sulla tecnica della *programmazione ad eventi*. Secondo tale tecnica vengono identificati degli eventi che si possono verificare sui componenti che costituiscono il programma; nel nostro caso i componenti sono i widget, e per tali eventi vengono fornite delle procedure di gestione, dette *callback*, che vengono richiamate automaticamente dal sistema X ogni qualvolta che si verifica l'evento corrispondente. Gli eventi che si possono verificare in un'applicazione X sono generati dal meccanismo di puntamento, detto *mouse*, (pressione e

rilascio di uno dei suoi pulsanti oppure il suo movimento), dalla tastiera del computer (pressione e rilascio di un tasto) oppure da un messaggio inviato da un'altra applicazione su un meccanismo di comunicazione (nel caso del sistema operativo UNIX alcuni di tali meccanismi sono i *file*, le *pipe*, i *socket*). Riassumendo, per la costruzione di una interfaccia X bisogna inizialmente determinare i widget che la compongono e le loro relazioni, quindi bisogna determinare la loro dinamica ed aggiungere ad essi le *callback* relative. Il rilevamento degli eventi generati dall'utente, tramite il mouse e la tastiera, e l'invocazione delle procedure di gestione viene realizzato automaticamente dal sistema X.

4.4 Caratteristiche del programma STARNET

L'interfaccia grafica del programma *STARNET* si presenta come riportato in fig. 5 ed è stata realizzata con il linguaggio C++ seguendo il metodo della programmazione orientata ad oggetti. L'interfaccia è stata ottenuta combinando opportunamente un insieme di oggetti ottenuti specializzando una libreria di classi, realizzata alla SSGRR, indipendente dalle caratteristiche di qualunque programma Motif, che trasforma in oggetti i widget Motif e risolve il meccanismo delle *callback*: ogni volta che viene generato un evento, questa volta su un oggetto dell'interfaccia, viene fatto pervenire automaticamente un messaggio all'oggetto stesso il quale esegue il corrispondente metodo che gestisce l'evento. I vantaggi della programmazione orientata ad oggetti effettivamente riscontrati durante lo sviluppo di STARNET sono stati i seguenti:

- flessibilità del programma alle modifiche (sfruttando il polimorfismo e la modularità del programma poiché è stato realizzato esclusivamente con classi);
- eliminazione di effetti collaterali dovuti alla presenza di dati globali (tutte le strutture dati sono incapsulate negli oggetti);
- riduzione del tempo di sviluppo (per il riuso della libreria di classi che rendono Motif ad oggetti).

Nella fig. 5 è stata visualizzata una RPV chiamata *ReteX*. La rete viene disegnata in un modo molto semplice selezionando inizialmente dalla paletta i DTE richiesti con il mouse e disegnandoli nella *drawing area* nella posizione desiderata. Successivamente i DTE vengono collegati con la rete Itapac con uno dei collegamenti previsti: diretto, commutato o astratto. L'operazione avviene selezionando il tipo di collegamento, premendo il pulsante sinistro del mouse su uno dei DTE e, tenendolo premuto, rilasciandolo sull'ellisse che rappresenta Itapac. Nel caso in cui viene associato un collegamento inconsistente fra un DTE e Itapac il sistema non lo disegna e visualizza un messaggio di avvertimento. Come si può notare ogni tipo di collegamento è contraddistinto in modo da poterlo identificare univocamente. Il sistema naturalmente mette a disposizione delle *facility* di *editing*,

