

Notiziario Tecnico

Archivio

2/1994

 **TIM**

Con il presente numero, in relazione alla nascita di Telecom Italia, il nuovo gestore operante nelle Telecomunicazioni costituitosi a seguito della fusione di SIP, IRI TEL, Italcable, Telespazio e SIRM, il Notiziario Tecnico SIP cambia la sua denominazione, e diviene Notiziario Tecnico "Telecom Italia", conservando immutate la struttura e le finalità.

Alcuni degli articoli che compaiono in questo numero della rivista, essendo stati elaborati nell'ambito del precedente assetto delle Telecomunicazioni Italiane, contengono riferimenti ai soggetti preesistenti; tali riferimenti sono stati conservati, sia per chiarezza di interpretazione dei testi, sia per caratterizzarli in termini di tempo. E' da prevedere che anche in futuro saranno citati, quando necessario, i preesistenti operatori del settore.

La Redazione

Reti di distribuzione in fibra ottica: introduzione⁽¹⁾

B. Costa, A. Luvison (*)

A partire dai primi degli Anni '70, le fibre ottiche si sono universalmente imposte in virtù dei loro pregi: bassa attenuazione, banda estremamente larga, bassi costi e limitati ingombri nonché immunità ai disturbi.

Dopo un decennio dedicato allo sviluppo dei componenti fondamentali (fibre, laser, rivelatori, giunti e connettori, ecc.) e delle tecniche di caratterizzazione e di trasmissione, negli Anni '80 è iniziato l'impiego sistematico delle fibre ottiche nella rete di giunzione e a lunga distanza, dove le fibre hanno rapidamente soppiantato i cavi coassiali in quanto permettono notevoli riduzioni dei costi di realizzazione e di manutenzione dei collegamenti, garantendo una migliore qualità di trasmissione, soprattutto per l'immunità alle interferenze. A metà 1994 risultano installati nel mondo oltre 60 milioni di chilometri di fibre ottiche; in tale contesto l'Italia occupa una posizione significativa, avendo installato oltre 1.6 milioni di chilometri di fibre ottiche e avendo attualmente quantitativi annui installati che sono tra i più elevati al mondo relativamente alla sua estensione geografica.

Attualmente i principali Paesi dedicano un notevole impegno allo studio dell'impiego delle fibre ottiche anche nella rete di distribuzione, cioè nella parte più periferica della rete di telecomunicazioni, tra la centrale telefonica locale e l'utente. Si tratta di collegamenti brevi (in Italia la lunghezza media è di poco superiore al chilometro e raramente si superano i tre chilometri) ma molto numerosi, per cui un impiego delle fibre in questo settore comporterebbe l'installazione di milioni di chilometri di cavi ottici. Queste soluzioni sono generalmente note con l'acronimo FITL, cioè Fibre In The Loop. Tra le alternative architetture possibili sono di rilievo i casi in cui la fibra si estende fino al "marciapiede" (FTTC, Fibre To The Curb) o all'armadio condominiale (configurazione FTTB, Fibre To The Building). Nel caso estremo della soluzione FITL, denominato FTTH (Fibre To The Home), la terminazione di rete è allocata presso l'utente. Le fibre ottiche in distribuzione per i clienti affari, che oltre al normale servizio telefonico richiedono in genere altri servizi, in particolare la trasmissione di dati, costituiscono una soluzione interessante dal punto di vista tecnico ed economico (soluzione Fibre To The Office, FTTO). Oggetto di dibattiti è invece se e quando le fibre ottiche potranno diventare competitive con il rame anche per offrire il

normale servizio telefonico ai clienti residenziali. Quando ciò accadrà, si aprirà la prospettiva della realizzazione di una capillare rete in fibra fino al cliente.

E' generalmente accettato che nel breve e medio termine i clienti affari costituiscano il segmento più importante per la crescita dei servizi e i possibili ritorni economici. Per essi si ipotizza una crescente domanda di servizi di comunicazione dati e immagini ad alta velocità (da poche unità a decine di megabit al secondo), in particolare di:

- servizi di accesso a banche dati;
- servizi video interattivi;
- interconnessione di sistemi di elaborazione.

I clienti residenziali sono invece ancora interessati principalmente a servizi telefonici e, in parte, a quelli telematici, ossia a servizi a commutazione di circuito con capacità fino a 64 kbit/s (o nx64 kbit/s), con un eventuale successivo interesse per servizi televisivi, anche nella prospettiva dell'HDTV. Non va quindi trascurato che, specialmente nel medio e lungo termine, il mercato dei clienti residenziali potrà esprimersi anche con una domanda di massa di applicazioni legate all'intrattenimento e ai servizi d'informazione.

Nel campo della TV via cavo (CATV) è prevedibile, per il medio termine, un interesse da parte degli utenti verso l'interattività. In questo modo un utente potrà richiedere e ottenere i programmi e i film che desidera, ordinare i documentari che intende registrare in videocassetta e trasformarli in propri momenti di cultura e divertimento; si renderà quindi disponibile il valore di una "library" immensa nei campi dell'informazione e dell'intrattenimento. Ciò potrà essere realizzato attraverso mezzi e tecniche di comunicazione, così come si progetta di fare negli Stati Uniti d'America, con la realizzazione di una infrastruttura nazionale in fibra di telecomunicazioni per servizi multimediali basata sulle cosiddette "information superhighways". Altri Paesi industrializzati (Francia, Inghilterra, Giappone, ecc.) stanno imboccando questa strada.

Le forme di comunicazione più ricche e complete sono intrinsecamente multimediali, poiché nell'esperienza quotidiana si "naviga" in modo interattivo tra informazioni legate a suono, dati, immagini, testi e grafica. In un ambiente multimediale, una comunicazione tra due

(*) Dott. Bruno Costa, ing. Angelo Luvison -CSELT- Torino

(1) Rielaborazione aggiornata di un articolo degli stessi autori pubblicato sulla rivista OPTOLASER, marzo 1993, editore MASSON S.p.A. - Milano.

utilizzatori può incominciare con un servizio vocale, continuare con una videocomunicazione e una elaborazione congiunta di documenti, per concludersi infine con un servizio di trasferimento di dati. Un'applicazione sovente citata per il futuro - in questo campo l'immaginazione porta facilmente l'orizzonte temporale oltre il 2000 - è la "realtà virtuale" per applicazioni didattiche e culturali o di intrattenimento basate sulla telepresenza. In estrema sintesi in una realtà virtuale tutto ciò che si percepisce è generato da un elaboratore che risponde ai nostri movimenti con immagini e suoni per dare l'illusione di trovarsi in un ambiente diverso da quello reale. Vi sono ovviamente incertezze sui possibili ritorni economici (se, quando e con quali rischi), ma è fuor di dubbio che una realtà virtuale distribuita, condivisa e partecipativa dipenderà dalla disponibilità di servizi di comunicazione ad alta velocità.

Il processo così avviato di introduzione della fibra in rete di distribuzione sarà guidato dalla considerazione che tale rete costituisce in effetti la funzione di accesso alla rete di telecomunicazioni e gioca quindi un ruolo primario per il gestore sia nel miglioramento della qualità di servizi già oggi offerti sia nella predisposizione di nuovi e più avanzati servizi per venire incontro alle richieste, anche personalizzate, dell'utenza.

Le opportunità applicative e di mercato fin qui esposte devono ovviamente trovare riscontro in un adeguato supporto di infrastruttura di rete e di tecnologia, che devono al tempo stesso soddisfare requisiti di adeguate prestazioni e di costi compatibili con le possibilità di investimento ragionevolmente destinabili al settore. In particolare le topologie di rete ed i sistemi trasmissivi dovranno tenere in conto questo aspetto, così come gli aspetti impiantistici, sia per quanto concerne le tecniche di posa che i componenti di impianto (cavi ottici, componenti passivi ed attivi, diramatori e così via).

Nella serie di articoli che segue, e che sarà pubblicata su diversi numeri della rivista, ci si propone di offrire una panoramica del settore, abbracciando un arco di temi che va dai servizi alle architetture di rete, dai sistemi e apparati alle tecnologie ed impianti, non trascurando gli aspetti di normativa e misura. Al fine di offrire un quadro unitario e coerente, gli interventi provengono da Società del gruppo STET che, come noto, comprende sia il comparto dell'esercizio telefonico (Telecom Italia) che quello manifatturiero di apparati telecomunicazioni (Italtel), aziende installatrici (SIRTI, AET), oltre al maggiore centro di ricerca sulle Telecomunicazioni operante in Italia (CSELT); ciò consente anche di fornire un quadro visto dalle varie angolazioni.

Il primo intervento affronta gli aspetti generali, considerando i problemi di pianificazione nell'impiego delle fibre nella rete di distribuzione, in termini di fattori di mercato, di problemi derivanti dalla competizione, di considerazioni economiche, ed esaminando successivamente le possibili alternative per quanto riguarda le topologie e

architetture di rete. In due riquadri a parte sono descritti alcuni importanti esperimenti in campo condotti in Italia nel settore delle reti Metropolitane (MAN).

Il secondo intervento fornisce un esame dei tipi di apparati e sistemi sviluppati a livello di prototipo industriale specificamente per le reti di distribuzione ottiche di tipo passivo (PON, Passive Optical Networks), descrivendo in particolare le soluzioni sviluppate in Italtel.

In un articolo pubblicato nel successivo numero si scenderà sul terreno delle tecnologie e degli impianti, con una particolare attenzione alle caratteristiche della rete di distribuzione in fibra ottica attualmente realizzata in Italia. Dopo aver esaminato le ragioni che hanno portato alla scelta delle architetture attualmente adottate, saranno presentati gli apparati sviluppati per soddisfare le differenti esigenze dell'utenza affari e residenziale. Infine sarà descritta la struttura di un generico impianto, con attenzione ai componenti ed accessori che lo costituiscono (cavi, giunti, connettori, diramatori, permutatori, "mixer" ottici, accoppiatori,...). Un cenno viene anche fatto al cablaggio d'interni.

Merita a questo proposito ricordare la posizione di rilievo che l'Italia ha raggiunto in questo settore con un significativo sviluppo di impianti attuato con l'adozione di tecnologie innovative, ed una presenza industriale nello sviluppo di molti componenti, segnatamente cavi di nuova struttura (cavi a nastro) e componenti passivi, quali connettori e miscelatori.

Un elemento fondamentale per garantire qualità e continuità del servizio è costituito da efficienti sistemi di controllo, capaci di sottoporre a verifica l'integrità e la funzionalità del collegamento ed a prevenire i malfunzionamenti, o quanto meno consentire un tempestivo intervento per la loro soluzione. In un intervento dedicato a questo tema è fornito un quadro generale delle tecniche attualmente proposte per effettuare i detti controlli, con la successiva descrizione di uno specifico sistema sviluppato in Italia per gli scopi suddetti.

E' un fatto ben noto che una standardizzazione tempestiva e corretta costituisce un elemento basilare per lo sviluppo di qualunque prodotto industriale, consentendo una vasta e razionale diffusione del prodotto in oggetto. Ciò è particolarmente vero nel caso delle comunicazioni in fibra ottica, dove lo sviluppo tecnologico è molto rapido e diversificato: la standardizzazione di componenti e sistemi diventa un fattore chiave per un razionale sviluppo della rete. Nell'ultimo intervento si affronta questo tema, fornendo una panoramica puntuale ed aggiornata sullo stato della normativa nel settore, con particolare attenzione alla componentistica ottica specifica.

A conclusione di questa premessa si porge un vivo ringraziamento agli autori che hanno contribuito con i loro articoli, alle Aziende che hanno consentito alla pubblicazione del materiale presentato ed alla Rivista che ha ospitato questa panoramica di un settore che è destinato ad avere rilevanti riflessi industriali e sociali nel prossimo futuro.

Introduzione delle fibre ottiche nella rete di distribuzione: servizi, tecniche e architetture⁽¹⁾

A. Brosio, U. Mazzei, A. Moncalvo, P. Passeri, G. Roso (*)

Le ottime prestazioni che hanno caratterizzato i sistemi di trasmissione in fibra ottica finora installati nella rete di trasporto (giunzione e lunga distanza) hanno spinto i Gestori delle reti di telecomunicazioni a trasferire la positiva esperienza nella rete di accesso e di distribuzione. Tuttavia una semplice sostituzione delle coppie simmetriche con le fibre non ne sfrutterebbe appieno le caratteristiche e non sarebbe giustificata da un punto di vista economico. Questo articolo esamina le topologie e le architetture applicabili nella rete di distribuzione, discute le prestazioni che possono essere ottenute e riferisce i risultati di alcune sperimentazioni che sono indicative delle potenzialità del sistema ottico.

1. Introduzione

I sistemi di trasmissione in fibra ottica costituiscono ormai da tempo la scelta più opportuna per la rete di giunzione ed a lunga distanza ed anche in Italia dal 1986 tutti i nuovi sistemi di trasmissione installati in questo settore sono basati su tecnologie ottiche numeriche. In questo ambito essi si sono imposti per la possibilità di unire lunghi passi di ripetizione ed alta frequenza di cifra, per la qualità di trasmissione derivante dalla immunità alle interferenze e per la riduzione dei costi di installazione e manutenzione.

I buoni risultati ottenuti hanno stimolato un vivace dibattito sui possibili vantaggi connessi con l'estensione dell'uso dei portanti ottici alla rete di distribuzione ed una parallela attività di pianificazione e sperimentazione. Questo articolo si propone di esaminare le soluzioni proposte per la realizzazione di una rete di distribuzione basata su portanti ottici e di discuterne le caratteristiche essenziali allo scopo di individuare i possibili percorsi evolutivi.

2. Pianificazione dell'impiego delle fibre nella rete di distribuzione

Il processo di introduzione delle fibre ottiche nella rete di distribuzione è in corso, sia pure con diverso grado di sviluppo, in tutti i paesi ad economia avanzata a partire dai primi anni '80.

In una prima fase le strategie di sviluppo più accreditate si basavano sulle ipotesi di forte crescita spontanea della domanda di servizi a larga banda anche da parte dell'utenza residenziale e, parallelamente, sulla convinzione che il progresso tecnologico e le economie di scala conseguenti allo sviluppo dei volumi produttivi avrebbero reso concorrenziali i costi della rete ottica rispetto a quelli della rete in rame tradizionale.

L'accettazione di questo scenario portava a definire l'architettura della rete, ed a pianificare gli interventi per la sua realizzazione, con l'obiettivo, in sostanza, di attuare la sostituzione dei portanti in rame con portanti ottici mantenendo la stessa topologia a stella. In tal modo si sarebbe ottenuto un massiccio sfruttamento delle infrastrutture esistenti realizzando una capillarità di accesso pari a quella della rete di oggi. Dal punto di vista delle architetture trasmissive, le varie soluzioni elaborate in questo contesto hanno cercato di raggiungere il miglior compromesso tra i costi di investimento (spinta verso soluzioni con cavi di piccola capacità e sistemi remoti di raccolta), la possibilità di fornire servizi TV (spinta verso soluzioni basate sull'uso di più lunghezze d'onda sulla medesima fibra) e la riduzione della complessità di gestione della rete (spinta verso soluzioni basate su componenti passivi tra la centrale locale e la sede dell'utente).

A partire dagli anni '90 lo scenario sopra descritto e le conseguenti soluzioni sono stati profondamente rimessi in discussione, da un lato perché certe ipotesi di

(*) Ing. Alberto Brosio, ing. Agostino Moncalvo, dott. Giovanni Roso -CSELT- Torino; ing. Umberto Mazzei, ing. Paolo Passeri -Telecom Italia DG- Roma

(1) Rielaborazione aggiornata di un articolo degli stessi autori pubblicato sulla rivista OPTOLASER, marzo 1993, editore MASSON S.p.A. - Milano.

spontaneo sviluppo della domanda e riduzione dei costi sono apparse forse troppo ottimistiche o troppo onerose da verificare a causa degli investimenti richiesti, d'altro lato perché è apparso con evidenza che l'evoluzione della domanda da parte dell'utenza affari e le forti spinte concorrenziali stanno imponendo un forte ripensamento delle strategie di sviluppo della rete ottica ed delle topologie ed architetture ottimali per tale rete.

Un elemento fondamentale di cui tener conto nella stima dell'evoluzione della domanda di servizi è costituito dall'esigenza primaria per tutte le imprese di migliorare la competitività ed espandere la presenza sui mercati internazionali. Per i Gestori delle reti di telecomunicazioni questo significa che gli investimenti vanno decisi dando priorità ad iniziative come quelle descritte nei seguenti punti:

- creare infrastrutture di comunicazione in grado di rispondere in modo adeguato alle esigenze di servizi della grande utenza affari, in particolare a quella che opera, per l'acquisizione, la produzione e la vendita di beni, in mercati internazionali;
- adottare tecnologie per la fornitura dei servizi e la gestione della rete che assicurino al Gestore una posizione di *leadership*, consentendogli di praticare condizioni di offerta, e di ottenere una remunerazione degli investimenti, allineate con i valori di un mercato dalle caratteristiche sempre più spiccatamente concorrenziali;
- assicurare livelli di qualità del servizio coerenti con le esigenze di chi usa la rete di telecomunicazioni come supporto sempre più integrato ed insostituibile ai propri processi di produzione e distribuzione e che, di conseguenza, tende ad attribuire una valenza crescente alla disponibilità ed alla qualità trasmissiva della rete in quanto i guasti e gli errori di trasmissione tendono a produrre effetti economici di peso sempre maggiore;
- adottare soluzioni sistemistiche di rete e di gestione che non comportino investimenti eccessivi per la duplicazione e la supervisione di organi nelle parti più periferiche della rete, dove peraltro vi è una ridotta possibilità di far condividere gli investimenti tra più utenti;
- predisporre le infrastrutture di rete necessarie per soddisfare bisogni non ancora espressi ma prevedibili in relazione allo sviluppo socio-economico (es. domanda di servizi per il telelavoro e per l'intrattenimento).

Per rispondere adeguatamente alle esigenze appena espresse occorrono iniziative sia a livello delle reti a lunga distanza, in ambito internazionale e nazionale, sia a livello delle reti di distribuzione. Esse devono tenere in conto alcuni fattori che rendono difficile l'individuazione della soluzione più conveniente; tra questi i più significativi sono gli elevati investimenti richiesti per la posa delle fibre e l'incertezza sia sulla previsione della domanda da soddisfare con portanti ottici, sia sull'architettura di riferimento da adottare. Nei paragrafi che seguono si illustrano alcune fra le più significative alternative di rete ottica di distribuzione, per ognuna di esse si descriveranno le prestazioni, le architetture e si commenteranno gli aspetti di pianificazione.

3. Topologie ed architetture

Nelle reti di distribuzione basate sull'impiego esclusivo di cavi in rame a coppie simmetriche, l'unica architettura che trova una pratica applicazione è quella a stella, con portanti dedicati dalla centrale locale fino alla postazione d'utente. Al contrario l'impiego delle fibre ottiche in tale ambito, congiuntamente a sistemi di moltiplicazione di varia natura (elettronici od ottici), permette di concepire e realizzare una vasta panoramica di architetture di rete di distribuzione, in alternativa alla stella. Lo scopo primario di tali alternative è quello di condividere tra più connessioni d'utente le fibre posate, lungo tutto il percorso (dalla centrale alle locazioni da connettere) o su parte di esso. Alcune soluzioni poi offrono prestazioni aggiuntive, quali un collegamento alternativo topologicamente distinto (che accresce il grado di disponibilità del servizio), o risultano particolarmente adatte alla fornitura di servizi video diffusivi o interattivi a larga banda, anche multimediali.

La condivisione di una fibra da parte di più utenti, da un lato, porta ad una più efficiente utilizzazione della capacità di trasmissione messa a disposizione, soprattutto nell'odierna panoramica dei servizi offerti (tipicamente a banda stretta); essa consente anche uno sfruttamento più intensivo delle infrastrutture di rete (tubazioni, camerette, ecc.), che costituiscono per il gestore un patrimonio di investimenti di notevole peso. D'altro canto, si possono ridurre in tal modo gli investimenti necessari per la realizzazione dell'infrastruttura, dato il costo tuttora elevato dei cavi ottici e della relativa tecnologia (rispetto ai cavi in rame), e soprattutto delle interfacce optoelettroniche di accesso alle fibre; anche queste ultime, infatti, risultano spesso condivise (tutte o in parte) da più utenti.

Sono possibili differenti classificazioni delle architetture di rete di distribuzione ottiche, a seconda del particolare aspetto preso in considerazione. Dal punto di vista del grado di copertura in fibra realizzato sul percorso centrale-utente si individuano tre categorie, in letteratura tecnica così denominate:

- *Fibre To The Curb* (FTTC): in queste reti il collegamento in fibra ottica arriva fino ad un determinato punto (o più punti) della rete di distribuzione, ove le connessioni afferenti vengono moltiplicate elettronicamente; la restante parte del collegamento (fino alla locazione d'utente) avviene tramite portanti in rame;
- *Fibre To The Building* (FTTB): in queste reti il collegamento ottico giunge fino all'edificio in cui si trova la postazione d'utente, consentendo di collocare gli apparati di moltiplicazione in posizione più protetta, ed il collegamento fino alla locazione d'utente, realizzato con portanti metallici, è dell'ordine di un centinaio di metri. Se realizzata per l'utenza affari, essa è spesso chiamata *Fibre To The Office* (FTTO);

- *Fibre To The Home (FTTH)*: in esse il collegamento tra centrale e postazione d'utente è interamente realizzato in fibra ottica, con condivisione o meno del portante (o di parte di esso); si predispone quindi un'infrastruttura di rete già adatta per una successiva fornitura di servizi a larga banda (diffusivi od interattivi).

Per motivi principalmente economici, le architetture di tipo FTTC o FTTB risultano le più adatte ad un primo impiego dei portanti ottici nella rete di distribuzione. Infatti, oltre alla condivisione delle fibre e delle relative interfacce di accesso, esse permettono spesso il riutilizzo della parte più periferica della rete; si evita così la necessità di nuovi interventi di posa nella porzione di rete locale più dispersa, particolarmente onerosi soprattutto per ciò che riguarda le infrastrutture civili.

Le architetture che effettuano la condivisione delle fibre ottiche in uscita dalla centrale, poi, si distinguono in:

- *Architetture attive*, che impiegano apparati di moltiplicazione elettronica, spesso posizionati in strada, per affacciare insieme più collegamenti terminali d'utente (realizzati in rame o in fibra);
- *Architetture passive*, in cui la combinazione dei collegamenti d'utente (integralmente ottici) avviene tramite componenti ottici passivi come diramatori o *splitter* di potenza, sistemi a moltiplicazione di lunghezza d'onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing), ecc.

Infine, le differenti architetture di rete possono essere classificate in base alla topologia assunta dai portanti; nei prossimi paragrafi si individuano e si descrivono le principali caratteristiche di soluzioni con struttura a stella, a stella doppia (o multipla), ad albero, ad anello. A tale riguardo, nella scelta delle topologie su cui basare i nuovi progetti di rete di distribuzione è opportuno tener conto delle infrastrutture civili attualmente disponibili nelle reti in rame; in particolare, la realizzazione di reti ad anello richiede necessariamente la costruzione di nuovi condotti.

La combinazione tra le varie topologie e determinate scelte tecnologiche porta, come già detto, alla disponibilità di un vasto numero di soluzioni alternative. Nel pianificare l'evoluzione della rete di distribuzione, tali alternative devono essere valutate in base sia a considerazioni di breve periodo, sia a valutazioni strategiche di più lungo termine. In altre parole, la scelta di un'architettura di rete non può essere fatta solo in base a considerazioni finanziarie, ma occorre valutare anche come essa potrà beneficiare degli sviluppi attesi nella tecnologia e come potrà far fronte alla domanda di nuovi servizi di telecomunicazioni.

3.1 Reti a stella

Nelle reti con topologia a stella l'impiego delle fibre ottiche segue le modalità adottate per le coppie in rame nelle reti attuali, cioè a ciascun utente si riservano una,

due o più fibre sull'intero collegamento. È sottinteso che, secondo i criteri esposti in precedenza, tali architetture possono classificarsi come passive e di tipo FTTH.

Nelle soluzioni con una fibra per utente, di cui in fig. 1 è mostrato un esempio, questa viene condivisa per le due direzioni di trasmissione. Ciò può avvenire tramite l'impiego di accoppiatori ottici direzionali (equivalenti alle "forchette" telefoniche delle reti attuali in rame), come mostrato in figura. In alternativa si possono utilizzare dispositivi WDM molto semplici, che effettuano una discriminazione spettrale tra le due "finestre ottiche" utilizzate oggi nelle fibre monomodo (1300 e 1500 nm), assegnando una lunghezza d'onda a ciascuna direzione.

Le soluzioni con due fibre per utente riservano una fibra per ciascuna direzione di trasmissione.

I principali vantaggi delle architetture a stella possono essere così riassunti:

- il collegamento ottico per ciascun utente è completamente "trasparente" a qualsiasi segnale trasmesso, in quanto non si adottano particolari trame di moltiplicazione temporale tra più connessioni, né assegnazioni di lunghezze d'onda (nel caso di due o più fibre per abbonato);
- a ciascun utente è riservata l'intera capacità della fibra, permettendo quindi di allocare agevolmente sia gli odierni servizi a banda stretta, sia servizi a larga banda già disponibili o che potranno originarsi nel futuro (ad esempio impiegando differenti lunghezze d'onda);
- le modalità di pianificazione e di progettazione della rete, di gestione delle risorse, di prova dei collegamenti, ecc., possono essere analoghe a quelle delle reti attuali, per cui non occorre sviluppare procedure particolari completamente nuove;
- in sostanza, data anche la scelta di utilizzare comunque fibre monomodo, la compatibilità con qualunque sviluppo futuro (per quanto concerne sia i componenti, sia le tecniche di trasmissione, sia i servizi) risulta massima.

Per contro, queste soluzioni presentano i seguenti inconvenienti:

- i costi di connessione per utente risultano, attualmente, sensibilmente più elevati di quelli di altre architetture in fibra ottica (nonché delle reti in rame) a causa della

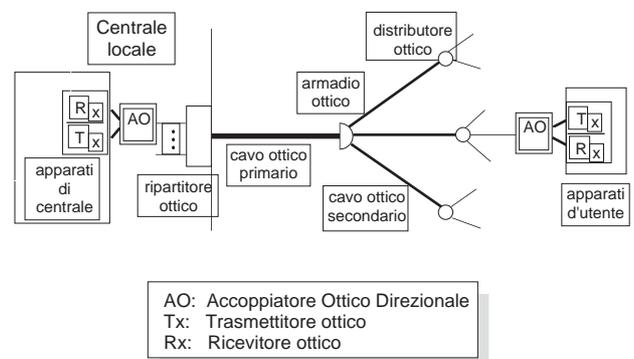


Figura 1 Architettura a stella, con una fibra per utente

mancata condivisione di portanti ed interfacce optoelettroniche (anche se, per quanto riguarda trasmettitori e ricevitori ottici, possono qui impiegarsi componenti con prestazioni e costi contenuti, almeno per gli attuali servizi a banda stretta);

- nel medio-lungo termine, si incontrano gli stessi problemi di saturazione delle infrastrutture civili (locali di centrale, tubazioni, camerette, ecc.) riscontrati nelle reti attuali in rame;
- analogamente, si ripresentano altri inconvenienti tipici di una rete a stella, quali: la mancanza (sull'intero collegamento d'utente) di un "cammino" topologicamente alternativo per connessioni di pregio, salvo realizzarlo con ulteriori fibre e pose aggiuntive (a costi notevolmente elevati); la mancanza di flessibilità per quanto concerne le previsioni di sviluppo dell'utenza e della sua localizzazione nell'area da servire, che porta (in fase di progetto) ad un immobilizzo eccessivo di risorse in fibra; ecc.

Nonostante gli investimenti necessari per una rete ottica a stella siano tuttora elevati, come già osservato, alcuni Gestori (ad esempio NTT in Giappone) sono orientati ad adottare tale soluzione per lo sviluppo futuro delle loro reti di distribuzione, considerando di grande rilevanza la flessibilità nei confronti dei futuri sviluppi tecnologici e di servizi. Inoltre, essi valutano che il continuo abbassamento dei costi delle fibre e dei componenti optoelettronici (anche in previsione delle economie di scala derivanti da un grande sviluppo del mercato) farà sì che i costi di connessione per utente si avvicineranno a quelli delle altre soluzioni in fibra ottica.

In Europa si ritiene che non sussistano ancora le condizioni, soprattutto economiche, per un dispiegamento capillare di architetture a stella FTTH. Si ammette tuttavia che questa topologia costituirà a lungo termine la soluzione più idonea per il supporto della B-ISDN (Broadband ISDN), basata sulla tecnica di trasferimento asincrono o ATM (Asynchronous Transfer Mode). Le strategie di evoluzione della rete di distribuzione verso la B-ISDN sono in corso di formulazione e valutazione in diversi Paesi. Oltre a considerazioni di mercato (ad es. sviluppo della domanda) e tecniche (ad es. maturità delle nuove tecnologie e stato attuale della rete), assumono rilevante importanza fattori di altra natura, tra cui emergono quelli di regolamentazione, sviluppo economico e competitività internazionale, disponibilità di adeguati standard in tempo opportuno, ecc.

Il trasporto delle celle ATM tra i nodi della B-ISDN necessita di un sistema trasmissivo. A tal fine sono state definite sia in ambito ETSI che ITU-T (già CCITT) le funzionalità per il trasporto di celle ATM sulle trame dei diversi livelli della gerarchia numerica di trasmissione sia plesiocrona che sincrona e sono in corso numerose sperimentazioni, in particolare nel quadro del programma europeo di ricerca RACE.

CSELT ed Italtel hanno condotto in collaborazione, nell'ambito del progetto BLNT (Broadband Local Network

Technology), un'attività volta alla sperimentazione dell'accesso d'utente a larga banda. L'obiettivo proposto è stato duplice: sperimentare le diverse funzionalità della connessione d'utente a larga banda basata su di un collegamento fisico SDH sia dal punto di vista trasmissivo che di gestione e crearsi la disponibilità di un insieme di componenti che realizzassero le funzioni chiave dei sistemi SDH, sui quali effettuare valutazioni e costruire ulteriori esperimenti.

Il sistema sviluppato è caratterizzato da una velocità di linea di 622 Mbit/s nella direzione da centrale verso utente (downstream) e di 155 Mbit/s nella direzione inversa (upstream). Il flusso downstream risulta dalla moltiplicazione di tre canali STM-1 per servizi diffusivi e di uno per servizi interattivi ed è strutturato secondo la trama STM-4 della gerarchia sincrona. Il flusso upstream trasporta il canale interattivo e la segnalazione di ritorno per i canali diffusivi ed è strutturato secondo la trama STM-1. Il mezzo trasmissivo è costituito da una singola fibra ottica monomodo; per separare le portanti ottiche nelle due direzioni di trasmissione si impiega la tecnica WDM: la portante ottica nella direzione centrale-utente è stata allocata a 1300 nm, mentre nella direzione opposta si opera con una portante a 1530 nm.

Al collegamento ottico si interfacciano rispettivamente il terminale di centrale (Line Termination, LT) e quello d'utente (Network Termination 1, NT1), che svolgono sia funzioni trasmissive che di controllo e gestione, come il monitoraggio del tasso d'errore, le procedure di attivazione e disattivazione, la segnalazione dei guasti.

In particolare nel moltiplicatore del terminale LT, in direzione downstream, vi è una prima funzione di inserimento delle celle ATM nell'elemento della trama SDH denominato Virtual Container di classe 4 (VC-4) con l'aggiunta degli opportuni byte di controllo relativi al Path Overhead (POH); a questa funzione viene fatta seguire una seconda che aggiunge al VC-4 i byte del Section Overhead (SOH) per formare il flusso STM-1; quattro di questi flussi sono moltiplicati in un unico flusso STM-4. Le funzioni duali di quelle sopra descritte sono presenti nel corrispondente demoltiplicatore del terminale NT1. In direzione upstream i terminali NT1 e LT provvedono alla generazione/estrazione dei byte SOH, lasciando transitare inalterati i flussi VC-4.

L'intero sistema di accesso B-ISDN è stato sperimentato con successo e in laboratorio su di un collegamento in fibra di 10 km. Il collegamento bidirezionale ha operato con un tasso d'errore migliore di 10^{-9} : le sensibilità dei due ricevitori assicurano un sufficiente margine a garantire questo livello di prestazioni.

3.2 Reti a doppia stella (o a stella multipla)

Nelle architetture a doppia stella le fibre ottiche in uscita dalla centrale vengono condivise da un numero più o meno elevato di connessioni d'abbonato (in

dependenza della tecnologia impiegata) fino ad un determinato punto della rete di distribuzione, ad esempio coincidente con un armadio della rete attuale. A partire da questo punto intermedio, una rete a stella di collegamenti dedicati raggiunge le singole locazioni d'utente; tali collegamenti possono essere realizzati pure in fibra ottica (architetture FTTH), oppure con portanti in rame (architetture FTTC), eventualmente sfruttando risorse di rete già presenti.

Il vantaggio principale di questo tipo di reti è chiaramente il risparmio di fibre sulle tratte primarie della rete, ciò spiega il notevole successo di tale soluzione negli USA, dove tale segmento di rete può raggiungere notevoli lunghezze (anche superiori a dieci km): già nel 1989 vi erano 6,6 milioni di linee d'utente connesse a sistemi remoti di raccolta FTTC.

Il nodo remoto può essere costituito da un apparato di moltiplicazione e/o concentrazione elettronica (reti di distribuzione attive), genericamente denotato in letteratura con la sigla DLC (*Digital Loop Carrier*). Normalmente esso risulta connesso alla centrale tramite due coppie di fibre e relative interfacce, di cui una di riserva per motivi di affidabilità. In fig. 2 è mostrato lo schema di massima di una soluzione con DLC.

Attualmente si impiegano apparati elettronici della gerarchia plesiocrona, che costituiscono prodotti industrialmente maturi, quindi relativamente affidabili e con costi contenuti. La velocità di cifre sulle fibre primarie è tipicamente di 34 Mbit/s in Europa, di 45 Mbit/s nel Nord America. Si prevede una rapida evoluzione verso l'impiego delle interfacce trasmissive della gerarchia sincrona, con velocità di trama sulla fibra primaria di 50 Mbit/s (standard ANSI SONET-Synchronous Optical Network americano), o 155 Mbit/s (standard ITU-T SDH-Synchronous Digital Hierarchy europeo).

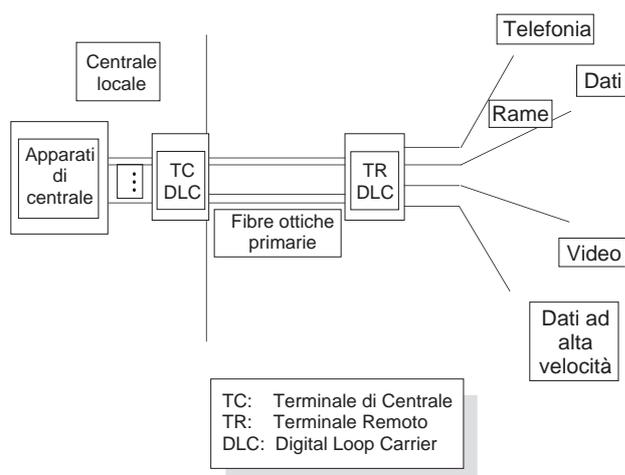


Figura 2 Architettura attiva a doppia stella con sistema DLC

Oltre alle opportunità economiche, l'impiego dei sistemi DLC in fibra migliora notevolmente le prestazioni offerte rispetto alle reti in rame; infatti:

- i collegamenti in rame vengono ridotti alla sola rete secondaria (con lunghezze in genere inferiori al km), con un conseguente miglioramento della qualità di trasmissione;
- si rende disponibile presso il nodo remoto una ampia capacità trasmissiva "strutturata", che permette di far fronte in tempi ragionevoli e con costi marginali ridotti ad una crescita imprevista dell'utenza, o ad una richiesta di maggiore banda da parte di utenza affari.

Un inconveniente delle architetture a doppia stella attive è che possono portare ad una proliferazione di apparati elettronici in strada; ciò può generare alcuni problemi, più o meno rilevanti, tra i quali si citano:

- l'alimentazione degli apparati, realizzabile con connessione diretta alla rete di distribuzione pubblica dell'energia o da centrale per via remota, e la necessità di predisporre batterie tampone di riserva per assicurare la continuità del servizio;
- i problemi di carattere urbanistico ed ambientale, dovuti alla difficoltà di ottenere le licenze di installazione dei terminali remoti (generalmente di notevole ingombro);
- i potenziali maggiori oneri in termini di esercizio e manutenzione della rete per la presenza di apparati in ambiente esterno.

Un'applicazione particolare delle reti a doppia stella, frequente nella rete di Telecom Italia, consiste nella eliminazione delle centrali elettromeccaniche di piccola dimensione, presenti in numero rilevante soprattutto in aree rurali; in esse, il nodo *Hub* (fig. 3) va a sostituire l'autocommutatore locale e si connette direttamente in fibra ottica ad una centrale di dimensioni maggiori.

Tutti gli schemi con struttura a doppia stella (o stella

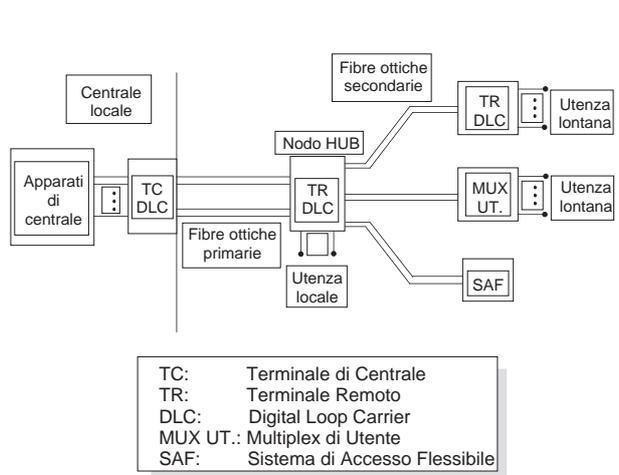


Figura 3 Architettura attiva a stella multipla, con un sistema DLC in configurazione ad HUB

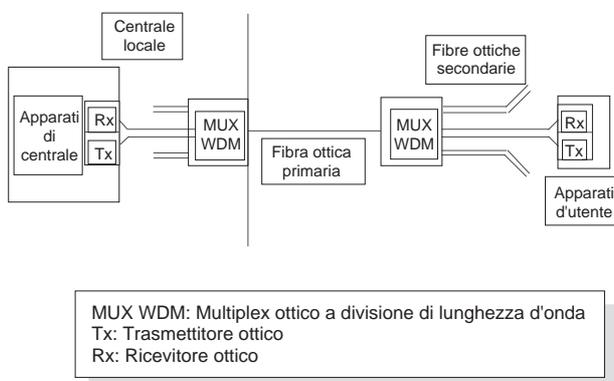
multipla) illustrati in precedenza sono di tipo attivo (cioè con nodi elettronici). Un modo per realizzare una architettura a doppia stella passiva consiste nell'installare presso il nodo remoto un moltiplicatore ottico WDM, connesso ad un analogo apparato posto in centrale locale tramite una o due fibre ottiche; lo schema di massima è illustrato in fig. 4. La rete secondaria a stella generalmente riserva due fibre per utente (una per ogni direzione di trasmissione). In questa soluzione a ciascun abbonato vengono assegnate due lunghezze d'onda distinte, per i due versi del collegamento; in centrale queste vengono moltiplicate assieme a quelle degli altri utenti sulle fibre primarie, e demoltiplicate in corrispondenza del nodo remoto.

I vantaggi principali di questa soluzione possono così riassumersi:

- si realizza una rete di distribuzione completamente passiva, di tipo FTTH, con componenti generalmente assai compatti, eliminando quindi gran parte degli inconvenienti legati alla posa di nodi elettronici in strada;
- gli utenti hanno a disposizione canali ottici indipendenti, completamente trasparenti al segnale trasmesso; la capacità offerta è quindi molto grande, e può trasportare più servizi anche a larga banda (con i differenti segnali ad esempio moltiplicati in TDM);
- questa architettura risulta compatibile con i futuri sviluppi tecnologici nel campo della trasmissione ottica.

Per contro, occorre tenere presente che:

- queste soluzioni si basano su tecnologie ottiche non ancora del tutto mature, con i costi dei componenti che ne conseguono; ad esempio si debbono impiegare in trasmissione laser DFB (Distributed FeedBack) a spettro di emissione stretto ed i ricevitori ottici debbono possedere una buona sensibilità;
- per quanto concerne i dispositivi WDM, i prototipi realizzati finora arrivano ad un massimo di 10-20 lunghezze d'onda moltiplicate su una fibra, per cui il numero di utenti che possono essere serviti con una fibra primaria è oggi limitato;
- infine queste architetture ottiche, a differenza di altre, non consentono alcuna condivisione delle interfacce optoelettroniche.