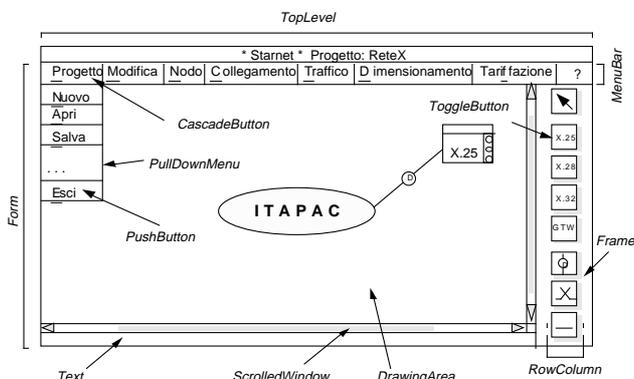


Figura 4 Widget che compongono l'interfaccia principale di STARNET

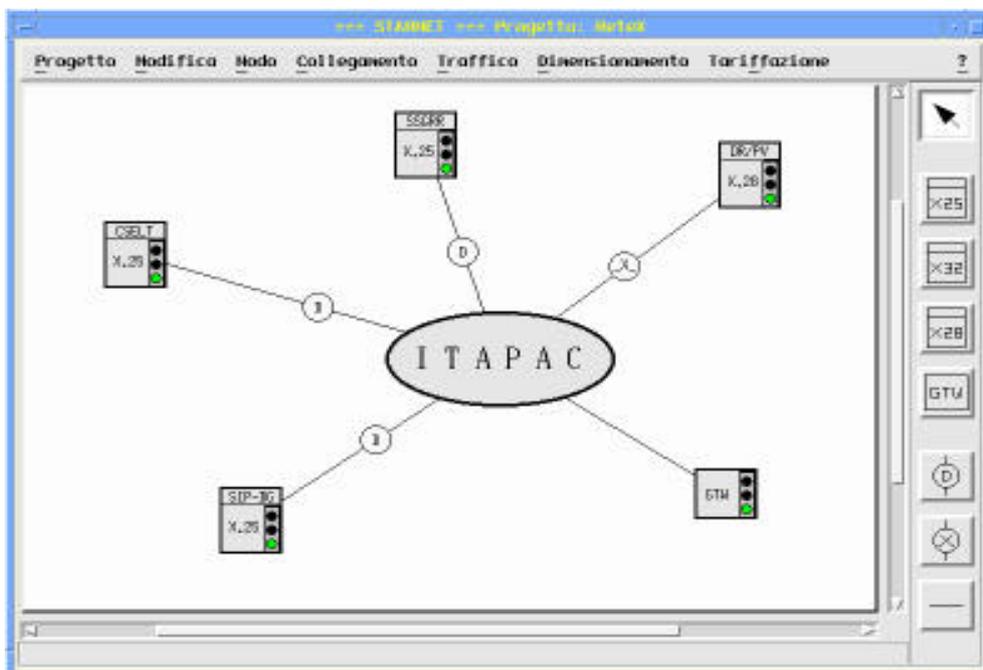


Figura 5 L'interfaccia grafica di STARNET

Figura 6 Finestra con le caratteristiche dei DTE X.25

ovvero spostando i DTE in un'altra posizione della drawing area il loro collegamento, se esiste, viene disegnato automaticamente a partire dalla nuova posizione oppure cancellando un DTE che ha un collegamento, quest'ultimo viene cancellato anch'esso; è possibile, inoltre, effettuare una selezione o una cancellazione parziale o totale della rete, etc.

Una volta disegnata la topologia della RPV il progettista può inserire le informazioni relative ai vari tipi di DTE, ai tipi di collegamenti fra i DTE e Itapac e

al traffico fra i DTE. Le precedenti informazioni vengono inserite in finestre grafiche che contengono un insieme di campi significativi per l'entità alla quale si riferiscono. Un esempio di finestre relative al DTE X.25 e al traffico fra due DTE è riportato rispettivamente nelle figg. 6 e 7⁽⁵⁾.

(5) Le figure 6, 7 e 8 riproducono l'effettiva visualizzazione sul display, che si ottiene utilizzando il programma STARNET. Per tale motivo, nelle figure in questione compare come barretta verticale il "cursore".

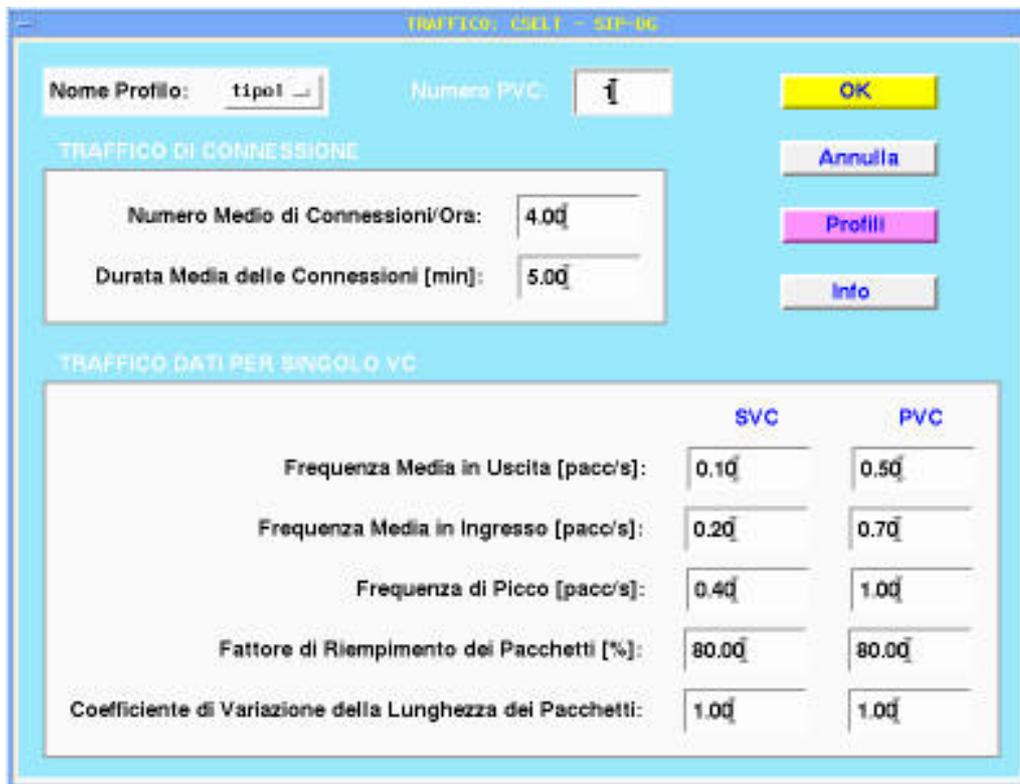


Figura 7 Finestra con le caratteristiche di traffico fra i DTE



Figura 8 Finestra con le caratteristiche del collegamento diretto

La finestra con le caratteristiche del collegamento diretto è riportata, invece, in fig. 8. Per far apparire le finestre relative ai DTE o ai collegamenti basta selezionare un DTE oppure un collegamento con il pulsante sinistro del mouse e premere successivamente il pulsante destro dello stesso. Per far apparire la finestra delle informazioni di traffico fra due DTE bisogna selezionare con il pulsante destro del mouse i rispettivi semafori dei DTE che accendono la luce gialla per evidenziare i DTE ai quali fa riferimento la finestra di traffico. La direzione

del traffico la si osserva nell'intestazione della finestra. Il semaforo associato ad ogni DTE (X.25, X.28, X.32) ha associata una semantica: se accende la luce rossa significa che il DTE non ha informazioni sufficienti per poter effettuare il dimensionamento, oppure le informazioni ad esso associate sono inconsistenti; se, invece, il semaforo accende la luce verde significa che le informazioni del DTE sono consistenti e pertanto possono essere utilizzate per effettuare il dimensionamento della rete.