MUX WDM: Multiplex ottico a divisione di lunghezza d'onda
Tx: Trasmettitore ottico
Rx: Ricevitore ottico

Figura 4 Architettura passiva a doppia stella con sistema ottico WDM

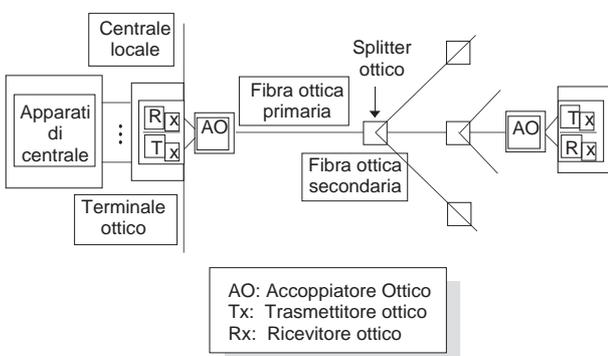
3.3 Reti ad albero

Con la definizione di "reti ad albero" si indicano delle architetture in cui i portanti ottici in uscita dalla centrale subiscono diverse diramazioni prima di raggiungere la postazione d'utente. Si tratta di soluzioni tipicamente passive che, per la loro conformazione, consentono risparmi, oltre che in termini di numero d'interfacce d'accesso alla rete (condivisione), anche nella posa di fibre in differenti sezioni della rete di distribuzione (primaria, secondaria) prevedendo più stadi di diramazione in cascata. Con tali strutture inoltre si possono realizzare reti FTTH molto capillari sul territorio, senza dover ricorrere ad un immobilizzo eccessivo di risorse (come avviene invece nelle reti a stella).

Uno schema di architettura passiva ad albero (*Passive Optical Network, PON*) è mostrato in fig. 5, dove è previsto l'impiego di diramatori ottici non selettivi o *splitter* di potenza. Una fibra primaria esce dalla centrale locale e subisce una prima ramificazione ad esempio a livello di armadio. Qui un diramatore ottico suddivide uniformemente la potenza trasmessa dal terminale ottico di centrale tra le fibre secondarie; nella direzione opposta, il dispositivo accoppia i segnali ottici delle fibre secondarie (inviati dai terminali d'utente) sulla fibra primaria.

Un secondo stadio di diramazione può essere posizionato ad esempio a livello del punto di distribuzione della rete secondaria, dove si dipartono i rilegamenti ottici d'utente, ovvero direttamente presso condomini residenziali o centri commerciali. Ulteriori livelli di diramazione non sembrano giustificati dalle distanze in gioco, almeno nelle reti italiane ed europee, e d'altra parte possono comportare problemi nel bilancio di potenza complessivo (introducendo un'attenuazione eccessiva sul collegamento utente-centrale). Sia in centrale che presso la sede d'abbonato, poi, la stessa fibra può essere utilizzata per ambedue le direzioni di trasmissione (impiegando accoppiatori ottici direzionali o dispositivi WDM).

Le caratteristiche trasmissive di una rete così costituita sono tipicamente diffuse (*broadcast*) in quanto il segnale ottico trasmesso dalla centrale arriva identico a



AO: Accoppiatore Ottico
Tx: Trasmettitore ottico
Rx: Ricevitore ottico

Figura 5 Architettura passiva ad albero con splitter ottici

tutte le terminazioni ottiche di rete. Al fine di realizzare connessioni interattive per servizi di comunicazione (telefonia, dati, ecc.), occorre impiegare una tecnica per regolare l'accesso multiplo al mezzo trasmissivo comune. Ciò può essere realizzato inviando sulla fibra nella direzione utente-centrale una trama TDM in cui sono multiplati i singoli canali di abbonato; nella direzione opposta si realizza un sistema TDMA (*Time Division Multiple Access*), regolando (sotto il controllo del terminale di centrale) l'accesso agli intervalli temporali assegnati a ciascun utente, impedendo possibili conflitti.

Dato che queste soluzioni non impiegano segnali ottici con particolari esigenze spettrali, si possono utilizzare come sorgenti dei laser Fabry-Perot più economici dei DFB, mentre occorrono ricevitori ottici con buona sensibilità vista l'attenuazione introdotta dagli *splitter*. Con i componenti ottici oggi disponibili, si possono arrivare a connettere fino ad alcune decine di terminazioni ottiche remote. Si potrebbe elevare tale numero addirittura oltre il migliaio, con impiego di amplificatori ottici a fibra drogata con erbio (a 1500 nm) o con praseodimio (a 1300 nm); ciò viola però le caratteristiche passive dell'architettura, e d'altro canto potrebbe non essere giustificato, almeno nella realtà delle reti europee, dal punto di vista economico ed affidabilistico.

I vantaggi principali dell'architettura ad albero illustrata possono così riassumersi:

- analogamente alle reti a doppia stella WDM, si realizzano soluzioni interamente passive, con i vantaggi già citati, tramite l'impiego d'altro canto di una tecnologia ottica sufficientemente matura, tale da rendere queste soluzioni già oggi applicabili;
- l'uso di componenti optoelettronici di costo contenuto e la condivisione da parte di più utenti dei portanti in fibra e delle interfacce ottiche di centrale permettono di realizzare (con investimenti moderati) una struttura ottica capillare, adatta a fornire gli odierni servizi a banda stretta a costi competitivi;
- date le caratteristiche tipicamente diffuse, queste reti si prestano perfettamente ad una successiva fornitura di servizi diffusivi a larga banda, impiegando una lunghezza d'onda diversa da quella adoperata per i servizi a banda stretta, e riducendo eventualmente (per motivi energetici) il fattore di diramazione globale (ad esempio alimentando lo *splitter* primario con una seconda fibra);
- in maniera analoga, si può fornire un numero limitato di canali interattivi a larga banda ad utenti affari selezionati;
- data la particolare natura della rete, priva di apparati attivi in ambito esterno, i costi di esercizio e manutenzione dovrebbero risultare limitati.

Tali vantaggi sono controbilanciati dai seguenti aspetti negativi:

- il costo del terminale ottico di rete, e quindi la convenienza economica d'impiego dell'intera architettura, è fortemente condizionato dal tipo di tecnologia elettronica utilizzata in relazione alla frequenza di cifra della trama TDM; volendo impiegare

componenti CMOS a basso costo e basso consumo, il limite imposto è intorno ai 50-70 Mbit/s, il che limita la capacità assegnabile a ciascun utente (o il numero di utenti serviti con una singola fibra primaria);

- infine deve essere garantita la riservatezza delle comunicazioni, anche impiegando tecniche crittografiche.

Le prime applicazioni delle reti PON sono orientate al trasporto dei servizi telefonici ed a banda stretta attualmente già disponibili, utilizzando le lunghezze d'onda intorno a 1300 nm (TPON). È possibile sfruttare anche la zona intorno a 1500 nm per trasportare segnali a larga banda, ad esempio servizi video diffusivi, con l'inserimento di moltiplicatori e demoltiplicatori WDM per gli utenti cui il servizio è destinato e di filtri ottici arrestabanda per gli utenti da interdire. Questa soluzione è solitamente chiamata BPON (Broadband PON).

Il trasporto dei segnali televisivi può avvenire in maniera analogica o numerica. Nel primo caso un insieme di canali televisivi è multiplato in frequenza, modulando le singole portanti in VSB-SC (Vestigial Side Band-Suppressed Carrier) oppure in FM. Tale tecnica di moltiplicazione è denominata SCM (Sub-Carrier Multiplexing). La modulazione lineare (VSB-SC) richiede però un elevato rapporto segnale/rumore in ricezione, di conseguenza necessita di sorgenti di elevata potenza e non si adatta a reti con elevato numero di terminazioni, ma può realizzare una canalizzazione identica a quella usata nelle reti per la televisione via cavo (CATV). La modulazione FM consente invece di sopperire alla limitata potenza disponibile al prezzo di una maggiore larghezza di banda occupata dal segnale modulato. La demoltiplicazione viene effettuata nella terminazione ottica di rete mediante filtraggio del segnale elettrico.

La codifica numerica è più impegnativa dal punto di vista realizzativo e dei costi, ma presenta alcuni vantaggi. Infatti essa consente di:

- ottenere una elevata qualità del segnale ricevuto con una buona insensibilità alle caratteristiche del sistema trasmissivo;
- adottare la tecnica di moltiplicazione a divisione di tempo, con notevole semplificazione degli apparati di multi/demoltiplicazione che possono essere conformi allo standard ATM;
- usare semplici scrambler per escludere dal servizio gli utenti non autorizzati.

È anche possibile utilizzare una soluzione mista, se il singolo canale multiplato in frequenza (SCM) contiene un segnale numerico, ad esempio ottenuto con modulazioni a ridotta occupazione spettrale come il QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*).

Nel caso di introduzione di una BPON in sovrapposizione ad una TPON, si deve tener conto dell'attenuazione dei collegamenti già installati e della diminuzione della sensibilità dei ricevitori all'aumentare della frequenza di cifra in linea o della banda dei segnali

interessati. Si può ovviare a questi inconvenienti con l'uso di amplificatori ottici.

Una interessante evoluzione del principio delle reti PON prevede la trasmissione delle celle ATM. Una PON basata su questo principio viene detta APON (ATM-PON). La particolare struttura della APON suggerisce di effettuare la trasmissione delle celle ATM da centrale ad utente in modo continuo, eventualmente inserendole in una trama SDH. Nel verso di trasmissione da utente a centrale, invece, è necessario evitare la sovrapposizione delle celle ATM generate da differenti utenti. Occorre allora ricorrere ad una trasmissione a burst di tali celle, inserendo un preambolo con le seguenti funzioni:

- disporre di un sufficiente tempo di guardia tra le celle generate da diversi terminali per compensare le differenze dei ritardi, variabili fra i terminali;
- consentire al ricevitore di recuperare in breve tempo la sincronizzazione di bit e fissare il livello di soglia del rivelatore in funzione dell'ampiezza del segnale ricevuto (variabile da utente ad utente);
- consentire al ricevitore di allinearsi con sufficiente sicurezza con l'inizio della cella.

La APON deve trasportare informazioni che transitano su interfacce utente-rette a larga banda la cui velocità è di 155 o 622 Mbit/s, quindi la frequenza sulla fibra è dell'ordine delle centinaia di Mbit/s (potenzialmente anche del Gbit/s) per cui i problemi di sincronizzazione sono particolarmente delicati.

Ogni utente può inviare verso la centrale un numero variabile di celle per volta. È così possibile realizzare un sistema di accesso in cui la capacità è allocata in modo dinamico a ciascun utente a seconda delle richieste dei servizi.

Lo studio e la sperimentazione di un sistema per il trasporto di celle ATM su una rete ottica passiva ad albero ad una velocità di cifra intorno a 622 Mbit/s costituiscono l'obiettivo del progetto RACE BAF (Broadband Access Facilities) in cui operano, insieme ad altri partner, CSELT ed Italtel. Si prevede che le prove di laboratorio sul sistema completo saranno ultimate entro la fine del 1994; la direzione del progetto ha proposto di far seguire a questa prima fase una sperimentazione in campo. Per l'Italia è stato proposto l'inserimento del dimostratore BAF nella sperimentazione di rete ottica passiva che è stata avviata da SIP a Torino fra la Centrale Stampalia e la sede dello CSELT ed in cui sono coinvolti CSELT ed Italtel insieme ad altri costruttori ed installatori.

3.4 Reti ad anello

In un'architettura ad anello una o più fibre ottiche partono dalla centrale locale ed attraversano, in successione, tutte le locazioni d'utente da servire; all'altro estremo del percorso le fibre si richiudono nella centrale locale, attraverso una direttrice distinta da quella di partenza. La capacità di trasmissione globale delle fibre

lungo tutto il percorso dell'anello è costante, e viene distribuita in maniera più o meno flessibile agli utenti che la richiedono, mediante apparati che realizzano l'inserimento e l'estrazione di canali (*add-drop*) in ciascuna locazione o nodo attraversato.

La caratteristica fondamentale di queste reti è costituita dalla presenza di un collegamento topologicamente alternativo per ciascun nodo connesso, fatto che accresce notevolmente la disponibilità del servizio. Infatti, questo può continuare per tutti gli utenti anche nel caso di rottura del cavo ottico o di malfunzionamento di un nodo trasmissivo (il servizio continua per gli utenti degli altri nodi). Il prezzo maggiore da pagare per tale prestazione generalmente è quello di dover realizzare nuove infrastrutture (condotti, camerette, ecc.) per richiudere l'anello tra due direttrici contigue delle attuali reti in rame.

La rete ad anello può essere realizzata in modo da portare fino alle sedi d'utente due collegamenti ottici distinti o, in modo più economico, si possono realizzare delle topologie miste ad "anello-stella". In esse le fibre primarie attraversano una successione di nodi di raccolta, che possono anche coincidere con la localizzazione di grossi condomini o centri commerciali; da tali nodi si dipartono delle reti a stella (in fibra ottica o in rame, a seconda della tecnica impiegata per il nodo e/o della capacità di collegamento richiesta), che raggiungono le singole locazioni da connettere. È da rilevare che, mentre il doppio collegamento fisico non è generalmente giustificato (da un punto di vista economico e/o strategico) per singoli utenti residenziali o piccolo-affari, può senz'altro esserlo per un apparato di raccolta che connette un numero rilevante di utenti, quale può essere installato in un nodo di una rete ad anello.

Uno schema di rete di distribuzione con topologia mista ad anello-stella è mostrato in fig. 6.

Vantaggi ed inconvenienti di queste soluzioni sono analoghi a quelli degli schemi a doppia stella con sistemi DLC, oltre alle caratteristiche specifiche dovute

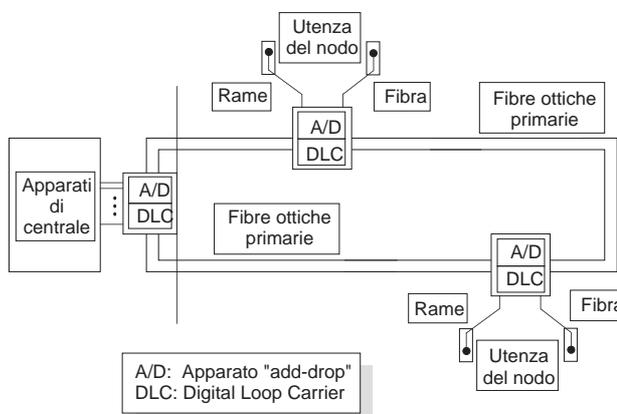


Figura 6 Architettura attiva mista anello-stella, con sistemi DLC *add-drop*

alla configurazione ad anello. In particolare:

- viste le elevate velocità che la gerarchia sincrona consente di raggiungere sulla fibra (155 Mbit/s, 622 Mbit/s o 2.4 Gbit/s), si possono realizzare reti di raccolta ad alta capacità, con elevata flessibilità nei confronti dei servizi forniti e della banda assegnata a ciascun utente, e con un elevato grado di disponibilità;
- la particolare flessibilità nella distribuzione della capacità delle fibre sul territorio permette di superare in parte i problemi dovuti ad una difficile previsione della localizzazione dell'utenza in fase di progetto della rete;
- il fatto che le stesse fibre ottiche attraversino molte locazioni d'utente (o transitino relativamente vicino ad esse) può favorire la fornitura di servizi diffusivi a larga banda, eventualmente al di fuori della capacità distribuita dai sistemi elettronici (impiegando lunghezze d'onda distinte e tecniche WDM).

Per contro, i principali problemi possono così riassumersi:

- i costi di realizzazione dell'infrastruttura di rete ottica sono senz'altro superiori rispetto alle architetture più tradizionali, soprattutto (come già rilevato) per la necessità di nuovi interventi in opere civili;
- si ripresentano tutti gli inconvenienti (di ordine ambientale, operativo, ecc.) legati all'impiego di apparati elettronici in strada.

Una soluzione molto promettente per le applicazioni in reti ad anello, legata all'adozione della gerarchia sincrona, è quella delle architetture SHR (*Self-Healing Ring*), in cui cioè si realizzano anelli "autoprotetti". Il sistema di protezione e di riconfigurazione del collegamento in caso di guasto è qui interamente affidato alla struttura della trama sincrona ed ai segnali di servizio in essa previsti; non è quindi necessario prevedere e realizzare a tale scopo complessi e costosi sistemi di supervisione e di gestione delle risorse. Se ne ricavano configurazioni di accesso molto robuste e flessibili, caratterizzate da un grado di disponibilità del collegamento molto elevato, adatte anche per realizzare connessioni in "doppia via" (con anelli in fibra interamente dedicati) per grandi utenti affari che non accettano di condividere i propri portanti con altri utenti.

Soluzioni di questo tipo sono offerte anche da Telecom Italia, in particolare alla grande utenza affari.

3.5 Architetture con connessione a doppia centrale

Per concludere, si vuole accennare ad una nuova tipologia di architetture di rete di distribuzione e di accesso che sta incontrando un crescente interesse in letteratura tecnica e presso molti Gestori. La loro caratteristica fondamentale è che le sedi dei grandi utenti affari, ovvero gli apparati di raccolta di utenza medio-piccola, risultano fisicamente connessi a due centrali

locali distinte. Come tali, questi schemi si pongono come valida alternativa alle reti con topologia ad anello chiuso all'interno di un'area di centrale attuale, apparendo competitive non solo in termini di prestazioni ed affidabilità (chiaramente accresciute) ma spesso anche dal punto di vista di un puro confronto economico.

Per quanto concerne il grado di servizio offerto, che rappresenta il punto di forza più evidente di queste nuove architetture, occorre rilevare che molto spesso, nelle odierne reti, la fonte maggiore di disservizio (in termini di tempo medio di fuori servizio per anno) non risiede nei collegamenti della rete di distribuzione, bensì negli apparati di centrale (autocommutatori, ripartitori elettronici, gruppi elettrogeni, sistemi di condizionamento, ecc.). Non risulta quindi del tutto razionale investire ingenti capitali per fornire una doppia via fisica verso la centrale locale alle sedi d'utente (o agli apparati di raccolta) se poi non si pensa di duplicare in qualche modo i sistemi in centrale. Tale duplicazione, d'altro canto, appare molto onerosa, e talvolta di difficile o impossibile attuazione (ad esempio per quanto concerne i cunicoli di accesso ai locali di centrale, che sono comuni a tutte le direttrici dell'area locale).

Una risposta razionale a questi problemi è rappresentata proprio dalla connessione degli apparati periferici a due centrali distinte, che rende strutturalmente superflua qualsiasi duplicazione d'apparato centralizzato e può offrire una doppia via effettiva (ad esempio attraverso instradamenti distinti in rete di giunzione) verso un qualsiasi centro servizi o nodo non necessariamente posizionato nella centrale locale. Alcuni Gestori stanno già oggi applicando il principio del *Multihosting*, in cui la capacità totale assegnata ai grossi utenti affari (circuiti telefonici commutati, circuiti dati, ecc.) viene suddivisa in due parti, ciascuna delle quali è affidata ad una centrale diversa (o addirittura, ad esempio negli USA, a due operatori diversi); in questo modo, in caso di interruzione del portante o di malfunzionamento degli apparati di una centrale, si ha un degrado del servizio offerto ma non una perdita totale. Tali reti sono così pronte ad evolvere verso il concetto del *Multihoming*, in cui gli autocommutatori e gli apparati di trasmissione sono in grado di scambiarsi totalmente tra loro la capacità assegnata all'utente e le funzioni di rete, assicurando quindi una protezione senza alcuna riduzione del grado di servizio in caso di guasto.

Per quanto concerne la tecnologia impiegabile per realizzare le architetture qui illustrate, questa può essere del tutto analoga a quella utilizzata nelle reti ad anello, con nodi elettronici dotati di funzioni *add-drop*. In particolare, le soluzioni di tipo *Self-Healing Ring* (SHR) si prestano alla realizzazione di reti di accesso (per apparati di raccolta o dedicate ad un grande utente affari) estremamente robuste, con doppia via fisica di collegamento e duplicazione dei punti di interfacciamento con la rete di giunzione.

Sistemi ed apparati per reti ottiche passive⁽¹⁾

A. Profumo (*)

I sistemi PON consentono di supportare efficacemente, in termini di costi e flessibilità, i servizi interattivi (telefono) e distributivi (televisione) sulla stessa infrastruttura ottica, in accordo con il cammino evolutivo verso la rete integrata a larga banda (B-ISDN).

I sistemi PON sono contraddistinti dal fatto che una singola terminazione di linea (Optical Line Termination) dal lato centrale è interconnessa con un certo numero di terminazioni di rete (Optical Network Units), tramite una rete ottica passiva, Passive Optical Network per l'appunto, o altrimenti definita Optical Distribution Network (ODN), realizzata in fibra ottica monomodale e componenti ottici passivi.

Tale caratteristica consente di supportare su un numero limitato di interfacce di centrale, quelle a cui si attesta la OLT, il traffico telefonico proveniente dalla molteplicità degli utenti supportati dalle differenti ONUs, con conseguenti economie di costi.

Gli utenti sono interconnessi alle ONUs tramite i tradizionali doppini in rame.

La struttura punto-multipunto del sistema consente di supportare agevolmente anche la distribuzione del servizio televisivo diffusivo, in maniera analoga ai sistemi CATV: le soluzioni attualmente operative prevedono l'uso di una differente lunghezza d'onda ottica o di una rete ottica dedicata per la trasmissione di un segnale ottico modulato linearmente (Sub Carrier Multiplexing) dall'insieme dei segnali televisivi; tale segnale, una volta riconvertito in segnale elettrico nelle varie ONUs, è portato da queste ai vari utenti attraverso una interconnessione in cavo coassiale.

Le prime sperimentazioni in campo di questi sistemi sono state condotte in Inghilterra da British Telecom, utilizzando il sistema "Bit Transport System", e sono state seguite da altre sperimentazioni, tra le quali quella condotta da Telecom Italia in due differenti località, a Roma, nella sede della Direzione Generale di Telecom Italia, e a Torino, nella sede dello CSELT.

Per quest'ultima sperimentazione Italtel ha sviluppato un sistema prototipale, denominato DROP-240, in grado di supportare tramite una singola OLT sino a 8 ONUs, per un totale di 240 utenti telefonici. Lo stesso sistema include un sottosistema di rice-trasmissione dei segnali televisivi, sempre sviluppato da Italtel, in grado di trasportare segnali modulati FM nella banda 100-1800 MHz.

1. Introduzione

Uno dei principali obiettivi dei gestori della rete telefonica è il trasporto, sulla stessa rete utilizzata per il servizio telefonico, di tutti gli altri servizi di telecomunicazioni: tale obiettivo è il motivo delle attività in corso per lo sviluppo della rete integrata a larga banda (B-ISDN, Broadband Integrated Service Digital Network), che si ripromette di soddisfare anche le più esigenti richieste dell'utenza, quali, ad esempio, quelle legate alla televisione ad alta definizione.

I requisiti di banda (oltre 100 MHz) dei segnali B-ISDN rendono necessario l'utilizzo della fibra ottica

e dei relativi sistemi di trasmissione: la fibra ottica è del resto già diffusamente utilizzata per il trasporto del servizio telefonico.

La rete di giunzione, così definita quella parte della rete che interconnette le centrali, tende ad essere realizzata prevalentemente in fibra ottica.

Nella rete di distribuzione primaria, quella che dalle centrali raggiunge il primo punto di flessibilità (ramificazione) nel percorso sino al singolo utente, sono in fase di avanzata sperimentazione i primi sistemi in fibra ottica basati sulla gerarchia sincrona (SDH, Synchronous Digital Hierarchy).

(*) ing. Alberto Profumo -Italtel- Castelletto di Settimo Milanese

(1) Rielaborazione aggiornata di un articolo dello stesso autore pubblicato sulla rivista OPTOLASER, marzo 1993, editore MASSON S.p.A. - Milano.

In tutti questi casi i costi dei componenti elettro-ottici sono ripartiti sull'alto numero di linee telefoniche (sino a 1890 per un sistema SDH a 155 Mbit/s) trasportate dal singolo sistema.

Nella rete di distribuzione secondaria è invece impossibile ottenere la stessa ripartizione dei costi, a causa del numero limitato di utenti serviti dal singolo sistema; in Italia, come del resto anche negli altri paesi europei, è quasi esclusivamente utilizzato il comune doppino telefonico (cavo bifilare in rame). Il recente sviluppo di sistemi HDSL (High bit-rate digital Sub-scriber Line), che permettono di trasportare sui doppiini telefonici, per alcuni chilometri senza l'ausilio di rigeneratori, segnali a 1544 kbit/s (USA) o a 2048 kbit/s (Europa), consente al gestore di sfruttare ancor meglio i cavi in rame già posati.

D'altro canto, soprattutto nei paesi del Nord Europa, è immediata l'esigenza di supportare, attraverso la stessa infrastruttura, e possibilmente attraverso gli stessi apparati, sia il servizio telefonico, sia il servizio CATV, quest'ultimo sinora fornito tramite sistemi su cavo coassiale.

L'esigenza di miglior qualità e maggior numero di canali, non solo per migliorare il tradizionale servizio televisivo diffusivo, ma anche per abilitare il supporto degli emergenti nuovi servizi televisivi, come il Pay per View, o il near VOD, rende inevitabile il ricorso a sistemi in fibra ottica, purché le loro caratteristiche, in termini di capacità e flessibilità, li renda agevolmente riconfigurabili per il supporto della vera e propria B-ISDN, e, al contempo, i loro costi siano il più possibile contenuti.

A questo riguardo, uno degli sviluppi più promettenti è rappresentato dai sistemi PON (Passive Optical Network, PON), dei quali si presenteranno le principali caratteristiche per quanto riguarda topologia, modalità trasmissive e componentistica utilizzata.

2. Sistemi PON

L'importanza assunta di recente dai sistemi PON è testimoniata dall'attenzione ad essi dedicata in ambito di standardizzazione internazionale: dopo che l'ETSI ha già emesso un primo standard [1] che definisce i requisiti di tali sistemi per il supporto dei servizi basati su canali a 64 kbit/s, anche in ITU sono state avviate le attività per la definizione di uno standard equivalente.

I sistemi PON sono contraddistinti dal fatto che una singola terminazione di linea (Optical Line Termination) dal lato centrale è interconnessa con un certo numero di terminazioni di rete (Optical Network Units), tramite una rete ottica passiva, Passive Optical Network per l'appunto, o altrimenti definita Optical Distribution Network (ODN) [1], realizzata in fibra ottica monomodale e componenti ottici passivi.

Sono quindi sistemi punto-multipunto, in grado di supportare servizi interattivi e/o distributivi: come si vedrà nel seguito, la stessa rete ottica (ODN) è impiegata in taluni casi per il trasporto contemporaneo dei segnali ottici relativi ad entrambi i servizi, generati da differenti sistemi di ricetrasmisione ottica. In fig. 1 è mostrato uno schema di massima di un sistema PON atto al supporto di servizi POTS e della televisione.

2.1 Rete ottica passiva

La rete ottica passiva (ODN) è così definita perché non include alcun dispositivo che effettui conversioni elettro-ottiche o opto-elettriche; lo stesso segnale ottico emesso dalla OLT giunge a tutte le terminazioni di rete, mentre, nella direzione opposta, i segnali ottici emessi da ciascuna terminazione di rete si uniscono per formare

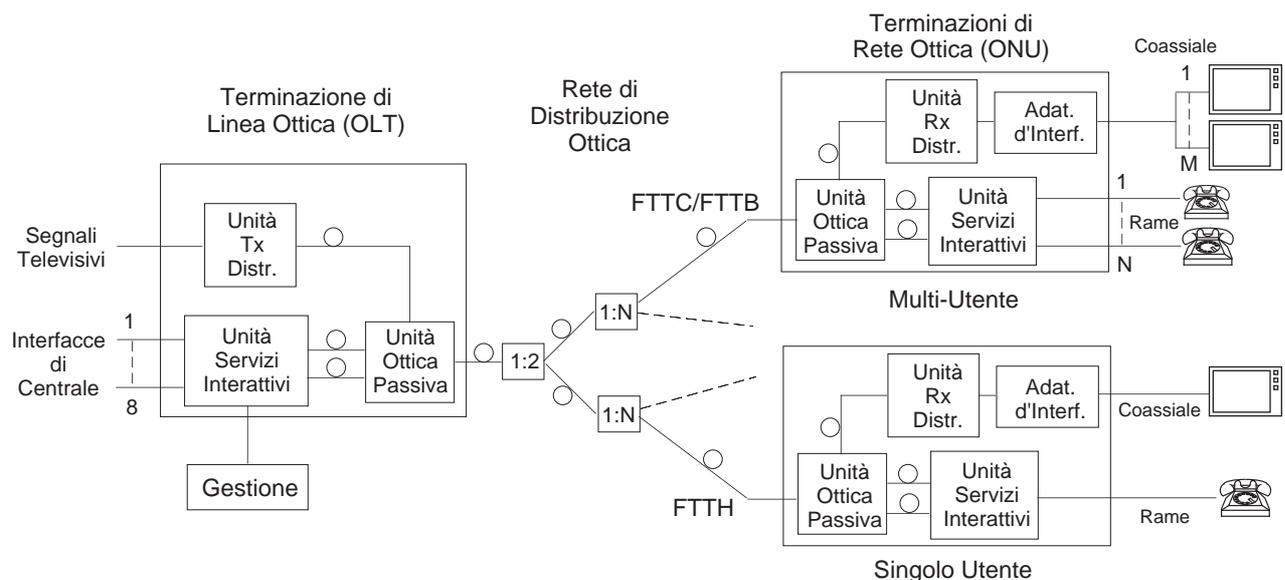


Figura 1 Schema a blocchi di un sistema PON per il supporto di servizi interattivi (telefono) e distributivi

un unico segnale ottico, ricevuto dalla OLT. E' realizzata tramite componenti ottici passivi, che provvedono a ripartire o a congiungere i segnali ottici sui vari rami della rete, e fibra ottica.

La fibra ottica utilizzata è quella monomodale, di prestazioni decisamente migliori rispetto a quella multimodale in termini di dispersioni, rumore modale e banda offerta.

La ODN può essere strutturata topologicamente ad albero o a bus: nel caso dell'albero si utilizzano accoppiatori simmetrici, che suddividono egualmente sui rami di uscita il segnale in ingresso. Lo stesso albero può essere utilizzato per trasportare i segnali in entrambe le direzioni, su lunghezze d'onda differenti o sulla stessa; nel primo caso i due segnali sono inseriti o estratti dalla fibra di connessione tra l'albero e la terminazione utilizzando nella terminazione un moltiplicatore a divisione di lunghezza d'onda (Wavelength Division Multiplexer), come mostrato in fig. 2; le due lunghezze d'onda impiegate sono di 1300 e 1530 nm, corrispondenti alla seconda e alla terza finestra della fibra.

Nel secondo caso si utilizza un ulteriore accoppiatore ottico, come mostrato in fig. 3: i segnali ottici viaggianti in opposte direzioni sulla stessa fibra, benché siano alla stessa lunghezza d'onda, non interferiscono l'uno con l'altro, grazie alla linearità della fibra; è necessario però garantire che le riflessioni generate da qualsiasi discontinuità nella ODN siano mantenute a livelli molto bassi, perché non siano causa di interferenza.

Nel caso del bus ottico gli accoppiatori sono invece asimmetrici, e provvedono a inviare sul ramo secondario solo una parte del segnale in ingresso. La struttura a doppio bus è più comunemente impiegata, perché consente di avere requisiti meno stringenti sulle riflessioni all'interno della ODN rispetto alla soluzione a bus singolo.

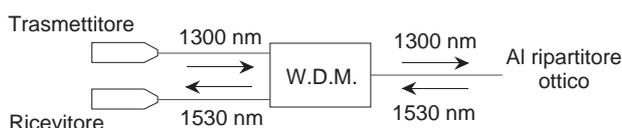


Figura 2 Unità ottica passiva per trasmissione bidirezionale a differente lunghezza d'onda su singola fibra dei soli servizi interattivi

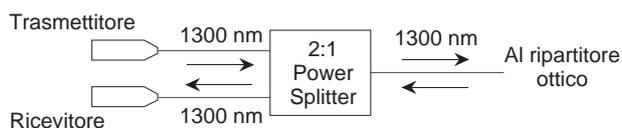


Figura 3 Unità ottica passiva per trasmissione bidirezionale sulla stessa fibra alla stessa lunghezza d'onda dei soli servizi interattivi

3. Sistemi PON per i servizi interattivi

3.1 Sistema BTS

Il primo e più conosciuto sistema di questo tipo, sperimentato a Bishop Stortford (UK), è quello sviluppato da British Telecom e denominato Bit Transport System [2].

Si basa su di una rete ottica passiva strutturata ad albero, nella quale la stessa lunghezza d'onda ottica (1300 nm) è utilizzata per la trasmissione in entrambe le direzioni. Il funzionamento di questo sistema, descritto nel seguito, è rappresentativo della filosofia di progetto seguita in quasi tutti gli altri sistemi di questo tipo.

La Optical Line Termination del sistema BTS si interfaccia con la centrale ospite tramite un certo numero, massimo 8, di interfacce numeriche a 2048 kbit/s.

Il trasporto dell'informazione relativa a queste interfacce sino alle ONU avviene tramite un unico segnale ottico broadcast alla velocità di 20480 kbit/s. Questo segnale è il risultato della moltiplicazione degli 8 fasci in ingresso alla OLT e dell'informazione aggiuntiva di Operation & Maintenance (Ranging e Housekeeping) necessaria per il funzionamento e la gestione del sistema.

Il segnale ottico, generato da un laser Fabry-Perot, è immesso sulla rete ottica passiva attraverso un'unità ottica passiva, facente parte della OLT stessa, che verrà esaminata più oltre. Ciascuna ONU, interfacciandosi alla rete ottica passiva tramite un'unità ottica passiva identica a quella utilizzata nella OLT, provvede alla ricezione del segnale ottico broadcast e all'estrazione da esso dell'informazione ad essa pertinente, all'instradamento sulle opportune interfacce dell'informazione diretta all'utente, e all'espletazione di tutte le funzioni interne al sistema BTS necessarie per il suo corretto funzionamento.

Nella direzione utente-centrale, l'ONU, dopo aver convertito in formato digitale l'informazione proveniente dall'utente, provvede alla trasmissione ottica (modulazione diretta) di tale informazione, insieme alla informazione di O&M generata dall'ONU stessa, sulla Rete di Distribuzione Ottica (RDO) secondo un protocollo di tipo TDMA.

Le funzioni svolte per rispettare il protocollo TDMA consistono nella compressione temporale dell'informazione da trasmettere, e nella trasmissione in formato digitale di questa informazione compressa, alla velocità di 20480 kbit/s, in ben precisi intervalli temporali. La determinazione precisa della posizione temporale di questi intervalli è ottenuta grazie alle procedure di ranging, tipiche dei protocolli TDMA, distinte in coarse ranging, effettuata all'attivazione del sistema per una valutazione grossolana della distanza OLT-ONU, e in fine ranging, continuamente svolta per mantenere allineate temporalmente tutte le ONTs con una accuratezza di 5 nanosecondi.

Una ulteriore funzione svolta con continuità dal sistema BTS è la regolazione della potenza del segnale ottico emesso da ciascuna ONU, in maniera tale da garantire che

il segnale ricevuto dalla OLT, segnale continuo composto dal contributo di ciascuna ONU, abbia una variazione di ampiezza entro tolleranze limitate.

Il segnale ricevuto dalla OLT è, come appena detto, un segnale continuo alla velocità di 20480 kbit/s risultante dai contributi di tutte le ONU. La OLT provvede alla demultiplicazione da questo segnale di ciascun flusso a 2048 kbit/s, all'estrazione e all'elaborazione dell'informazione di gestione del sistema, e infine alla trasmissione verso la centrale dei flussi estratti a 2048 kbit/s.

La capacità equivalente del sistema BTS è pari a 240 canali telefonici: il budget ottico e le funzionalità interne limitano il numero massimo di ONU supportate dal sistema a 128.

Il sistema BTS è in grado di assegnare alle ONU parti di entità differente dell'intera capacità del sistema, adeguate alle esigenze dell'utenza supportata, con granularità di 8 kbit/s. Ulteriori funzionalità integrate nel sistema, dedicate al processamento del traffico supportato, sono quelle di "grooming" e di "consolidation": entrambe danno flessibilità all'associazione tra i canali diretti a una certa interfaccia di centrale e i canali diretti a una certa ONU.

Il "grooming", similmente alla funzione svolta dai ripartitori numerici, consente di separare il traffico telefonico da quello dati o ISDN, e di riportarlo a differenti interfacce di centrale, qualunque fosse la sua ripartizione tra le differenti ONU.

La "consolidation" consente di massimizzare il carico delle interfacce di centrale, spostando singoli canali dall'una alla altra.

Sono anche supportate funzionalità di "security", per garantire la riservatezza delle comunicazioni più delicate. A questo riguardo, si è considerata la struttura punto-multipunto, tipica delle PON, come inerentemente carente per quanto riguardava la riservatezza delle comunicazioni; da una più attenta analisi della questione, risulta che, tramite pochi accorgimenti, tali sistemi possono offrire garanzie equivalenti a quelli di sistemi punto-punto. Si deve anche osservare che in realtà la riservatezza di una comunicazione è garantita da protezioni che operano solitamente a livelli molto più alti che non il livello fisico, e che coprono l'intero percorso del collegamento dalla sorgente alla destinazione (peer-to-peer security).

La gestione dell'intero sistema BTS, indipendente dalla gestione del traffico supportato, è svolta tramite un terminale di gestione e controllo e fornisce tutte le necessarie funzionalità atte alla configurazione del sistema, al monitoraggio delle prestazioni, alla diagnostica e rivelazione dei malfunzionamenti.

3.2 Configurazioni dei sistemi PON

La capacità allocata alla singola ONU, e quindi il numero di utenti da essa supportati, fanno distinguere tra le differenti configurazioni che può assumere un sistema su rete ottica passiva.

Nella configurazione Fibre To The Home (FTTH), ciascuna ONU è dedicata ad un singolo utente ed è situata direttamente all'interno dell'abitazione dell'utente, soluzione adatta soprattutto alla conformazione urbanistica inglese e dei paesi nord-europei, dove le abitazioni sono spesso unifamiliari e separate le une dalle altre.

La capacità dedicata ad ogni singola ONU è quindi di entità molto limitata, in genere pari a due canali telefonici più i relativi canali di segnalazione. Le funzionalità dell'ONU, oltre a quelle precedentemente descritte, sono quelle di terminazione della segnalazione e del tradizionale loop telefonico (alimentazione, generazione dei toni). La remotazione di queste funzioni è facilitata dal fatto che il sistema di segnalazione utilizzato dalle centrali inglesi è basato sul canale associato: ciò permette a ciascuna ONU di espletare le funzioni di terminazione della segnalazione secondo il protocollo utilizzato in centrale, senza che sia necessaria alcuna conversione intermedia di protocollo.

Nella configurazione Fibre To The Curb (FTTC) o Fibre To The Building (FTTB) l'ONU, situata in prossimità o nei vani comuni di un edificio, è invece preposta a servire un certo numero di utenti: le funzionalità di base del sistema rimangono comunque immutate, così come la ONU multi-utente differisce da quella singolo utente soltanto per il numero di schede di interfaccia, l'ingombro e i consumi.

3.2.1 Unità ottiche passive

Sulla stessa rete ottica, utilizzata dal BTS per i segnali ottici a 1300 nm, relativi al traffico interattivo, è anche supportata la trasmissione di segnali ottici a 1530 nm, completamente indipendenti dai primi, dedicati alla televisione.

Ciò è consentito dall'utilizzo di unità ottiche passive come quelle mostrate in fig. 4: il segnale ottico bidirezionale a 1300 nm, relativo al traffico interattivo, è immesso, sulla fibra di interconnessione tra la OLT e la rete ottica passiva, attraverso un WDM, che moltiplica su tale fibra anche il segnale ottico a 1530 nm, relativo alla televisione.

Si ottiene in tal modo lo sfruttamento completo delle finestre di trasmissione a 1300 a 1530 nm dell'intera rete ottica passiva: si vedrà in altri articoli come l'utilizzo di sorgenti a riga stretta e l'utilizzo di tecniche di filtraggio

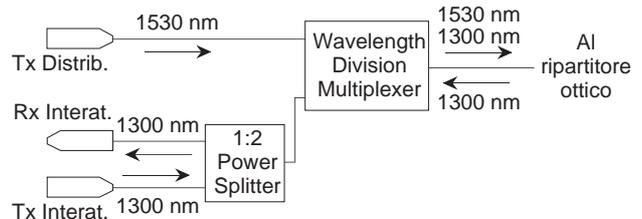


Figura 4 Unità ottica passiva per trasmissione bidirezionale sulla stessa fibra di servizi interattivi e distributivi

consenta un ancor più efficace utilizzo della stessa rete ottica.