Per effettuare il dimensionamento della RPV bisogna,

dunque, inserire le informazioni relative ai DTE, ai loro collegamenti con la rete Itapac e al traffico fra di essi e quindi scegliere la voce *esegui* dal menu *dimensionamento*. Preventivamente, però, bisogna scegliere il tipo di dimensionamento da effettuare sulla RPV facendo apparire la finestra di *opzioni* sempre dallo stesso menu che si presenta come in fig. 9.

Nel caso in cui durante l'esecuzione delle procedure per il dimensionamento vengano rilevate delle inconsistenze relative alle informazioni relative a più DTE, queste ultime vengono segnalate al progettista in un'apposita finestra.

I risultati del dimensionamento sono relativi al numero dei circuiti virtuali (in base al tipo di dimensionamento scelto) che bisogna associare ai DTE, al numero delle linee fisiche ed alla loro velocità trasmissiva, ed infine al *Carico Massimo* associato a ciascuna linea fisica ed alla *Classe di Throughput* (di default) associata a ciascun circuito virtuale. Tali numeri si possono osservare nelle finestre che riportano rispettivamente le caratteristiche dei DTE e dei collegamenti DTE-Rete Itapac.

Dopo aver eseguito il dimensionamento, o anche indipendentemente da questo dopo aver inserito tutti i dati necessari, è possibile ottenere dal programma i costi che il cliente dovrà sostenere, divisi in canoni mensili e stime sui costi di traffico.



Figura 9 Opzioni per la scelta del dimensionamento

5. Conclusioni

La corretta progettazione di una RPV è il passo fondamentale da affrontare per garantire al cliente il giusto compromesso costi/prestazioni. In questo articolo si è cercato di affrontare il problema in modo razionale, utilizzando modelli consolidati dell'Ingegneria del Traffico. Si è cercato soprattutto di focalizzare l'attenzione sui concetti più importanti tralasciando alcuni aspetti minori, implementati comunque nel programma STARNET.

L'approccio adottato è facilmente estendibile ad altre problematiche come ad esempio la progettazione di RPV su Rete Intelligente.

L'interfaccia grafica implementata può essere riutilizzata, con semplici modifiche, per applicazioni diverse che richiedono comunque un modo semplice ed intuitivo per costruire graficamente ed immettere i dati necessari per il progetto e/o valutazione delle prestazioni e/o tariffazione di una rete qualsiasi (es., progettazione delle reti gerarchiche e non gerarchiche a commutazione di circuito, progettazione della rete primaria in reti a commutazione di pacchetto, etc.). Su alcuni di questi argomenti, alla Scuola Superiore G. Reiss Romoli, si pensa di lavorare in futuro.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Ing. Luigi Susanna della Scuola Superiore G. Reiss Romoli per alcuni preziosi suggerimenti tecnici e la dott.ssa Monica Di Pietro per il valido contributo dato durante lo sviluppo del programma STARNET.

Bibliografia

- [1] Buttò, M.; Colombo, G.; Tofoni, T.; Tonietti, A.: *Ingegneria del traffico nelle reti di telecomunicazioni*. Ed. SSGRR, L'Aquila, 1991.
- [2] Susanna, L.; Tofoni, T.: *CPT: un programma per il calcolo delle formule fondamentali dell'ingegneria del traffico*. Rapporto interno SSGRR n. 1753, settembre 1992.
- [3] *OSF/Motif Programmer's Guide*. Open System Foundation, 1992.
- [4] *OSF/Motif Programmer's Reference*. Open System Foundation, 1992.
- [5] *OSF/Motif Style Guide*. Open System Foundation, 1992.
- [6] *OSF/Motif User's Guide*. Open System Foundation, 1992.
- [7] Lippman, S.B.: *C++ Corso di Programmazione*, Addison-Wesley, 1991.

EURESCOM-"Making Europeans communicate"

U. de Julio, L. Leproni, G. Perucca (*)

L'articolo illustra brevemente costituzione, attività e partecipazione italiana a EURESCOM, descrivendo in particolare i risultati finora conseguiti. Da essi e dall'esperienza maturata si deduce come EURESCOM possa contribuire concretamente ad accrescere l'efficacia della ricerca dei Gestori europei, anche in un ambiente sempre più aperto alla competizione.

1. Introduzione

EURESCOM, Istituto Europeo per la Ricerca e gli Studi Strategici nelle Telecomunicazioni, è stato creato nel 1991 dai Gestori europei di reti fisse di telecomunicazioni pubbliche (i "Gestori" nel seguito), con lo scopo di promuovere lo sviluppo di servizi innovativi di telecomunicazioni in Europa: di qui il motto "making Europeans communicate".

EURESCOM è costituito come società a responsabilità limitata con sede ad Heidelberg, in Germania, ed ha attualmente come azionisti 25 Gestori appartenenti a 22 Paesi Europei, elencati in tab. 1.

Gli obiettivi di EURESCOM sono:

- promuovere a livello europeo l'armonizzazione delle infrastrutture di rete e dei servizi;
- stimolare e coordinare la partecipazione a programmi di ricerca comuni;
- stimolare e coordinare la preparazione di progetti pilota da implementare da parte dei Gestori;
- contribuire all'attività di standardizzazione.

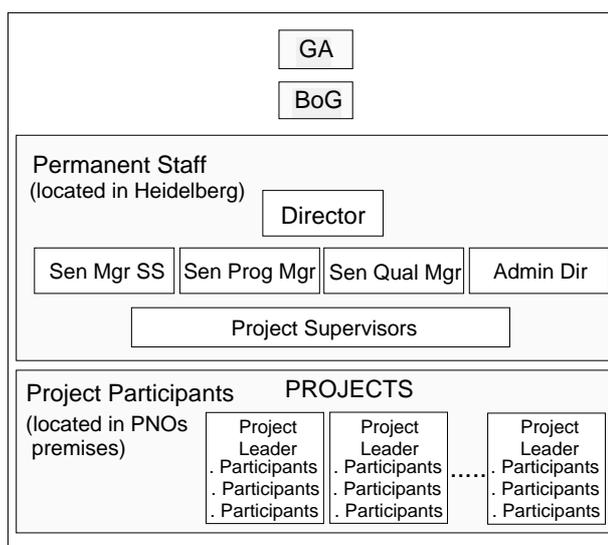
L'attività di EURESCOM consiste in progetti di ricerca che mirano essenzialmente a specificare reti e servizi di telecomunicazioni curandone in particolare l'interoperabilità a livello europeo.

Il fatto che rende EURESCOM differente da tutti gli istituti di ricerca analoghi è che le ricerche non vengono condotte nella sede di Heidelberg, bensì presso i laboratori dei vari azionisti. In effetti sono proprio gli azionisti, cioè i Gestori, a decidere ed a eseguire praticamente tutte le attività vitali di EURESCOM: essi propongono i progetti da eseguire, effettuano la scelta dei progetti da includere nel programma annuale di

Lavoro (il "Programma" nel seguito), provvedono al relativo finanziamento, eseguono in collaborazione i progetti, ed essi infine sono i destinatari ultimi dei risultati dei progetti.

In tale contesto il ruolo svolto dagli organismi propri dell'Istituto è quello di stimolo, supporto e supervisione delle attività svolte per conto dei Gestori in ambito EURESCOM. Tali organismi sono (fig. 1):

- l'Assemblea Generale (GA), in cui tutti i membri dell'Istituto sono rappresentati ed esercitano diritto di voto secondo regole stabilite;
- il Board of Governors (BoG), composto da 9 persone, che ha funzione di gestione e supervisione;
- lo Staff Permanente, ora composto da 24 persone, che svolge le funzioni operative centralizzate ed opera nella sede di Heidelberg.



(*) Ing. Umberto de Julio -Telecom Italia DG- Roma; dott. Luciano Leproni -CSELT- Torino; ing. Giovanni Perucca -STET- Torino

Figura 1 Organigramma EURESCOM

Entreprise des Postes et Télécommunications, Luxembourg	DM	500
Mercury Communications Ltd., UK	DM	2.000
General Directorate of Posts and Telecommunications, Iceland	DM	500
Association of Telephone Companies in Finland, Finland	DM	1.000
Portugal Telecom SA, Portugal	DM	2.000
Companhia Portuguesa Rádio Marconi S.A., Portugal	DM	1.000
Telecom Finland Ltd., Finland	DM	1.000
Community of Yugoslav Posts, Telegraphs and Telephones, Yugoslavia	DM	1.000
Hellenic Telecommunications Organization S.A., Greece	DM	2.000
Telecom Eireann, Ireland	DM	1.000
Norwegian Telecom, Norway	DM	2.000
BELGACOM, Belgique	DM	4.000
Tele Danmark A/S, Denmark	DM	4.000
Österreichische Post und Telegraphenverwaltung, Austria	DM	4.000
Swiss Telecom PTT, Switzerland	DM	8.000
Telia AB, Sweden	DM	8.000
Koninklijke PTT Nederland N.V., The Netherlands	DM	12.000
Telefonica de España S.A., Spain	DM	12.000
STET Società Finanziaria Telefonica p.a., Italy	DM	24.000
British Telecom, United Kingdom	DM	24.000 3)
Deutsche Bundespost TELEKOM, Germany	DM	32.000
France Telecom, France	DM	32.000
Hungarian Telecommunications Company Ltd., Hungary	DM	500
Slovak Telecommunications, state enterprise, Slovak Republic	DM	500
SPT TELECOM, Czech Republic	DM	500

Tabella 1 Azionisti di EURESCOM e azioni possedute

2. Le attività di EURESCOM

La principale attività di EURESCOM è costituita dai progetti di ricerca inclusi nei Programmi annuali di lavoro. Dal 1991 ad oggi la quantità di risorse impegnate nei progetti è passata dagli iniziali 19 anni-uomo ai 271 anni-uomo del Programma 1995 (fig. 2).

A tuttora sono stati avviati 62 progetti, di cui 30 già terminati. Nel 1995 saranno avviati 14 nuovi progetti.

I progetti di ricerca sono raggruppati per "aree". Queste sono essenzialmente uno strumento gestionale e non intendono separare rigidamente i diversi settori, cosa che

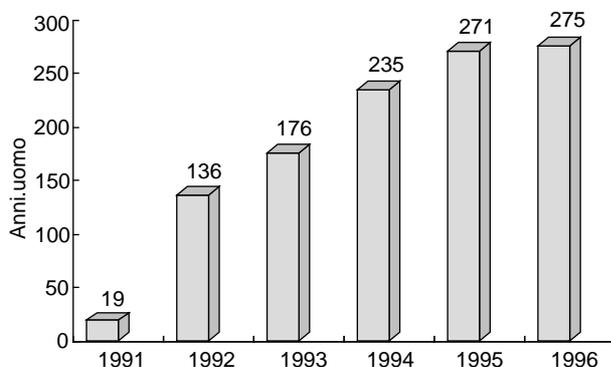


Figura 2 Evoluzione del programma di lavoro

sarebbe impossibile in un settore complesso ed in evoluzione come quello delle telecomunicazioni. Le "vecchie" discipline di "commutazione", "trasmissione", "segnalazione" si sono infatti nel tempo progressivamente integrate e ad esse si sono aggiunte "nuove" discipline come "architetture di rete", "gestione di reti o servizi", "software engineering", "specifiche di protocolli" ecc..