La soluzione adottata nel sistema della British Telecom ha, come accennato in precedenza, l'inconveniente che, a causa dell'utilizzo della stessa lunghezza d'onda, 1300 nm, per la trasmissione in direzioni opposte dei segnali relativi al traffico interattivo, nell'intero collegamento tra OLT e ONU attraverso la rete ottica passiva, devono essere minimizzate le riflessioni di tali segnali. Il valore massimo accettabile di return loss, parametro indicativo delle riflessioni, misurato sulla fibra di connessione tra l'unità ottica passiva e il ricevitore in oggetto, è di circa -40 dB: valori più alti comportano una degradazione della sensibilità dei ricevitori, degradazione che si traduce in limitazioni sulla distanza massima tra OLT e ONUs e/o sul numero di ONUs supportate dalla stessa rete ottica.

Tale requisito ha come conseguenza la necessità di evitare il più possibile l'utilizzo di connettori nell'intero collegamento tra OLT e ONUs: nei primi sistemi installati l'OLT e le ONUs sono interconnesse alla rete ottica tramite giunti a fusione, senza utilizzare alcun connettore.

Quando un ripartitore ottico sia interposto tra la OLT e la rete ottica, come accade abitualmente nelle centrali per l'interconnessione degli apparati con la fibra che va in rete, i connettori in esso utilizzati devono avere requisiti di return loss dell'ordine di 50 dB. Lo stesso requisito è applicabile a eventuali connettori da utilizzare nella borchia ottica, ovvero nel punto di interconnessione tra l'ONU e la fibra terminale della rete ottica.

3.3 Altri sistemi

Per ovviare ai problemi appena visti la Siemens ha optato per una soluzione che utilizza una doppia rete ottica passiva [3], una dedicata ai servizi interattivi, l'altra ai servizi distributivi. Il sistema interattivo utilizza differenti lunghezze d'onda per la trasmissione nelle due opposte direzioni, 1300 nm downstream e 1530 nm upstream, il sistema distributivo opera sull'altra rete alla lunghezza d'onda di 1530 nm; l'onere aggiuntivo, rappresentato dal raddoppio dell'infrastruttura, è in parte giustificato dalla disponibilità di fibra nella rete di distribuzione, dove è comune l'impiego di fibre a nastro.

La Raynet ha sviluppato un sistema analogo, basato sull'utilizzo di una doppia rete ottica passiva, in cui però entrambe le reti sono utilizzate dal sistema interattivo per la trasmissione a 1300 nm in opposte direzioni. E' caratteristica del sistema la possibilità di utilizzare una rete ottica passiva strutturata a doppio bus; i rami secondari sono collegati al ramo primario tramite speciali accoppiatori non intrusivi.

La velocità di cifra e la capacità netta totale di questo sistema sono, come per il sistema BTS, rispettivamente pari a 20.480 Mbit/s e a circa 8 flussi a 2 Mbit/s per ciascuna rete passiva.

AT&T NS ha invece sviluppato un sistema che utilizza la tecnica detta Time Compression Multiplexing

per evitare il problema delle riflessioni; la trasmissione in una direzione o nell'altra sulla rete ottica avviene in periodi differenti sulla stessa lunghezza d'onda di 1300 nm. Per ottenere ciò, è necessario memorizzare il flusso numerico, proveniente dall'utente o dalla centrale, di sua natura continuo, relativo ad un certo periodo temporale e ritrasmetterlo in un periodo più piccolo, attraverso un aumento della velocità di trasmissione, ottenendo in tal modo la compressione temporale del flusso, dalla quale deriva il nome della tecnica. La durata del periodo da memorizzare deve essere limitata, per evitare l'inserzione di ritardi inaccettabili nell'interconnessione utente-centrale.

3.4 Sistema sperimentale Italtel

Italtel ha sviluppato un sistema prototipale, utilizzato sulla rete ottica passiva che interconnette la centrale di Stampalia con alcune postazioni all'interno dell'area dello CSELT a Torino, nell'ambito di una sperimentazione promossa da SIP DG-RS, in grado di supportare sia traffico interattivo, sia la distribuzione di segnali televisivi: lo schema del sistema è equivalente a quello mostrato in fig. 1.

Il sistema è basato, per il trasporto del traffico interattivo, sul sistema BTS, sviluppato da British Telecom e ora commercializzato da Fulcrum, e sul multiplex MPX-A30: per la rice-trasmissione ottica del segnale televisivo su unità sviluppate da AT&T e Italtel: le caratteristiche di quest'ultime verranno descritte nel capitolo successivo.

Il sistema è dedicato esclusivamente alla configurazione FTTC: la dislocazione dell'utenza italiana non richiede, se non in rari casi, l'impiego di ONUs dedicate a singoli utenti: non meno importante è il beneficio economico che risulta dalla ripartizione dei costi delle ONUs su di un certo numero di utenti.

La Terminazione di Linea Ottica (OLT), costituita principalmente dall'unità Master del sistema BTS, si interfaccia con la centrale ospite tramite 8 interfacce a standard italiano a 2048 kbit/s e opera sulla rete ottica come già descritto in precedenza. Gli 8 flussi a 2048 kbit/s vengono trasportati in maniera trasparente sino alle ONU; in tal modo non è necessaria alcuna conversione della segnalazione a canale comune in segnalazione a canale associato.

Ciascuna ONU, mostrata in fig. 5, è composta dall'unità Slave del sistema BTS e dal Modulo Multiplex; provvede alla ricezione del segnale ottico broadcast e all'estrazione da esso del flusso a 2048 kbit/s ad essa diretto. Il flusso estratto è quindi fornito al Modulo Multiplex, costituito come già detto dal modulo MPX-A30, che provvede a diramare su rame i vari accessi di utente, a svolgere tutte le funzioni relative a tali accessi e a terminare la segnalazione a canale comune.

Nella direzione opposta, il Modulo Multiplex, dopo aver espletato le funzioni speculari a quelle appena descritte, fornisce all'Unità Slave del Modulo ONU il



Figura 5 Apparato di Terminazione di Rete Ottica

flusso a 2048 kbit/s da trasmettere verso la centrale.

Il sistema, così come configurato, supporta sino a 8 ONUs, ciascuna delle quali può a sua volta fornire 30 canali telefonici o equivalenti; i servizi interattivi forniti all'utenza sono tutti quelli già supportati dal multiplex MPX-A30. In fig. 6 è mostrato l'allestimento sperimentale del sistema descritto.

3.4.1 Unità ottiche passive

Se, dal punto di vista delle funzioni dedicate al trattamento del traffico interattivo, il sistema Italtel non è sostanzialmente differente da quelli prima descritti, la soluzione di interconnessione tra la OLT e la rete ottica passiva, mostrata in fig. 7, presenta vantaggi rispetto alle soluzioni prima viste. Tale soluzione è basata sull'impiego di due fibre, una per ciascun verso di trasmissione dei segnali ottici, tra l'OLT e il primo accoppiatore 2:2 della rete ottica, sfruttando tutte le porte di tale accoppiatore: in tal modo non è più necessario impiegare un accoppiatore ottico all'interno dell'unità ottica passiva della OLT, ottenendo un guadagno di 3 dB sul budget ottico del collegamento tra OLT e ONU, in entrambe le direzioni. Al contempo, qualora l'interconnessione tra OLT e rete ottica debba avvenire attraverso un ripartitore ottico, non è più necessario utilizzare in esso connettori ad alte prestazioni in termini di return loss.

La seconda fibra di collegamento alla rete ottica passiva fornisce anche, attrezzata con un ulteriore WDM, un utile punto di accesso per misure OTDR.

L'utilizzo di un accoppiatore 4:4 come primo elemento della rete ottica passiva, consente, come mostrato in fig. 8, un doppio accesso alla rete ottica passiva, permettendo la realizzazione di una configurazione di protezione a diversità di percorso per le unità di centrale, le più critiche nella determinazione delle caratteristiche di disponibilità e affidabilità del sistema.

L'adozione di tale configurazione si presenta vantaggiosa anche per lo svolgimento delle funzioni di commutazione di protezione, perché, nonostante la



Figura 6 Allestimento sperimentale del sistema PON Italtel

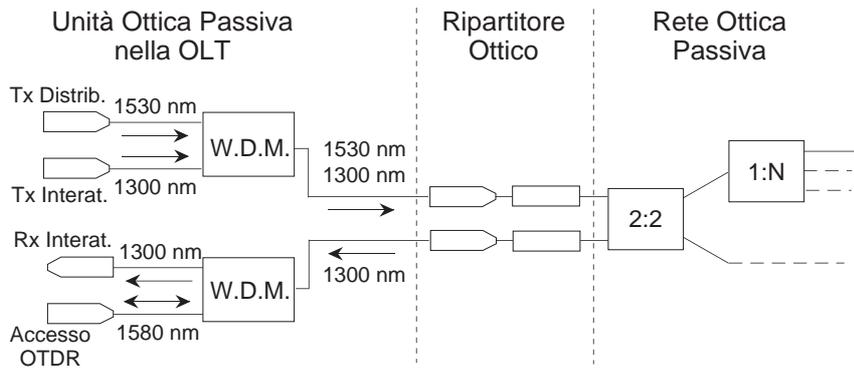


Figura 7 Interconnessione tra OLT e rete ottica passiva tramite doppia fibra e accoppiatore 2:2

diversità di percorso nel primo tratto della rete ottica, le distanze delle ONU dal ricevitore della OLT di protezione cambiano, rispetto alla distanza dal ricevitore della OLT attiva, tutte di una quantità fissa, consentendo la commutazione dall'OLT attiva a quella di protezione quasi senza perdita di continuità nel collegamento.

4. Sistemi per la trasmissione dei servizi diffusivi

Le reti ottiche passive sono particolarmente adatte per la distribuzione di servizi diffusivi, e principalmente della televisione. Esse consentono di servire con una singola sorgente ottica un numero elevato di terminazioni, con una risultante riduzione dell'incidenza del costo degli apparati di centrale sul costo del servizio per il singolo utente.

La qualità del segnale ricevuto, la larghezza di banda messa a disposizione, la assenza di elementi attivi nell'infrastruttura di rete rendono tali sistemi competitivi in termini di costi con i tradizionali sistemi CATV per la trasmissione su cavi coassiali.

I primi sistemi di trasmissione della televisione su fibra ottica furono sviluppati negli Stati Uniti verso la metà degli anni '70 per collegamenti punto-punto tra le stazioni primarie (Head-ends) e le stazioni secondarie (Hubs o remote Head-ends) della rete CATV: in essi il segnale televisivo era trasportato sulla fibra utilizzando le stesse tecniche analogiche utilizzate per la trasmissione via cavo, dette Frequency-Division-Multiplexing (FDM) o, quando applicate alla trasmissione su portante luminosa, Sub-Carrier-Multiplexing: l'intero

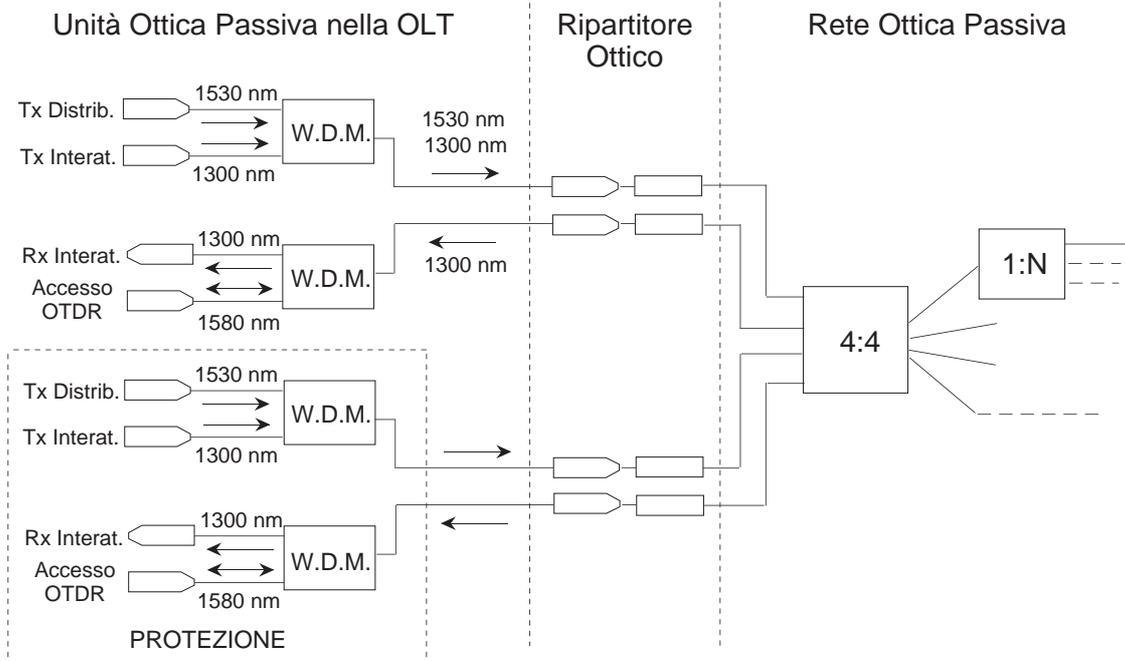


Figura 8 Configurazione ridondata della OLT con protezione a diversità di percorso tramite l'utilizzo di un accoppiatore 4:4 per l'interconnessione OLT - rete ottica passiva

spettro occupato dai vari canali televisivi va a modulare direttamente la sorgente luminosa.

Le stesse tecniche di trasporto sono utilizzate nei sistemi attuali, anche per la trasmissione su rete ottica passiva; le prestazioni offerte, valutate in termini di numero e qualità dei canali trasportati e di dinamica del sistema, dipendono dalle caratteristiche elettro-ottiche dei ricetrasmittitori, dal tipo di modulazione utilizzata per la trasmissione dei canali televisivi e dal tipo di fibra utilizzata per la realizzazione della ODN.

I fattori che caratterizzano tali prestazioni sono ben più numerosi di quelli incontrati nella trasmissione digitale; la presenza di più segnali nella banda di trasmissione e la natura analogica di tali segnali, peculiari della trasmissione FDM, rendono critici tutti i fenomeni non lineari dei ricetrasmittitori.

4.1 Caratteristiche dei trasmettitori

I sistemi attuali sono basati sull'utilizzo di laser, di solito termostataati per migliorarne le caratteristiche di rumore e stabilità, operanti a 1530 nm: quest'ultima caratteristica è legata soprattutto al fatto di poter utilizzare a quella lunghezza d'onda amplificatori ottici.

I più importanti fattori che determinano le prestazioni di un trasmettitore sono i seguenti:

- il rumore intrinseco del laser, misurato in termini del Relative Intensity Noise (RIN), è da considerare con attenzione nel caso di trasmissione di canali AM, per la quale sono richiesti valori di RIN al di sotto dei 150 dB/Hz quando la potenza ottica riservata a ciascun canale deve essere limitata, a causa della numerosità dei canali (più di 50 canali);
- il rumore di partizione, causato dal passaggio casuale dell'emissione ottica da una frequenza ad un'altra vicina (modi), comporta degradazioni dovute non tanto a questo fenomeno di per sé, quanto alla dispersione temporale dei modi indotta dalla fibra che trasporta il segnale: sorgenti laser a emissione spettrale stretta, quali i DFB, rendono i sistemi più immuni da tali degradazioni;
- le distorsioni introdotte nella conversione elettro-ottica, principalmente dovute alla non linearità della caratteristica corrente-luce e alla trasmissione contemporanea di più segnali multiplati in frequenza, sono il più critico dei fenomeni sino ad ora visti: per mantenere sotto ai livelli accettabili le distorsioni, è necessario limitare la massima potenza ottica assegnata a ciascun canale RF, espressa tramite l'indice di modulazione ottico (OMI), dato da:

$$m = \frac{P_{max_chan}}{P_{max}} \quad (1)$$

dove P_{max_chan} è la massima variazione di potenza ottica

causata da un canale e P_{max} è la massima potenza emessa dal laser. Quando il numero di canali n da trasmettere sulla stessa fibra è superiore a 8, l'OMI deve sottostare alla seguente relazione, definita in [4], perché si eviti il "clipping" dei picchi negativi e si mantengano quindi limitate le distorsioni all'uscita del laser:

$$m = \frac{0.348}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

4.2 Limitazioni dovute alla fibra

La fibra ottica incide sulle prestazioni del sistema per le sue caratteristiche di attenuazione e di dispersione. Come già detto, per le applicazioni di cui si tratta sono utilizzate esclusivamente fibre singolo-modo.

La fibra abitualmente utilizzata ("standard") ha generalmente un'attenuazione di circa 0.5 dB/km a 1300 nm e di 0.3 dB a 1500 nm, una dispersione pressoché nulla a 1300 nm, ma di 20 ps/nm/km a 1500 nm.

Considerata la tendenza a realizzare per la distribuzione televisiva sistemi che trasmettono in terza finestra (1530 nm), ne consegue che la fibra "standard" non è la ottimale.

La fibra a "shifted-dispersion" è ottimizzata per la trasmissione a 1530 nm, ma, avendo un più piccolo diametro, presenta più alte perdite e riflessioni in presenza di splitter e connettori nella rete di distribuzione, e quindi mal si adatta ad applicazioni di tipo PON.

La fibra a "flat-dispersion", sebbene presenti più alti valori di attenuazione, ha bassi valori di dispersione in entrambe le finestre di trasmissione, ma ha costi considerevolmente più alti.

Nelle reti ottiche passive assumono rilevanza gli effetti delle riflessioni causate dai connettori e dai componenti passivi facenti parte della rete. Come già visto, tali riflessioni hanno incidenza però soprattutto sulle prestazioni di ricetrasmmissione bidirezionale su di una singola lunghezza d'onda ottica. Nel caso di trasmissione unidirezionale gli effetti di incremento del rumore sono trascurabili quando la banda di trasmissione (e quindi di modulazione del laser) è superiore ai 500 MHz.

4.3 Prestazioni dei ricevitori ottici

Le prestazioni dei ricevitori ottici dipendono in larga misura dal tipo di fotorivelatore utilizzato, che può essere di due tipi, APD (Avalanche Photo Diode) o PIN.

Il rapporto C/N_{RF} , rappresentativo della qualità in banda RF di ogni singolo canale televisivo, indipendentemente dunque dalla modulazione utilizzata in quel canale, e indicativo delle prestazioni del ricevitore, può essere espresso in funzione della potenza ottica ricevuta P_{rx} e delle varie sorgenti di rumore del fotodiodo, ottenendo la seguente espressione, valida

nel caso più generale:

$$C/N_{RF} = \frac{0.5(mrP_{rx})^2}{\left[2FrqP_{rx} + 2FqI_d + \frac{4kTF_n}{R_L G^2} \right] B_{IF}} \quad (3)$$

dove m è l'indice di modulazione ottica, r la responsività del fotodiodo, q la carica dell'elettrone ($1.6 \cdot 10^{-19}$ C), R_L la resistenza di carico del fotodiodo (pari al valore della transimpedenza, quando si utilizzi un preamplificatore a transimpedenza), I_d è la corrente di buio, G è il guadagno di fotomoltiplicazione (1 per i PIN, da 10 a 100000 per gli APD), k è la costante di Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K), T è la temperatura assoluta del ricevitore, F_n è la figura di rumore del ricevitore, all'incirca pari alla figura di rumore del preamplificatore, B_{IF} è la larghezza di banda IF, F è l'"excess noise factor", fattore di rumore in eccesso; vale circa 1 per i PIN, assume valori molto più grandi (da 10 a 1000) per gli APD. Il fattore di rumore in eccesso dipende dal guadagno di conversione opto-elettronica G , che deve essere ottimizzato negli APD per ottenere le migliori prestazioni.

I termini della sommatoria a denominatore corrispondono alle seguenti sorgenti di rumore:

- $FrqP_{rx}$ corrisponde allo shot noise;
- FqI_d è il termine corrispondente alla corrente di buio;
- $4kTF_n/(G^2R_L)$ è il termine corrispondente al rumore termico del ricevitore.

I primi due termini sono i predominanti nei fotodiodi APD, quando F e G sono molto maggiori di 1, mentre il terzo termine, corrispondente al rumore termico, è il predominante nei PIN.

I ricevitori ottici attualmente impiegati in sistemi di distribuzione della televisione fanno parimenti uso di PIN e APD.

4.4 Prestazioni complessive

Le prestazioni complessive di un sistema dipendono non soltanto dalle prestazioni elettro-ottiche del ricevitore, ma anche dal formato del segnale video in banda base, dalla modulazione utilizzata, tipicamente AM o FM, per trasmettere tali segnali e dal numero di canali trasmessi, che è ragione della limitazione sulla potenza ottica associata ad ogni singolo canale.

I più comuni formati in banda base, sono gli standard definiti dalle racc. CCIR, quali il PAL, l'NTSC, il SECAM o quelli utilizzati per la trasmissione via satellite, come il D2-MAC. Tali standard differiscono, oltre che per il loro formato, per la larghezza della banda base richiesta e necessitano di rapporti S/N_{BB} differenti per ottenere immagini della stessa qualità (di solito valutata tramite la scala a cinque gradi del CCIR [5]). Ad esempio il segnale PAL utilizzato in Italia (B o G PAL) ha una banda base di 5 MHz e necessita di

un rapporto S/N_{BB} (pesato con il filtro unificato definito in [6]) di 45 dB per una qualità di grado 4.6, mentre un segnale D2-MAC ha una banda di 8.4 MHz e necessita di un rapporto S/N_{BB} di circa 40 dB.

Ben più rilevante è, in termini di prestazioni, l'utilizzo di una differente modulazione per la trasmissione del segnale in banda RF: le modulazioni più tipicamente utilizzate sono L'AM-VSB e la modulazione FM.

Senza scendere nei dettagli, la differenza tra i rapporti C/N_{RF} , richiesti per ottenere la stessa qualità dell'immagine, per un segnale PAL modulato AM e per lo stesso segnale modulato FM è di circa 32 dB, naturalmente a favore della modulazione FM: sono anche notevolmente rilassati, nel caso della FM, i requisiti sui massimi livelli di interferenza dovuta ai prodotti di intermodulazione, livelli espressi tramite il rapporto C/I; il valore minimo di tale rapporto per la FM è di 30 dB, contro i 52 dB richiesti dalla AM-VSB.

D'altro canto la modulazione AM-VSB ha una banda RF di 5.75 MHz e la spaziatura di canale può essere di 7 o 8 MHz, mentre la FM necessita di circa 24 MHz (dev. di frequenza 12 MHz) e la spaziatura di canale è di 27 o 36 MHz: utilizzando l'AM, si ha quindi il vantaggio, a parità di banda totale offerta dal sistema, di poter trasmettere un numero più grande di canali.

Un'indicazione quantitativa dell'incidenza della modulazione sulle prestazioni di un sistema è espressa dalla variazione della dinamica al variare appunto della modulazione utilizzata, a parità di qualità dell'immagine ricevuta e del numero di canali trasmessi.

La dinamica è definita dalla seguente espressione:

$$D = P_{tx} - S_{rx} \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

dove P_{tx} è la potenza ottica di trasmissione, e S_{rx} è la sensibilità del ricevitore ottico, ovvero la minima potenza ottica, in ingresso al ricevitore, affinché si ottenga per ogni canale video una qualità dell'immagine conforme a determinati requisiti.

Considerato che:

- i requisiti sulla qualità dell'immagine e sul numero e tipo di canali da trasmettere siano gli stessi applicati in sperimentazioni in corso: tali requisiti impongono la trasmissione di 20 canali PAL con una qualità dell'immagine ricevuta pari almeno al grado 4.6, corrispondente a un rapporto S/N_{BB} di 45 dB (Filtro di peso del rumore unificato) per un segnale PAL;
- in base alla relazione data dalla (2) l'indice di modulazione ottico m massimo accettabile per la trasmissione di 20 canali (considerando il requisito indipendente dalla modulazione utilizzata), risulta pari a 0.078 ($0.348/\sqrt{20}$);
- il trasmettitore (Banda 800 MHz, $RIN < -155$ dB/Hz, $P_{tx} = 6$ dBm = 4 mW) e il ricevitore ($r = 0.6$ A/W, $I_d = 10$ nA, $F = 1$, $F_n = 5$, $R_L = 5$ kΩ) abbiano caratteristiche nella norma per questo tipo di

applicazioni;
 si ottengono, dalla (3) e dalla (4), le seguenti dinamiche:

$$D_{AM} = P_{tx} - S_{rx} = 16.6 \text{ dB} \quad (5)$$

$$D_{FM} = 29.26 \text{ dB} \quad (6)$$

E' evidente dunque il vantaggio offerto in termini di dinamica dall'utilizzo della modulazione FM: non bisogna però dimenticare che il segnale modulato FM richiede una banda più larga e quindi limita il numero massimo di canali trasportati, a parità di banda totale di trasmissione offerta dal sistema in fibra: nondimeno è da considerare che una limitazione altrettanto severa può derivare dai requisiti sui prodotti di intermodulazione, molto più stringenti per la modulazione AM.

La trasmissione con modulazione AM-VSB è del resto compatibile con gli impianti e i televisori più diffusi: l'utilizzo della modulazione FM necessita di unità di conversione FM-AM che incidono sui costi degli impianti: le analisi di costi e prestazioni legati all'utilizzo dell'una o dell'altra modulazione risultano però complicati anche da altri fattori più generali, quali il grado di penetrazione del servizio CATV, la qualità del servizio offerto, la competizione con il servizio televisivo via etere: tutti questi elementi differiscono di nazione in nazione e giustificano il fatto che, ad esempio, in Olanda e Danimarca si opti per l'utilizzo della FM, mentre in Germania per l'utilizzo della AM.

Nei sistemi PON la più ampia dinamica offerta dai sistemi facenti uso della modulazione FM li rende più atti a tale applicazione, a meno che non si introducano amplificatori ottici nella rete di distribuzione: bisogna però considerare che il posizionamento dell'amplificatore nella rete di distribuzione e il provvedere alla sua alimentazione e manutenzione non sono compiti di così facile soluzione.

4.5 Unità di ricetrasmisione televisiva del sistema Italtel

Le unità del sistema Italtel sono dedicate alla trasmissione di segnali modulati FM; il trasmettitore, di banda di 1700 MHz (da 100 a 1800 MHz), permette di accettare in ingresso segnali FM, convertiti a frequenza intermedia (950-1750 MHz), provenienti da satellite; opera a 1530 nm e fornisce una potenza d'uscita di -0.5 dBm ; il ricevitore impiega un fotorecettore APD e garantisce, nella ricezione di segnali PAL, rapporti S/N_{BB} di 54 dB per potenze ottiche ricevute per canale di -27 dBm .

5. Sistemi PON a larga banda

Pur avendo il merito della compatibilità con le modulazioni utilizzate via etere o via satellite, la modulazione ottica di tipo Sub-Carrier Multiplexing non è competitiva in termini di costi (per via dell'alta

linearità richiesta ai componenti optoelettronici) e prestazioni con la modulazione ottica diretta di segnali digitali, che nei più avanzati sistemi di trasmissione ottica consente di raggiungere velocità pari e anche superiori ai 10 Gb/s. Oltre a tale motivo, un secondo importante fattore spinge verso l'introduzione di sistemi PON di grande capacità, basati esclusivamente sulla modulazione ottica diretta di segnali numerici.

Frutto delle attività di importanti organismi internazionali di standardizzazione (ITU, ISO), così come di progetti internazionali (Eureka), si è raggiunta la definizione e la standardizzazione (MPEG-1 e più recentemente MPEG-2) di efficaci metodi di codifica e compressione di segnali multimediali numerici, sotto l'egida del Motion Picture Expert Group (MPEG). Le possibilità di alta integrazione offerte dalle tecnologie attuali rendono realizzabili decodificatori di costo limitato, e di conseguenza permettono la fornitura di servizi multimediali numerici, quali la televisione interattiva (Video On Demand), a costi contenuti.

Il supporto di tali servizi, numerici e di carattere sempre più interattivo, è dunque consentito, in maniera efficiente e flessibile, da sistemi PON numerici di grande capacità.

Esempi di tali sistemi, entrambi basati sull'utilizzo della modalità ATM, sono il sistema sviluppato da Alcatel [7], e il sistema sperimentale sviluppato nel progetto RACE 2024 BAF [8], mostrato in fig. 9.

Il primo, con una capacità di 600 Mbit/s nella direzione rete-utente e di 150 Mbit/s nella direzione opposta, verrà utilizzato nel '95 nell'ambito di sperimentazioni condotte da British Telecom sul servizio VoD.

Il secondo, sviluppato in collaborazione da AT&T olandese (prime contractor del progetto), Italtel, CSELT, Telefonica e altri partners, è un sistema simmetrico con capacità di 600 Mbit/s in entrambe le direzioni: verrà utilizzato nelle reti sperimentali RECIBA di Telefonica a Madrid, e nell'ATM Test-Bed dello CSELT di Torino.

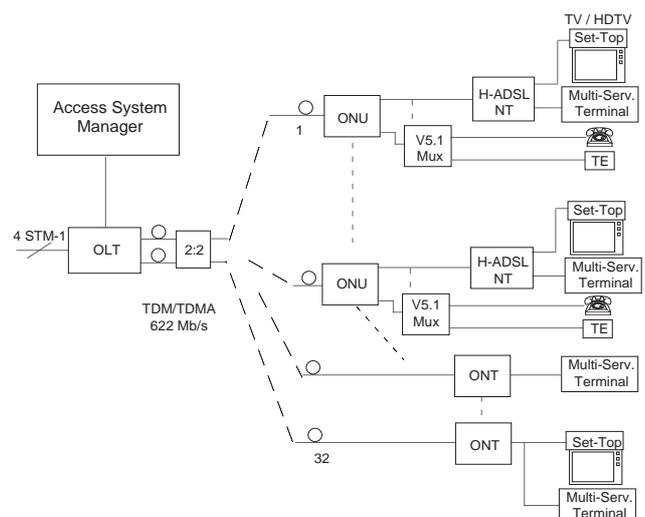


Figura 9 Schema a blocchi del sistema A-PON sviluppato nel progetto RACE 2024 BAF

Bibliografia

- [1] *The requirements of optical access networks to provide services based on 64 kbit/s bearer capabilities.* ETSI Technical Standard DE/TM 3019, Febbraio 1994.
- [2] Hoppit, C.E.; Clarke, D.E.A.: *The Provision of telephony over passive optical networks.* «British Telecom Technol. Journ.», Vol. 7, n. 2, Aprile 1989.
- [3] Sailer, H.; Moehrmann, K.H.: *Application of Passive Optical Networks in the Subscriber Loop: the Siemens Concept.* Proceedings of 2nd IEE Workshop on PON, Dicembre 1990.
- [4] Grubb III, D.; Trisno, Y.: *AM Fiber Optic Trunks, A noise and Distorsion Analysis.* NCTA Techn. Papers of the 38th Ann. Convention, Maggio 1989, pp. 225-230.
- [5] *Method for subjective assessment of the quality of television pictures.* CCIR Rec. 500-4, CCIR Reccs. 1990, Vol. XI - Part 1, Broadcasting Service.
- [6] *Transmission performance of television circuits designed for use in international connections.* CCIR Rec. 567, CCIR Reccs. 1990, Vol. XII, Television and sound transmission (CMTT).
- [7] Verbiest, W.; Van der Plas, G.; Mestdagh, D.J.G.: *FITL and B-ISDN: A Marriage with a Future.* «IEEE Comms. Mag.», Vol. 31, n. 6, Giugno 1993, pp. 60-66.
- [8] Van Heijningen, P.H.; Mosch, T.W.M.; van Vaalen, M.: *Optical Network for Broadband Services in the Subscriber Loop.* «Electronics and Commun. Eng. J.», Vol. 4, n. 6, Dicembre 1992, pp. 405-411.

FTTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber To The Curb
FTTH	Fiber To The Home
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Standardization Organization
ITU	International Telecommunications Union
HDSL	High bit rate Digital Subscriber Line
MPEG	Motion Picture Expert Group
NTSC	National Television System Committee
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Termination
OMI	Optical Modulation Index
ONU	Optical Network Unit
OTDR	Optical Time Domain Reflectometry
O&M	Operation and Maintenance
PAL	Phase Alternation Line
PON	Passive Optical Network
POTS	Plain Ordinary Telephone Service
RACE	Research and development in Advanced Communication technologies in Europe
RDO	Rete di Distribuzione Ottica
RF	Radio Frequency
RIN	Relative Intensity Noise
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SECAM	SEquentiel Couleur Avec Memoire
TDMA	Time Division Multiple Access
VOD	Video On Demand
WDM	Wavelength Division Multiplexing

Abbreviazioni ed acronimi

AM	Amplitude Modulation
AM-VSB	Amplitude Modulation - Vestigial Side Band
APD	Avalanche Photo Diode
APON	ATM Passive Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Network
BTS	Bit Transport System
CATV	CABLE TeleVISION
CCIR	Comité Consultatif International Radiocommunication (oggi ITU-R)
DFB	Distributed FeedBack
D2-MAC	D2 Multiplexed Analogue Component
ETSI	European Telecommunication Standard Institute
FDM	Frequency Division Multiplexing
FM	Frequency Modulation

La qualità della trasmissione telefonica: un problema sempre attuale

E' indubbio che le scelte, e molte delle standardizzazioni tuttora vigenti, relative alla qualità della trasmissione telefonica derivino dal confronto dei limiti intrinseci, propri delle tecniche disponibili nei primi decenni del secolo, con le "soglie di accettabilità" dei messaggi "parlati" restituiti dai trasduttori di ricezione degli apparecchi telefonici, e valutati in termini di *comprensibilità* e di *facilità* di comprensione.

In una situazione caratterizzata dai modesti spazi di manovra offerti dalle tecniche d'allora, nella ricerca di ragionevoli compromessi tra qualità e costi, merita un particolare richiamo la *metrologia* della qualità. I metodi di misura della qualità erano infatti condizionati da una strumentazione che, in relazioni agli sviluppi dell'elettronica, forniva prestazioni alquanto contenute nel caso di analisi di fenomeni elettrici variabili, come quelli corrispondenti ai segnali telefonici. Ed alle carenze di tipo tecnologico-strumentale se ne aggiungeva un'altra di carattere più generale: la ancora inesistente *teoria dell'informazione* non poteva fornire un quadro di riferimento complessivo alle pur valide, e tuttora impiegate, valutazioni di tipo soggettivo.

In sintesi, in un periodo dello sviluppo delle telecomunicazioni, in cui il raggiungimento di una qualità telefonica adeguata costituiva un obiettivo piuttosto difficile, era altresì difficile misurarla e, nel complesso, tenerla sotto controllo; soprattutto nel caso delle grandi reti commutate, nelle quali ad ogni comunicazioni tra punti terminali della rete può corrispondere un percorso elettrico del segnale grandemente mutevole, per quanto concerne il numero e la natura dei tronchi trasmissivi attraversati oltre che, ovviamente, dei nodi commutazione. Ma non basta: nella qualità telefonica è infatti rilevante il funzionamento dei trasduttori terminali, per misurare l'efficienza dei quali è indispensabile confrontare intensità e potenza di segnali di natura sostanzialmente diversa: acustica ed elettrica.

Fin qui si è accennato all'influenza sulla qualità dei principali *fattori oggettivi* presenti nel sistema telefonico; ma è ovvio che le valutazioni di tipo soggettivo, che in definitiva decretano l'effettivo grado di efficienza del sistema stesso, risentano sostanzialmente del comportamento e delle caratteristiche di fonazione dei singoli parlatori, e della struttura fonetica delle diverse lingue.

La necessità di muoversi concretamente nello scenario delineato, e quella non meno importante di pervenire ad un standardizzazione delle prestazioni di apparecchiature, sistemi e reti di telecomunicazione sotto il profilo della qualità telefonica, ha di fatto condotto alla messa a punto di metodi di misura e di "set di misura" alquanto complessi, oggetto peraltro, nel tempo, di ripetuti aggiustaggi e ripensamenti, anche di natura concettuale, via via che si scoprivano situazioni di diversità non valutabili con i metodi sino a quel momento configurati.

Ma nello studio di nuovi metodi si è cercato pure di collegare i risultati di misure oggettive, che non richiedono l'intervento di campioni statisticamente significativi di operatori diversi -e che sono di esecuzione piuttosto rapida e facilmente ripetibili-, con quelli disponibili presso centri di ricerca specializzati, ottenuti con misure soggettive eseguite saltuariamente in apposite campagne.

La realizzazione, mediante gli elementi offerti dalle nuove tecnologie, di sistemi di trasmissioni capaci di prestazioni migliori e, soprattutto, dotati di maggiore stabilità, -specificamente i sistemi numerici-, ha reso possibili, ed anche agevolmente raggiungibili, traguardi della qualità telefonica che nel quadro delle tecnologie del passato apparivano ardui e critici; ma ha anche ridotto, nel contempo, l'attenzione dei tecnici di esercizio nei confronti dell'intero problema.

Sono, di fatto, divenute più rare le competenze in materia di qualità telefonica, nell'erroneo ma diffuso convincimento che i problemi ad essa connessi siano di interesse prevalentemente storico; va invece sottolineato che, mentre, come si è accennato, sono oggi di agevole superamento alcune criticità del passato, ne emergono di nuove: ad esempio, nell'individuazione delle tolleranze ammissibili per le prestazioni dei vari elementi che concorrono alla realizzazione di un collegamento complesso, ivi compresi i trasduttori terminali. Ed è importante rilevare che, al ridursi dell'ampiezza dei campi relativi a tali tolleranze, devono parallelamente essere migliorati gli strumenti ed i metodi di misura.

Gli interrogativi che è necessario porsi con riferimento alla qualità telefonica non si esauriscono però con la realizzazione di reti a bassa attenuazione ed alta stabilità, rispettose di alcuni dei fondamentali standard consolidati in relazione alle tecniche tradizionali; essi riguardano anche una possibile riconsiderazione complessiva del problema.

Le tecniche di trasmissione numerica, ormai prevalenti in tutti i livelli delle reti commutate (ad eccezione delle reti di distribuzione), unitamente ad altre di più recente sviluppo per il trattamento del segnale in relazione alle sue caratteristiche statistiche, consentirebbero infatti di raggiungere obiettivi di qualità ben superiore a quella necessaria per assicurare la comprensione dei messaggi parlati: pur prescindendo dalla trasmissione di segnali di qualità "quasi musicale", è da richiamare, ad esempio, l'importante obiettivo del reciproco riconoscimento "fonico" dell'identità dei parlatori.

E' facile intuire come ogni decisione al riguardo implichi valutazione attente e misure raffinate, essendo in gioco da una parte delicati problemi di ottimizzazione tecnico economica e, dall'altra, problemi di pratica realizzabilità dei programmi di innovazione delle reti, nel rispetto della continuità di erogazione dei servizi.

In sintesi, lo studio della qualità telefonica è da considerare di rinnovata attualità, soprattutto per chi abbia il compito di realizzare reti complesse utilizzando al meglio le tecnologie disponibili.

Nel proporre ai lettori del Notiziario un primo articolo sull'argomento si ritiene infine doveroso sottolineare il carattere propedeutico delle conoscenze relative alla qualità telefonica nei confronti di molte attività, non solo strettamente tecniche, che sostanziano la missione del gestore di un sistema di telecomunicazioni.

p.r.

La qualità della trasmissione telefonica - Parte prima

L. Bonavoglia (*)

Può forse sembrare inutile parlare oggi di qualità della trasmissione telefonica, quando la struttura della rete fornisce, o fornirà fra breve, circuiti numerici, con qualità che è, o almeno dovrebbe essere, molto elevata, e per di più pressappoco eguale per tutti i collegamenti possibili fra le centrali locali terminali. E' chiaro che con una buona progettazione della rete e una buona realizzazione degli impianti un'ottima qualità è a portata di mano.

Un traguardo, dunque, che si ritiene raggiungibile con facilità essendo quasi intrinseco nella costituzione degli impianti di trasmissione e di commutazione; ma sono proprio le ottime prestazioni -effettive o potenziali- di tali impianti che possono far dimenticare l'influenza rilevante, e spesso determinante, della rete di distribuzione. Perché la qualità che il segnale telefonico presenta nella centrale locale si mantenga fino all'utente, mobile o fisso, occorre che anche le code dei circuiti la mantengano o non la degradino troppo.

Questo lavoro è diviso in due parti, delle quali la presente tenta di dare un quadro dei metodi in uso per determinare la qualità trasmissiva, e di mettere in evidenza i pericoli che si possono correre estendendo al futuro alcuni criteri di valutazione, come quelli esclusivamente basati sulla comprensione del parlato.

Nella seconda parte si cercherà di analizzare le situazioni che nascono, e sono in numero non piccolo, dalla diversità di realizzazione delle code di utente.

1. Scenario attuale

Fra breve, il servizio telefonico sulle reti di telecomunicazione dei maggiori paesi sarà basato sul trasporto del segnale numerico fra le centrali estreme di un collegamento, dedicando ad ogni comunicazione un flusso di 64 kbit/s, con codifica PCM normalizzata.

La disponibilità di collegamenti completi a 64 kbit/s, o secondo un qualsiasi altro standard, fra telefoni numerici⁽¹⁾ è però più lontana se consideriamo la totalità dei casi: infatti, per ora, si sta provvedendo questo tipo di servizio a una percentuale piuttosto piccola di utenti, in particolare a quella affari, fornita di impianti interni importanti, spesso numerici, capaci anche di altri servizi oltre il telefonico.

Più frequentemente, per l'utenza residenziale, si avrà ancora per diversi anni (forse anche più di un decennio) un collegamento numerico a 4 fili fra gli stadi di linea (SL), con codecodifica nel SL e con inoltro del segnale vocale su un rilegamento a 2 fili in rame fino all'abbonato dotato di telefono analogico (vd. fig. 1).

Esistono anche altre situazioni, la più importante delle quali oggi è il collegamento con radiotelefono, mobile o portatile; avremo in Italia ancora per diversi

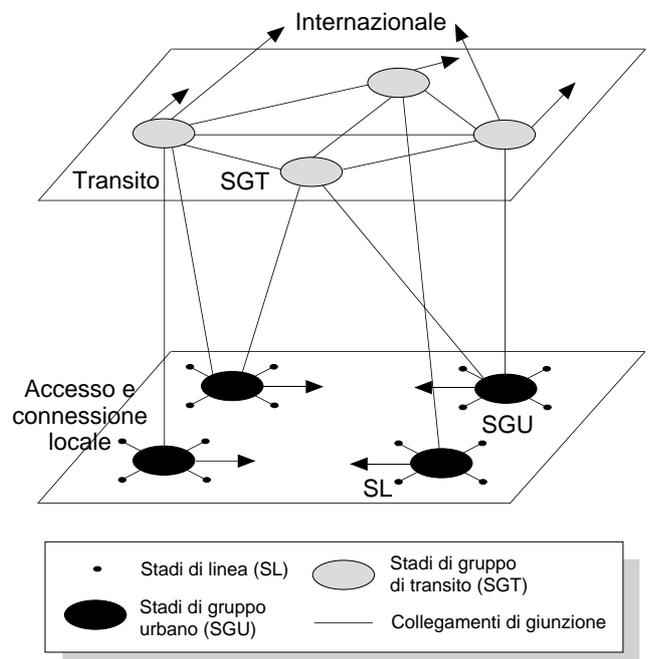


Figura 1 Piano regolatore nazionale delle telecomunicazioni

(1) Vengono chiamati telefonici numerici quei telefoni in cui la codecodifica PCM avviene direttamente nell'apparecchio senza la necessità di presentare al codec una terminazione a 2 fili: il telefono si presenta quindi verso l'esterno come un sistema a 4 fili, 2 per l'emissione e 2 per la ricezione.

(*) prof. ing. Luigi Bonavoglia

anni un predominio dei radiotelefonici analogici (TACS) e l'uso dei radiotelefonici numerici (per ora GSM). Anche qui, a un certo punto del collegamento dalla stazione radio base alla rete fissa, il segnale analogico o numerico (trattato per diversi scopi) viene convertito a 64 kbit/s e inoltrato in questa forma verso l'altro estremo costituito da un utente fisso o mobile.

Da quanto detto, e dall'esame della fig. 2, appare che un collegamento telefonico è costituito da:

- un circuito numerico PCM a 4 fili di qualità trasmissiva ben definita e di norma molto elevata;
- due code agli estremi, che possono essere di varia costituzione e anche diverse fra loro.

Sono queste due code a determinare essenzialmente la qualità trasmissiva globale, da bocca a orecchio; non vi sarebbe ragione di analizzare le diverse situazioni che nascono, se la qualità ad esse relativa fosse praticamente la stessa, ma così non è; è quindi opportuno esaminare i casi che si presentano oggi e che non sono pochi: unica consolazione

il pensiero che il loro numero si abbasserà (forse) con il passare del tempo, per la presente tendenza verso una standardizzazione dei vari sistemi di accesso alla rete a 64 kbit/s.

Una considerazione va fatta sulla sezione interna della rete, che fornisce il collegamento (a 4 fili o meglio a 2 vie⁽²⁾) fra le reti di accesso: la sua qualità trasmissiva, per la adatta banda trasmissibile, per la bassa rumorosità di fondo e di quantizzazione, per il piccolo ritardo di propagazione (che, con l'eccezione dei collegamenti via satellite, è tollerabile, nell'ambito europeo, senza prendere provvedimenti speciali), e per la bassissima distorsione, è molto buona ed anche molto uniforme da collegamento a collegamento. Infatti dipende pochissimo dalla lunghezza del collegamento stesso e dal numero dei transiti in centrali numeriche, anche se queste saranno del tipo ATM; essa è talmente più elevata di quella ottenibile in genere oggi sulle code che potremo sempre considerarla non influente sulla qualità globale: esiste solo un caso in cui essa compare a definire questa qualità: quello di due code numeriche a 64 kbit/s con telefoni numerici, a 4 fili (senza forchetta), che, come abbiamo detto, riguarda una bassa percentuale sul totale degli utenti, ma una ben maggiore quantità relativa di traffico, dato che questi utenti sono, in genere, forti parlatori. Quanto detto finora presuppone che la rete numerica a 64 kbit/s sia di buona costituzione e correttamente esercitata. Dopo questa premessa cerchiamo di determinare i principali casi di connessione che si presentano o si presenteranno presto sulla rete a seconda del tipo di accesso, che identificheremo dal tipo di telefono usato, e che definisce ovviamente anche la linea e il metodo di accesso.

Esistono al momento i seguenti tipi di telefono, sia pur con diffusione molto diversa:

- TFA: Telefono fisso analogico (collegato a SL numerico con linea a 2 fili, su rame);
- TFN: Telefono fisso numerico (collegato a SL con linea numerica a 64 kbit/s);
- RTA: Radiotelefono mobile analogico (tipo TACS o analoghi collegato alla rete fissa a 64 kbit/s via rete speciale);
- RTN: Radiotelefono mobile numerico (tipo GSM o analoghi come sopra);
- Telefoni analogici fissi dotati di microtelefono, senza cordone, staccabile dalla parte fissa alla quale è collegato via radio solo durante la conversazione;
- Telefoni collegati via radio a centralini privati di tipo vario, situazione questa in forte evoluzione, quanto a tecnologie e metodologie.

Non studieremo questi ultimi due casi perché riguardano un numero di situazioni per ora non

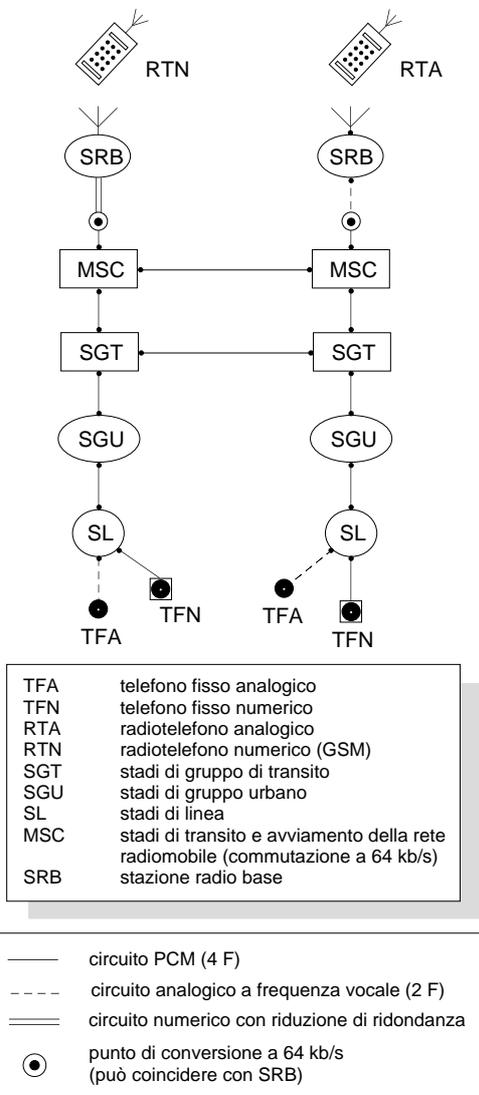


Figura 2 Connessioni generali di rete per telefoni fissi e mobili

(2) La dizione "circuito a 4 fili" risale al periodo in cui i circuiti telefonici erano tutti a frequenza vocale e i quattro fili esistevano realmente ed è rimasta in uso corrente, anche a fronte dei tentativi fatti, quando nacque la moltiplicazione a frequenze vettrici, per cambiarla in "circuiti a 2 vie".

elevatissimo e difficili da definire data la disparata provenienza degli apparati. Del resto il penultimo caso si può assimilare al TFA, mentre l'ultimo, quando il centralino e i telefoni sono numerici, si può far rientrare nei casi precedenti a seconda del metodo usato sulla connessione radio e sui codec telefonici.

Considerando i primi quattro casi si hanno le 10 possibilità di connessione mostrate nella fig. 3. È abbastanza ovvio che l'ammontare del traffico svolto nelle varie situazioni è molto diverso e dipende sia dalle percentuali esistenti al momento dei vari tipi di telefono e mezzi di accesso, sia dal tipo di utente (residenziale, affari, etc.). Ciò non toglie che deve essere assicurata a tutti una qualità buona, che oggi, dati i mezzi e i metodi trasmissivi usabili, può addirittura essere vicina all'ottimo; forse si può tollerare qualche degradazione, ma ragionevole, per i collegamenti che implicano un telefono mobile o portatile. Sembra però che, a lungo termine, sia inevitabile dare a tutti la stessa qualità, con piccole tolleranze.

Va da sé che abbiamo tralasciato di includere, in questo panorama, i sistemi globali di radiotelefonica via satellite in orbita bassa, come l'IRIDIUM e altri. Si tratta di "futuribili" vicini, che quando attuati con la copertura mondiale che assicurano, stravolgeranno il panorama generale; la qualità che essi forniranno non è molto chiara al momento, e forse potrà essere valutata dai singoli utenti solo una volta che i sistemi saranno in esercizio; essa non è stata predeterminata né tanto meno richiesta da molti dei paesi che saranno o sarebbero coperti da questo servizio.

A questo punto si potrebbe cominciare a valutare la qualità che si ottiene nei vari casi di connessione illustrati nella fig. 3. La valutazione della qualità è però problema molto delicato e i metodi di valutazione sono cambiati diverse volte negli ultimi trenta anni, per cui, prima di accingersi a questo esame, sembra opportuno presentare

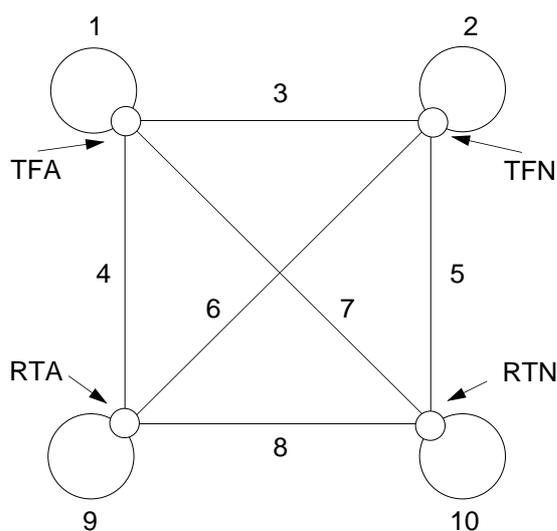


Figura 3 Interconnessioni possibili fra i vari tipi di telefono

il problema della valutazione nella sua essenza e relativamente ai più importanti metodi proposti, soffermandoci ovviamente sul metodo oggi generalmente seguito. Quest'ultimo presenta buone caratteristiche di universalità e semplicità, ma, a mio parere, comincia a cadere in difetto nella valutazione di connessioni in cui il segnale vocale sia oggetto di trattamento un po' pesante.

Si rimanda alla seconda parte l'esame completo della qualità ottenibile sui vari tipi di connessione.

2. I primi metodi di valutazione della qualità della trasmissione telefonica

I tentativi di valutare, sia pur rozzamente, la qualità di un collegamento telefonico sono antichi: alla fine dell'800 e primi del '900 si confrontava il sistema sotto esame con un complesso costituito da un paio di telefoni (i migliori dell'epoca) collegati da una linea artificiale di caratteristiche variabili, costituita da celle a resistenza e capacità, in modo da riprodurre nella banda vocale i parametri trasmissivi di una linea reale in cavo; la lunghezza della linea era valutata in "miglia di cavo standard" e questo numero sostituiva, a quel tempo, quello che oggi chiamiamo "attenuazione" di linea. Verso la fine degli anni '20, i laboratori della Bell costruirono due complessi di questo tipo (con le migliori tecniche del tempo) comprendenti anche sofisticati apparati elettroacustici di misura per controllare la costanza nel tempo delle caratteristiche trasmissive di ogni complesso da pressione sonora (bocca) a pressione sonora (orecchio). Uno dei due esemplari restò come campione primario del gruppo Bell e l'altro fu ceduto al nascente CCI⁽³⁾ dove prese il nome di SFERT (Système Fondamental Européen de Référence Téléphonique).

La misura di confronto era basata sul giudizio personale di una équipe ben addestrata: una persona parlava alternativamente sul sistema in esame e sul campione e un'altra ascoltava, in sincronia, sui ricevitori dei due sistemi, variando la linea artificiale del campione (tarata in dB) rispetto a una posizione di riferimento fino a ottenere la parità del *volume* ricevuto; non si facevano prove di comprensione.

Il valore, in dB⁽⁴⁾, della variazione della linea artificiale, rispetto al riferimento, era chiamato "equivalente di riferimento", positivo (cioè peggiore del campione) se la variazione sul campo era in più, negativo (cioè migliore) nel caso contrario.

(3) Il CCI diventò poi CCIF e infine CCITT (Comité Consultatif International pour la Téléphonie et la Télégraphie). Oggi il CCITT è stato soppresso e sostituito dall'ITU-T (International Telecommunication Union-Telecommunications).

(4) Negli anni '30 l'attenuazione già si misurava in dB (decibel) nei paesi di lingua inglese, e in Np (neper=8.68 dB) nei paesi di lingua tedesca.

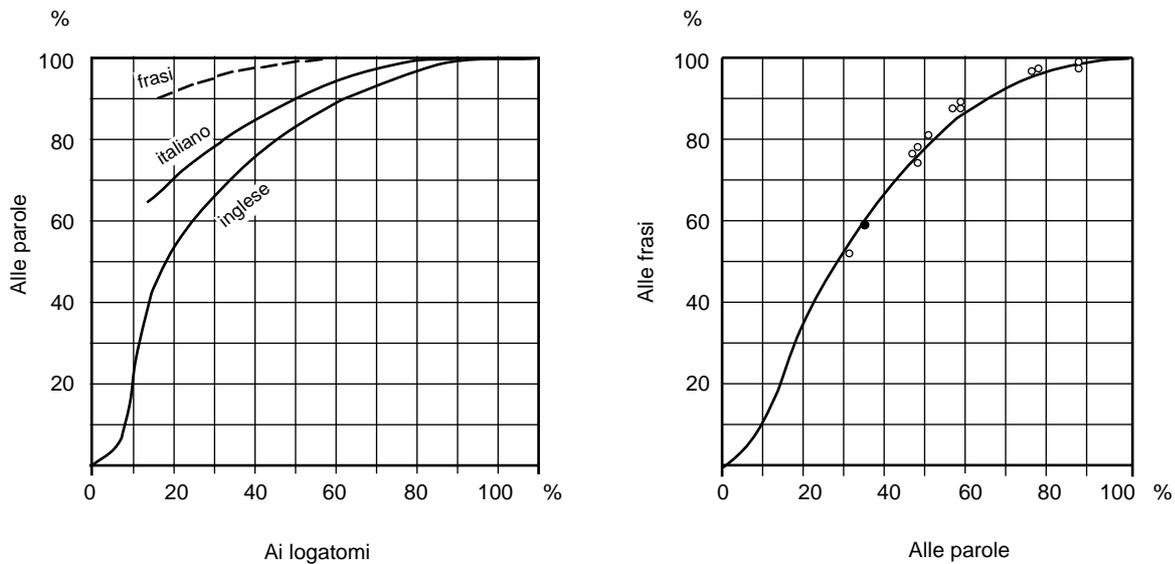


Figura 4 Confronto fra prove di intelligibilità con logotomi, con parole e con frasi; la curva a trattini che mostra il legame frasi-logotomi è stata dedotta per l'italiano dai legami logotomi-parole e parole-frasi allo scopo di evidenziare quanto la ridondanza del linguaggio aiuti la comprensione anche in cattive condizioni di intelligibilità ai logotomi

Questo primo metodo di valutazione della qualità trasmissiva è chiaramente basato sul volume sonoro ricevuto da chi ascolta, e non tiene conto della comprensibilità del segnale ricevuto; d'altra parte fino a che sulle reti telefoniche si rimase, a causa dei transiti a 2 fili necessari per costruire un collegamento, su valori di attenuazione di linea piuttosto elevati fra due utenti, il concetto di valutazione fu "quanto più forte si sente tanto migliore è il collegamento".

Via via la situazione migliorò con l'introduzione su vasta scala dei circuiti a frequenza vettrice (sistemi FDM), che comportarono diversi vantaggi: minor tempo di propagazione (per la scomparsa della pupinizzazione sulle lunghe e medie distanze), migliore curva di risposta dei circuiti, abbassamento del rumore, miglioramento generale delle diafonie, e pratica scomparsa (su scala europea) dell'eco. A quel punto, con inizio negli anni '30-'40, si ebbe un fiorire di studi teorici e prove di laboratorio per legare la comprensione ai parametri trasmissivi: specialmente al volume ricevuto, alla curva di risposta del circuito e al rapporto fra segnale e disturbi in ricezione.

Troppi sarebbero i nomi degli scienziati da ricordare, e basti qui dare un breve cenno sull'evoluzione dei metodi di valutazione ufficiali in Europa.

Si diede peso all'articolazione (o percentuale di intelligibilità): questa era definita come la percentuale di logotomi correttamente ricevuti sul circuito in esame da un ascoltatore: i logotomi sono parole -o meglio sillabe- di 3 caratteri scelti in base a certi criteri, e venivano pronunciati l'uno dopo l'altro all'estremo trasmittente di un circuito, leggendoli su una lista. Il confronto con la lista ricevuta dava luogo al calcolo dell'articolazione. Il concetto fu esteso alle parole normali e alle frasi. La fig. 4 mostra il legame fra queste grandezze.

Fu definita un "equivalente di riferimento per l'articolazione" o, in francese, "Netteté" -tradotto da noi in "Nitidezza"- e costruito un campione (ARAEN) che riproduceva da microfono a ricevitore la situazione esistente fra due interlocutori, alla distanza di un metro, nello spazio libero.

Si eseguivano prove di "Nitidezza A" (indicata brevemente con A nel seguito) sul sistema sotto misura e sull'ARAEN, inserendo fra parte emittente e parte ricevente una attenuazione via via crescente: le curve di A in funzione dell'attenuazione erano molto simili e quasi sovrapponibili; la differenza di attenuazione per A = 80% era l'equivalente cercato (vedi fig. 5).

Le misure erano macchinose e lunghe e davano luogo a diversi inconvenienti: l'ARAEN fu modificato e divenne il NOSFER (nuovo SFERT) e si tornò alle misure in volume.

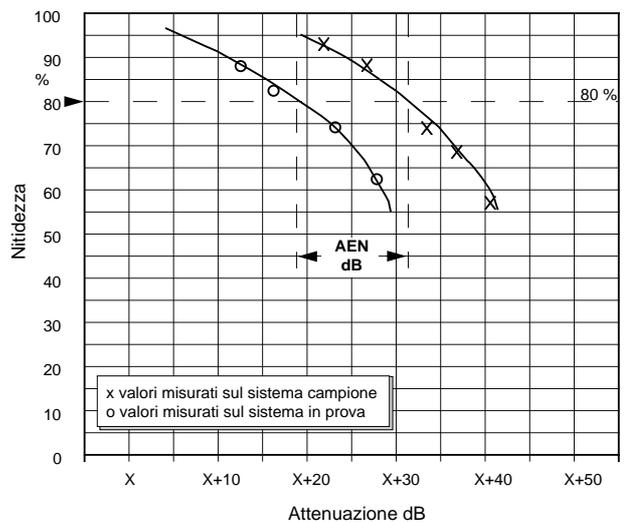


Figura 5 Attenuazione Equivalente per la Nitidezza (AEN=Affaiblissement Equivalent pour Netteté)

Nel frattempo, fra i vari metodi basati non sul volume ma sulla comprensione, un metodo prendeva sempre più piede, cioè quello cosiddetto della valutazione immediata, e in inglese "Mean opinion".

3. Il metodo della "comprensione" o "valutazione" immediata

Il metodo esaminato in questo paragrafo fu studiato negli anni '50 dall'allora Post Office Britannico, e adottato poi dal CCIF e CCITT; lo scopo delle prove fu ed è tuttora di attribuire un valore numerico alla valutazione degli utenti. In pratica si procede così: due persone non specificamente allenate e scelte entro differenti categorie, conversano ai capi del circuito sotto esame e l'una descrive all'altra alcuni oggetti postile di fronte, oppure si instaura un altro oggetto di conversazione; successivamente il ruolo si inverte e alla fine della conversazione di circa 4-6 minuti i due interlocutori danno il loro giudizio "immediato" indicandolo su un modulo con la semplice apposizione di una crocetta.

I giudizi sono i seguenti:

- E Circuito *eccellente*. Possibilità completa di rilassamento durante la conversazione (Excellent);
- G Circuito *buono*. Occorre prestare attenzione, ma non c'è bisogno di uno sforzo apprezzabile (Good);
- F Circuito *abbastanza buono*. Occorre uno sforzo moderato ma non eccessivo (Fair);
- P Circuito *mediocre*. La conversazione è possibile, ma si trovano molte difficoltà per le parole non familiari (Poor);
- B Circuito *cattivo*. Utilizzabile soltanto con estrema difficoltà (Bad).

Dopo aver effettuato le conversazioni fra molte coppie del gruppo prescelto i risultati vengono analizzati, attribuendo la "valutazione":

- 0 per B
- 1 per P
- 2 per F
- 3 per G
- 4 per E.

Per un determinato circuito la somma delle valutazioni divisa per il numero delle osservazioni è la "valutazione media". Ovviamente essa è tanto più vicina a 4 quanto migliore è la qualità. E' interessante notare che lo stesso circuito viene differentemente giudicato dalle varie persone (e anche dalla stessa persona in momenti diversi); purtroppo, se il numero di osservazioni è elevato, a pari "valutazione media" si trovano sensibilmente le stesse percentuali di giudizi (E, G, ecc.), cioè a dire "la valutazione media" può farsi corrispondere, statisticamente, a determinate percentuali dei vari giudizi.

La fig. 6 mostra la distribuzione dei giudizi in funzione della "valutazione media" (vedi Appendice 2).

Sulla stessa figura sono disegnate due curve sperimentali (a tratto) (desunte da documenti del CCIF del 1956) che si

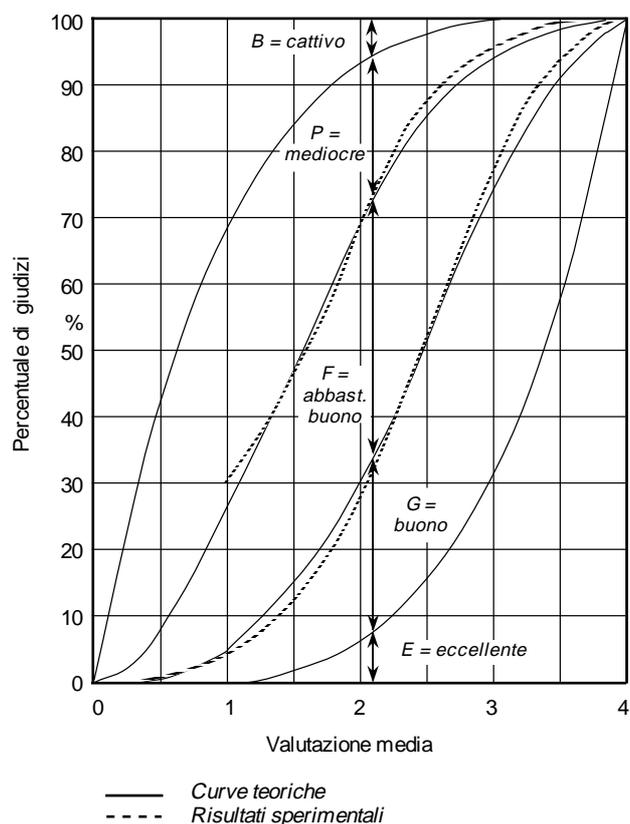


Figura 6 Confronto tra andamenti sperimentali e teorici delle percentuali di giudizi in funzione della valutazione media

approssimano molto alla distribuzione binomiale. La conoscenza della "valutazione media" di un circuito permette perciò di rendersi conto della distribuzione dei giudizi che tale circuito incontrerebbe nella pratica.

Rileggendo attentamente le definizioni di ciascun gradino di giudizio, si noterà che queste sono basate sullo sforzo necessario alla comprensione, ed infatti il metodo fu inizialmente chiamato della "comprensione immediata". Nella letteratura anglosassone la "valutazione media" viene chiamata MOS (Mean Opinion Score), e il metodo spesso viene indicato come "metodo delle opinioni". E' chiaro che si può cambiare l'oggetto dell'indagine cambiando le definizioni E, G, F, P, B, per esempio focalizzando l'attenzione sulla facilità o meno di riconoscere la voce dell'interlocutore, e le sue inflessioni, in pratica ponendo l'accento sulla naturalezza della conversazione.

Dal tempo della sua introduzione a oggi sono state eseguite in vari paesi e varie lingue migliaia di misure con il metodo sopra descritto variando attenuazione, banda passante, rumore, eco (in livello e ritardo), effetto locale e così via; gran parte dei risultati sono memorizzati negli archivi di importanti laboratori, con la possibilità di reperimento automatico.

E' oggi divenuta pratica corrente considerare percentuale di utenti soddisfatti la somma E+G, e di insoddisfatti P+B.

A titolo di esempio si riporta la fig. 7 che mostra la relazione fra la percentuale di giudizi G ed E (buono ed eccellente) dati dagli utilizzatori di un circuito, in

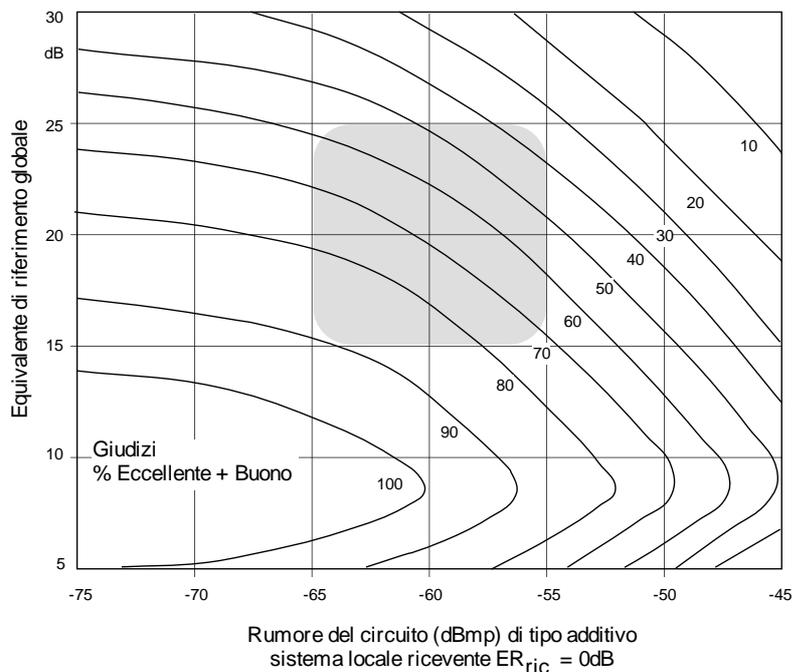


Figura 7 Percentuale di utenti soddisfatti (E+G) al variare dell'equivalente di riferimento e del rumore di tipo additivo (libro Giallo CCITT, 1981, Vol. V, pag. 190)

funzione del suo equivalente di riferimento e del rumore presente al telefono ricevente.

La figura è riportata solo a titolo d'esempio in quanto usa un parametro come l'equivalente di riferimento oggi abbandonato, ma serve a evidenziare come con un solo diagramma si possa avere immediatamente, conoscendo di un circuito due caratteristiche importanti come attenuazione e rumorosità, una idea abbastanza precisa della qualità ottenibile⁽⁵⁾; l'area campita era quella di più probabile occorrenza dei circuiti interurbani in Italia qualche tempo fa (Equivalenti di Riferimento da 15 a 25 dB circa - rumore al telefono da -65 a -55 dBmp) ed essa mostra che con questo stato di cose si ottenevano giudizi favorevoli degli utenti variabili fra il 90% (circa) e il 35% (circa); si aveva cioè una situazione non del tutto ideale ma presente in quasi tutti i paesi prima dell'uso delle reti numeriche.

Riepilogando, il metodo della valutazione immediata o, come lo chiamano gli inglesi che ne furono gli ideatori, delle "opinioni", è stato ampiamente usato in molti paesi e in molte lingue, focalizzando l'attenzione sulla "comprensione". Esistono archivi ampissimi, molti a reperimento automatico, che danno la "valutazione immediata" in funzione dei principali parametri trasmissivi, come abbiamo già detto: questo oggi è forse il maggior pregio di questo metodo.

Il metodo delle "opinioni" si presta anche a focalizzare l'attenzione su grandezze diverse dalla comprensione, per esempio la riconoscibilità della voce del parlatore, e la naturalezza della voce e della conversazione. Vedremo nella seconda parte di questo lavoro il motivo di questa osservazione.

(5) Questa qualità può peggiorare per echi, distorsioni, rumore locale, etc.

4. Metodo attualmente preferito di valutazione della qualità

Abbiamo visto finora che dai primi metodi di valutazione basati, praticamente, sulla attenuazione del volume della voce dall'estremo emittente a quello ricevente (quanto più "forte" si sente, "migliore" è il collegamento) si è passati, con qualche esitazione e ripensamento, a metodi che prendono come parametro importante della valutazione la facilità di comprensione che i due interlocutori hanno nella conversazione. Abbandonato il metodo della "Articolazione" si è affermato il metodo che abbiamo descritto della "Valutazione immediata", valutazione focalizzata sulla comprensione.

Abbiamo detto che si sono costituiti archivi imponenti contenenti i risultati delle valutazioni soggettive (perché ottenute da operatori umani) effettuate variando di volta in volta un parametro (attenuazione, rumorosità, eco, etc.). Gli archivi più importanti sono in mano al vecchio CCITT, oggi ITU-T (ma il suo laboratorio elettroacustico è stato chiuso), al British Telecom Labs, al laboratorio ATT-Bell, al CNET, allo CSELT, etc.

Il desiderio di semplificare le misure di qualità, eliminando le misure soggettive in laboratori specializzati, e la disponibilità della grande massa di dati che legano la "valutazione" ai parametri trasmissivi (fra cui importante l'attenuazione in volume) ha fatto evolvere le metodologie perseguendo due obiettivi:

- il primo: definire un valore di "attenuazione in volume", in maniera più semplice di quella seguita nei tempi ormai passati per confronto con un sistema campione, attraverso misura soggettive da parte di

equipe specializzate; oggi si ottiene un valore di questo genere per calcolo diretto dalla curva di risposta attraverso una idonea pesatura in funzione della frequenza. Questo valore, grazie al procedimento di calcolo suggerito per la sua determinazione, coincide praticamente con quello misurato sull'ultimo campione di riferimento adottato dal CCITT (IRS, Intermediate Reference System); esso prende da noi il nome di IIS (Indice di Intensità Soggettiva), mentre il CCITT lo chiama LR (Loudness Rating);

- il secondo: costruire un modello matematico che, partendo dai dati disponibili negli archivi, leghi le variazioni dei parametri trasmissivi (comprendenti nei riguardi dell'attenuazione l'IIS) alle variazioni di un indice di qualità globale chiamato in Italia IQT (Indice di Qualità di Trasmissione), e TQI (Transmission Quality Index) dal CCITT.

Dalla conoscenza dell'IQT è facile risalire, mediante semplici formule (vedi appendice 2), alla percentuale di utenti soddisfatti (giudizi E e G = eccellenti + buoni) e utenti insoddisfatti (giudizi P e B = mediocri + cattivi).

In definitiva questo metodo soddisfa l'aspirazione di ogni gestore di una rete telefonica di poter, sia in sede di esercizio che di progettazione, calcolare in modo semplice a partire dai parametri trasmissivi (rilevati o previsti in progetto) la quantità di utenti soddisfatti: tutta la procedura è facilmente elaborabile da un calcolatore elettronico. Non va sottaciuto che il calcolo dà buoni risultati, coincidenti cioè con quelli ottenibili con misure soggettive, anche perché la qualità trasmissiva dei circuiti e dei terminali è molto migliorata: infatti si hanno attenuazioni oscillanti ormai su valori bassi, rumorosità controllata, e soprattutto risposte frequenziali della pressione da bocca a orecchio poco variabili nella banda utile (ben diverse da quelle di 40-50 anni fa).

Possiamo quindi passare a descrivere in dettaglio questo metodo basato sul calcolo dell'IQT, e come parametro trasmissivo importante dell'IIS.

4.1 Misura e calcolo dell'IIS e dell'IQT

Va subito chiarito che l'IIS non è altro che uno dei parametri trasmissivi che intervengono nel calcolo dell'IQT; ma data la sua importanza in questo calcolo (paragonabile a quella del rumore) è opportuno definire bene il suo significato e il modo di calcolarlo. Quanto agli altri parametri a partire dal rumore, sembra inutile parlarne qui perché si tratta di parametri misurabili oggettivamente con metodi pressoché tutti normalizzati.

E' ben noto a coloro che si occupano di telefonia che il sistema trasmissivo bocca-orecchio, anche nell'aria, diciamo a un metro di distanza, può essere considerato costituito da una sorgente di suoni non troppo direttiva (la bocca) e un ricevitore di suoni, comprendente nell'orecchio un analizzatore di spettro frequenziale. La potenza e lo spettro

di frequenza dei suoni emessi in conversazione normale⁽⁶⁾ sono molto variabili; la potenza (media su qualche secondo, cioè su almeno diverse parole) va da un minimo di una frazione di μW (bisbigliatori) a un massimo di qualche decina di μW (urlatori, ma non troppo); lo spettro brevissimo periodo cambia continuamente, e durante le vocali è a righe (fondamentale a 100-150 Hz per l'uomo e 200-300 Hz per la donna), prevalentemente nella parte bassa della banda vocale, con una durata di diverse decine di millisecondi per ogni vocale; durante le consonanti lo spettro diviene diffuso (continuo) provenendo dai transitori che durano pochi millisecondi. Fra urlatori e bisbigliatori corrono circa 25-30 dB (rapporto 300-1000 in potenza).

L'orecchio è un organo straordinario: ha un potere di adattarsi alla potenza del suono captato in arrivo incredibile: fra il suono più debole percepibile (soglia di udibilità) e il suono così forte da dar dolore (soglia del dolore) esiste un dislivello di 120 dB (rapporto di potenza 10^{12}). La densità spaziale di potenza (usualmente misurata in W/cm^2) va da $10^{-16} \text{ W}/\text{cm}^2$ a $10^{-4} \text{ W}/\text{cm}^2$ nelle due condizioni estreme sopra accennate (in corrispondenza di un suono sinusoidale a 1000 Hz); la densità di potenza prende il nome di intensità sonora.

A metà strada fra i due estremi essa vale $10^{-16} \text{ W}/\text{cm}^2 \times 10^6 = 10^{-10} \text{ W}/\text{cm}^2 = 10^{-4} \mu\text{W}/\text{cm}^2$ e in questa zona di intensità sonora l'orecchio desta nel cervello collegato una sensazione gradevole.

Se ricordiamo che una persona (a metà strada circa fra bisbigliatori e urlatori) emette una potenza totale di circa $10 \mu\text{W}$, e se supponiamo l'emissione pari in tutte le direzioni, alla distanza di un metro abbiamo una densità di potenza pari alla potenza su 1 cm^2 di una superficie sferica con raggio di 100 cm.

Essa vale

$$\frac{10 \mu\text{W}}{4\pi(100 \text{ cm})^2} \cong 0.8 \cdot 10^{-4} \frac{\mu\text{W}}{\text{cm}^2}$$

ed è dell'ordine di grandezza di quella che l'orecchio gradisce: sappiamo tutti che a distanza di un metro, in ambiente calmo, si conversa molto bene. Questo esempio, pur essendo fondato su calcoli con approssimazioni un po' grossolane, serve a chiarire perché questa situazione è stata presa, spesso, come riferimento negli studi di elettroacustica e chiamata "sistema ortotelefonico".

La sensibilità dell'orecchio però varia con la frequenza: se si passa da 1000 Hz a 30 Hz la soglia di udibilità passa da $10^{-16} \text{ W}/\text{cm}^2$ a circa $10^{-10} \text{ W}/\text{cm}^2$, cioè peggiora di 60 dB. La variazione verso le frequenze alte è molto minore.

E' ben noto che il sistema orecchio-cervello associa ad ogni suono una "sensazione" che non è proporzionale alla "intensità sonora": se, per esempio, una nota pura a 1000 Hz passa dall'intensità J all'intensità $2J$, il cervello

(6) Al telefono normalmente si parla un po' più forte; circa 5 dB più alto.

giudica l'aumento di sensazione non molto diverso da quello che si ottiene quando lo stesso suono aumenta da $2J$ a $4J$. Il cervello cioè "sente" *non* le *differenze* di intensità sonora ma i *rapporti* di intensità. Ciò portò Weber e Fechner a formulare la definizione della sensazione S come il logaritmo del rapporto fra l'intensità J di un tono e la intensità della soglia di udibilità J_0 a quella frequenza.

$$S = k \log \left(\frac{J}{J_0} \right). \quad (1)$$

Questa fu, forse, la prima comparsa di misure logaritmiche nella fisica. Però oggi sappiamo che la formula proposta allora non è valida per tutto il campo fra soglia del dolore e udibilità; inoltre S , a parità di J , cambia con il variare della frequenza del suono per il conseguente variare della soglia J_0 .

Va osservato che nella zona di intensità sonore da 40 a 80 dB sopra la soglia, e da 200 Hz a 3000-4000 Hz, le curve di pari sensazione si appiattiscono e si possono adottare leggi di legame fra sensazione e intensità sonora abbastanza semplici. In una parte di questa zona avvengono di massima le conversazioni telefoniche.

Dopo questa lunga premessa, torniamo al problema di valutare la "attenuazione in volume".

Questa attenuazione, abbiamo già detto, si misurava soggettivamente per confronto con un campione, e nel caso dello SFERT veniva chiamata "equivalente di riferimento" (sottintendendo la parola attenuazione). Intorno a 10-15 anni fa comparve un nuovo campione CCITT, chiamato IRS (Intermediate Reference System) che, accoppiato al NOSFER (nuova edizione dello SFERT, di cui si è fatto cenno in precedenza), dava misure soggettive di questa attenuazione prive di alcuni difetti che i metodi precedenti avevano. In particolare l'attenuazione, o LR (Loudness Rating; in Italia il medesimo indice è chiamato IIS, Indice di Intensità Soggettiva), si poteva scomporre nelle varie componenti RLR (LR del sistema ricevente cioè telefono + rilegamento), SLR (LR del sistema emittente telefono + rilegamento) e JLR (LR del circuito di collegamento); la somma di SLR + JLR + RLR eguagliava il valore misurato di OLR (Overall LR). La mancanza di proprietà additiva era proprio uno dei difetti presenti nelle vecchie misure.

Usato per qualche anno l'IRS, ci si avvide che il risultato delle misure soggettive era calcolabile a priori grazie a una formula non molto complessa che qui riportiamo, per amore della storia, ma che oggi viene sostituita con altre più semplici. La formula dà il valore di OLR, SLR, RLR, JLR variando il significato di alcuni simboli (in Appendice 1 è mostrata l'origine della formula); ed ecco la formula (ricordiamo che LR è stato tradotto in italiano con IIS)

$$\text{IIS} = -57.14 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^N 10^{[S(i)-W(i)]/57.14} \right) \quad \text{dB.} \quad (2)$$

La sommatoria si estende a N frequenze, scelte opportunamente: il CCITT suggerisce le 20 frequenze

intervallate di circa un terzo di ottava (distribuite pressoché uniformemente su scala logaritmica) da 100 Hz a 8000 Hz (6 ottave e 1/3), riportate nell'Appendice 1 in tab. 1.

A seconda dei casi:

- **in emissione:** $S(i)$ è la sensibilità in dB, riferita all'efficienza di 1 V/Pa, misurata fra la pressione⁽⁷⁾ (in Pascal) a 25 mm davanti le labbra e la tensione in uscita dal sistema emittente (cioè all'attacco di utente in centrale di commutazione);
- **in ricezione:** come sopra, riferendosi a 1 Pa/V, misurando la tensione all'ingresso del sistema ricevente (rilegamento lato centrale), e la pressione (in Pascal) presente all'orecchio al centro dell'ingresso (una correzione va apportata misurando su orecchio artificiale);
- **collegamento globale:** $S(i)$ è la sensibilità alla frequenza in dB riferiti a 1 Pa/Pa da labbra (come sopra) a orecchio (come sopra).