Ciò premesso, il quadro di riferimento dei Programmi EURESCOM, (il cosiddetto "General Framework") è costituito dalle seguenti aree:

- studi strategici;
- servizi di telecomunicazioni;
- rete intelligente (IN);
- rete di gestione (TMN);
- infrastruttura e rete di commutazione (I&SN);
- software (requisiti e pratiche operative).

In fig. 3 è visualizzato il peso relativo fra le aree nel Programma 1995.

Nel seguito, per ogni area si indicano brevemente motivazioni e obiettivi delle attività EURESCOM.

2.1 Studi strategici

Il nuovo decennio si annuncia ricco di cambiamenti per quanto riguarda struttura e prestazioni delle reti di telecomunicazioni. L'accresciuta competizione, il progresso

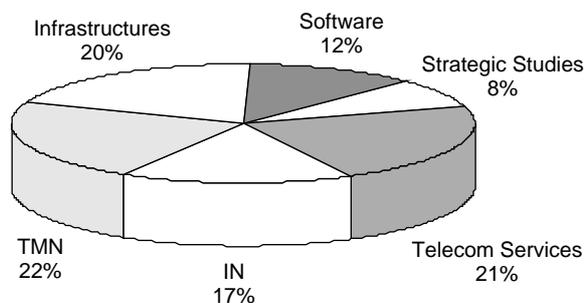


Figura 3 Peso relativo delle aree nel Programma 1995

della tecnologia, il crescente bisogno di nuovi servizi da parte di tutti i settori di mercato sono gli elementi trainanti del cambiamento. In uno scenario di progressiva integrazione fra telecomunicazioni, informatica e diffusione televisiva, i Gestori saranno chiamati ad occuparsi non solo del trasporto dell'informazione, ma anche della sua elaborazione e gestione.

Gli studi strategici hanno lo scopo di analizzare i temi di futuro potenziale interesse per i Gestori, i pericoli, le opportunità, le nicchie di mercato, le finestre temporali, gli elementi determinanti ai fini dei cambiamenti e le possibilità che i Gestori hanno di influenzarli. Le attività EURESCOM in questa area sono orientate essenzialmente al medio-lungo termine. In questa prospettiva la collaborazione è possibile e conveniente, poiché genera risultati più validi a seguito di una più ampia e articolata discussione. Inoltre una visione condivisa dei traguardi da raggiungere promuove e facilita l'armonizzazione delle future reti e servizi in Europa e rende più agevoli e meno costosi accordi bi/multi-laterali fra i Gestori.

Gli studi strategici in EURESCOM hanno inoltre lo scopo di fornire le linee guida per i Programmi annuali EURESCOM, identificando i temi di collaborazione tecnica di maggior portata.

2.2 Servizi di telecomunicazioni

Praticamente in tutti i progetti EURESCOM si fa riferimento a sviluppi e specifiche di servizi pan-Europei. La ricerca tecnica necessaria per definire le basi di un servizio da standardizzare o per scegliere tra le varie opzioni implementative di uno standard non è parte del ruolo degli organismi di standardizzazione: è questo il settore in cui opera EURESCOM.

I punti focali su cui si concentrano le attività sono:

- i servizi che consentono di incrementare l'utilizzo delle reti esistenti anche a livello internazionale;
- la qualità dei servizi a livello internazionale (ad es. la facilità d'uso per non residenti);
- l'interoperabilità dei servizi resi utilizzando diversi segmenti nazionali di rete.

2.3 Reti intelligenti

Studi di mercato mostrano la crescente importanza economica per i Gestori di fornire i servizi di rete intelligente anche in ambito transnazionale. È quindi importante che, tramite progetti EURESCOM, i Gestori collaborino alla definizione di scenari tecnici di interconnessione fra piattaforme IN che permettano la realizzazione dei servizi internazionali innovativi, richiesti ad es. dalle organizzazioni multinazionali o dagli utenti che hanno necessità di lavorare spostandosi in Europa. Tali scenari tecnici costituiscono il fondamento degli accordi bi/multi-laterali fra i Gestori.

Il concetto di rete intelligente è destinato ad evolvere nel lungo termine, ad esempio verso un'armonizzazione con la rete TMN nell'ambito di nuove reti informatiche. Anche questo è un tipico campo di attività EURESCOM, ancora sufficientemente lontano dalla competizione e indirizzato agli specifici problemi dei Gestori. Ad esempio, un progetto EURESCOM per il 1995 si prefigge la valutazione in comune dell'applicabilità in ambito europeo della tecnologia TINA.

2.4 Sistemi TMN per la gestione della rete e dei servizi

I sistemi TMN sono potenzialmente una delle armi più efficaci a disposizione dei Gestori per ridurre i costi di esercizio. Sviluppo e implementazione di tali sistemi sono però molto onerosi: i progetti EURESCOM, che mirano a definire strategie per una migrazione "dolce" dagli attuali sistemi di gestione ad una rete europea fondata su sistemi TMN cooperanti, sono un veicolo ideale per aumentare efficacia ed efficienza di attività comunque in essere presso i singoli Gestori.

Le attività EURESCOM vertono sia su temi di carattere generale, come il modello informativo, i requisiti di sicurezza, i modi e le tecniche per definire le specifiche, sia sulle applicazioni internazionali, come la gestione delle reti di trasmissione europee, la gestione dei circuiti virtuali nel progetto pilota europeo ATM, la gestione di reti di segnalazione CCS#7 interconnesse. Attualmente è in corso un progetto per convalidare sperimentalmente, tramite un Laboratorio distribuito fra i vari centri di ricerca in Europa (PET-Lab, Pan-European TMN Laboratory), le specifiche TMN, con particolare riferimento a quelle finora prodotte in ambito EURESCOM.