I coefficienti $W(i)$ sono dati dal CCITT in una tabella per le 20 frequenze e per i vari casi (vedi Tab. 2 in Appendice 1). Tutto quanto riguarda questo calcolo è contenuto nella raccomandazione P.79 del CCITT, che è stata però criticata da varie ed autorevoli fonti con proposte di modifiche semplificative, e con la proposta di alcuni apparecchi per la misura oggettiva degli IIS (tipo OREM B ecc.).

La formula semplificata più interessante (per il momento) sembra quella contenuta nel supplemento n. 19 alla Racc. P.79, che porta a un calcolo molto semplice basato sui valori misurati alle 11 frequenze da 315 Hz a 3150 Hz della lista di 20 frequenze del CCITT; la banda coperta in questo modo va da 280 Hz a 3518 Hz

$$\text{IIS} = 0.05 [\alpha_{px}(1) + \alpha_{px}(11)] + 0.1 \sum_{i=2}^{10} \alpha_{px}(i) - \bar{\alpha}_{pR} \quad \text{dB} \quad (3)$$

In questa formula $\bar{\alpha}_{pR}$ è il valore di attenuazione pesata della parte del sistema di riferimento R (campione) nei vari casi di IIS e vale:

$$\begin{aligned} \text{IIS globale} & - \bar{\alpha}_{pR,O} = 9 \text{ dB} \\ \text{IIS ricezione} & - \bar{\alpha}_{pR,R} = 12 \text{ dB} \\ \text{IIS emissione} & - \bar{\alpha}_{pR,E} = -3 \text{ dB} \\ \text{IIS linea} & - \bar{\alpha}_{pR,L} = 0 \text{ dB} \end{aligned}$$

Va rilevato che in questa formula si è usata l'attenuazione α anziché la sensibilità (o efficienza) S delle varie parti del sistema. E' ovvio che $-S = \alpha$.

Nel caso particolare di una linea la formula porta ad una considerazione interessante: essa diviene (ricordiamo che $\bar{\alpha}_{pR,L} = 0$ dB)

$$\text{IIS}_L = 0.05 [\alpha_{px}(1) + \alpha_{px}(11)] + 0.1 \sum_{i=2}^{10} \alpha_{px}(i) \quad \text{dB}$$

L'IIS è quindi pari all'attenuazione media fra 280 e 3518 Hz della curva di risposta disegnata su scala

(7) La unità di pressione è il Pascal (Pa)=1 Newton/m². Si usa anche (specie in meteorologia) il bar=10⁶ dine/cm², che è una vecchia unità. Si ha 1 Pa=10 μbar.

logaritmica della frequenza. In pratica non occorre neanche fare il calcolo su riportato, ma una volta ottenuta la curva di risposta su scala logaritmica basta tirare la retta di compenso fra 280 e 3518 Hz e si ha il valore di IIS. Il valore così ottenuto è anche ricordato nel Piano Regolatore Nazionale delle Telecomunicazioni (Allegato 8 - nota 5 al § 8.1.1).

Passiamo ora a considerare l'indice di qualità trasmissiva denominato in Italia IQT (Indice di Qualità di Trasmissione). Si tratta di un indice introdotto da BellCore, e poi accettato con le necessarie varianti dal CCITT; questo indice varia da 0 (qualità pessima) a 1 (qualità ottima), e spesso è citato in percentuale. Esso viene ottenuto per semplice calcolo tramite formule determinate empiricamente a partire dai parametri trasmissivi del circuito; la sua utilità sta nel fatto che IQT è strettamente legato al MOS, cioè alla valutazione media dalla legge mostrata in fig. 8, e quindi immediatamente anche alle percentuali E, G, F, P, e B attraverso il diagramma di fig. 6.

Sia il legame fra IQT e MOS, che quelli fra MOS e le percentuali (E+G) e (P+B) possono essere rappresentati con formule empiriche, contenute nelle raccomandazioni CCITT: un semplicissimo programma di calcolatore consente, una volta conosciuto IQT, di leggere immediatamente (E+G) e (P+B). La fig. 9 mostra il legame fra IQT e le percentuali (P+B) e (E+G) che si ottengono usando le formule del CCITT. Veniamo al calcolo: nella formula seguente IQT è ottenuto in funzione dell'indice di intensità soggettiva IIS (corretto per l'effetto di mascheramento da parte del rumore locale), del rumore totale presente sul circuito in ricezione, delle limitazioni di banda all'estremo inferiore e superiore e dell'effetto locale; correntemente ci si

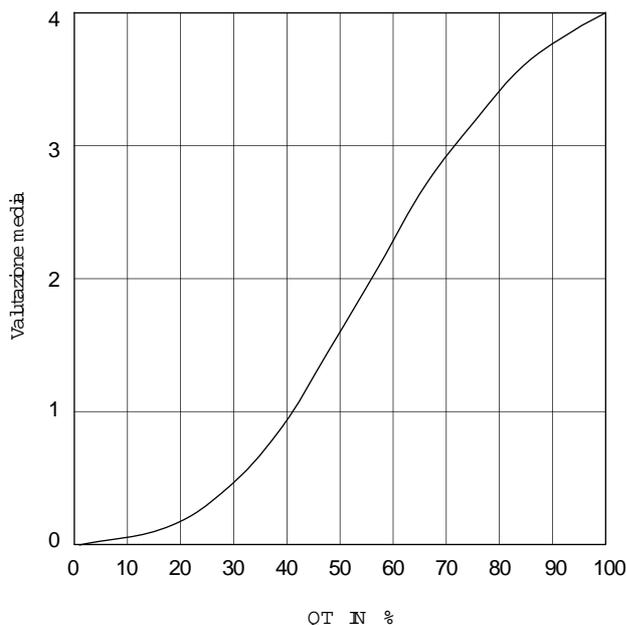


Figura 8 Legame tra IQT e valutazione media (MOS) nel "metodo delle opinioni"

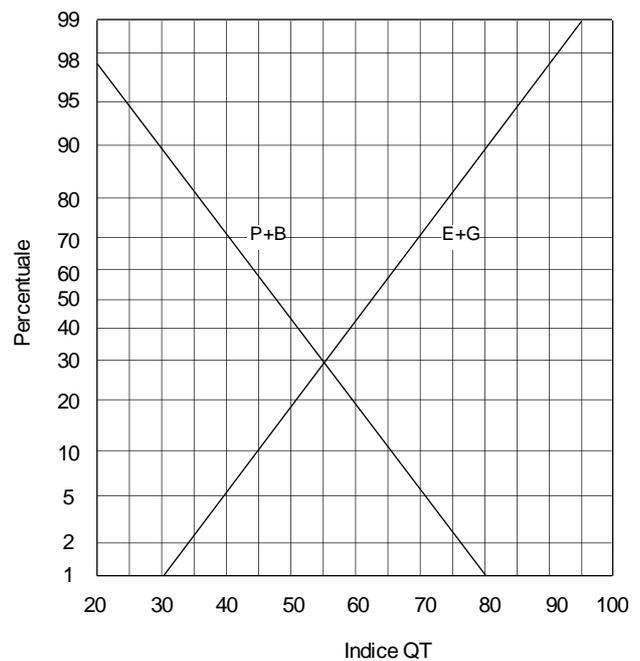


Figura 9 Legame tra IQT e percentuale di utenti soddisfatti (E+G) e non soddisfatti (P+B)

ferma qui, ma esistono formule che danno IQT in funzione dell'eco, formule abbastanza complesse, ma valutabili facilmente con strumenti di calcolo automatici.

L'indice IQT_g globale si ottiene con il seguente prodotto (senza gli effetti di eco):

$$IQT_g = K_a K_b K_l IQT(S, R),$$

essendo $IQT(S, R)$ l'indice che si calcola mettendo in conto soltanto il volume vocale ricevuto S e il rumore totale R . I coefficienti K_a, K_b, K_l , consentono di tener conto delle limitazioni di banda inferiore, superiore e dell'effetto locale.

La formula per il calcolo dell' $IQT(S, R)$ è:

$$IQT(S, R) = 1.026 - 0.01(R + 80) - 0.013 \sqrt{(IIS_e - IIS_{opt})^2 + 4} \quad (4)$$

I simboli nella (4) sono definiti come segue:

IIS_e Indice di intensità soggettiva effettivo, in dB, presente sul collegamento: si trascurano le conseguenze sull'IIS da parte dell'effetto locale nel telefono trasmettente fino a che il suo indice di intensità (IIS_{lt}) è >12 dB; quando questo è inferiore a 12 dB si aggiunge all'IIS del collegamento il valore $(12 - IIS_{lt})/3$ dB.

IIS_{opt} Valore ottimo di IIS, nel senso che, a parità di rumore nel circuito, si ha il valore massimo di MOS e quindi di IQT. Esso vale

$$IIS_{opt} = 10 - 0.1(R + 80) \text{ dB.}$$

R Rumore totale all'estremo ricevente, in dBmp, con IIS del complesso ricevente pari a 0 dB;

esso è comprensivo del rumore di ambiente, e di quello di quantizzazione Q . Il rumore Q si riporta a quello additivo con la formula

$$R_Q = -3 - IIS - 2.2Q \text{ dBmp};$$

($Q = 37 \div 38$ dB per un codec PCM normale); R_Q si aggiunge in potenza al rumore già determinato, comprensivo del rumore ambientale. (Per i locali rumorosi va aggiunto il rumore captato dal ricevitore attraverso la fuga acustica fra auricolare e padiglione e per l'effetto locale attraverso il microfono).

Facendo variare IIS da 5 a 30 dB ed R da -70 a -40 dBmp si può calcolare l'IQT corrispondente e quindi le percentuali E, G, F, P e B. E' facile così costruire un diagramma che riporta le percentuali di utenti soddisfatti (E+G) in funzione di IIS ed R . Il diagramma è riportato in fig. 10, e rappresenta la qualità di un circuito su cui esistano solo rumore e attenuazione (si trascurano gli effetti della limitazione di banda, dell'eco, ecc.). Come si è già detto, l'effetto di alcuni parametri è tenuto in conto attraverso i coefficienti K_a , K_b , e K_l che valgono:

- limitazione di banda in basso

$$K_a = 1 - 0.0008 (f_{min} - 200)$$

- limitazione di banda in alto

$$K_b = 1 - 0.00022 (3400 - f_{max})$$

- effetto locale

$$K_l = 1 - 0.00003 (IIS_e) (IIS_{lr} - 15)^2$$

in cui IIS_{lr} è quello relativo all'effetto locale al telefono ricevente.

Per $f_{max} = 3400$ Hz e $f_{min} = 200$ Hz i coefficienti K_a , K_b valgono 1; per $f_{min} = 300$ Hz, K_b risulta 0.92 cioè si ha una riduzione di IQT dell'8% con una apprezzabile diminuzione degli utenti soddisfatti: da 92% a 82% se l'IQT iniziale è 0.8 (circuito buono), da 74% a 60% (circa) se l'IQT iniziale è 0.7 (circuito discreto) e così via.

4.2 Riepilogo

Va considerato che una rete telefonica moderna è basata su una infrastruttura di giunzioni numeriche, di elevata qualità (PCM a 64 kb/s) se ben progettate ed esercite; queste giunzioni entro breve tempo collegheranno tutte le centrali di commutazione periferiche destinate a servire gli utenti fissi, nonché quelli mobili.

Da queste centrali gli utenti sono serviti in maniera non uniforme, con collegamenti che vanno da quello analogico su coppia in rame, a quello numerico, con pesante trattamento per ridurre il ritmo binario, su portante radio per servire gli utenti mobili.

Ne deriva, dal punto di vista della qualità trasmissiva, la seguente situazione: il collegamento fra due utenti telefonici è costituito da due code di qualità molto variabile

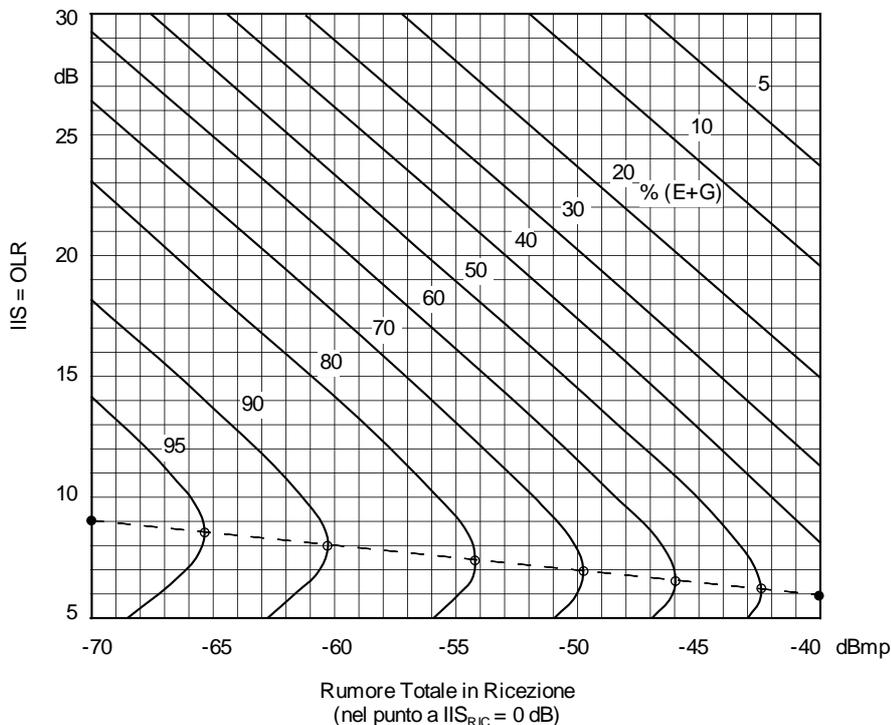


Figura 10 Percentuale di utenti soddisfatti in presenza delle sole degradazioni dovute ad attenuazione, misurata dell'IIS globale, e al rumore

(fra utente e centrale periferica) e da un collegamento numerico (somma delle giunzioni interessate) di qualità molto elevata e pressoché indipendente dal numero di transiti e dalla lunghezza finché non si usino satelliti e collegamenti intercontinentali in cui comincia a comparire il disturbo dovuto ai ritardi trasmissivi.

Di fronte a questa situazione è opportuno studiare a fondo la qualità delle code che sono l'elemento determinante della qualità complessiva.

In questa prima parte, abbiamo cercato di lumeggiare, dopo un breve cenno sulla evoluzione dei metodi passati, il metodo attuale di valutazione della qualità trasmissiva basato su:

- valutazione della attenuazione del volume sonoro seguendo il metodo di calcolo dell'IIS (LR=Loudness Rating del CCITT);
- valutazione della qualità complessiva di un collegamento con il metodo della "valutazione immediata della comprensione" chiamato spesso metodo delle opinioni. Questo metodo consente di ottenere un numero (spesso chiamato MOS = Mean Opinion Score) o "Valutazione immediata", dal quale è possibile determinare la percentuale di utenti soddisfatti;
- il calcolo a partire dai parametri trasmissivi (incluso l'IIS) di un indice IQT (che va da 0 a 1): calcolato l'IQT di un collegamento, con semplici formule si calcola il MOS e la percentuale di utenti soddisfatti ed insoddisfatti.

Nella seconda parte di questo lavoro utilizzeremo questo metodo per studiare la qualità delle varie combinazioni di utenti che si presentano sulla rete telefonica. Va subito detto che troveremo qualche difficoltà, perché il metodo della valutazione basato sulla comprensione, quando si usano forti riduzioni del ritmo binario assegnato ad un canale telefonico (caso radiomobile), non tiene conto di aspetti quali la riconoscibilità del parlatore, e la naturalezza del parlato.

Appendice 1

La formula che fornisce il valore di IIS (Indice di Intensità Sonora = LR del CCITT) si ottiene in base a considerazioni teoriche, i cui fondamenti risalgono a studi compiuti negli anni '30-'50. Indicando con "sensazione sonora" λ la grandezza chiamata "loudness" negli studi di lingua anglosassone e "Lautheit" negli studi di lingua tedesca, già da allora era accertato che la sensazione sonora λ globale che nasce da un suono complesso occupante un determinato spettro poteva

calcolarsi come somma delle sensazioni elementari apportate dall'energia contenuta in ognuna delle banderelle, piuttosto strette, in cui si può scomporre lo spettro del suono.

Pertanto si può scrivere

$$\lambda = C \int_{f_1}^{f_2} Q(Z) S'(f) df,$$

in cui il significato delle notazioni è il seguente:

- C costante
 Z differenza alla frequenza f , fra il livello sonoro che giunge all'orecchio e la soglia di sensibilità dell'orecchio
 $Q(Z)$ è la funzione che trasforma la differenza Z in sensazione sonora
 $S' = dS/df$ S è una funzione monotonica di f tale che a eguali incrementi di f si hanno eguali incrementi di λ .

Il calcolo ovviamente non si fa caso per caso, e per ogni persona che parla, date le forti differenze di spettro (per esempio fra uomini e donne), ma ci si riferisce a un parlatore medio ideale il cui spettro di frequenza è stato ottenuto come media di molti parlatori (metà uomini e metà donne): va detto che fra gli spettri medi di parlatori delle varie lingue di ceppo europeo le differenze sono abbastanza piccole da potersi assumere uno spettro comune come ha fatto il CCITT. Resta come elemento variabile il livello sonoro (integrale delle spettro) che varia con il variare del parlatore, dell'efficienza di sistema emittente e ricevente (sistema d'utente = telefono + rilegamento) e della risposta (attenuazione) del circuito: di ciò si tiene conto nel modo che ora esporremo.

Chiamiamo B la densità spettrale media della parola per Hz (W/cm^2)/Hz e β_0 il livello di soglia uditivo per toni sinusoidali: a β_0 va apportata una correzione k (sperimentale) che tiene conto che nella banderella, sia pur stretta, l'andamento del suono non è sinusoidale. Infine chiamiamo α_p l'attenuazione della pressione da bocca a orecchio. Tutte queste grandezze sono espresse in dB, e i livelli B e β_0 sono riferiti all'intensità sonora che corrisponde a $20 \mu Pa$ ⁽⁸⁾ (Pa=Pascal).

Tutto ciò posto, è facile scrivere il valore di Z

$$Z = B - \alpha_p - (\beta_0 - k) \text{ dB.}$$

Per sganciarsi dal livello del parlatore, la densità B viene assunta corrispondente a quella della media a lungo periodo (almeno un'ora) dei parlatori su molti circuiti; questa scelta fa sì che il valore $Z_0 = B - (\beta_0 - k)$ sia definito una volta per tutte (resta ovviamente la dipendenza di Z_0 da f). L'attenuazione $\alpha_p(f)$ tiene conto della variabilità del collegamento (sistemi d'utente terminali più circuito intermedio), elemento che è proprio quello di cui vogliamo valutare l'influenza sulla qualità.

Il metodo CCITT si basa sul seguente legame fra $Q(Z)$ e Z :

(8) Il legame fra pressione p e intensità sonora J è il seguente: $J = 2.42 \cdot 10^{-7} p^2 W/cm^2$ (p in Pa). Per $p=20 \mu Pa$ si ha $J_0 = 10^{-16} W/cm^2$. Si ricorda che J_0 è la densità di riferimento per gli audiogrammi.

$$Q(Z) = \text{cost} \times 10^{mZ/10},$$

che corrisponde ad analoghe relazioni poste da Braun (1939) e da Fletcher e Galt (1950).

Il CCITT al tempo di queste elaborazioni usava come campione primario ($R = \text{riferimento}$) il cosiddetto IRS (Intermediate Reference System) che veniva tarato verso il NOSFER (nuovo SFERT).

Si può allora scrivere per l'IRS (contraddistinto da un pedice R)

$$\lambda_R = C \int_{f_1}^{f_2} Q(Z_R) S'(f) df,$$

e per il collegamento x sotto misura

$$\lambda_x = C \int_{f_1}^{f_2} Q(Z_x) S'(f) df,$$

In base a quanto si è detto in precedenza si ha per l'IRS

$$Q(Z_R) = \text{cost} \times 10^{m(Z_0 - \alpha_{pR})/10}$$

e per il collegamento x

$$Q(Z_x) = \text{cost} \times 10^{m(Z_0 - \alpha_{px})/10}$$

in cui α_{pR} e α_{px} sono le attenuazioni da bocca a orecchio del campione IRS e rispettivamente del collegamento sotto misura.

L'espressione $10^{mZ/10} S'$ compare in entrambi gli integrali: essa può essere calcolata una volta per tutte in funzione di f e viene chiamata G .

A questo punto il CCITT introduce il concetto di LR (IIS per noi in Italia) in modo analogo al vecchio "equivalente di riferimento". Si aumenti o si diminuisca cioè α_{pR} di una quantità (dB) pari a IIS fino a rendere (a orecchio da parte di operatori)

$$\lambda_R(\text{IIS}) = \lambda_x$$

Ciò corrisponde alla seguente eguaglianza

$$C \int_{f_1}^{f_2} \text{cost} \times 10^{-m(\alpha_{pR} + \text{IIS})/10} G(f) df = C \int_{f_1}^{f_2} \text{cost} \times 10^{-m\alpha_{px}/10} G(f) df$$

e si ottiene subito

$$10^{-m\text{IIS}/10} = \frac{\int_{f_1}^{f_2} 10^{-m\alpha_{px}/10} G(f) df}{\int_{f_1}^{f_2} 10^{-m\alpha_{pR}/10} G(f) df}$$

ovvero, passando ai logaritmi,

$$\text{IIS} = -\frac{10}{m} \left[\log_{10} \int_{f_1}^{f_2} 10^{-m\alpha_{px}/10} G(f) df - \log_{10} \int_{f_1}^{f_2} 10^{-m\alpha_{pR}/10} G(f) df \right].$$

La funzione $G(f)$ è stata, sperimentalmente, definita dal CCITT, facendo sì che

$$\int_{f_1}^{f_2} G(f) df = 1,$$

e così G diviene tipicamente una funzione di peso. Ne deriva che le operazioni descritte nell'ultima formula corrispondono a fare una media di $\alpha_{px}(f)$ e di $\alpha_{pR}(f)$ con la pesatura $G(f)$. Si può quindi scrivere

$$\text{IIS} = \bar{\alpha}_{px} - \bar{\alpha}_{pR},$$

in cui la sopralineatura indica la particolare media effettuata.

Si osservi che IIS è positivo quando il circuito incognito è peggiore del campione ($\bar{\alpha}_{px} > \bar{\alpha}_{pR}$) e viceversa, cioè esso si comporta come il vecchio equivalente di riferimento.

Per facilitare i calcoli il CCITT ha trasformato gli integrali in sommatorie scegliendo 20 frequenze che sono quelle centrali di 20 banderelle larghe circa 1/3 di ottava.

Le frequenze normalizzate sono riportate nella tab. 1

Resta da definire l'andamento di G e nella stessa tab. 1 è riportato il valore di $10 \log_{10} G \Delta f$. Il CCITT denomina un coefficiente

$$W_i = -\frac{10}{m} \log_{10} G(f_i) \Delta f_i, \quad i = 1, \dots, 20.$$

(che è il valore della 4ª colonna diviso per $-m$). Con semplici calcoli si arriva al valore di IIS

$$\text{IIS} = -\frac{10}{m} \log_{10} \sum_{i=1}^{20} 10^{-m(\alpha_{px} - \bar{\alpha}_{pR} + W_i)/10}.$$

Frequenza centrale (Hz)	Δf (Hz)	$G \Delta f$	$10 \log_{10} G$ (dB)	$10 \log_{10} G \Delta f$ (dB)
100	22,4	0,0122	-32,63	-19,12
125	29,6	0,0162	-29,12	-14,41
160	37,5	0,0646	-27,64	-11,90
200	44,7	0,0637	-28,46	-11,96
250	57,0	0,0791	-28,58	-11,02
315	74,3	0,0576	-31,10	-12,39
400	92,2	0,0968	-29,78	-10,14
500	114,0	0,0614	-32,68	-12,12
630	149,0	0,0711	-33,21	-11,48
800	184,0	0,0710	-34,14	-11,49
1000	224,0	0,0655	-35,33	-11,83
1250	296,0	0,0480	-37,90	-13,19
1600	375,0	0,0541	-38,41	-12,67
2000	447,0	0,0355	-41,25	-14,75
2500	570,0	0,0385	-41,71	-14,15
3150	743,0	0,0195	-45,80	-17,09
4000	922,0	0,0411	-43,50	-13,86
5000	1140,0	0,0221	-47,13	-16,56
6300	1490,0	0,0222	-48,27	-16,54
8000	1840,0	0,0415	-46,47	-13,82

Tabella 1 Valori della funzione peso $G(f)$ per le 20 frequenze scelte dal CCITT nella banda da 100 Hz a 8000 Hz

Il valore assunto dal CCITT per $m \approx 0.175$; conglobando $\bar{\alpha}_{pR}$ in W_i si ha la formula finale ($W = W_i - \bar{\alpha}_{pR}$)

$$IIS = -57.14 \log_{10} \sum_{i=1}^{20} 10^{-(\alpha_{px} + W)/57.14}$$

Il CCITT scrive le formule usando invece delle attenuazioni α_p le efficienze $S_p = -\alpha_p$ e per ogni parte del collegamento scrive le relative formule

- collegamento completo

$$IIS_O = -57.14 \log_{10} \sum_{i=1}^{20} 10^{(S_O - W_O)/57.14}$$

- sistema emittente

$$IIS_E = -57.14 \log_{10} \sum_{i=1}^{20} 10^{(S_E - W_E)/57.14}$$

- sistema ricevente

$$IIS_R = -57.14 \log_{10} \sum_{i=1}^{20} 10^{(S_R - W_R)/57.14}$$

- linea

$$IIS_L = -57.14 \log_{10} \sum_{i=1}^{20} 10^{-(\alpha + W_L)/57.14}$$

in cui S_O, S_E, S_R sono le efficienze rispettivamente in dB (sistema completo), in dB riferiti a 1 V/Pa (sistema emittente) e in dB riferiti ad 1 Pa/V (sistema ricevente). L'attenuazione α è quella di linea alla frequenza i . W_O, W_E, W_R, W_L sono riportati nella tab. 2. Il valore scelto dal CCITT per $m (=0,175)$ è stato molto criticato, come pure

Banda No.	Frequenza centrale (Hz)	Trasm. W_E	Ricez. W_R	Linea W_L	Globale W_O
1	100	154,5	152,8	200,3	107,0
2	125	115,4	116,2	151,5	80,1
3	160	89,0	91,3	114,6	65,7
4	200	77,2	85,3	96,4	66,1
5	250	62,9	75,0	77,2	60,7
6	315	62,3	79,3	73,1	68,5
7	400	45,0	64,0	53,4	55,6
8	500	53,4	73,8	60,3	66,9
9	630	48,8	69,4	54,9	63,3
10	800	47,9	68,3	52,8	63,4
11	1000	50,4	69,0	54,1	65,3
12	1250	59,4	75,4	61,7	73,1
13	1600	57,0	70,7	57,6	70,1
14	2000	72,5	81,7	72,2	82,0
15	2500	72,9	76,8	71,1	78,6
16	3150	89,5	93,6	87,7	95,4
17	4000	117,3	114,1	154,5	76,9
18	5000	157,3	144,6	209,5	92,4
19	6300	172,2	165,8	245,8	92,2
20	8000	181,7	166,7	271,7	76,7

Tabella 2 Valori dei coefficienti che compaiono nell'espressione dell'IIS

i valori attribuiti a $G(f)$ che hanno dato luogo ai valori di W_O, W_E, W_R, W_L . Nel capitolo 4 è stato esposto un metodo semplificato (proposto da diversi Enti e Laboratori) che dà luogo, rispetto a quello ora esposto, a divergenze non superiori a qualche decimo di dB quando si tratti di collegamenti di buona qualità con oscillazioni entro la banda 300-3400 non superiori a 5÷10 dB.

Normalmente per i circuiti telefonici comuni (banda 300-3400) non si estende la sommatoria da f_1 a f_{20} , ma solo al campo da f_6 a f_{16} , che copre la banda 280-3518 Hz.

Appendice 2

Le curve di cui alla fig. 6 possono essere ottenute ipotizzando una distribuzione gaussiana delle valutazioni soggettive che approssima i dati rilevati. Si possono però anche calcolare tramite l'impiego di distribuzioni binomiali. In tal caso, formalmente, detta S la valutazione media, la frazione di giudizi corrispondenti ad un punteggio k si assume pari a

$$\pi_k = \binom{4}{k} \left(\frac{S}{4}\right)^k \left(1 - \frac{S}{4}\right)^{4-k}, \quad k = 0, \dots, 4.$$

Le quattro curve teoriche riportate in fig. 6 corrispondono alle seguenti funzioni:

- Curva E: $\pi_4 = \left(\frac{S}{4}\right)^4$;
- Curva E+G: $\pi_3 + \pi_4 = \left(\frac{S}{4}\right)^3 \left(4 - \frac{3S}{4}\right)$;
- Curva E+G+F: $\pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = \left(\frac{S}{4}\right)^2 \left(6 - 2S + \frac{3S^2}{16}\right)$;
- Curva E+G+F+P: $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 = 1 - \left(1 - \frac{S}{4}\right)^4$.

La rete Internet: ambiente di comunicazione e servizi

M. Carissimi, F. Guadagni, F. Pugliese (*)

La rete Internet ha avuto, in questi ultimi anni, un trend di sviluppo talmente vertiginoso ed una diffusione tra gli utilizzatori così ampia da essersi guadagnata l'appellativo di "rete delle reti" o "Big Internet". Nata agli inizi degli anni '70 in USA come studio commissionato dall'Ente Militare Americano ARPA sulla identificazione di soluzioni di reti atte a mantenere attive le comunicazioni tra centri di ricerca e centri militari anche in caso di eventi bellici, la rete ha poi avuto un impulso notevole nell'utilizzo da parte dei centri di ricerca ed università. La possibilità di conversione nei nodi di rete di protocolli appartenenti ad ambienti di comunicazione diversi (ad esempio i nodi mail gateway che convertono la posta elettronica in formati differenti) conferisce alla rete stessa una grande capacità di interconnessione ed interlavoro fra una varietà di tipologie di reti. Oggi la rete Internet viene presa come modello di riferimento nell'ambito dello studio per lo sviluppo di reti di comunicazioni globali.

1. Introduzione - cenni storici

I primi studi sulla interconnessione di calcolatori di tipo diverso furono effettuati su finanziamento del Ministero della Difesa degli Stati Uniti (DoD) negli anni sessanta. Si voleva allora sperimentare una tecnica che permettesse la condivisione di linee di comunicazione (p.es. circuiti telefonici) da parte di utenti attestati su sistemi hardware diversi, sfruttando la tecnica di trasmissione dati a pacchetto.

Il DoD, tramite la sua emanazione ARPA (Advanced Research Project Agency), finanziò pertanto lo sviluppo e la sperimentazione su larga scala di protocolli di comunicazione a pacchetto, sulla prima rete di calcolatori costituita da macchine di tipo diverso, chiamata ARPANET. Uno dei requisiti fondamentali che tale rete doveva soddisfare (essendo stata commissionata da militari) era la resistenza ad attacchi che ne modificassero la configurazione (p.es. per interruzione di linee di giunzione o di centri di commutazione), che fosse pertanto reticolare non gerarchica con una elevata capacità di interconnessione ed interlavoro fra una grande varietà di nodi di rete.

Una tale resistenza ai guasti non è in generale richiesta in reti di uso civile, e da questa differenza di esigenze nacque una divergenza tecnica iniziale tra le scelte effettuate per ARPANET (che è a tutti gli effetti, se pur a soli trent'anni, la progenitrice di Internet) e quelle adottate dagli organismi di standardizzazione ISO e ITU (ex CCITT). La divergenza iniziale sulle scelte tecniche è perdurata nel tempo attraversando gli anni settanta ed ottanta durante i quali da una parte ARPANET cresceva notevolmente negli Stati Uniti, espandendosi dall'ambito iniziale della difesa a quello dell'istruzione e della ricerca e conquistando sul campo un numero di utenti sempre maggiore, dall'altra parte ISO e ITU lavoravano alla definizione di un modello teorico di interconnessione tra sistemi aperti (l'Open Systems Interconnection, OSI) ed alla specifica di una serie di protocolli di comunicazione conformi a tale modello.

Fino alla fine degli anni ottanta era sentimento comune che OSI ed i suoi protocolli, una volta stabilizzati ed implementati, avrebbero in breve spazzato via ogni traccia di ogni altra soluzione, inclusi i protocolli TCP/IP⁽¹⁾ adottati in ARPANET, che ormai, perdendo ogni originario legame con l'ambito militare, aveva cambiato anche il nome in Internet.

(*) sig. Mauro Carissimi, ing. Francesco Pugliese -Telecom Italia DG- Roma; ing. Franco Guadagni -CSELT- Torino

(1) TCP/IP: Transport Control Protocol/Internet Protocol.

Tale previsione si è però dimostrata non corretta: la realtà Internet si è infatti talmente diffusa in maniera vertiginosa, sia negli Stati Uniti che nel vecchio continente, che ha di fatto impedito ad OSI di decollare.

La rete Internet ha di fatto raggiunto gli obiettivi che OSI si prefiggeva, costituendo una base di interconnessione aperta, indipendente dai costruttori di sistemi di TLC, e che consente applicazioni quali lo scambio di messaggi, il trasferimento di archivi di dati, la ricerca di informazione nelle basi di dati interconnesse. Ciò è stato reso possibile dall'utilizzo di router⁽²⁾ basati su protocollo IP, che permettono lo scambio di messaggi tra reti eterogenee.

Il successo di Internet ha indotto il mondo delle comunicazioni a riflettere sulle ragioni di questa evoluzione imprevista, ed il futuro ci mostra una possibilità di riconvergenza, su basi di collaborazione, dei due mondi Internet ed OSI. È comunque diventato imperativo per chi si occupa di comunicazione dati conoscere questa realtà che sta assumendo importanza ad un ritmo veramente vertiginoso.

2. Internet come ambiente di connettività globale

Oggi Internet è presente in oltre 148 Paesi e connette più di 2.000.000 di calcolatori nel mondo, con un traffico che cresce a ritmi del 20% mensile. Questa crescita così vertiginosa le ha fatto guadagnare il nome di *Big Internet*.

Internet è un *contenitore di informazioni*, le più variegate, che spaziano in ogni angolo dello scibile umano. Si passa da argomenti squisitamente tecnici ad argomenti culturali, da informazioni generiche come la programmazione televisiva giornaliera (una specie di televideo telematico) a quelle riguardanti il mercato azionario, dal giardinaggio a temi prettamente culinari: qualunque sia l'argomento d'interesse è possibile reperire informazioni su di esso in qualche parte del mondo nella rete Internet.

Lo scambio di informazioni può avvenire privatamente tra utenti (posta elettronica, vedi § 4) oppure mediante la messaggistica pubblica (news, vedi § 6).

È possibile utilizzare ogni genere di risorsa presente in rete come lo scambio e la condivisione di archivi e le connessioni interattive tra computer, oppure implementare strumenti sofisticati, nati in Internet e per Internet, che permettono la distribuzione e la consultazione di informazioni multimediali (Gopher, World-Wide-Web, vedi § 6).

Quindi in Internet sono presenti centinaia di database, di programmi completamente gratuiti, di documenti sparsi nel mondo ed accessibili mediante strumenti della stessa comunità Internet.

(2) Il *router* è un apparato che permette l'interconnessione di sistemi a livello di rete, mentre il *gateway* permette l'interconnessione di sistemi interessando i livelli OSI superiori a quello di rete.

(3) European Academic & Research Network.

In sintesi, Internet è una infrastruttura globale di comunicazione le cui risorse sono dislocate spazialmente in tutto il mondo ma che sono viste dal singolo utente in modo trasparente, senza cioè che sia necessario sapere dove sono fisicamente, ed a cui è molto facile accedere con strumenti progettati e realizzati per i suoi utenti.

3. Aspetti tecnici

3.1 Modello architetturale di rete

La rete *Internet*, dal punto di vista strettamente architetturale, è costituita dall'interconnessione di un insieme di reti sparse per il mondo i cui host comunicano tra loro impiegando un insieme di protocolli comuni a cui ci si riferisce con il termine "Internet Protocol Suite": i protocolli più conosciuti al suo interno sono TCP (Transport Control Protocol) e IP (Internet Protocol), che rappresentano la base comune per lo scambio delle informazioni tra le varie reti. Da ciò l'identificazione di queste reti con la dizione "reti IP".

Negli ultimi anni la diffusione della rete Internet ha spinto altre reti basate su protocolli diversi dal TCP/IP (per esempio Bitnet, EARN⁽³⁾ ed altre) a connettersi, introducendo appositi gateway di interconnessione con lo scopo di ampliare i servizi forniti al loro interno consentendo l'accesso a tutti quelli della rete Internet (fig. 1).

Le reti IP, al loro interno, sono costituite da un insieme di router IP e due livelli strutturali di rete: una rete di *accesso* ai router ed una *rete backbone* tra i router stessi (fig. 2).

La rete backbone IP tra router è costituita nella maggior parte dei casi da circuiti affittati. Tale soluzione è dovuta al fatto che le modalità di scambio dei dati da parte del protocollo IP, pur permettendo l'utilizzo di qualsiasi tecnica di trasporto, presuppongono una tariffazione di tipo flat rate, data la grande quantità di

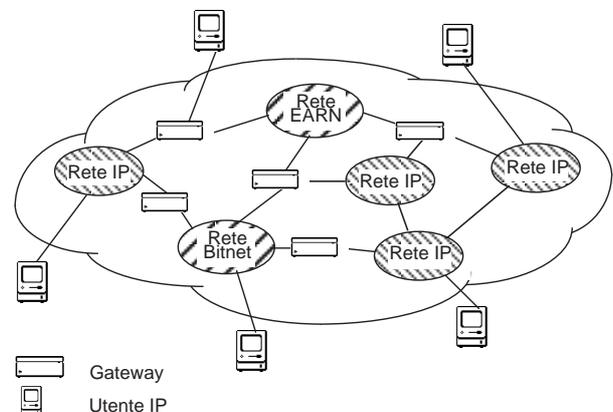


Figura 1 Struttura globale della rete Internet

dati scambiati non sempre controllabile da parte dell'utente (si vedano, ad esempio, gli applicativi News, Listserv nel § 6).

Le applicazioni che progressivamente si stanno sviluppando su Internet (applicazioni ad alto contenuto grafico e multimediali) comportano lo scambio di una notevole mole di informazioni e dati, richiedendo bande trasmissive sempre più elevate (ad esempio la rete americana NSFnet⁽⁴⁾ permette velocità di 45 Mbit/s). È da notare che oggi si sta verificando un progressivo orientamento, nella realizzazione del backbone IP, verso tecniche di trasporto a Larga Banda quali il servizio SMDS (Switched Multimegabit Data Service), Frame Relay ed in futuro sicuramente ATM.

La rete di accesso ai router IP può essere data da diversi tipi di reti, come la rete commutata (tramite modem), quella ISDN, la rete X.25, la rete Frame Relay e SMDS.

Il generico utente, dal canto suo, vede una *unica rete virtuale IP* in cui ogni entità (sia essa un altro utente, un IP router o un Gateway) è individuata in maniera univoca da un indirizzo logico di rete, chiamato *indirizzo IP*.

Tale indirizzo si compone di 32 bit suddivisi in due parti, una per l'identificazione della rete di appartenenza e l'altra per l'identificazione dello specifico host in tale rete (<net_id, host_id>).

Per ragioni tecniche, gestionali e anche politiche le reti IP vengono raggruppate in "Autonomous System (AS)": ossia insieme di reti IP, appartenenti ad uno o più gestori, che hanno una politica di instradamento unica e univocamente definita. Ciò permette, inoltre, una migliore e più efficace organizzazione della manutenzione.

L'introduzione dell'AS ha portato alla differenziazione delle problematiche di routing a seconda che l'instradamento sia relativo all'interno o all'esterno dell'AS. In particolare sono state definite due tipologie di protocolli di routing: la

famiglia dei protocolli IGP (*Interior Gateway Protocol*) e il protocollo EGP (*Exterior Gateway Protocol*).

Il gestore può selezionare all'interno della famiglia dei protocolli IGP uno da impiegare all'interno dell'AS, naturalmente tali protocolli possono essere diversi per AS distinti.

Lo scambio delle informazioni di routing tra diversi AS è, invece, gestito mediante un unico protocollo standard detto EGP.

3.2 Protocolli comunicativi IP e TCP

La "Internet Protocol Suite" è una famiglia di protocolli sviluppati per consentire la condivisione delle risorse (sia hardware che software) attraverso reti eterogenee.

- Essa è suddivisa in 4 strati distinti (vedi fig. 3):
- *strato applicativo* (ad esempio la posta elettronica), che gestisce le funzionalità di una particolare applicazione;
 - *strato di trasporto* (ad esempio il TCP o UDP⁽⁵⁾), che fornisce le funzionalità per la gestione del trasferimento dei dati tra due utenti della rete;
 - *strato di rete* (ad esempio IP), che fornisce le funzionalità per trasportare i dati tra due risorse di rete;
 - *strato fisico*, che gestisce il mezzo fisico di comunicazione tra due risorse di rete.

Il TCP è un protocollo affidabile di tipo connection-oriented, end-to-end, concepito per essere introdotto in una gerarchia di protocolli in grado di supportare applicazioni multi-network.

Esso fornisce comunicazioni affidabili tra processi che risiedono su host diversi, collegati in reti di comunicazione interconnesse tra di loro. L'elevato grado di affidabilità viene raggiunto senza che lo stesso TCP richieda requisiti stringenti ai protocolli sottostanti.

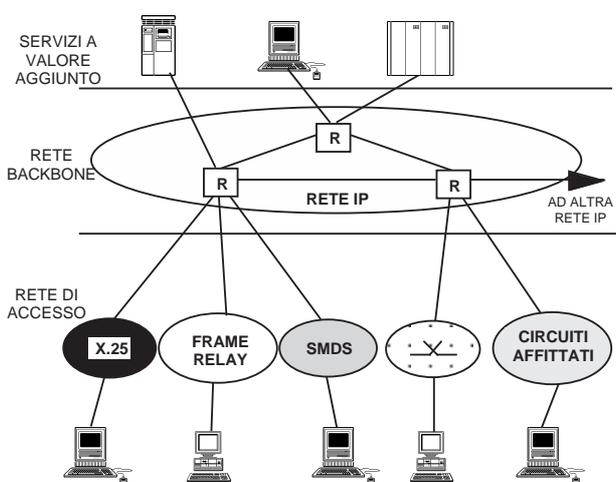


Figura 2 Esempio di struttura di una delle reti Internet

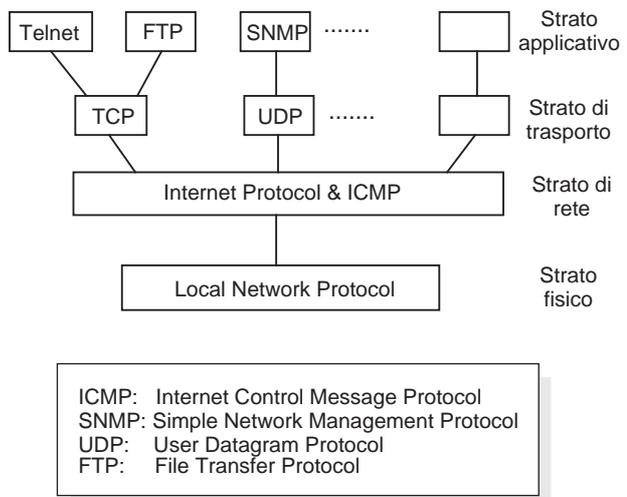


Figura 3 Stratificazione dell'ambiente TCP/IP

Difatti, il protocollo TCP è stato sviluppato per poter funzionare anche sopra un servizio datagram potenzialmente poco affidabile.

TCP può operare in un ampio spettro di piattaforme comunicative, dalla semplice connessione diretta mediante cavo fino a quelle che utilizzano la tecnica della commutazione di pacchetto o di circuito.

Il protocollo UDP è un altro protocollo che si inquadra a livello di trasporto (in alternativa al TCP). La differenza sostanziale tra i due risiede nel fatto che UDP è un protocollo di tipo connectionless. Questo si traduce in pratica nel dire che ogni datagramma⁽⁶⁾ viaggia separatamente da ogni altro, e che non esistono procedure né di controllo di flusso né di recupero di errore; funzionalità che vengono demandate ai protocolli di livello superiore.

A livello di rete troviamo il protocollo IP che è stato sviluppato per l'interconnessione di reti a commutazione di pacchetto ed è connectionless. Il suo unico scopo è quello di fornire le funzioni necessarie per il trasporto un pacchetto di dati (un internet datagram) da una entità sorgente ad una destinataria, attraversando un insieme di reti, anche eterogenee, interconnesse tra di loro.

Il protocollo IP non è stato concepito per un trasporto affidabile delle informazioni, infatti non prevede acknowledgment end-to-end o "hop-by-hop"⁽⁷⁾, non implementa procedure per la ritrasmissione dei dati, per il controllo di flusso o per l'integrità dei dati, ad esclusione dell'header checksum (controllo dell'integrità dell'intestazione del pacchetto).

Nell'instradamento di un pacchetto possono verificarsi vari problemi come ad esempio la congestione di rete, un datagramma non può raggiungere la sua destinazione, un IP router non ha risorse disponibili per far proseguire il cammino di un datagramma, ecc.... Una risorsa di rete deve quindi poter comunicare tali situazioni al nodo sorgente. Ciò è realizzato dal protocollo "*Internet Control Message Protocol, ICMP*" che utilizza il supporto fornito da IP come un protocollo di livello superiore, pur essendo invece parte integrante del protocollo IP stesso.

Tra i molti protocolli che costituiscono lo strato applicativo della Internet Protocol Suite, quelli di maggior rilievo sono il *Simple Mail Transfer Protocol (SMTP)*, che definisce il servizio di posta elettronica nell'ambito della rete, *File Transfer Protocol (FTP)*, per il trasferimento di file tra risorse di rete, Telnet, per

la gestione dei login remotizzati sulle risorse di rete, *Simple Network Management Protocol (SNMP)*, per la gestione delle risorse di rete.

3.3 Sicurezza

La sicurezza delle informazioni è uno dei problemi più sentiti oggi nel mondo Internet. L'uso iniziale di Internet da parte della comunità scientifica mondiale ha limitato lo sviluppo di meccanismi di sicurezza ad ogni livello poiché questa non è tra le esigenze proprie del mondo accademico. Infatti i protocolli TCP/IP non implementano nessuna funzionalità di sicurezza dei dati come d'altra parte gli applicativi più utilizzati SMTP, Telnet e FTP. Alla luce della connettività globale e dell'uso anche di tipo commerciale che la rete Internet oggi permette, la ricerca di soluzioni ottimali e praticabili per la sicurezza risulta essere una sfida per il futuro per molti gestori di reti IP.

Allo stato attuale è possibile realizzare la protezione della propria rete mediante l'utilizzo di *crittografia* e/o *Firewall*.

Il Firewall è un unico punto di accesso alla rete Internet protetto in maniera particolare e può essere un *router* che filtra le comunicazioni non autorizzate nella propria rete, sia in ingresso che in uscita, in base ad una lista d'accesso statica; può essere un *gateway* che non ha funzioni di instradamento ma filtra in modo "intelligente" le comunicazioni accettando e analizzando tutti i pacchetti provenienti lato Internet in base ad un software dedicato, mentre lato rete privata concede di uscire solo agli utenti abilitati. Ciò permette di realizzare un monitoraggio attivo degli accessi reagendo con opportuni allarmi ad attacchi ripetuti, cosa non possibile tramite l'utilizzo del solo router.

4. Servizi applicativi di rete: E-mail (SMTP), Telnet, FTP

Le applicazioni che l'ambiente TCP/IP mette a disposizione dei suoi utenti sono molteplici e tali da soddisfare le diverse necessità che l'utente può avere durante una sessione di lavoro. Esempi possono essere lo scambio di messaggi, il lavorare sul proprio host da remoto e il trasferimento di file.

4.1 E-mail: SMTP (Simple Mail Transfer Protocol)

Gli applicativi di posta elettronica (Electronic-Mail) permettono di scambiare messaggi tra utenti utilizzando un protocollo di comunicazione, SMTP, sviluppato ad hoc per questo ambiente.

L'obiettivo che il protocollo SMTP si propone è quello di offrire i meccanismi per trasferire messaggi in forma elettronica (E-mail) in modo affidabile ed efficiente attraverso tutta la rete Internet, sfruttando la tecnica di store & forward nella consegna del messaggio medesimo.

(4) National Science Foundation network: backbone americano

(5) UDP: User Datagram Protocol.

(6) Datagramma: unità di dati che viaggia individualmente nella rete come singolo messaggio.

(7) Termine utilizzato nel routing di un pacchetto: la via seguita da un pacchetto per giungere a destinazione può essere vista come una serie di salti ("hop") attraverso IP router dedicati all'interconnessione delle reti.

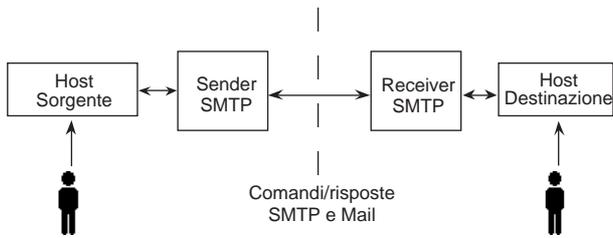


Figura 4 Modello funzionale del protocollo SMTP

Il modello funzionale su cui si poggia il protocollo SMTP può essere rappresentato come in fig. 4.

In pratica, a fronte di una richiesta di invio di mail da parte dell'utente, il "sender-SMTP" stabilisce un canale bidirezionale di trasmissione con il "receiver-SMTP". Tale "receiver-SMTP" può rappresentare sia un nodo di transito che il nodo di destinazione a cui è attestato l'utente finale. Una volta che il canale trasmissivo è aperto, il "sender-SMTP" può avviare i preamboli che consentono di verificare la disponibilità del "receiver-SMTP" ad accettare la mail e, se non vengono riscontrati problemi (indisponibilità del receiver, utente sconosciuto, ecc...), si avvia il processo di trasmissione vero e proprio del messaggio generato dall'utente che può contenere qualsiasi carattere ASCII.

4.1.1 Telnet

L'applicativo Telnet consente di aprire sessioni interattive (login remoto) su host ovunque ubicati all'interno della rete e dotati di un'autorizzazione all'uso (account + password).

Come mostrato in fig. 5, l'utente si collega dalla propria postazione (Host A), lanciando l'applicativo Telnet client e specificando, con opportuna sintassi, il nome dell'host (Host B) con cui vuol interagire per una sessione di lavoro. Questo (Host B) attiverà le funzionalità di Telnet server e, dopo opportune routine di identificazione dell'utilizzatore (password), permetterà l'accesso all'host remoto.

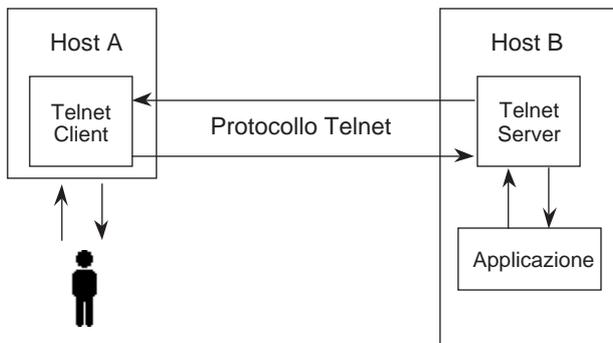


Figura 5 Modello funzionale dell'applicativo Telnet

4.1.2 FTP (File Transfer Protocol)

FTP è un protocollo pensato per il trasferimento di file tra host distinti collegati tra loro mediante una rete (fig. 6). Sebbene fornisca un'interfaccia per essere utilizzato direttamente dal terminale d'utente, esso è principalmente concepito per essere utilizzato all'interno di programmi.

Gli scopi di tale protocollo sono:

- promuovere la condivisione di informazioni di pubblico dominio, come programmi e/o dati;
- incoraggiare l'uso di computer remoti;
- svincolare l'utente dai vari sistemi di memorizzazione di file degli host connessi alla rete;
- trasferire in modo efficiente ed affidabile tra grossi quantitativi di dati fra host.

Nell'effettuare il trasferimento di un file il protocollo FTP residente sull'Host A (FTP client) realizza innanzitutto una connessione di controllo con il protocollo FTP dell'Host B (FTP server). Attraverso questa connessione vengono inviati all'FTP server i comandi, opportunamente codificati, che scaturiscono da richieste dell'utente. Il server FTP, interpreta tali comandi ed effettua la trasmissione dei dati richiesti.

5. Confronto OSI - TCP/IP

Il confronto tra protocolli ed applicazioni del mondo OSI e TCP/IP può essere condotto a diversi livelli. Innanzitutto i modelli di base sono differenti, più complesso per l'OSI (7 strati) più semplificato nel TCP/IP (4 strati). Il processo stesso di standardizzazione è più lungo e formale per l'ambiente OSI mentre è più veloce e pratico per quello TCP/IP. Infine la disponibilità ed i costi commerciali di prodotti con funzionalità equivalenti (ad es. E-mail) risultano essere differenti.

Per informazioni più dettagliate sulle si rimanda all'appendice dell'articolo.

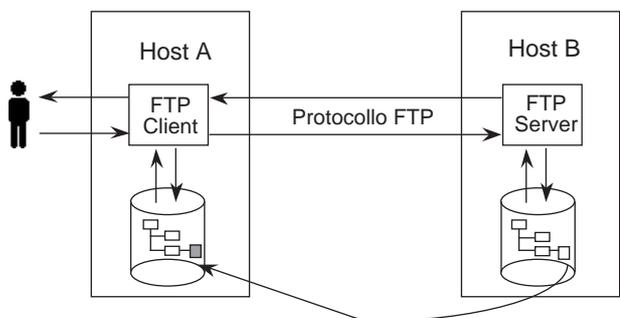


Figura 6 Modello funzionale del protocollo FTP

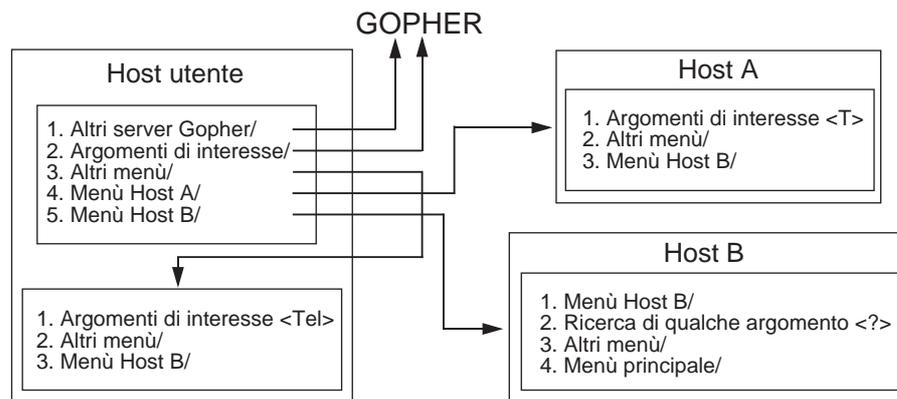


Figura 7 Menù Gopher

6. Gli strumenti di navigazione in Internet

Nell'accedere ad Internet, cioè a risorse ed a servizi generalmente di pubblico dominio (database di varia natura, recupero files, gruppi di discussioni, mailing list, ecc...), il compito più arduo del generico utente è quello di identificare l'insieme e la locazione dei servizi di suo interesse.

Coerentemente allo spirito che si trova alla base della rete Internet, cioè condivisione di informazioni e rispetto della privacy altrui, sono state sviluppate una serie di *applicazioni di rete* che affiancano l'utente nei compiti di ricerca, localizzazione ed uso delle risorse, cioè che permettano all'utente di "navigare" nella rete in modo tale da avere la massima condivisione di tutte quelle informazioni ritenute di pubblico dominio.

La strategia di base impiegata per identificare le risorse e i servizi della rete, risiede nell'uso di opportuni *server*, ossia programmi software residenti su computer situati nella rete in grado di accettare delle richieste ed inviare automaticamente delle risposte coerenti. L'impiego di tali server non è limitato solo a quell'utenza che è collegata direttamente, ad esempio mediante LAN, al computer che fornisce il servizio, ma permette l'accesso a chiunque nel mondo sia in grado di sfruttarne i servizi tramite la rete Internet. In molti casi i server sono collegati tra di loro, cosicché una volta stabilito un contatto con uno di loro si può facilmente comunicare con tutti gli altri.

Le funzionalità richieste per utilizzare i servizi messi a disposizione dai server in rete si basano sul modello di comunicazione conosciuto con il termine di *client-server*. In base a tale modello, gli utenti utilizzano opportuni programmi software sul proprio computer chiamati *client*, che fanno uso delle capacità elaborative locali così come delle capacità comunicative per connettersi ai vari server della rete. Questi software forniscono un'interfaccia d'utente semplice ed intuitiva che facilita nel formulare le richieste.

Il client invia tali richieste, mediante opportuno protocollo, al server di destinazione, il quale risponderà con un messaggio che il client visualizzerà all'utente.

Nell'ambito della rete esistono diversi siti dai quali prelevare il software (di pubblico dominio) che consente di operare come client per le varie applicazioni di rete coerentemente all'ambiente operativo di cui si dispone (ad esempio Macintosh,

MS-DOS, OS/2, VMS, Unix, X-Windows, ecc...).

Tra le applicazioni che i vari nodi della rete mettono a disposizione dell'utente è possibile effettuare una classificazione in aree funzionali.

Una prima area è quella dell'*esplorazione della rete* permessa dalle due applicazioni **Gopher** e **World Wide Web** le quali utilizzano il modello client-server per muoversi in un ampio campo di risorse di rete sfruttando modalità di recupero molto intuitive.

Altra funzionalità è quella della *ricerca nei database* mediante l'applicazione **WAIS**, che permette il recupero e la navigazione nei database dovunque localizzati in rete.

Il problema dell'individuazione di file o programmi nella rete, per la *localizzazione delle risorse di rete*, può essere risolto mediante il sistema informativo (directory elettronico) **ARCHIE**.

L'*identificazione di computer ed utenti*, è realizzata tramite il **WHOIS** che permette di individuare utenti, computer ed i loro indirizzi di rete.

La distribuzione pubblica di messaggi utilizza un Bulletin Board elettronico chiamato **Newsgroup** (o semplicemente **News**) oppure un sistema di duplicazione di posta elettronica detta **Listserv**.

6.1 Esplorazione della rete: Gopher, World-Wide Web

Gopher

Internet Gopher, o più semplicemente Gopher, è un servizio distribuito di recupero documenti, che consente di esplorare, cercare⁽⁸⁾ e acquisire informazioni residenti in differenti locazioni. L'interfaccia tipica di questo servizio suddivide le informazioni in una serie di menu nidificati, che rispecchiano l'organizzazione delle informazioni in directory, subdirectory e file. Ad esempio (vedi fig. 7), dalla schermata iniziale di gopher sul proprio host l'utente

(8) Con il termine "cercare" ci si riferisce in tale contesto all'insieme delle operazioni manuali che l'utente può compiere per individuare le informazioni da lui desiderate, tenendo presente che il servizio Gopher prevede solo una facility che permette di individuare una stringa di caratteri tra i nomi delle directory e non all'interno dei documenti (file) ivi contenuti.

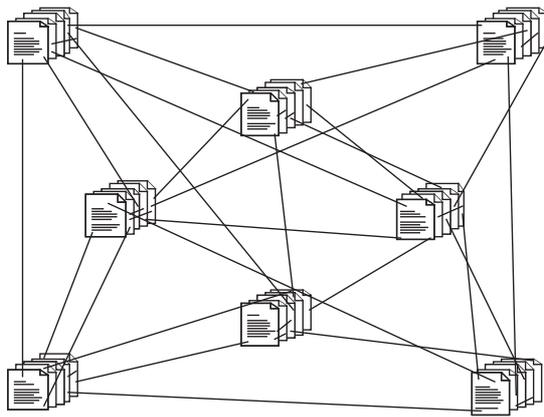


Figura 8 Gopherspace

seleziona, mediante mouse o digitando semplicemente il numero corrispondente alla scelta, l'argomento desiderato. Tale azione lo potrà far accedere ad un'altra directory del proprio host ovvero lo porterà su un altro host remoto su cui potrà essere ripetuto questo meccanismo.

Dal punto di vista dell'utente, tutte le informazioni sembrano essere dislocate nello stesso posto, sebbene alcune subdirectory e il loro contenuto possano trovarsi fisicamente su dei server remoti gestiti da altri Gopher. Tale struttura gerarchica delle informazioni porta alla definizione di uno *Gopherspace* (fig. 8), cioè di una struttura logica unitaria composta da informazioni contenute in server gopher ubicati spazialmente in luoghi diversi.

La tipologia delle informazioni gestite da questo servizio comprende file di testo, file binari, immagini e suoni.

Il servizio Gopher, inoltre, può essere utilizzato come modalità di accesso ad altri sistemi di informazioni e verso altri servizi di rete come Telnet e FTP (vedi § 4).

World-Wide Web

World-Wide Web, chiamato anche WWW o W3, è un sistema informativo multimediale basato su hypertext⁽⁹⁾ la cui origine risale al 1989.

La modalità ipertestuale propria di WWW consente di muoversi di documento in documento in una rete di informazioni mondiale. I documenti hypertext sono collegati ad altri documenti mediante un insieme di parole chiave che, interpretate opportunamente, permettono di "saltare" da un documento ad un altro che si può trovare su un server in un'altra parte del mondo. Per esempio, quando una nuova parola o un nuovo concetto è introdotto in un testo, hypertext offre i mezzi per collegarsi ad un altro documento in cui vengono forniti maggiori dettagli a riguardo, in modo tale che il lettore può aprire il secondo documento selezionando la

parola o il concetto sconosciuto; questo documento può a sua volta contenere ulteriori riferimenti ad altra documentazione. Tale gestione è completamente trasparente dal punto di vista dell'utente, il quale non è tenuto a sapere dove sia localizzato il documento, e non c'è necessità che digiti comandi o scandisca database alla ricerca di tale locazione.

I documenti gestiti in WWW sono di tipo multimediale e cioè essi contengono informazioni testuali, grafiche e sonore, queste ultime opportunamente compresse per ridurre il volume di traffico scambiato durante il trasferimento.

Il servizio WWW gestisce, inoltre, documenti speciali, che rappresentano a tutti gli effetti degli indici che possono essere scanditi in base a delle parole chiave, in modo tale che il risultato della ricerca sia un documento nel cui interno sono contenuti i collegamenti verso i documenti con le informazioni ricercate.

L'accesso ai server WWW avviene tramite un applicativo di tipo client chiamato *Mosaic*. Questo applicativo è realizzato per diversi tipi di computer con piattaforme software diverse come Unix, Dos, Windows ed ambiente Mac; anch'esso è recuperabile gratuitamente da server presenti in Internet.

6.2 Ricerca nei database: WAIS

WAIS, Wide Area Information Server, è un sistema per il recupero di informazioni distribuite nella rete (fig. 9): esso aiuta l'utente nella ricerca sui database disseminati nella rete. Le informazioni contenute in tali database sono generalmente di tipo testo, ma possono contenere anche suoni, immagini e filmati, con un vasto campo di applicazioni sia scientifiche che non.

L'organizzazione di tali database varia a seconda dell'ente che gestisce il WAIS, mantenendo comunque una semplice interfaccia d'utente, al quale vengono mascherate le differenze. Tali interfacce fanno uso generalmente del

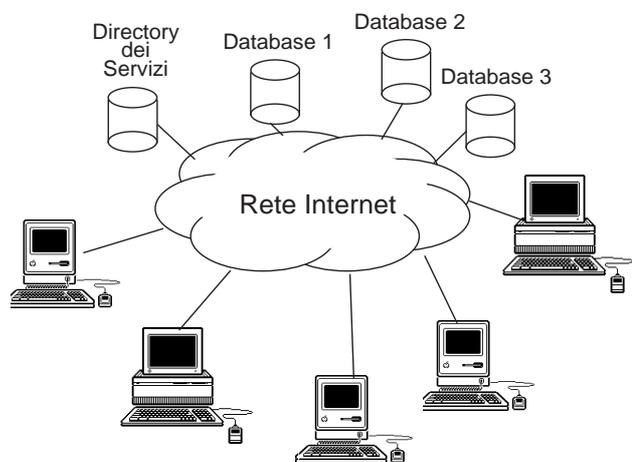


Figura 9 WAIS

(9) Hypertext è la tecnica che consente di collegare logicamente due testi, che abbiano delle relazioni coerenti, tra di loro.

linguaggio naturale, mediante il quale è possibile impostare tutti i parametri necessari alla ricerca.

L'architettura del servizio è strutturata in modo tale che, a seguito di una ricerca avviata dall'utente, il centro servizi a cui tale utente è collegato si incarica di attivare le opportune operazioni di ricerca sui database selezionati, eventualmente remoti. Il risultato di tale ricerca si concretizza in un insieme di documenti, che contengono le stringhe oggetto della ricerca con i relativi riferimenti necessari per il recupero degli stessi attraverso la rete.

6.3 Localizzazione delle risorse di rete: ARCHIE

Archie è un sistema informativo nato per offrire un servizio di directory elettronico centralizzato, mediante il quale è possibile localizzare (ma non recuperare) le informazioni nell'ambito della rete Internet; allo stato attuale si contano un centinaio di siti distinti che offrono il servizio, con mediamente 50.000 accessi giornalieri.

L'uso principale che viene fatto di tale sistema informativo, è quello di scandire un database di carattere generale, che contiene informazioni su nodi ad accesso libero presenti nella rete; il risultato della scansione è una lista di indirizzi, presso i quali è possibile reperire le informazioni oggetto della ricerca.

Questi database vengono aggiornati continuamente, garantendo in tal modo l'accuratezza delle informazioni registrate.

6.4 Identificazione di computers e utenti: WHOIS

Il servizio *Whois* fornisce un sistema di directory elettronico per gli utenti registrati nella rete Internet: cioè fornisce i mezzi per l'identificazione di indirizzi di posta elettronica, indirizzi postali e numeri telefonici.

Il database principale con le informazioni generali sulla rete (organizzazioni, siti, reti, persone, ecc...) è gestito dalla "Internet Registration Service" (InterNIC). Allo stato attuale, i nomi dei gestori dei domini registrati sono automaticamente introdotti nel database quando le autorità di coordinamento della rete Internet concedono una numerazione specifica di rete (indirizzo IP).

Il servizio *Whois* presenta nella sua implementazione corrente alcune limitazioni che gli impediscono di gestire efficacemente un elevato numero di utenti. Tali limitazioni dipendono da un certo numero di fattori fra cui: i vari server *Whois* non hanno conoscenze tra di loro, in quanto in ogni sito è mantenuto e gestito un database separato da ogni altro; localmente vengono introdotte funzionalità innovative, che non vengono diffuse nell'ambito della rete. Queste limitazioni hanno spinto lo sviluppo di una nuova versione software denominata *Whois++*, che includerà funzionalità capaci di

ampliare la ricerca delle informazioni, per ottenere un reale servizio di directory distribuito.

L'accesso ai vari server *Whois* attualmente presenti in rete è reso possibile o attraverso sessioni interattive *Telnet* con siti opportuni, o facendo uso di appositi programmi lato utente.

In aggiunta a tali modalità di accesso l'InterNIC offre per i propri database un'interfaccia di tipo *E-mail*, per consentire l'accesso anche a quella fascia di utenza che è dotata soltanto di posta elettronica, o che non appartiene alla rete Internet.

6.5 Messaggistica pubblica: Listserv, News

Listserv è un pacchetto per la gestione di liste distribuite che permette a gruppi di utenti con interessi comuni di comunicare tra loro tramite posta elettronica, realizzando al tempo stesso un uso efficiente delle risorse di rete.

La funzione principale di *Listserv* è quella di operare su mailing list, ossia di realizzare la distribuzione di posta elettronica ad un gruppo di utenti stabilendo un vero e proprio forum di utenti su argomenti di interesse comune. Tale tipo di servizio è utile per lo scambio di idee e di informazioni poiché è la stessa applicazione *Listserv* che si incarica di recapitare a tutti i partecipanti alla mailing list l'informazione inviata da un suo utente, evitando così a quest'ultimo la replica e l'invio dello stesso messaggio a tutti i componenti della lista.

Gli argomenti di interesse specifico per le varie mailing list sono di tipo più svariato e possono investire sostanzialmente tutti i settori dell'attività umana.

Listserv fornisce inoltre gli strumenti per effettuare monitoraggio ed archiviazione del traffico di posta elettronica, funzioni di file server e ricerca di archivi e file su database.

Netnews o *Usenet* o *News* è, invece, un sistema per la condivisione di messaggi che permette di scambiarsi elettronicamente nel mondo in un formato standard.

I messaggi scambiati su *Usenet* sono organizzati per argomenti all'interno di categorie chiamate *newsgroup* che vengono trasferiti di host in host. I messaggi possono contenere sia esclusivamente testo che informazioni binarie codificate; possono contenere anche intestazioni informative sul mittente, su quando e dove il messaggio è stato messo in rete, dove è transitato ed altre informazioni amministrative.

Esistono più di 1200 sottocategorie *newsgroup* i cui argomenti spaziano dall'educazione per disabili a *Star Trek*, dalla scienza ambientale alla politica nell'ex Unione Sovietica. La qualità del contenuto dei messaggi scambiati nei *newsgroup* non è garantita essere sempre elevata anche se qualche *newsgroup* ha un moderatore che esamina i messaggi prima che siano distribuiti e decide quali siano appropriati per la diffusione.

Per accedere ad *Usenet* si utilizza un pacchetto software client chiamato *news reader* che utilizza il protocollo *NNTP* (Network News Transfer Protocol) per ricevere informazioni da opportuni database in rete.

Usenet era stata originariamente sviluppata per sistemi Unix nel 1979 e nello stesso anno circa cinquanta siti Unix vi si erano connessi. Oggi ci sono centinaia di siti che utilizzano sistemi operativi differenti su piattaforme hardware diverse (VMS, MVS, Macintosh, MS-DOS e OS/2) che comunicano tra loro nel mondo.

7. Sviluppo attuale di Internet

Quando fu realizzata la rete ARPAnet, il numero di accessi non superava che poche centinaia, stime recenti invece indicano che ci sono nel mondo tra i cinque e gli otto milioni di utenti con accesso ad Internet con un tasso di crescita previsto veramente sensazionale come mostrato in fig. 10.

Pur essendo molto difficile avere dei dati aggiornati e completi, oggi, Internet è composta da più di 10.000 reti sparse per il mondo con oltre 2.000.000 di host attraverso cui accedono gli utenti. Come indicatore di attività si pensi che circa 150 milioni di news Internet sono instradate giornalmente nella rete. Con il tasso di crescita odierno, la quantità di indirizzi IP a disposizione si esaurirà nel 1995 e per ovviare a ciò si stanno studiando, nelle sedi opportune, le soluzioni da adottare.

Nell'offerta dei servizi Internet, sia di rete che a valore aggiunto, è possibile classificare i fornitori in tre tipi:

- i service provider che utilizzano le loro reti come backbone di estensione non limitata ai confini dei singoli Stati. Queste reti trasportano il traffico proveniente da altre reti senza fornire accessi diretti all'utenza (esempio è la rete americana NSFnet).
- i service provider nazionali le cui reti forniscono connettività ad Internet, accessi a gestori di informazioni ed a utenti finali. Questo tipo di reti rappresentano un numero considerevole in Internet.
- i service provider sempre nazionali che forniscono informazioni e valore aggiunto mediante interfacce user-friendly (si veda ad esempio l'applicazione distribuita gopher descritta precedentemente).

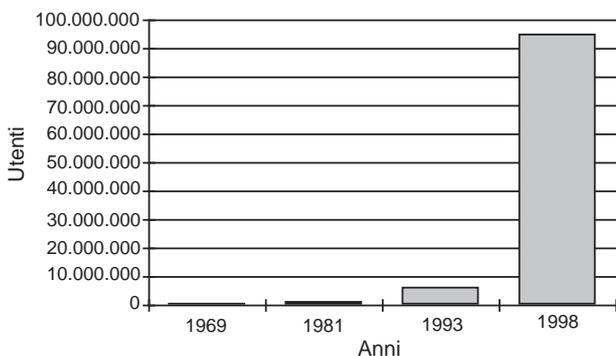


Figura 10 Numero di accessi ad Internet

7.1 Il mondo USA ed Europeo

Sebbene originariamente fosse stata progettata per ricercatori universitari, Internet oggi è aperta a molti servizi di tipo commerciale, come liste di collocamento o telemarketing. Negli USA, accanto alla rete di trasporto NSFnet finanziata dal governo, che trasporta esclusivamente traffico proveniente da istituti di ricerca, esistono reti di trasporto di tipo commerciale, come ANSnet di Advanced Network and Service Inc., PSInet di Performance Systems International Inc., Altnet di Uunet Technologies Inc. ed altre (fig. 11).

A tali reti di trasporto sono connesse altre reti di livello locale, che permettono accessi diretti sia ad utenti residenziali che ad aziende.

In Europa esistono oggi diverse reti utilizzate per gli enti di ricerca; la rete di trasporto più importante è EUROPanet, che è finanziata da progetti CEE e dalle comunità scientifiche stesse (fig. 12). Questa rete non è utilizzabile per scopi commerciali e connette la maggior parte di reti Europee per la ricerca.

Un altro backbone Internet per la ricerca è NORDUnet; essa connette tutte le nazioni scandinave ed è collegata alla rete EUROPanet.

Tra le dorsali più importanti in Europa utilizzate invece per offrire un servizio commerciale Internet vanno annoverate Ebone ed EUnet. Queste, a loro volta, hanno rilegamenti in tutte le nazioni del vecchio continente.

7.2 Due realtà nazionali: Francia e Regno Unito

Molti sono i gestori di telecomunicazioni pubblici in Europa che interpretano la connettività ad Internet come uno dei servizi strategici e di immagine, tra questi sono, ad esempio, sia France Telecom (FT) che British Telecom (BT).

FT ha integrato direttamente nei nodi della rete X.25 TRANSPAC il protocollo IP che permette la connessione

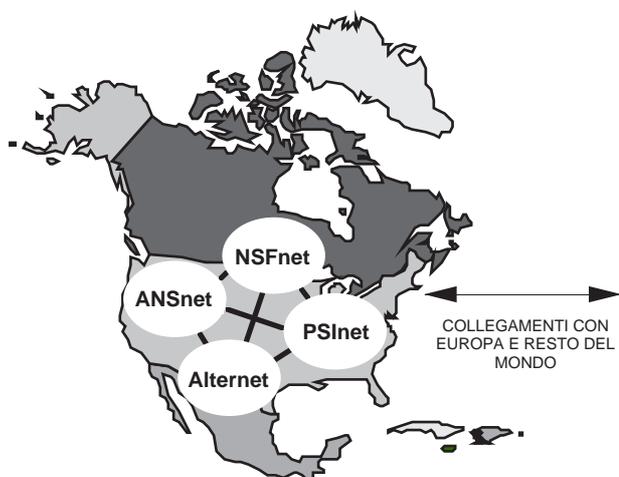


Figura 11 Struttura di Internet in USA

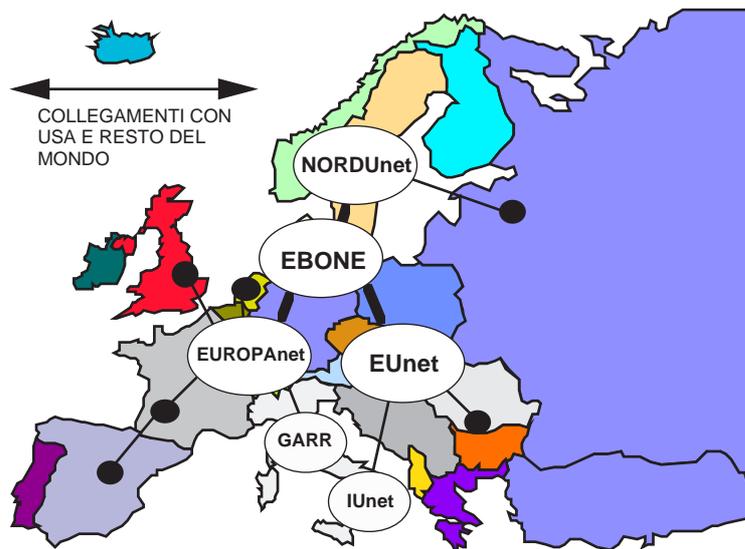


Figura 12 Struttura di Internet in Europa

diretta ad Internet così da poter effettuare una offerta di servizi integrata sulla propria rete.

BT dal canto suo offre all'utente finale un pacchetto di servizi di cui la connettività Internet è contemplata sia su reti ad alta velocità (SMDS, Frame Relay) che a bassa velocità (X.25).

Ambedue questi gestori intendono utilizzare Internet come un mezzo di differenziazione nell'offerta dei servizi dagli altri competitori, e di accreditarsi l'immagine di Aziende di telecomunicazioni al passo con i tempi.

7.3 Il panorama italiano

In Italia i servizi Internet sono stati introdotti dalla rete GARR, Gruppo di Armonizzazione delle Reti per la Ricerca, alcuni anni fa. La rete era ed è tutt'oggi accessibile solo all'utenza scientifica. La rete GARR comprende circa il 90% degli accessi italiani complessivi ad Internet.

Accanto alla rete GARR si è sviluppata negli ultimi anni la rete commerciale IUnet gestita dalla società I2u s.r.l., che è collegata al backbone europeo EUnet. Essa è una rete che fornisce connettività ad Internet ed accesso ad altri service provider che operano in Italia come Agorà e MC-Link. Questi ultimi non forniscono all'utente la connettività completa ad Internet, ma ne limitano l'accesso utilizzando degli applicativi (ad esempio gopher) che semplificano all'utente la navigazione in rete, ma permettono l'accesso solo ai database utilizzabili con quella specifica applicazione.

I service provider italiani permettono l'accesso alle proprie reti attraverso l'utilizzo di linee commutate (modem), ITAPAC e circuiti diretti numerici.

Nella tab. 1 si riporta per ciascuna di queste società il numero di clienti, il tipo di servizio offerto ed il prezzo del servizio per connessioni mediante linea commutata.

Service Provider	Clienti	Offerta	Prezzo
I2u	800 di cui 20 Aziende	E-mail, News, FTP Connettività IP diretta	Canone Annuale: L.300.000 Tariffa a tempo: L.200/MINUTO Canone Annuale: L.6 Mni. - 25 Mni. Tariffa a volume: L.15.000/MBYTE
Agorà	2.000	E-mail, News, FTP Basi Dati Testuali	Forfait L.238.000/ANNO o Tariffa a consumo L.100/MINUTO Per FTP: L.100 per il primo KBYTE e L.10 per i successivi
MC-Link	2.000	E-mail, News, FTP Basi Dati Testuali	Tariffa a consumo fino a L.10.000/MBYTE

Tabella 1 Confronto tra service provider italiani

Il mercato italiano di servizi Internet è caratterizzato da una forte domanda proveniente da piccole e medie imprese, liberi professionisti e da utenti residenziali.

Le imprese vedono in Internet uno strumento di ausilio alla propria attività lavorativa che può incrementarne la produttività: si pensi ad esempio alla riduzione nei tempi per l'invio di fax e alla comunicazione professionale tramite la posta elettronica.

I liberi professionisti e gli utenti residenziale vedono, invece, oltre ad una possibilità di comunicazione interpersonale sovranazionale ad ogni livello, un mezzo di svago e di divertimento.

8. Considerazioni finali

Internet è una rete informatica basata su calcolatori, che offre servizi gratuiti o a bassissimo costo. In America la diffusione è talmente ampia che investe ogni angolo del paese.

Pur essendo nata in ambito militare e successivamente passata a quello universitario e di ricerca, le restrizioni sull'uso commerciale di Internet stanno velocemente diventando obsolete. Negli Usa, accanto alla rete di transito National Science Foundation (NSFnet) sovvenzionata dal governo, su cui è proibito il traffico commerciale, si sono sviluppate altre reti di transito a pagamento. La più grande tra queste è la ANSnet gestita dalla società Advanced Network and Services Inc. che è prettamente rivolta al traffico commerciale.

Proprio per la sua stessa genesi, uno dei problemi fondamentali di Internet è la sicurezza delle informazioni. Una società che ha accesso ad una rete è virtualmente connessa ad ogni altra rete in ambito Internet, ed è quindi esposta agli attacchi dei "pirati" del software e di coloro che usano le risorse di rete per fini non prettamente professionali o di ricerca.

In uno scenario di questo tipo, il comportamento degli operatori commerciali nei confronti della rete Internet si è dimostrato piuttosto scettico, proprio perché mancano i presupposti fondamentali per l'offerta di servizi pregiati (come ad esempio accesso a banche dati a pagamento, applicazioni di trasferimento fondi, pagamenti remoti...). Negli ultimi tempi, comunque, si sta registrando un'inversione di tendenza, sempre più evidente con l'evoluzione dei provvedimenti di sicurezza che vengono introdotte negli apparati di rete (quali ad esempio crittografia, Firewall, ecc...).

Occorre tenere presente che negli USA la rete NSF è sovvenzionata dal governo, e quindi gratuita per l'utente finale; a ciò è principalmente dovuto lo sviluppo di Internet in America. Dall'aprile 1995 termineranno i sovvenzionamenti governativi e la rete NSF dovrà sovvenzionarsi mediante introiti commerciali: ciò porterà sicuramente ad un ridimensionamento del trend di sviluppo verificatosi negli ultimi anni.