2.5 Infrastruttura e reti commutate (I&SN)

Le attività in quest'area riguardano le reti di accesso e di trasporto nonché le loro prestazioni.

Uno dei mezzi che sta contribuendo alla riduzione dei costi di trasporto è la graduale entrata in uso della rete sincrona digitale (SDH), che consentirà di gestire in

modo più efficiente e flessibile la rete di trasmissione. Combinando questa tecnica con i nuovi sistemi in tecnologia ATM (Asynchronous Transfer Mode), i Gestori avranno a disposizione, in una prospettiva di medio-lungo termine, infrastrutture di trasporto e commutazione adatte a tutti i tipi di informazione. Per quanto riguarda la parte più costosa della rete, quella di accesso, è in atto una evoluzione tecnologica notevole, che richiede attente valutazioni dei meriti relativi e dei campi di applicazione delle varie soluzioni proposte.

In EURESCOM sono attivi vari progetti su tutte queste tematiche. L'obiettivo è di migliorare e potenziare le prestazioni dei collegamenti esistenti, soprattutto internazionali e di preparare l'introduzione di quelli futuri, in una prospettiva di evoluzione verso i servizi a larga banda e multimediali.

2.6 Requisiti e pratiche software

Nei sistemi di telecomunicazione il software ha via via acquisito un ruolo sempre più importante, fino a

diventarne la parte più costosa. Si può anche dire che i Gestori sono fra i maggiori acquirenti di software.

Non compete certo ai progetti EURESCOM lo sviluppo del software. Esiste invece un interesse dei Gestori a collaborare in ambito EURESCOM per:

- la definizione di piattaforme software comuni, che assicurino indipendenza dal fornitore e flessibilità dei sistemi;
- la valutazione dell'applicabilità ai sistemi di telecomunicazioni di standard emergenti da consorzi industriali, come per esempio X/Open, OMG (Object Management Group), OSF (Open Software Foundation), COSE (Common Open Software Environment), TINA-C;
- l'adozione di comuni procedure per l'assicurazione della qualità del software, al fine di ridurre il costo dell'applicazione di tali procedure e di assicurare un maggior grado di affidabilità ai futuri servizi internazionali.

Nelle tabb. 2 e 3 sono riportati gli elenchi di tutti i progetti EURESCOM, sia quelli già completati (tab. 2), sia quelli in corso (tab. 3.a) o in avvio (tab. 3.b).

P101	Virtual Private Network (VPN)	Mar 93
P102	Universal Personal Telecomms(UPT)	Lug 93
P104	ISDN end-to-end testing	Mag 93
P105	European ATM Network Studies	Nov 93
P106	Integrated Multimedia Services at 1 Mbit/s (IMS)	Mar 93
P107	E-METRAN	Mar 94
P108	TMN Pre-study	Mar 92
P109	Management of pan-European Transmission Networks	Mar 94
P110	Security and Integrity Requirements	Mar 94
P111	Overall Strategic Studies	Lug 93
P202	Joint Co-operative Management Services	Mar 94
P203	TMN Organisational Model	Mar 94
P225	Management of Inter-connected SS#7 Networks	Mar 94
P231	Pre-study on Optical Access and Core Networks	Apr 93
P233	Pan-European Directory Services	Mag 93
P234	Authentication Services	Mag 93
P303	Pre-Study on Techn. for Local Access (Distr.) Networks	Apr 93
P304	Pre-Study into Automated pan-Europ.Network Planning	Mar 94
P305	Usability of future pan-European Telecommunication Services	Set 94
P405	Pre-Study on Service Creation Procedures and Environment Reqs	Giu 94
S21	FFS on Network Dimensioning Tools Adapted to IN Use	Mar 93
S22	European Gigabit Networks: A Fact-Finding Study	Gen 93
S23	Network Database Technologies: A Fact-finding Study	Gen 93
S24	FFS on Recommendations on EURESCOM Software Practices	Lug 93
S26	FFS on Reliability Engineering	Gen 93
S31	Fact-Finding Study on Computer Supported Co-Operative Work	Mar 94
S32	Fact-Finding Study on Reference and Simulation Environment for SS7	Mar 94
S33	FFS on telecommunications for disabled and elderly people	Mar 94
S34	FFS on Interactive Voice Response	Mar 94
P361SI	Pan European Voice Mail Services	Set 94

Tabella 2 Elenco dei progetti già completati con data di fine progetto

P103	Evolution of the Intelligent Network	1Q95
P201	IN & TMN Service Testing	1Q95
P208	TMN Operations System Platform	1Q95
P223	TMN Guide-lines and Information Model	4Q94
P226	TMN Management of IN-based Services	1Q95
P227	Software Quality Assurance	4Q94
P230	Enabling pan-European Services by Co-operation between PNOs IN Platforms	1Q95
P232	Study on B-ISDN Signalling	4Q94
P301	Frame Relay Network-to-Network Interface Definition	4Q94
P302	European switched VC-based ATM Network Studies	1Q95
P306	Access Networks Evolution and Preparations for Implementation	2Q95
P307	Reliability Engineering	3Q95
P308	Methods for Tools to Dimension IN Networks	3Q95
P309	Pan-European Directory Services	4Q94
P311	Overall Strategic Studies - II	4Q94
P401	Definition of a Common pan-European Authentication IC Card	1Q95
P402	A User-centred approach to the Specification of Europe-Wide Telecom. Services	3Q96
P403	Enhanced pan-European Supplementary Services	3Q95
P404	Broadband services for residential users	4Q96
P406	TMN Management of pan-European Freephone Service	4Q95
P407	Specification of TMN X-interface for charging, billing and accounting	4Q95
P408	Pan-European TMN-experiments and field trial support	4Q96
P409	Protection, Performance and Synchronisation of pan-European SDH networks	4Q95
P410	End-to-end Service Testing for pan-European ATM Networks	4Q95
P412	Methodology and Tools for ISDN network Integration and Traffic Route Testing	3Q96
P413	Optical Networking	2Q96
P414	TMN Guidelines	4Q95
P415	Study on European Numbering Issues	4Q94
P416	Pilot Europe-wide Directory Services	1Q96
P360 SI	Integtd. Multimedia Services at 1 Mbit/s (f/o SI project to P106)	4Q94
P362 SI	European contribution to a global VPN service	3Q95
P460 SI	European Multimedia Experiments in an ATM environment (EMMA)	1Q96