In Europa, la rete Internet ha avuto un notevole sviluppo solo negli ultimi anni, guidato principalmente dagli ambienti universitari e di ricerca. A titolo di esempio si può citare la rete Europeanet, che permette la connessione tra centri universitari di svariati paesi europei. In ambito commerciale si è invece sviluppata la rete EUnet, la quale è presente in Italia con la sottorete IUnet. Sempre in Italia è inoltre possibile riscontrare la nascita di un numero apprezzabile di società che forniscono accessi ad Internet come Agorà, MCLink ed altri, che fanno riferimento ad IUnet.

È presumibile che lo scenario futuro italiano sarà simile a quello americano degli ultimi anni, anche in Italia lo sviluppo di Internet è e sarà strettamente legato agli enti di ricerca e di università, che godono di sovvenzioni statali per la rete, peraltro non accessibile per

fini commerciali. Dal punto di vista commerciale, invece, è da verificare un possibile sviluppo analogo a quello americano, considerando che a tutt'oggi l'uso di Internet è sostanzialmente rivolto allo scambio di informazioni tra ricercatori, oppure di tipo ludico (software d'intrattenimento generale anche di tipo multimediale), mentre la prospettiva di diffusione di Internet come strumento commerciale (veicolo d'informazioni e cataloghi di prodotti, fatturazione elettronica, ecc...) appare piuttosto limitata soprattutto per ragioni di sicurezza delle informazioni.

Appendice

A.1 Confronto OSI- TCP/IP

Il confronto tra protocolli ed applicazioni OSI e TCP/IP può essere effettuato su diversi piani. I due modelli teorici sono differenti, il processo di standardizzazione delle specifiche è diverso, vi sono differenze anche per servizi equivalenti (p.es. posta elettronica), così come nella realtà commerciale di disponibilità e costo di prodotti conformi ai due mondi. Un esame accurato delle differenze non è negli scopi di questo documento, ma si ritiene opportuno toccare i principali punti citati per dare una panoramica, con possibilità di approfondimento in altre sedi.

A.1.1 I modelli teorici

Il modello OSI è stato studiato, formalizzato e standardizzato congiuntamente da ISO e CCITT (ora ITU-T). Esso si basa sul concetto di livelli di protocollo con funzionalità diverse, organizzati dal più basso (il livello fisico, che si occupa delle caratteristiche meccaniche, fisiche ed elettriche degli apparati di trasmissione e ricezione) al più alto (il livello applicativo, che si occupa della interazione semantica tra applicazioni di comunicazione residenti su sistemi remoti interconnessi via rete). La modellizzazione è fatta individuando sette livelli, secondo quanto illustrato in fig. 13.

Come si vede sempre nella stessa figura, nel caso TCP/IP, il modello è semplificato. Le differenze fondamentali tra i due consistono nel fatto che nel caso TCP/IP vi è:

- il raggruppamento dei livelli bassi, per cui ogni rete è considerata basata su una singola tecnica omogenea (dalle LAN di tipo Ethernet o Token Ring alle reti di tipo X.25 o ISDN) alla stregua di "sottoreti", che vengono interconnesse da un livello di super-rete (Internet) che è l'IP.
- il raggruppamento dei tre livelli più alti del modello OSI. Nel caso TCP/IP, le applicazioni si basano esclusivamente sul servizio di trasporto offerto dal TCP

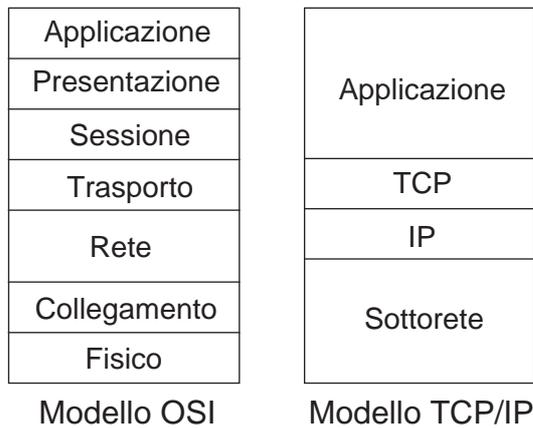


Figura 13 Confronto tra modello OSI e TCP/IP

o dall'UDP. Le differenze nel modello teorico comportano essenzialmente una maggiore snellezza al di sopra del livello di trasporto nel caso TCP/IP.

E' altresì da notare che la IETF, di cui si parlerà nel successivo paragrafo, ha definito una modalità operativa che consente di emulare una parte delle funzionalità del livello di trasporto OSI, comunque sufficienti a supportare in ambito Internet applicazioni costruite per il mondo OSI.

A.1.2 Il processo di standardizzazione

L'ambiente di standardizzazione OSI è costituito da gruppi di studio congiunti che producono le specifiche, lavorando principalmente durante incontri periodici, e dalle procedure formali di voto che richiedono l'approvazione delle specifiche prodotte dalle organizzazioni membri dei due organismi. Le specifiche passano attraverso un iter composto di varie fasi che le portano a raggiungere lo stato di standard. In pratica, ogni standard dal momento del suo concepimento al momento della sua ratifica vede trascorrere un periodo minimo di circa tre anni.

È da notare inoltre che fino a quando lo standard non è completamente ufficializzato, quasi nessun costruttore di apparati o di software di comunicazione si cimenta nella sua implementazione, nel timore che lo standard cambi nel frattempo. Questo disaccoppiamento tra specifica ed implementazione fa sì che eventuali difficoltà di realizzazione, o anche veri e propri errori nella specifica, vengano rilevati solo dopo la avvenuta ratifica dello standard, nel momento della sua messa in pratica; ciò rende estremamente difficoltose le correzioni e gli eventuali miglioramenti, che seguono processi formali altrettanto tediosi quanto il processo principale.

Diverso è lo scenario che si delinea per quanto riguarda le procedure di standardizzazione nella comunità Internet.

La Internet Architecture Board (IAB) è la commissione a capo dello sviluppo, del coordinamento e della gestione del mondo Internet.

La IAB è costituita da due sottogruppi di lavoro:

- Internet Engineering Task Force (IETF), coordinato dal gruppo guida denominato Internet Engineering Steering Group (IESG).
- Internet Research Task Force (IRTF), coordinato dal gruppo guida denominato Internet Research Steering Group (IRSG).

Il processo di standardizzazione in Internet è gestito a livello tecnico dalla IETF, che opera in gruppi di studio suddivisi per argomenti di interesse, ed a livello formale dall'IAB, che ha il compito di indirizzare strategicamente l'IETF e di ratificare le specifiche da questa prodotte, trasformandole in standard Internet.

Un protocollo prima di diventare Standard passa attraverso alcune fasi di evoluzione, in base agli esiti di scrutini e fasi di testing a cui viene sottoposto

Il processo di standardizzazione in Internet è sicuramente meno formale di quello in atto in ISO/ITU; altre caratteristiche più importanti del processo Internet rispetto a quello ISO sono:

- Rapidità del processo. Il lavoro è portato avanti dai membri IETF per mezzo di un uso massiccio della comunicazione elettronica (mailing lists, gruppi di interesse).
- Verifica implementativa. Le specifiche non divengono Standard se prima non è evidente che lo Standard può essere implementato, e che funziona. Si richiede che esistano almeno due diverse implementazioni interoperanti di un protocollo ed una solida esperienza in campo prima di dichiararlo Standard.

Probabilmente le differenze elencate non sopravviveranno a lungo; è stata infatti recentemente accettata dall'ISO una richiesta di collaborazione con IETF, che consentirà ad IETF di proporre ad ISO per la standardizzazione le specifiche elaborate dai propri gruppi di studio.

A.1.3 I protocolli e le applicazioni.

Le differenze già evidenziate al par. A.1.1 per quanto riguarda il modello teorico comportano naturalmente conseguenze pratiche sulla realizzazione dei protocolli corrispondenti.

Come notato, la differenza principale è nella parte medio-alta del modello, ove l'OSI è costituito da tre livelli (Sessione, Presentazione ed Applicazione) contro il singolo livello applicativo del modello TCP/IP.

Una differenza importante tra i due mondi è l'esistenza, in OSI, di una notazione unica (l'Abstract Syntax Notation One, ASN.1), che consente di descrivere in maniera univoca sintassi di protocolli applicativi, e di tradurre le definizioni astratte in dati da trasmettere in linea, per mezzo di regole di codifica valide per tutti gli applicativi OSI.

Per quanto riguarda le applicazioni sviluppate nei due ambienti, vi è una sovrapposizione funzionale nei campi

del trasferimento di file, con l'FTAM OSI a far da contraltare al FTP, nella posta elettronica, con X.400 OSI che rivaleggia con SMTP, nella gestione, ove CMIP ed SNMP si contendono il campo, e nell'accesso remoto dove l'applicazione Telnet ha solo un teorico antagonista OSI nell'applicazione di Virtual Terminal (VT).

La situazione nei diversi casi è di seguito descritta:

Trasferimento file

L'applicativo Internet ha avuto una diffusione sicuramente maggiore di quella FTAM. In questo campo, tra l'altro, FTAM ed FTP non sono i due soli contendenti, poiché protocolli quali Kermit, X-modem ed altri avevano già una buona diffusione prima della definizione di FTAM. FTAM è un tipico caso di prodotto molto ricco, se paragonato alle funzionalità di base di FTP. Esso dà la possibilità di gestire file remotamente, offre protezioni differenziate, ha capacità di recovery di situazioni di errore, ecc...; tutto ciò a spese di una maggiore complessità.

Posta elettronica

In questo campo l'applicazione OSI X.400 ha trovato una buona diffusione, ed è praticamente la sola ad essere fornita come servizio da operatori pubblici di telecomunicazione. Ancora una volta si può dire che l'applicazione OSI ha vantaggi funzionali evidenti; due caratteristiche tra le altre che la pongono su un livello di superiorità sono la possibilità di implementare servizi di sicurezza fondamentali (non solo la crittazione dei messaggi, ma anche autenticazione d'utente, ecc...), e la possibilità di trasferire file binari. SMTP, anche nella sua estensione per multimedia MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) fa uso di opportune codifiche proprie del mondo Unix (uuencode) per ottenere la stessa funzionalità, a scapito di un overhead del 25% nella quantità di dati inviati.

Gestione di rete

Vale molto di quanto detto in precedenza. Anche in questo caso l'applicazione OSI è più ricca e più complessa. In questo caso c'è da notare come il lavoro svolto in ambito OSI abbia notevolmente influenzato le specifiche Internet. Infatti, dopo una prima versione di SNMP piuttosto rudimentale, IETF ha prodotto una versione aggiornata (SNMP version 2), che incorpora molte delle funzionalità sviluppate per OSI CMIP. Soprattutto in Europa, CMIP è stato adottato da operatori di telecomunicazione per la costituzione di reti di gestione di telecomunicazioni; SNMP invece ha trovato ampia diffusione a livello mondiale, inserendosi come standard "de facto" nella gestione di reti private.

Elenchi elettronici

In questo campo, la comunità Internet ha direttamente adottato il lavoro svolto in ambito OSI. L'applicazione

di Directory X.500 non ha infatti una corrispondente basata su TCP/IP. In questo caso è successo che la più grossa applicazione dell'X.500 OSI è avvenuta proprio su Internet, dove si è costituita una notevole comunità di basi dati X.500 interconnesse.

A.1.4 Considerazioni commerciali e di prodotti

Una delle ragioni (forse la principale) della enorme diffusione di reti basate su TCP/IP, è la inclusione delle funzionalità di base (IP, TCP, SMTP, Telnet, FTP) a titolo gratuito sui sistemi basati su Unix. Il software di rete TCP/IP si è in questo modo diffuso congiuntamente a Unix. Inoltre, il supporto iniziale degli uffici governativi USA ad ARPANET in qualità di rete sperimentale per la difesa, è proseguito trasformando la rete Internet in infrastruttura di comunicazione, inizialmente per il mondo accademico ed in seguito anche per le scuole superiori. Il governo americano con le sue sovvenzioni ha finanziato da un lato lo sviluppo fisico della rete (pagando i link a lunga distanza tra le università), e dall'altro lo sviluppo teorico, finanziando le attività organizzative e di specifica tecnica (riunioni IETF, segretariato). L'utilizzo principale della rete da parte della comunità accademica ha avuto come conseguenza collaterale la diffusione enorme del software sviluppato in tale ambito, e reso pubblicamente disponibile sui nodi della rete. Virtualmente tutto il software specifico per applicazioni su Internet è liberamente accessibile tramite FTP.

Di converso, l'attività di sviluppo OSI avveniva su basi esclusivamente commerciali, per cui le organizzazioni che hanno investito nello sviluppo e nel testing di prodotti OSI, hanno anche la "giusta pretesa" di far pagare i prodotti di conseguenza. Questo ha creato di fatto un mercato marginale per i prodotti OSI che hanno equivalenti funzionali nelle applicazioni Internet (es. FTAM), mentre le applicazioni che hanno attrattive proprie rispetto agli equivalenti Internet (ad es. X.400 per la offerta pubblica di servizi) hanno avuto una qualche diffusione.

In generale, uno dei punti dolenti della rete Internet è quello della sicurezza. Si pensi che l'applicazione Telnet non prevede la crittazione delle password, che quindi attraversano la rete in chiaro, e sono tracciabili (e pertanto "rubabili") da parte di qualsiasi router attraversato dalla connessione. Questo problema di fondo rende l'uso di Internet praticamente improponibile per applicazioni pregiate (p.es accesso a banche dati a pagamento, applicazioni di trasferimento fondi, pagamenti remoti...). L'empasse può essere superata tramite l'uso, per queste applicazioni particolari, di protocolli di alto livello OSI su una piattaforma di connettività Internet. L'X.500 offre un buon esempio di come questo possa avvenire. L'accesso a servizi X.500 può infatti essere protetto da funzioni di security sia su reti OSI che su TCP/IP.

Bibliografia

- [1] Comer, D.E.: *Internetworking with TCP/IP, Volume 1: Principles, Protocols, and Architecture*.
- [2] Postel, J.: *User Datagram Protocol (UDP)*. RFC0768, Agosto 1980.
- [3] Information Sciences Institute University of Southern California: *Internet Protocol (IP)*. RFC0791, Settembre 1981.
- [4] Postel, J.: *Internet Control Message Protocol (ICMP)*. RFC0792, Settembre 1981.
- [5] Information Sciences Institute University of Southern California: *Transmission Control Protocol (TCP)*. RFC0793, Settembre 1981.
- [6] Postel, J.: *Simple mail Transfer Protocol (SMTP)*. RFC0821, Agosto 1982.
- [7] Plummer, D.C.: *Address Resolution Protocol (ARP)*. RFC0826, Novembre 1982.
- [8] Postel, J.; Reynolds, J.: *Telnet Protocol Specification*. RFC0854, Maggio 1983.
- [9] Postel, J.; Reynolds, J.: *Telnet Option Specification*. RFC0855, Maggio 1983.
- [10] Mills, D.L.: *Exterior Gateway Protocol Formal Specification (EGP)*. RFC0904, Aprile 1984.
- [11] Postel, J.; Reynolds, J.: *File Transfer Protocol (FTP)*. RFC0959, Ottobre 1985.
- [12] Rose, M.T.; McCloghrie, K.: *Structure and Identification of Management Information for TCP/IP-based Internets (SMI)*. RFC1155, Maggio 1990.
- [13] Rose, M.T.; McCloghrie, K.: *Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based Internets (MIB)*. RFC1156, Maggio 1990.
- [14] Case, J.D.; Fedor, M.; Schoffstall, M.L.; Davin, J.R.: *A Simple Network Management Protocol (SNMP)*. RFC1157, Maggio 1990.

IP	Internet Protocol
ISO	International Organization for Standardization
ITU-T	International Telecommunication Union-Telecommunication
MIME	Multipurpose Internet Mail Extensions
OSI	Open Systems Interconnection
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SNMP	Simple Network Management Protocol
TCP	Transport Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol
RFC	Request For Comment
FTAM	File Transfer Access and Management
CMIP	Common Management Information Protocol
IRTF	Internet Research Task Force
IRSG	Internet Research Steering Group

Acronimi

ARPA	Advanced Research Projects Agency
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network
ASN.1	Abstract Syntax Notation 1
ATM	Asynchronous Transfer Mode
DoD	Department of Defence
FTP	File Transfer Protocol
IAB	Internet Architecture Board
ICMP	Internet Control Message Protocol
IESG	Internet Engineering Steering Group
IETF	Internet Engineering Task Force

Evoluzione delle Reti Corporate

A. Lazzaroli, R. Pietroiusti, C. Sternini (*)

Tradizionalmente, i servizi e le reti per i domini pubblico e privato si sono sviluppati per diversi aspetti indipendentemente gli uni dagli altri e con un limitato coinvolgimento della rete pubblica commutata nella fornitura di servizi specifici e nelle problematiche di interconnessione su scala geografica di sistemi privati (corporate networking). Ciò ha condotto alla diffusione di reti private basate sull'impiego di sistemi di commutazione privata generalmente interconnessi con linee dedicate. Attualmente, grazie allo sviluppo delle infrastrutture della rete pubblica commutata (ISDN, Reti Intelligenti, ecc.) sia in termini di capacità di trasporto, sia in termini di capacità di controllo e di gestione, gli operatori di rete pubblica sono in condizione di offrire insiemi di servizi avanzati pienamente rispondenti alle esigenze degli utenti anche nel caso dei requisiti più sofisticati. Nell'articolo viene esaminato, da un punto di vista architetturale e di servizi, il possibile ruolo della rete pubblica nell'ambito delle reti corporate tenendo conto anche dell'attività degli organismi di standardizzazione.

1. Introduzione

Le imprese caratterizzate da una dispersione geografica delle proprie sedi e dei propri centri di interesse, quali i fornitori ed i clienti, rendono disponibili, tramite la rete di telecomunicazioni, le informazioni ed i servizi richiesti dagli utilizzatori, indipendentemente dalla posizione geografica di questi ultimi. In tal modo si mira a realizzare l'integrazione "logica" dell'azienda tramite la creazione di un ambiente omogeneo di servizi che nasconda la distribuzione territoriale delle unità lavorative e delle risorse, e che rispetti i requisiti di qualità, affidabilità e sicurezza imposti dall'azienda.

In risposta a queste esigenze, l'azienda è portata a creare una *rete privata* di telecomunicazioni collegando i propri sistemi di commutazione che risiedono nelle sedi interessate tramite circuiti proprietari o affittati. Le capacità di gestione della rete e l'insieme dei servizi offerti sono in questo caso determinati dalle caratteristiche dei nodi della rete privata; questi ultimi evolvono pertanto in risposta ai requisiti specifici di rete

emergenti nel tempo e sono spesso preferiti dal cliente affari rispetto alle risorse della rete pubblica. Oggi le reti private costituiscono una realtà diffusa ed il cliente affari ha un controllo pressoché totale delle proprie risorse di comunicazione potendo, per esempio, definire un proprio piano di numerazione, configurare i terminali e monitorare tramite resoconti statistici la tipologia del traffico e la qualità del servizio offerto.

A fronte di questi benefici il cliente deve però affrontare un notevole investimento iniziale, al momento dell'acquisto dei sistemi, con scarse possibilità di modificare sostanzialmente le caratteristiche tecniche degli stessi per tutto il loro tempo di impiego. Inoltre, l'uso di circuiti dedicati risulta conveniente solo in caso di traffico intenso e non costituisce invece una soluzione ottimale per la connessione delle sedi a basso volume di traffico.

D'altra parte i progressi tecnologici dei sistemi pubblici di telecomunicazioni, quali la numerizzazione, lo sviluppo di prestazioni avanzate con rete intelligente ed ISDN, hanno ridotto le differenze, in termini di prestazioni, fra sistemi privati e sistemi pubblici. Si prospetta quindi per il gestore della rete pubblica l'opportunità di fornire nuovi servizi, proponendo l'uso delle risorse condivise per la realizzazione delle reti private e dando così vita al concetto, più ampio, di *rete corporate*.

(*) ing. Andrea Lazzaroli, ing. Romolo Pietroiusti, ing. Cinzia Sternini -Telecom Italia DG- Roma

La rete pubblica può offrire insieme di servizi che possono validamente proporsi come alternativa ai sistemi privati di commutazione e di trasporto. In termini generali la rete pubblica può offrire servizi (Centrex) sostitutivi dei nodi di commutazione privati e particolarmente indicati per le piccole/medie imprese, ma soprattutto può offrire servizi di interconnessione (networking) fra sistemi privati con prestazioni avanzate (reti private virtuali) in termini di piano di numerazione e di servizi supplementari (ad es. trasferimento di chiamata).

Nel seguito dell'articolo si fornisce una panoramica sulle caratteristiche principali delle reti private e vengono introdotti alcuni scenari di *networking*, ovvero di connessione dei sistemi privati attraverso la rete pubblica. Nel contesto del *networking* vengono illustrati i servizi offerti e gli attuali orientamenti degli organismi internazionali di standardizzazione.

Il settore delle "reti corporate" è in rapida evoluzione ed assumerà una importanza sempre crescente nel contesto competitivo del mondo delle telecomunicazioni. Il gestore della rete pubblica ha l'opportunità di trarne benefici in termini di ricavo e di immagine, utilizzando opportunamente le sofisticate prestazioni (per es. rete intelligente e ISDN) disponibili in rete.

2. Servizi, sistemi ed architetture per Reti Private

Le reti private costituiscono generalmente la risposta all'esigenza di interconnessione tra i sistemi privati di commutazione allocati nelle sedi, geograficamente distribuite, di una stessa azienda e sono costituite da un insieme di nodi privati connessi attraverso circuiti dedicati, siano essi affittati o proprietari. L'insieme dei servizi offerti dalla rete varia in funzione dei singoli nodi e della architettura complessiva della rete stessa, in genere dipendente dalla posizione geografica delle sedi dell'azienda e dalle relazioni di traffico che intercorrono tra di esse.

2.1 Servizi

Il sistema di commutazione privato (Private Automatic Branch Exchange, PABX) caratterizza la qualità di una rete privata in termini di capacità di controllo del traffico, dei costi, e degli accessi alle risorse fisiche (questi ultimi, ad esempio, tramite codici di autorizzazione), oltre a determinare l'insieme dei servizi offerti all'utilizzatore finale. I PABX costituiscono quindi i cardini di una rete privata e ne determinano la capacità di fornire i servizi rispondenti ai requisiti dell'azienda.

Nel seguito viene fornita una panoramica dei servizi principali comunemente offerti da un sistema di commutazione privato. Il nome assegnato ai servizi e la loro classificazione possono variare in relazione al prodotto considerato.

Servizi per l'utente finale.

Sono quelli direttamente accessibili da terminale telefonico:

- accesso all'operatore - per richiesta di informazioni e servizi;
- rinvio all'operatore - deviazione verso l'operatore di una comunicazione esterna;
- richiamata - temporanea messa in attesa di una chiamata per stabilire una seconda comunicazione intermedia;
- trasferimento di chiamata - trasferimento di una chiamata attiva interna o esterna verso altri derivati o verso l'operatore;
- follow-me - deviazione senza preavviso delle chiamate entranti verso un altro derivato;
- prenotazione su utente occupato - instaurazione automatica di una chiamata al liberarsi della linea dell'utente chiamato;
- chiamata in conferenza - per comunicazioni fra più di due utenti.

Servizi per posto operatore.

I principali servizi generalmente disponibili al posto operatore sono:

- intercettazione delle chiamate - deviazione verso l'operatore delle chiamate che vengono a trovarsi in predefinite condizioni (ad es. nessuna risposta, chiamata verso una numerazione non definita);
- intrusione - inserimento forzato in una comunicazione attiva per potersi connettere con uno dei due interlocutori. Il secondo interlocutore può essere posto in stato di attesa o tenuto connesso in "conferenza";
- servizio notte - tipicamente utilizzato al di fuori dell'orario lavorativo per terminare le chiamate entranti su un messaggio di cortesia o per deviarle verso un punto centralizzato di risposta;
- chiamate seriali - ritorno all'operatore della chiamata inoltrata verso un interno.

Servizi di rete.

Consentono di configurare la rete per un uso ottimizzato delle risorse e ritagliato sulle esigenze del cliente:

- Supporto di un Piano di Numerazione Privato - consente al cliente di definire un proprio piano di numerazione, generalmente di un numero ridotto di cifre. E' una caratteristica fondamentale della rete privata;
- Gruppo Chiuso d'Utenti - consente la definizione di un insieme di utenti in grado di ricevere ed effettuare chiamate esclusivamente all'interno del gruppo, a meno di autorizzazioni apposite;
- Sbarramento sulle chiamate uscenti - blocco all'origine delle chiamate non autorizzate a raggiungere la destinazione richiesta;
- Instradamento variabile - offre la possibilità di scegliere la destinazione delle chiamate sulla base di determinati criteri quali l'ora del giorno, giorno della settimana, etc.

Servizi di gestione.

Garantiscono al cliente un controllo sulla qualità dei servizi della rete, sulle caratteristiche del traffico e sui costi; tali servizi includono:

- produzione di report statistici - su un insieme di parametri di interesse, quali la tipologia delle chiamate e le percentuali di comunicazioni andate a buon fine;
- documentazione degli addebiti - raccolta dei dati di addebito per un'analisi dettagliata dei costi ed una ripartizione degli stessi;
- configurazione della rete - accesso al database per l'impostazione dei dati relativi alla configurazione della rete (piani di instradamento, codici di autorizzazione per l'accesso ai servizi, etc.);
- diagnostica e allarmistica - rilevamento dei guasti e possibilità di effettuare test sugli apparati del sistema.

Servizi a valore aggiunto.

Sono solitamente realizzati nei sistemi di commutazione medio-grandi mediante dispositivi aggiuntivi:

- Automatic Call Distribution (ACD) - gestione di una coda di attesa per le chiamate entranti e fornitura al chiamante di un servizio di cortesia durante l'attesa. La distribuzione delle chiamate avviene secondo criteri predefiniti, mirati ad una ottimizzazione delle risorse;
- messaggistica vocale - gestione delle chiamate entranti tramite appositi moduli aggiuntivi;
- posta elettronica, etc.

2.2 Sistemi di commutazione privati

Lo sviluppo tecnologico dei sistemi di commutazione privati (PABX) ha consentito nel tempo di fornire una risposta adeguata alle richieste dell'utenza, sempre più spinte in termini di servizi, prestazioni ed esigenze di rete, ed ha condotto via via da sistemi elettromeccanici in tecnica analogica, a sistemi avanzati in tecnica digitale in grado di supportare in maniera integrata traffico vocale e dati (ISPBX per ISDN, wireless PABX, etc.).

Sulla base delle differenti tecnologie utilizzate i PABX possono essere classificati in quattro generazioni.

I PABX di prima generazione erano caratterizzati da matrici a relè elettromeccanici o, in alternativa, da un operatore che eseguiva manualmente le funzioni di controllo e commutazione. Ad essi erano collegabili apparecchi telefonici e consentivano il solo servizio telefonico di base.

La seconda generazione di PABX utilizza la tecnologia elettronica per la matrice di connessione (matrici PAM o cross-point), mentre l'unità di comando è realizzata da organi centralizzati (marcatori) che permettono funzionalità aggiuntive rispetto al passato. Le funzioni telefoniche di base sono arricchite da una serie di servizi supplementari che consentono di facilitare le comunicazioni tra gli utilizzatori. I terminali collegabili sono costituiti sostanzialmente da telefoni analogici.

La terza generazione è caratterizzata dall'adozione generalizzata delle tecniche digitali per la realizzazione dei vari componenti costituenti il PABX. Con tale tecnologia sono rese disponibili interfacce per dati che consentono l'interconnessione anche di terminali ed elaboratori,

permettendo la realizzazione di sistemi integrati fonia/dati per la gestione di tutte comunicazioni aziendali.

I PABX di quarta generazione costituiscono il risultato della tendenza ad impiegare questi sistemi per supportare, in maniera ottimizzata, anche il traffico dati. Essi infatti implementano, accanto alla commutazione di circuito usata per la fonia, la tecnica a commutazione di pacchetto, che consente di gestire in modo più efficace e con prestazioni migliori il traffico generato dai terminali dati. Sebbene tali PABX siano in grado di offrire una completa integrazione voce/dati e un insieme di servizi confrontabili in parte con quelli offerti dalle LAN, la loro penetrazione nel mercato è ristretta a pochi segmenti. Pertanto la tendenza attuale del mercato consiste in un ritorno ai PABX di terza generazione, opportunamente aggiornati dal punto di vista tecnologico.

In quest'ottica le evoluzioni vanno verso PABX adeguati al nuovo contesto di rete pubblica ISDN, con forti impatti soprattutto sui protocolli di segnalazione di rete impiegati. Tali PABX, denominati ISPBX, sono caratterizzati da una completa numerizzazione, dall'integrazione dei servizi e dalla capacità di supportare la segnalazione a canale comune.

Questo tipo di centralini è in grado di supportare protocolli ISDN verso la rete pubblica e protocolli privati verso i propri derivati. Gli ISPBX forniscono:

- connettività per fonia;
- connettività analogica in banda fonica;
- connettività numerica a 64 kbit/s;
- connettività a pacchetto a standard X.25.

Un'altra linea di evoluzione che si sta evidenziando va verso sistemi in grado di fornire servizi e prestazioni aggiuntive rispetto al servizio telefonico di base (es. servizi di voice mail).

2.2.1 Wireless PABX

L'impiego dei terminali senza fili è attualmente in forte espansione, sia per l'ampia diffusione dei telefoni cellulari sia per la crescita in ambito domestico di telefoni cordless.

In un tale scenario rientra lo sviluppo di PABX senza fili o wireless, particolarmente indicati per ambienti applicativi caratterizzati da un'esigenza di mobilità, associata alla necessità di reperibilità, come aeroporti, stazioni ferroviarie, ospedali, villaggi turistici, cantieri navali o edili, servizi di sorveglianza, ecc.

I wireless PABX tendono altresì a rispondere ad un requisito, molto sentito, di una riduzione del cablaggio all'interno degli edifici, sia per eventuali carenze strutturali degli stessi sia per acquisire una maggiore flessibilità verso eventuali modifiche dell'assetto degli uffici (spostamenti, collaborazioni intergruppo, isole di lavoro temporanee), nonché la riduzione dei costi relativi agli interventi di post-installazione (ad es., riconfigurazioni del PABX senza necessità di interventi sulle canalizzazioni).

I problemi principali connessi allo sviluppo di wireless PABX riguardano la gestione delle frequenze e la disponibilità di tecniche e terminali adeguati.

Le tecnologie utilizzate attualmente sono in genere conformi agli standard europei CT1 (Cordless Telephony 1, trasmissione analogica a divisione di frequenza, banda di frequenza 914-915 e 959-960 Mhz), e CT2 (Cordless Telephony 2, trasmissione digitale a divisione di frequenza, banda di frequenza 864-868 Mhz). Tuttavia, l'orientamento futuro è verso l'utilizzazione del DECT (Digital European Cordless Telecommunications, trasmissione digitale a divisione di tempo, banda di frequenza 1880-1900 MHz).

2.2.2 Computer Supported Telecommunication Applications (CSTA)

Il CSTA consiste nella cooperazione fra un sistema di elaborazione dedicato ed un PABX, per la fornitura ai derivati di servizi avanzati di tipo intelligente.

La principale caratteristica del CSTA consiste nel fatto che applicativi software residenti presso il sistema di elaborazione possono interagire con le funzionalità all'interno del PABX e/o possono essere utilizzate dai terminali telefonici attestati al PABX stesso. Lo schema generale di un sistema CSTA può essere rappresentato come in fig. 1.

- Alcune applicazioni tipiche dei sistemi CSTA sono:
- realizzazione automatica di connessioni telefoniche tramite un applicativo software residente nell'elaboratore ed interrogazione di un opportuno database;
 - presentazione in "tempo reale" ai derivati del centralino di informazioni relative all'utente chiamante o chiamato;
 - distribuzione automatica delle chiamate entranti verso gli opportuni derivati, selezionati, ad esempio, sulla base di criteri impostati nel database del sistema CSTA;
 - servizi per il trasferimento dati, quali ad esempio la possibilità di trasferire automaticamente e periodicamente ordini verso fornitori;
 - applicazioni specifiche per particolari tipologie di utenza quali hotel (servizio sveglia, disponibilità di posti, addebiti), ecc.

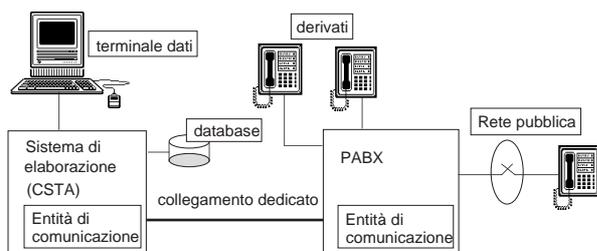


Figura 1 Architettura funzionale per applicazioni CSTA

2.3 Architetture delle reti private

Le architetture generalmente adottate per la realizzazione di reti private possono essere classificate su base *topologica* o *funzionale*.

Dal punto di vista topologico l'architettura di una rete privata, e delle eventuali sottoreti di cui essa è composta, può essere o *stellare* o *magliata*.

La topologia stellare è caratterizzata da un PABX con funzioni di centro stella al quale sono connessi tutti gli altri centralini della rete. È la topologia più semplice, in genere utilizzata per reti con volumi di traffico medio-bassi e senza particolari requisiti sul grado di affidabilità della rete (l'interruzione di un collegamento può isolare un nodo dal resto della rete) e di flessibilità negli instradamenti.

Nella topologia magliata ciascun PABX può essere collegato a tutti (maglia completa) o parte (maglia incompleta) i rimanenti PABX della rete. Tale topologia è utilizzata tipicamente da reti con volumi di traffico medio-alti e con requisiti elevati sul grado di affidabilità; la sua principale criticità risiede nei costi elevati.

Dal punto di vista *funzionale* le configurazioni principali di rete sono la *master/satellite* e la *multimaster*.

La configurazione master/satellite è caratterizzata dalle seguenti connotazioni:

- ad un PABX, detto master, dotato di linee sia uscenti che entranti verso la rete telefonica pubblica, sono connessi altri PABX, denominati satelliti, connessi in genere alla rete pubblica con sole linee uscenti. Il nodo master svolge funzioni di transito per il traffico entrante dalla rete pubblica verso i derivati dei satelliti (traffico di satellizzazione);
- i posti operatore sono solitamente accentrati sul master o distribuiti fisicamente sui vari nodi ma gestiti in pool, e quindi accentrati dal punto di vista logico;
- i PABX satellite possono presentare solo giunzioni verso il master (realizzando in tal modo topologie puramente stellari) o, in aggiunta, anche giunzioni verso altri satelliti (realizzando in tal modo topologie di tipo magliato o misto).

Generalmente le reti private in ambito urbano si connettono alla rete telefonica pubblica secondo la configurazione master/satellite, in cui le sedi di maggiori dimensioni si configurano come master.

Le configurazioni di tipo multimaster sono caratterizzate dalla presenza di più sistemi master/satellite interconnessi tra loro e vengono tipicamente adottate nel caso di reti in interurbane, o di reti in ambito urbano per le quali considerazioni di ordine prestazionale e affidabilistico possono rendere opportuna la presenza di più master.

2.4 Evoluzione dei protocolli di segnalazione

Una esigenza da sempre sentita sia dai titolari di reti private sia dai costruttori di sistemi è quella dell'interoperabilità fra sistemi di marca diversa. Nel

periodo antecedente i primi anni '80, in risposta a questo requisito, sono state individuate diverse soluzioni, ma nessuna è riuscita ad imporsi sul mercato a livello europeo. Tra di esse, va menzionato il protocollo di segnalazione Digital Private Network Signalling System No.1 (DPNSS1), sviluppato da British Telecom con il sostegno della maggior parte dei costruttori britannici. Tra le caratteristiche del DPNSS1, oggi diffuso nel regno unito, vi è la capacità di trattare i messaggi di segnalazione ricevuti e non riconosciuti; tale capacità consente il transito in rete delle chiamate originate da PABX basati sul protocollo DPNSS1 ma con insiemi più estesi di funzionalità. E' così possibile introdurre gradualmente nei nodi della rete privata nuove funzionalità (ad es., servizi supplementari) evitando di dover riconfigurare tutti i PABX nello stesso tempo.

In mancanza di uno standard, seppure di fatto, verso la fine degli anni '80 i principali costruttori europei di centralini si sono riuniti nell'ISDN PBX Networking Specification (IPNS) Forum per definire congiuntamente un nuovo protocollo, basato sugli standard ISDN. Tale protocollo, denominato QSIG, è stato di seguito adottato dall'European Computer Manufacturer Association (ECMA) e più tardi recepito dall'European Telecommunication Standards Institute (ETSI) come standard europeo.

Oggi molte aziende manifatturiere sono impegnate nella realizzazione di centralini a standard QSIG, ed hanno in tal senso firmato un Memorandum of Understanding (MoU). Il sostegno manifestato per tale standard da numerose società manifatturiere e da alcuni gestori europei fa prevedere che nel prossimo futuro esso possa costituire il protocollo comune di interconnessione tra sistemi di marca diversa inseriti in reti private. Contemporaneamente, a livello internazionale, sono state da tempo avviate attività per la definizione di servizi standard per reti private, basati sul protocollo QSIG.

3. Realizzazione di reti e servizi di reti corporate con l'impiego di infrastrutture di rete pubblica

Il mercato delle reti private si basa oggi essenzialmente sull'uso di sistemi privati di commutazione interconnessi tramite linee dedicate.

Tuttavia, nonostante l'evoluzione dei PABX, nuovi requisiti emergono dal mercato soprattutto sotto il profilo dei costi e della gestione della rete; ed è quindi possibile per il gestore della rete pubblica inserirsi in tale mercato offrendo servizi equivalenti alternativi al cliente affari approntando soluzioni basate sull'impiego delle risorse condivise della rete pubblica e proponendosi in modo competitivo in questo tipo di mercato deregolamentato. Nasce così il concetto di *rete corporate* (Corporate Telecommunications Network, CTN), introdotto in ambito internazionale come evoluzione del concetto di rete privata. In ambito ETSI (European Telecommunication Standards Institute), la definizione

fornita dal gruppo SRC5 (Strategic Review Committee on Corporate Telecommunication Networks, CTNs)⁽¹⁾ indica che "*una CTN consiste di un insieme di apparati, Customer Premises Equipment (CPE), e/o reti, Customer Premises Networks (CPN), localizzati in postazioni geograficamente distribuite e interconnessi per fornire servizi di networking ad un definito gruppo di utilizzatori*".

Le infrastrutture di interconnessione tra i CPE/CPN della "rete corporate" possono essere:

- reti pubbliche;
- Virtual Private Network (VPN);
- linee dedicate/affittate;
- reti completamente private;
- reti private in outsourcing;

e differiscono nella delimitazione dei domini di "proprietà" e "controllo" delle infrastrutture dell'operatore pubblico e del cliente privato.

Per il cliente "corporate" si pone quindi la possibilità di una scelta tra reti basate su linee affittate e l'utilizzo dei servizi di rete pubblica commutata. Tale scelta è ovviamente guidata dalla valutazione comparata dei benefici e degli oneri delle due soluzioni. Va tuttavia osservato che le reti "corporate" possono anche essere di tipo ibrido e utilizzare sia infrastrutture di rete pubblica che linee affittate in grado di interoperare.

E' in questo contesto che si inserisce il servizio di Rete Privata Virtuale (VPN), tendente a garantire al cliente una maggiore flessibilità, rispetto a soluzioni tradizionali di rete privata, nell'uso delle risorse della rete aziendale (ad es. reinstradamento a seguito di malfunzionamenti e per il traffico di trabocco), una riduzione dei costi (collegamento delle sedi con medio/basso volume di traffico tramite risorse condivise) e una gestione avanzata (tariffazione integrata, flessibilità nelle configurazioni).

Dal punto di vista realizzativo, il servizio RVP si presta ad essere implementato attraverso una o più opzioni tecnologiche (RI, ISDN, Centrex, etc.) e con diverse funzionalità.

3.1 I servizi VPN

Tali servizi, ampiamente diffusi in Europa, sono caratterizzati da soluzioni tecniche differenti ed offrono insiemi di prestazioni diversi in relazione alle scelte del fornitore di servizi (service provider). Queste diversità sono indicative di una mancanza di una definizione univoca per tali servizi.

Nell'ambito ETSI, il gruppo SRC4 (Strategic Review Committee on Public Networks) ha fornito la seguente definizione: "*una VPN è l'emulazione, da parte della infrastruttura di rete pubblica, di una o più delle seguenti funzioni di rete privata (Private Telecommunication Network, PTN)*:"

(1) SRC5: Comitato ETSI di strategia e pianificazione delle attività ETSI nell'ambito delle Reti Corporate.