Tabella 3.a Elenco dei progetti in corso e data pianificata di chiusura

3. La partecipazione italiana in EURESCOM

L'azionista italiano di EURESCOM è la STET, particolarmente attiva fin dall'inizio nei gruppi di lavoro per l'avvio dell'Istituto.

Ogni Società del gruppo STET ha titolo a partecipare ai lavori EURESCOM e a utilizzarne tutti i risultati. Di fatto lo CSELT, nel suo ruolo di laboratorio di ricerca centrale del Gruppo, è la Società più direttamente coinvolta nei lavori EURESCOM. Lo CSELT concorda con le Consociate, in particolare con TELECOM, i progetti da proporre, partecipa con proprie risorse

P511	Overall Strategic Studies - III
P501	Pre-study on telecommunications and the environment
P502	Multilingual interactive voice activated telephone services
P503	Definition of a European multi-application IC-card (Add-on to P401)
P504	Euresmail - a harmonised Europe wide E-mail service
P403	BVI Blind and visually impaired access to screen based telephony (Add-on to 403)
P505	Wide area CSCW: tools and applications
P506	Harmonisation/Integration of B-ISDN and IN
P507	Mobility Applications Integration in Intelligent Network
P508	Evolution, migration paths and interworking with TINA
P509	Handling service interaction in the Service Life-Cycle
P510	Pre-study on options for the evaluation of PEIN services
P512	Pre-study on the prevention and limitation of telecommunications fraud
P513	Enhancement of SDH networks
P514	Common channel signalling network dependability studies (Add-on to P307)
P515	European switched VC based ATM network studies - stage 2 (Add-on to P302)
P516	Telecom Software Validation Procedure
P517	Foresight Study on distributed object-oriented computing

Tabella 3.b Elenco dei progetti in avvio nel 1995

all'esecuzione delle ricerche, e cura la diffusione all'interno del Gruppo dei risultati man mano ottenuti da EURESCOM⁽¹⁾.

La STET ha finora avuto un peso notevole in EURESCOM. In effetti lo CSELT, singolarmente o in cooperazione con altri membri, è stato all'origine delle proposte di più della metà dei progetti finora approvati. Lo CSELT ha inoltre la leadership in molti importanti progetti e si è aggiudicato commesse di ricerca per circa il 13% del totale disponibile, in linea con la quota di partecipazione STET in EURESCOM.

È infine da notare che sono italiani l'attuale Chairman dell'Assemblea Generale di EURESCOM, uno dei 9 membri del Consiglio di Amministrazione, nonché uno dei 3 responsabili tecnici che operano all'interno dell'Istituto.

4. Risultati conseguiti

EURESCOM è in funzione da circa tre anni e risultati di una certa consistenza sono ormai prodotti regolarmente. Tali risultati, in forma di pubblicazioni ("deliverables") o talora di software (ad esempio "routines" di test), vengono distribuiti a tutti gli azionisti EURESCOM. I Gestori usano tali risultati secondo le loro necessità, talora

(1) I "Deliverables" dei progetti EURESCOM sono disponibili presso la Biblioteca dello CSELT, che ne dà periodicamente notizia alle Consociate e ne cura la distribuzione su richiesta. Inoltre presso EURESCOM è attivo un servizio di "File Transfer" per l'accesso via rete ai documenti.

internamente, talora in collaborazione con altri PNO. Non sempre si ha notizia dell'uso effettivamente fatto dei risultati, poiché esso rientra nella zone di attività in cui i Gestori competono tra loro. Alcuni risultati che sicuramente sono stati utilizzati, sia pur in modo diverso, dai Gestori vengono riportati nel seguito.

4.1 *Strategic studies*

Il primo progetto in quest'area, terminato nel giugno del 1993, ha prodotto un documento dal titolo "Visione e scenari per le Telecomunicazioni in Europa", che presenta una serie di asserzioni sulla possibile situazione del settore delle telecomunicazioni in Europa negli anni 2005 e oltre, nonché gli scenari evolutivi che possono consentire ai Gestori di progredire verso questa situazione in modo consistente e coordinato. Questo documento, che è alla base del quadro di riferimento dei Programmi EURESCOM, è stato anche diffuso, apprezzato ed utilizzato dagli organi competenti della Comunità Europea, nonché da ETSI e da ETNO, cui è anche stato rilasciato il più recente volumetto dedicato ai "World-wide megatrends in Telecommunications".

4.2 *ISDN end-to-end testing*

Il lavoro in questo settore ha prodotto sequenze di prova per il testing di connessioni internazionali ISDN-ISDN che sono state valutate positivamente e raccomandate per l'uso dal gruppo di lavoro IMIMG incaricato di promuovere l'implementazione della rete ISDN in Europa. Anche alcuni fornitori di apparecchiature di test hanno richiesto di poter includere a catalogo le "test suites" derivate dai prodotti EURESCOM.

4.3 *Specifiche ATM*

La rete pilota pan-europea ATM è basata sulle specifiche sviluppate da un progetto EURESCOM che ha anche rilasciato le specifiche per la gestione automatizzata di rete, ora allo studio per la successiva fase di implementazione. Attualmente EURESCOM sta lavorando alle specifiche di una rete commutata ATM.

4.4 *METRAN (Managed European Transmission Network)*

La gran parte delle specifiche tecniche per METRAN sono state prodotte in EURESCOM: ad es. la definizione dei requisiti funzionali minimi per le sotto-reti METRAN ed i loro collegamenti, le specifiche per la gestione in cooperazione delle rete internazionale, ecc..

4.5 *Qualità del software*

È stata prodotta una Raccomandazione che riunisce le descrizioni delle attività atte ad assicurare la qualità del software durante tutte le fasi del suo ciclo di vita. Tale raccomandazione fa uso degli standard ISO e li specializza per l'uso da parte dei Gestori.

4.6 *Pan-European Directory services*

Il progetto EURESCOM in corso con questo titolo ha portato alla definizione di un esperimento pre-pilota per la fornitura del servizio europeo di "pagine bianche" basato sullo standard X-500. I risultati di tale esperimento, che sarà portato a termine nel 1995, forniranno la base tecnica per decidere su tempi e modalità dell'avvio di tale servizio, considerato essenziale per aumentare l'usabilità dei servizi telefonici e telematici attuali e futuri.

4.7 *Usabilità di servizi internazionali di telecomunicazione*

Nell'ambito di un progetto EURESCOM su questo tema è stato definito uno strumento software in grado di predire possibili problemi nell'usabilità di nuovi servizi. Esso è stato collaudato nel caso dei servizi di telefonia pubblica e di carta di credito telefonica, relativamente ai quali sono state fornite raccomandazioni utili a migliorarne l'usabilità in ambito internazionale.

4.8 *Contributi alle attività di standardizzazione*

Numerosi progetti EURESCOM hanno fornito e forniscono materia ai Gestori per presentare contributi concordati alle attività di standardizzazione "de-jure" (ETSI e ITU), o "de-facto" (i vari "Forum" come GVNS, NMT, ecc.).

Fra i contributi più significativi si possono citare:

- contributi a ETSI e ITU nell'area Rete Intelligente, relativi ad es. ad architetture di interconnessione per la realizzazione delle funzionalità del "Capability Set 2", o alla definizione del ciclo di vita di servizi basati sull'uso di reti intelligenti;
- contributi al GVNS Forum per la definizione del servizio internazionale di Rete Privata Virtuale;
- contributi al Network Management Forum (gruppo di lavoro SPIRIT) relativi ai requisiti per le piattaforme di Sistemi TMN;
- contributi a ETSI relativi alla tecnica "Frame Relay" (interfaccia network-network);
- contributi alle release 2/3 per B-ISDN Signalling in ambito ITU.

5. Conclusioni

Una delle esigenze primarie dei Gestori pubblici di telecomunicazione, in un ambiente sempre più aperto alla competizione, è la migliore utilizzazione delle risorse di ricerca per lo sviluppo e l'aumento di efficienza e produttività delle proprie attività.

Con il contributo di EURESCOM i Gestori possono raggiungere in modo sostanziale tale obiettivo:

- effettuando ricerche comuni di medio-lungo termine (ripartizione dei costi di ricerca);
- definendo insieme le caratteristiche di nuovi sistemi miranti ad assicurare flessibilità di impiego, indipendenza dal fornitore e standard di qualità comuni (economie di scala);
- identificando i requisiti minimi comuni richiesti per interconnettere reti e servizi, nonché le sequenze di prova atte a verificare il soddisfacimento di tali requisiti (economie di gestione);
- promuovendo l'introduzione di nuovi o più efficienti servizi internazionali mediante accordi bi/multi-laterali basati su soluzioni di interconnessione concordate in EURESCOM (sviluppo del mercato).

Guardando ai risultati finora conseguiti, si può affermare che nel breve tempo di vita di EURESCOM i suddetti obiettivi sono stati conseguiti in buona misura. Ovviamente molto può ancora essere fatto in questa direzione, soprattutto con un più diretto coinvolgimento in EURESCOM dei reparti operativi e commerciali e con una visione più chiara e condivisa dei confini tra aree di collaborazione e di competizione fra Gestori.

Relativamente al primo punto, il coinvolgimento dei reparti operativi può contribuire sensibilmente a focalizzare i progetti verso risultati maggiormente utilizzabili, predisponendo nel contempo le necessarie attività a seguire presso i Gestori.

Relativamente al secondo punto, è doveroso rimarcare che, dal momento in cui EURESCOM è stato concepito e creato ad oggi, la situazione europea è evoluta da un regime di monopoli nazionali ad un mercato europeo sempre più aperto alla libera competizione su tutto il territorio. Se in un primo tempo la necessità di competere è parsa ai Gestori un ostacolo alla collaborazione, si stanno via via chiarendo anche gli spazi ove sussistono opportunità e convenienze a collaborare.

Per descrivere la nuova situazione, nella Unione Europea si è coniata la parola "co-opetition": essa indica la necessità che i Gestori collaborino a creare una comune e moderna piattaforma su cui sviluppare, questo sì in competizione, servizi sempre più avanzati, numerosi ed affidabili.

EURESCOM può essere considerato un emblema e uno strumento chiave dei Gestori per questa "co-opetition".

6. Pubblicazioni EURESCOM

Le principali notizie di carattere generale su EURESCOM sono contenute nei fascicoli EURESCOM:

- Annual Report 1993;
- Project Portfolio;
- General Framework for the EURESCOM Work Programmes.

Notizie dettagliate sui risultati dei progetti sono contenute nei "Deliverables".

Le modalità operative di EURESCOM sono descritte nel "Management Handbook".

Tutti questi documenti sono disponibili presso lo CSELT.