- i) *un nodo finale,*
- ii) *un nodo di transito,*
- iii) *un nodo di gateway,*

in modo tale che sia mantenuta la trasparenza di tutte le caratteristiche per le chiamate tra utilizzatori connessi ai nodi della rete privata (Private Telecommunication Network Exchange, PTNX), sia che questi siano reali (per esempio un PBX) o emulati, come nel caso i)."

Nelle reti private si possono distinguere funzionalmente due tipi di nodi, i nodi terminali, cui sono connessi gli apparati degli utenti della rete, e i nodi di transito, che interconnettono i nodi terminali. La rete pubblica può quindi sostituire in parte o totalmente una rete privata emulandone le funzioni. Più precisamente, si può avere:

- emulazione di nodi intermedi (privati) per l'interconnessione di nodi terminali privati;
- emulazione di nodi intermedi e terminali (es. servizio Centrex).

Nel primo caso, che corrisponde al più diffuso significato comunemente dato alle VPN, la rete pubblica operando da nodo di transito interconnette i *nodi terminali privati* (PABX e/o LAN routers), mentre nel secondo interconnette direttamente gli *apparati terminali* degli utilizzatori finali (apparato telefonico e/o terminale dati). I due servizi comportano naturalmente requisiti diversi per la rete pubblica in termini di indirizzamento, supporto dei piani di numerazione privati, informazioni di segnalazione, etc.

In ambito ETSI, i servizi VPN, indipendentemente dalle modalità implementative con cui vengono forniti, sono stati raggruppati in quattro classi:

- servizi end-user, offerti agli utilizzatori finali della rete (es. chiamata in attesa, trasferimento di chiamata, accesso da remoto, etc.);
- servizi di networking, offerti ai sistemi di commutazione privati (es. piano di numerazione privata, instradamento, etc.);
- servizi inter-VPN, per l'interlavoro tra due servizi VPN forniti su infrastrutture pubbliche diverse;
- servizi di management, che consentono al cliente del servizio VPN di gestire le risorse e le funzionalità relative alla propria rete (es. configurazione della rete, gestione instradamenti, tariffazione flessibile, etc.).

E' bene osservare che esistono diverse modalità di accesso ai servizi VPN (ad es., da terminale telefonico, PABX, Centrex, etc.) e che ad accessi diversi possono corrispondere insiemi di funzionalità/applicazioni diversi, a seconda della particolare realizzazione dei servizi VPN in rete pubblica.

3.2 *La realizzazione dei servizi VPN*

Da un punto di vista realizzativo, la fornitura di un servizio di rete privata virtuale può essere fatta in diversi modi. Fondamentalmente questi si distinguono per i protocolli di cui si avvalgono e per l'insieme di

funzioni che devono essere svolte dalla rete pubblica.

Il servizio di rete privata virtuale può essere basato su una logica centralizzata per l'instradamento delle chiamate e per la fornitura dei servizi supplementari oppure può, in analogia alle reti di centralini, essere basato su una logica distribuita tra le diverse risorse fisiche interessate. Nel primo caso il servizio di rete privata virtuale si presta ad essere realizzato sulla piattaforma di rete intelligente, che consente inoltre di offrire un controllo centralizzato del traffico aziendale e un meccanismo per la riconfigurazione immediata della rete agendo sui database centralizzati.

L'accesso ai servizi di rete privata virtuale è in genere su linee analogiche e digitali, queste ultime a standard ISDN. Nella prospettiva di una diffusione dello standard QSIG per i sistemi privati di commutazione si renderà necessario valutare in che misura gli accessi attuali possono rispondere alle nuove realtà del mercato.

3.3 *Offerta dei servizi VPN in risposta ai requisiti delle reti corporate*

L'offerta dei servizi di rete privata virtuale deve rispondere alle esigenze delle reti corporate ed è pertanto necessario che essa sia in grado di adattarsi dinamicamente ai requisiti emergenti di tale segmento di mercato. In particolare, per i principali requisiti delle reti corporate si ha:

- *Riduzione dei costi di telecomunicazione*

Le VPN possono offrire al cliente una riduzione sensibile dei costi di telecomunicazione, in relazione al grado di utilizzo della rete ed alla sua architettura;

- *Controllo*

I servizi VPN includono prestazioni di controllo della rete nonché la possibilità di usufruire di resoconti statistici dettagliati sui dati di maggiore rilevanza (ad es. traffico, guasti, parametri qualitativi);

- *Supporto di reti ibride*

In molti casi le reti corporate includono soluzioni di tipo pubblico e soluzioni di tipo privato, queste ultime giustificate, nelle direttrici di maggior traffico, da aspetti economici e/o dalla esigenza di particolari prestazioni/caratteristiche non supportate dalla rete pubblica. I servizi VPN devono pertanto potersi inserire in reti corporate in un contesto "ibrido" formato in parte da risorse dedicate ed in parte da risorse condivise. In particolare, essi devono consentire la possibilità di ampliare la rete privata fino a includere le sedi più piccole o remote, per le quali l'uso di circuiti affittati non risulta economico;

- *Gestione delle configurazioni*

Il gestore della rete corporate deve poter configurare in maniera flessibile il servizio VPN, sia attraverso il controllo degli aspetti di instradamento (routing), sia attraverso la modifica degli attributi (codici di accesso, classi di servizio, restrizioni, etc.) relativi ai singoli

utilizzatori e nodi terminali della rete;

- *One Stop Shopping*

L'assegnazione di un unico interlocutore per le questioni amministrative e gestionali costituisce un'esigenza particolarmente sentita dal cliente, in particolare nel caso di VPN internazionali;

- *Facilità di utilizzo dei servizi*

L'utilizzatore deve poter conoscere facilmente le prestazioni disponibili, in relazione ai diversi tipi di comunicazione, quali, ad esempio, le chiamate interne (on-net calls), o esterne (off-net calls) alla rete "corporate". E' utile inoltre che sia garantita una certa omogeneità, in termini di modalità di fruizione, tra i servizi supplementari offerti dalle VPN e quelli offerti dalle reti di linee affittate.

3.4 *Scenari evolutivi di interlavoro fra reti pubbliche e private*

In prospettiva, con lo sviluppo e l'impiego di sistemi privati con sistema di segnalazione QSIG occorre esaminare i possibili scenari di rete per l'interlavoro fra rete pubblica e privata. Fondamentalmente, le possibili soluzioni realizzative sono riconducibili ai tre diversi scenari descritti nel seguito.

1) L'interconnessione tra i diversi sistemi privati di commutazione viene realizzata attraverso la rete pubblica ISDN con modalità e protocolli di accesso tipici delle reti pubbliche. In questo caso, denominato *scenario concatenato* (fig. 2), la rete pubblica ISDN non ha visibilità della rete privata. Al punto di riferimento T, definito all'accesso della rete pubblica ISDN, si ha l'interlavoro tra i servizi della rete pubblica ISDN e quelli della rete privata; i servizi utilizzabili all'interfaccia tra le due reti sono solo quelli comuni ai due ambiti, pubblico e privato.

Tale modalità di interconnessione, che presenta il vantaggio di lasciare inalterati i protocolli di segnalazione della rete pubblica (la segnalazione di accesso - DSS1 - e la segnalazione a canale comune - CCS7), limita tuttavia, a causa dei diversi meccanismi di segnalazione tra reti pubbliche e reti private, le capacità di rendere pienamente disponibili agli utilizzatori delle reti private l'insieme dei servizi supplementari potenzialmente fornibili dalla rete privata.

2) La rete pubblica è utilizzata dai sistemi privati (PTNX) per il trasporto delle informazioni di utente e per lo scambio

end-to-end della segnalazione privata. In questo scenario, denominato *scenario sovrapposto* (fig. 3), i PTNX instaurano in genere delle connessioni verso il nodo di destinazione sulla base del numero di rete pubblica e, successivamente, fanno uso di uno dei canali attivi per il trasporto delle informazioni di segnalazione privata in maniera trasparente.

Questo scenario non richiede di introdurre modifiche ai protocolli di rete pubblica ma, al tempo stesso, limita la visibilità della rete sui servizi utilizzati dalla rete "corporate". La rete pubblica pertanto non può fornire servizi ad elevato valore aggiunto alla rete "corporate" né applicare particolari criteri tariffari, non potendo per esempio distinguere tra chiamate on-net e chiamate off-net. Ai PABX è richiesto di sviluppare nuove interfacce in grado, nel caso si utilizzi un canale B per il trasporto delle informazioni di segnalazione tra i centralini, di gestire in maniera coordinata canali B utilizzati per la segnalazione e canali B utilizzati per le chiamate cui tale segnalazione si riferisce. La rete pubblica non offre dunque dei servizi appositi per l'interconnessione dei sistemi privati. In questo scenario, così come illustrato in figura, il punto di riferimento T, definito all'accesso della rete pubblica ISDN, coincide con il punto di riferimento C, definito per la risorsa fisica di connessione utilizzata dal PTNX per il traffico "privato". La linea tratteggiata della figura indica la capacità di instaurare dei canali di segnalazione end-to-end attraverso la rete pubblica.

3) La rete pubblica, oltre alle funzioni di trasporto, fornisce funzionalità di commutazione ed instradamento per il traffico della rete corporate; può inoltre fornire funzionalità per il supporto dei servizi delle reti private.

In questo scenario, denominato *scenario integrato* (fig. 4), la rete pubblica è dotata di funzionalità apposite per la fornitura di specifici servizi di rete privata. L'interconnessione della rete privata e della rete pubblica può essere fatta con due protocolli funzionalmente distinti: il DSS1 definito per le reti ISDN al punto di riferimento T, e il QSIG, definito per le reti private, e che si "mappa" sul punto di riferimento C. In questo caso, lo schema di interconnessione fra rete pubblica e rete privata è rappresentato come nella figura 4a). L'interfaccia di interconnessione può, equivalentemente, essere unica con un'allocazione dinamica delle risorse di segnalazione alle chiamate di rete pubblica e privata.



Figura 2 Concetto di scenario concatenato



Figura 3 Concetto di scenario sovrapposto

Lo schema è quello della figura 4b), ove il punto di riferimento T+ sta ad indicare che il protocollo standard DSS1 è integrato con messaggi e procedure del protocollo QSIG. Il termine Interconnecting Network, ICN, indica funzionalità di interconnessione apposite per le reti corporate; la ICN è in grado di elaborare le informazioni di segnalazione privata e, sulla base di queste, può instradare le chiamate e partecipare alla fornitura dei servizi supplementari. Il Discriminator all'interno della rete pubblica assolve al compito di distinguere le chiamate di rete pubblica da quelle di rete privata in modo da indirizzare ogni chiamata verso le corrette funzionalità di instradamento, tariffazione, ecc. Analogamente, all'interno del PTNX le chiamate, entranti, di rete pubblica dovranno essere riconosciute e indirizzate verso una funzionalità di Gateway, GW, mentre le chiamate di rete privata subiranno un "mappaggio", MP, verso il punto di riferimento Q. La funzionalità di mappaggio serve ad adattare la segnalazione QSIG, definita al punto di riferimento Q, al particolare portante fisico utilizzato per il trasporto della segnalazione.

La rete pubblica in questo caso emula le funzionalità di un PTNX di transito e quelle di gateway per l'instradamento di chiamate dall'ambiente privato a quello ISDN pubblico, interagisce direttamente con i PTNX durante l'instaurazione delle chiamate e la eventuale fornitura dei servizi supplementari all'interno della rete "corporate".

Degli scenari sopra evidenziati lo scenario integrato è quello che, in misura maggiore, consente alla rete pubblica

di avere la visibilità della rete "corporate", e quindi di fornire servizi di networking evoluti per il supporto di tali reti.

I requisiti minimi richiesti alla rete pubblica, così come definito dal gruppo ETSI BTC1, sono:

- supporto dei servizi di base definiti per le reti private e del Piano di Numerazione Privato (PNP);
- trasporto delle informazioni di segnalazione della rete privata (*feature transparency*).

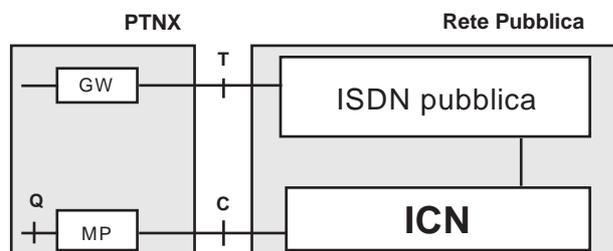
La prestazione di *feature transparency*, per il trasporto trasparente delle informazioni di segnalazione delle reti private, viene richiesta dai clienti delle reti "corporate" per l'effettuazione di servizi supplementari end-to-end non supportati dalla rete pubblica (perché proprietari o standardizzati per le reti private).

Per soddisfare i requisiti indicati si possono individuare diverse soluzioni realizzative, le quali in generale richiedono opportuni adeguamenti sulla rete pubblica, in particolare nei protocolli da essa utilizzati.

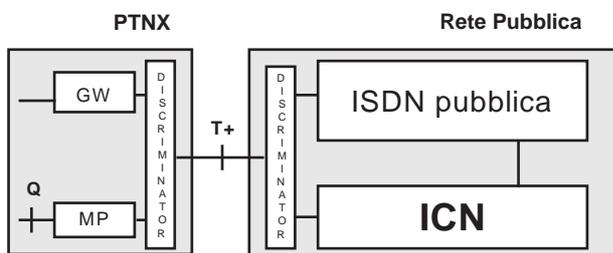
Per quanto riguarda il primo requisito, per esempio, ci sono aspetti, legati al trattamento di parametri di indirizzamento e alla gestione del PNP, che richiedono modifiche su alcuni elementi informativi presenti nei protocolli utilizzati in rete pubblica.

Relativamente alla *feature transparency*, le soluzioni per il supporto di tale prestazione possono essere diverse, a seconda del tipo di soluzione utilizzata per la realizzazione della rete corporate. Particolare interesse rivestono, in questo contesto, i meccanismi di trasparenza basati sui servizi supplementari User-to-User Signalling, UUS, della ISUP, l'User Signalling Bearer Service, USBS, ed i protocolli SCCP e TCAP.

Nel panorama di soluzioni possibili per consentire alla rete pubblica di fornire servizi avanzati di networking alle reti corporate, con opportuni adattamenti dei protocolli di accesso (DSS1) e di rete (ISUP) che comunque salvaguardino la compatibilità con gli standard attuali, una proposta di particolare interesse è costituita dal progetto I-CAN (Integrated-Customer Advanced Networking), in fase di sviluppo presso Bellcore.



a) Accesso con allocazione statica delle risorse



b) Accesso con allocazione dinamica delle risorse

PTNX: Private Telecommunication Network Exchange
 ICN: Interconnecting Network

Figura 4 Concetto di scenario integrato

4. Servizi offerti da Telecom Italia

Telecom Italia, offre attualmente servizi di Rete Privata Virtuale e di Rete Privata Virtuale Internazionale, accanto ai servizi ISDN, in grado di rispondere alle diverse esigenze delle reti corporate in termini di trasporto del traffico, di gestione delle risorse, di qualità, etc., posizionandosi in maniera competitiva in un segmento di mercato particolarmente esposto alle offerte della concorrenza.

Tramite il servizio Rete Privata Virtuale (RPV) i vari sistemi (centralini, terminali telefonici, etc.) della rete privata vengono interconnessi attraverso le risorse commutate della rete pubblica, consentendo in tal modo un beneficio in termini di costi e di acquisizione di alti livelli di affidabilità.

Il servizio si basa sull'impiego della Rete Intelligente,

come indicato schematicamente in fig. 5, e può essere direttamente offerto su tutto il territorio nazionale tramite le funzioni di Service Switching Point (SSP), che gradualmente, entro la fine del 1995, saranno diffuse su tutte le centrali SGU. Attualmente gli SGU con funzioni SSP sono circa 350. Il numero del chiamato, selezionato dal PABX di origine, viene ricevuto dal nodo SSP e tradotto nel corrispondente numero di rete pubblica. La traduzione è effettuata interrogando il database centralizzato SCP ove è registrato il profilo della rete corporate.

L'integrazione della Rete Intelligente nell'architettura della Rete Telefonica Generale (RTG) consente tuttavia di offrire il servizio RPV anche tramite le centrali numeriche non SSP, purché dispongano di una apposita funzionalità di accesso.

L'offerta commerciale del servizio RPV è strutturata in un servizio base ed uno avanzato. In entrambe le soluzioni, il costo del servizio è proporzionale al numero degli accessi ed al volume di traffico. Per quest'ultimo, sia esso interno alla rete (on-net) o diretto all'esterno (off-net), sono previsti sconti basati su un meccanismo a soglie definito specificamente per il traffico on-net.

Il servizio base offre strumenti semplici ed economici per l'interconnessione e la gestione delle risorse della rete corporate. Le capacità di instradamento includono il trattamento delle chiamate on-net, off-net e virtual on-net (chiamate verso corrispondenti abituali). Le funzionalità di gestione comprendono invece la tariffazione e la documentazione degli addebiti, che può essere dettagliata per i singoli accessi o unica per l'intera rete.

Il servizio avanzato consente una maggiore flessibilità in modo da soddisfare le necessità specifiche del singolo cliente. Esso è mirato alle reti corporate particolarmente complesse ed offre maggiore flessibilità e capacità di controllo rispetto al servizio RPV base, consentendo per esempio di deviare le chiamate entranti e la gestione di tabelle di instradamento per la selezione abbreviata verso dei corrispondenti prefissati e da specifiche postazioni della rete. A queste prestazioni si aggiunge un maggiore livello di sicurezza nell'accesso ai servizi; è possibile infatti definire criteri di restrizione nell'accesso, basati su codici di autorizzazione, assegnati a predefiniti utenti. L'accesso ai servizi della rete privata virtuale può avvenire anche da postazioni della rete telefonica generale tramite

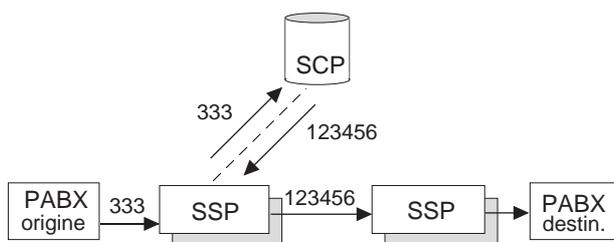


Figura 5 Rappresentazione schematica del servizio RPV su Rete Intelligente

una apposita procedura di accesso da remoto.

Per i clienti RPV è disponibile il Centro Nazionale di Assistenza (CNA), che costituisce un punto di riferimento unico per le loro esigenze di gestione della rete (configurazioni, gestione dei guasti, etc.). Lo stesso centro cura l'assistenza per altri servizi avanzati offerti al cliente affari (ad es. circuiti affittati) ed è pertanto adatto alla gestione centralizzata di reti ibride.

L'ISDN consente di arricchire le prestazioni dei servizi di Rete Privata Virtuale con un insieme aggiuntivo di servizi supplementari e con l'integrazione della voce e dei dati in una singola rete.

Il servizio di Rete Privata Virtuale Internazionale, precedentemente offerto sulla Rete Fonia Dati (RFD), è oggi disponibile sull'architettura di Rete Intelligente e offre un insieme di servizi analogo a quello offerto al cliente nazionale. A differenza di quest'ultimo, tuttavia, il servizio RPV internazionale si inserisce in un mercato deregolamentato caratterizzato da una spiccata competizione. In questo contesto, l'offerta tariffaria è particolarmente curata e il risparmio conseguito dall'azienda multinazionale in termini di costo sul traffico internazionale può attestarsi tra il 20% ed il 30%, a seconda dei volumi di traffico e della sua dispersione geografica.

Al momento è possibile connettere le sedi in Italia con un elevato numero di paesi, anche extraeuropei, tra cui Stati Uniti, Canada, Giappone, Corea del Sud, Singapore, Hong Kong, Taiwan, Australia, Brasile. Sono previste connessioni verso altri paesi ad elevato interesse di traffico. Attualmente sono più di cento i clienti del servizio RPV internazionale, ed il numero di nuove richieste lascia prevedere uno sviluppo crescente del servizio anche nel breve termine.

5. Evoluzioni dell'offerta dei servizi VPN

Nell'ottica dell'evoluzione dei servizi di rete privata virtuale, assumono rilevanza gli sviluppi di standardizzazione in atto sui protocolli di rete privata. In particolare, nella prospettiva di una diffusione dello standard QSIG per reti private, si pone il problema dell'interlavoro tra reti pubbliche e private. Possibili approcci per il fornitore di servizi sono l'adozione in rete pubblica di interfacce QSIG o l'uso dei protocolli ISDN, eventualmente "evoluiti" per facilitare l'interlavoro con l'ambiente privato.

In sede di standardizzazione ETSI, le aziende manifatturiere esprimono interesse nella fornitura di un servizio VPN che consenta il pieno interlavoro tra risorse private e risorse pubbliche (scenario integrato) e che sia basato sullo stesso protocollo di segnalazione QSIG oggi adottato nell'ambito delle reti private. Più cauta è in generale la posizione dei gestori che, pur non escludendo un tale scenario, mirano ad un equilibrato esame di tutte le possibili soluzioni realizzative del servizio.

Oggi esistono in Europa alcune realtà in cui l'interconnessione di risorse private avviene attraverso la rete pubblica mediante l'uso di protocolli specifici. In Inghilterra, ad esempio, British Telecom impiega il protocollo DPNSS, che per il mercato locale rappresenta lo standard de facto delle reti private. Per il prossimo futuro, Telia (Svezia), Norwegian Telecom e PTT Netherland (Olanda) sembrano valutare con particolare interesse la soluzione QSIG. Inoltre, Ericsson ha pianificato l'introduzione dell'accesso QSIG sulle proprie centrali pubbliche AXE a partire dal '96.

Altri gestori (Telecom Italia, France Telecom, DBT) hanno espresso la convinzione che servizi VPN avanzati possano essere offerti anche tramite soluzioni di natura diversa, basate eventualmente su opportune modifiche dei protocolli già esistenti, in modo da minimizzare l'impatto del servizio VPN sulle risorse presenti in rete.

In questa direzione si è mossa, negli Stati Uniti, Bellcore, con lo sviluppo di un progetto, I-CAN (Integrated Customer Advanced Networking), mirato al trasporto in rete pubblica della segnalazione tipica delle reti private. Questo progetto sta riscuotendo comune interesse tra le compagnie telefoniche nord-americane e le aziende manifatturiere.

Nella direzione di protocolli ISDN "evoluti" che facilitino l'interlavoro tra ambiente pubblico e privato, in sede di standardizzazione ITU-T (International Telecommunication Union) è da poco stata avviata un'attività per la definizione delle modifiche minime da apportare ai protocolli di rete ISDN per agevolare l'interlavoro con i sistemi basati sul protocollo QSIG.

6. La competizione nel segmento delle reti corporate

Attualmente si ha notizia sempre più frequentemente di servizi VPN internazionali, offerti da compagnie multinazionali che, in vario modo, eventualmente con accordi di servizio con gli operatori nazionali, si predispongono a proporsi come fornitori di servizi globali VPN. Esempi di iniziative per la realizzazione di reti mondiali che offrono servizi globali di fonia e dati sono Cyclone (di BT), Worldsource (di AT&T, KDD e Singapore Telecom), GVPN (Global Virtual Private Network, di Sprint, Cable & Wireless ed altri gestori), etc. Nello scenario che si prospetta diventeranno sempre più importanti i requisiti di interoperabilità tra le diverse soluzioni esistenti per l'offerta di servizi alle aziende.

Per l'operatore di rete pubblica, l'opportunità di fornire un servizio VPN va oltre la semplice offerta di un servizio di trasporto, come alternativa all'affitto di circuiti, ma si estende all'offerta di un *servizio globale di rete virtuale*, che fornisca alla categoria dei clienti affari soluzioni "privilegiate", sia dal punto di vista tecnologico che da quello di mercato. In questo senso le VPN si inquadrano in un contesto di offerta più ampia e variegata, in cui il servizio di rete è completo, sia per le esigenze di

tipo voce che dati, ed è eventualmente arricchito da prestazioni di "facilities management", con un orientamento verso l'offerta di "managed services", cioè servizi di rete a più alto valore aggiunto, caratterizzati da un controllo della qualità end-to-end, da una maggiore flessibilità nell'offerta, etc., rispetto ad una semplice fornitura di capacità trasmissiva.

Acronimi

ACD	Automatic Call Distribution
BTC	Business Telecommunications
CCS7	Common Channel Signalling System n°7
CNA	Centro Nazionale di Assistenza
CPE	Customer Premises Equipment
CPN	Customer Premises Network
CSTA	Computer Supported Telephony Applications
CT1	Cordless Telephony 1
CT2	Cordless Telephony 2
CTN	Corporate Telecommunication Network
DECT	Digital European Cordless Telecommunications
DPNSS1	Digital Private Network Signalling System n. 1
DSS1	Digital Subscriber Signalling System n. 1
ECMA	European Computers Manufacturers Association
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
I-CAN	Integrated Customer Advanced Networking
ICN	Interconnecting Network
IPNS	ISDN PBX Networking Specification
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISPBX	Integrated Services Private Branch Exchange
ISUP	ISDN User Part
ITU	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
MP	Mapping
PABX	Private Automatic Branch Exchange
PBX	Private Branch Exchange
PNP	Piano di Numerazione Privato
PSTN	Public Switched Telephone Network
PTN	Private Telecommunication Network
PTNX	Private Telecommunication Network Exchange
RFD	Rete Fonia Dati
RI	Rete Intelligente
RPV	Rete Privata Virtuale
SCCP	Signalling Connection Control Part
SCP	Service Control Point
SGU	Stadio di Gruppo Urbano
SRC	Strategic Review Committee
SSN7	Signalling System N. 7
SSP	Service Switching Point
TCAP	Transaction Capabilities Application Part
USBS	User Signalling Bearer Service
UUS	User to User Signalling
VPN	Virtual Private Network

Aspetti di numerazione e indirizzamento nelle reti di telecomunicazioni

G. Martini, B. Papini (*)

La continua rapida evoluzione delle reti e dei servizi di telecomunicazioni pone in evidenza la necessità di definire un approccio unificato delle procedure di accesso ai diversi servizi. La numerazione rappresenta la chiave di accesso ad un sistema di telecomunicazione e, in un contesto di crescente deregolamentazione, assume particolare importanza.

In questo articolo vengono descritti i concetti generali di numerazione ed indirizzamento nelle reti di telecomunicazioni e i principali aspetti di interlavoro tra piani di numerazione. Viene fornita, inoltre, una panoramica delle attività internazionali in materia di numerazione

1. Introduzione

L'evoluzione delle reti e dei servizi di telecomunicazione in una prospettiva di progressiva deregolamentazione, rende gli aspetti di numerazione uno degli elementi chiave per l'accesso alle reti e ai servizi disponibili. Le scelte relative alla numerazione coinvolgono l'utente, il fornitore del servizio e il gestore. Infatti, all'utente interessa una struttura del numero semplice e durevole nel tempo, al fornitore di servizio interessa una disponibilità in termini di spazi di numerazione per i diversi servizi che lo stesso intende fornire ed infine per l'operatore la numerazione risulta indispensabile per l'effettuazione delle procedure di instradamento, di fatturazione, per lo sbarramento delle chiamate, ecc.

La numerazione rappresenta, quindi, un elemento fondamentale nella pianificazione e gestione delle reti di telecomunicazioni. Infatti, tale problematica abbraccia non solo il servizio telefonico di base, ma anche e con crescente importanza altre reti e servizi, a partire dalle reti dati, a banda stretta e larga, fino ai servizi mobili e ai servizi di comunicazioni personali. In particolare per quanto riguarda le reti dati si pone il problema dell'interlavoro tra domini pubblici e privati, mentre per i servizi mobili e per servizi di comunicazioni personali oltre agli aspetti di numerazione vanno considerati anche gli aspetti di identificazione. Infatti, per questi

ultimi tipi di servizi si ha la necessità di riconoscere l'utente per poterlo autorizzare ad accedere alla rete.

L'evoluzione delle reti e dei servizi in una ottica di integrazione rendono le scelte relative alla numerazione particolarmente importanti nella definizione di un approccio unificato delle procedure di accesso ai diversi servizi nelle diverse reti.

Alcune scelte di numerazione non adeguatamente lungimiranti effettuate in passato si trovano ora in contrasto con la recente rapida proliferazione di reti, servizi e numero di utenti. Infatti, alcuni gestori, sia a livello europeo che mondiale, stanno oggi affrontando situazioni di saturazione nei loro piani di numerazione e stanno studiando le opportune soluzioni tecniche. A queste situazioni di saturazione si aggiunge la necessità di rivedere la struttura dei piani di numerazione per l'apertura del mercato delle telecomunicazioni. È infatti da tener ben presente la rilevanza strategica degli aspetti di numerazione in un ambiente competitivo tra più operatori di reti e/o servizi.

Questo articolo intende fornire un breve quadro dei concetti di numerazione ed indirizzamento nelle reti di telecomunicazioni con particolare riferimento alla realtà nazionale. Verranno inoltre riassunti i principali aspetti di interlavoro tra piani di numerazione pubblici e le problematiche di indirizzamento in ambiti pubblici e privati. Infine, si descriveranno le attività di armonizzazione, relative a tali tematiche, in ambito internazionale e con particolare riferimento alle iniziative della Comunità Europea in un contesto di crescente liberalizzazione del mercato dei servizi di telecomunicazioni.

(*) ing. Giovanni Martini -Telecom Italia DG- Roma; ing. Bianca Papini -CSELT- Torino.

2. Concetti generali

Per realizzare una comunicazione tra utenti è necessario fornire al sistema di telecomunicazioni una serie di informazioni. Tali informazioni vengono fornite, in prima istanza, dall'utente attraverso le procedure di *selezione* in cui si individua univocamente il destinatario con una serie di caratteri numerici o alfanumerici.

Il sistema traduce, quindi, tali informazioni in *indirizzi* comprensibili al suo interno, capaci di definire la posizione logica o fisica dell'entità di destinazione all'interno delle diverse reti che compongono il sistema di telecomunicazioni. Un indirizzo può quindi individuare utenti, applicativi, accessi al sistema ecc. e possiede una sintassi specifica a seconda dell'ambiente in cui opera.

Da queste definizioni si può desumere come la selezione appartenga al mondo dell'utente e debba essergli il più possibile congeniale, mentre l'indirizzamento appartenga al mondo del sistema di telecomunicazioni.

Accanto alle definizioni precedenti si colloca il concetto di *identificazione* definito come il mezzo con cui il sistema di telecomunicazione accerta l'identità dei diversi utenti. In generale nelle reti fisse tradizionali l'identificazione di un utente coincide con l'indirizzo relativo all'accesso a cui l'utente viene attestato. Nelle reti mobili e in contesti generalizzati di mobilità tale coincidenza non è verificata. Questa distinzione genera la necessità di gestire la mobilità, che caratterizza tali servizi, tramite informazioni aggiuntive che hanno lo scopo di verificare l'identità, indipendentemente dai vincoli di indirizzamento e quindi di instradamento propri di una rete fissa e derivanti dalla telefonia tradizionale. Ciò porta quindi alla definizione di un piano di identificazione parallelo ai piani di indirizzamento e totalmente svincolato da questi.

I punti di confine tra la parte pubblica e la parte privata di un sistema di telecomunicazioni vengono individuati da particolari indirizzi detti **numeri**.

La struttura degli indirizzi di una rete pubblica viene comunemente detta *piano di numerazione*. Il piano di numerazione stabilisce il nome, il numero e la lunghezza dei campi in cui tale indirizzo (numero) viene suddiviso e definisce, inoltre, le autorità preposte alla sua gestione ed assegnazione.

3. Piani di numerazione pubblici e schemi di identificazione

3.1 Raccomandazione E.164

Tra i diversi organismi internazionali che si occupano di numerazione, indirizzamento ed identificazione, il Gruppo di Studio 2 dell'ITU (International Telecommunication Union, ex CCITT) rappresenta il punto di riferimento principale per queste tematiche.

Tale organismo ha definito la Raccomandazione

E.164 [1] che è il riferimento per la numerazione delle reti pubbliche, siano esse telefoniche, ISDN, dati tradizionali e ad alta velocità. La struttura del numero, definita in questa Raccomandazione è applicabile a tutti i servizi del mondo delle telecomunicazioni: dal servizio telefonico tradizionale al servizio UPT (Universal Personal Telecommunication), ai servizi a larga banda, ai servizi radiomobili e di rete intelligente.

L'utilizzo della struttura di numerazione E.164 nei servizi evoluti forniti sulle nuove reti è reso possibile grazie all'ottica evolutiva usata nella definizione di tale struttura.

La struttura di numerazione, definita nella Raccomandazione E.164, ha caratteristica prettamente gerarchica e geografica in quanto prevede un primo campo che individua la nazione, un secondo campo l'area geografica e/o la rete e un terzo campo l'utente. Per soddisfare le esigenze di numerazione di servizi mobili e personali, tale struttura sta evolvendo verso soluzioni a carattere non geografico (UPT, reti mobili, ecc.).

La raccomandazione E.164 contiene totalmente la Raccomandazione E.163, la quale è stata utilizzata nel passato per il servizio telefonico.

Il numero E.164 (fig. 1) definisce il Numero Internazionale, cioè quel numero da digitare dopo il prefisso internazionale per raggiungere un utente in un'altra nazione. Esso è costituito dal Country Code (CC) e dal National Significant Number (NSN).

Il prefisso internazionale (generalmente 00) è una sequenza di cifre che consente di uscire dal normale piano degli instradamenti proprio dell'ambito nazionale.

Il campo Country Code (CC) identifica una nazione e l'associata autorità responsabile per la descrizione e l'assegnazione di funzionalità ai campi successivi. In Italia l'autorità attualmente preposta è il Ministero P.T.. La E.164 definisce anche i CC assegnati a ciascuna nazione.

Il Numero Significativo Nazionale (National Significant Number - NSN) è quel numero che permette di raggiungere un utente nella stessa nazione anche se non necessariamente appartenente alla stessa rete e/o area geografica. Tale numero deve essere preceduto dal prefisso di selezione nazionale (generalmente 0) per distinguerlo dal numero internazionale e dal Numero

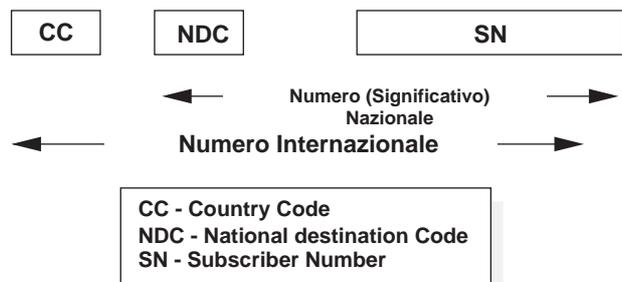


Figura 1 La struttura a campi del numero E.164

d'Utente (Subscriber Number - SN), dove con Numero di Utente si intende quel numero da digitare (senza l'uso di alcun prefisso) per raggiungere un utente appartenente alla stessa rete e alla stessa area geografica di numerazione dell'utente chiamante. Il National Significant Number è, a sua volta, costituito dal National Destination Code (NDC) e il Subscriber Number (SN). Di questi due ultimi campi il primo ha la funzione di identificare la rete e/o l'area geografica e il secondo l'utente.

La lunghezza massima del Numero Internazionale, non comprendendo quindi le cifre di prefisso, è attualmente di 12 cifre. Tale lunghezza passerà a 15 cifre al tempo T (31 dicembre 1996) come definito, in ambito ITU, nella Raccomandazione E.165 [2]. La lunghezza e formato del numero nazionale è sotto il completo controllo dell'autorità identificata dal campo di CC.

La struttura del NSN con i suoi due campi NDC e SN consente di articolare il numero in relazione alle diverse esigenze. Il codice NDC può essere infatti formato da due sottocampi: uno per selezionare la rete di destinazione (Destination Network - DN) e uno per selezionare l'area geografica e/o la giunzione (Trunk Code - TC). Il concetto del DN è nato con la E.164 come ampliamento del campo di applicabilità della E.163 la quale, come si è detto, definisce una struttura di numero ristretto unicamente alla rete telefonica. La fig. 2 si propone di chiarire, con degli esempi, l'utilizzo dei campi sopra descritti. Nel primo esempio l'NDC coincide con il codice di giunzione TC e rappresenta il caso classico di suddivisione in aree di numerazione corrispondenti ad aree geografiche distinte (es. i distretti telefonici). Il secondo esempio descrive il caso di codice NDC coincidente con un indicativo di rete di destinazione. Questo esempio è significativo per una situazione in cui si prevedono tipi di rete distinte, o a livello di servizio oppure di fornitore (es. gli attuali codici per il servizio radiomobile). Una eventuale suddivisione geografica dei campi di numerazione è a totale carico del

gestore e dovrebbe essere fatta in modo implicito all'interno del numero d'utente. Gli altri esempi hanno un livello di sofisticazione maggiore e descrivono rispettivamente una unica ripartizione territoriale per diversi tipi di rete e/o gestore (su ogni area geografica di numerazione si costruiscono diverse reti sovrapposte) e una ripartizione territoriale diversa per ogni tipo di rete e/o gestore.

Allo scopo di rispondere alle nuove esigenze di numerazione scaturite dalla continua evoluzione delle reti di telecomunicazioni e dai nuovi assetti politici-geografici, l'ITU ha recepito la necessità di porre sotto revisione la Raccomandazione E.164. Infatti, nel corso di tale revisione viene posta particolare attenzione ai requisiti di numerazione per servizi non geografici (location independent), come ad esempio il radiomobile, le comunicazioni personali e il servizio di Numero Verde Internazionale individuato universalmente con il codice (CC) 800. Inoltre, risulta probabile una totale revisione degli indicativi di stato in quanto si va verso un esaurimento degli indicativi disponibili a causa dei grossi sconvolgimenti politici sopraggiunti in questi ultimi anni nel mondo.

3.2 Numerazione nei servizi mobili

Nei sistemi mobili e di comunicazioni personale risulta necessario individuare l'utente nonostante i suoi movimenti all'interno della rete e perciò è necessario fare riferimento oltre ai numeri anche alle identità per consentire all'utente di essere riconoscibile e ricevere l'autorizzazione ad accedere alla rete. In questo articolo si darà solo un breve cenno agli schemi di identificazione previsti per le reti mobili.

E' stata definita, in ambito ITU con la raccomandazione E.212 [3], l'identità internazionale del terminale mobile (International Mobile Station Identity - IMSI). Tale identità viene assegnata dall'operatore del servizio mobile ed identifica univocamente, al livello mondiale, il terminale mobile all'interno

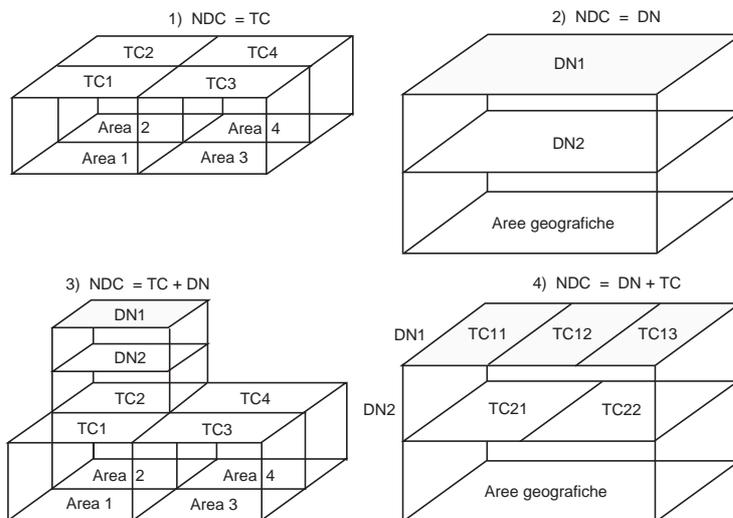


Figura 2 Esempi di utilizzo del codice di destinazione nazionale (NDC)

delle reti mobili. In fig. 3 viene riportata la struttura a campi dell'identificatore definito nella raccomandazione E.212. La lunghezza massima di questo identificatore è di 15 cifre con una struttura gerarchico-geografica simile alla E.164.

Per il sistema GSM, tale identità è inserita, a cura del gestore, nella carta d'abbonato (Subscriber Identity Module card - SIM card) che, inserita nel terminale mobile, lo personalizza con i dati dell'abbonato. In accordo alla raccomandazione E.212, all'Italia è stato assegnato 222 come codice nazionale per il servizio mobile (MCC) e 01 come codice della rete GSM di TELECOM Italia (MNC).

La separazione tra piano di numerazione e piano delle identità consente di trattare in modo indipendente la parte relativa al sistema mobile (piano delle identità) dalla parte relativa alla rete fissa (piano di numerazione). Sulla base di quest'ultimo vengono definite le procedure di selezione e di instradamento delle chiamate all'interno della rete fissa. La indipendenza reciproca dei due piani separati implica, tra l'altro, che l'eventuale modifica ad un piano non coinvolge, in alcun modo, l'altro.

3.3 Numerazione per le reti dati tradizionali

Merita infine una breve descrizione il piano di numerazione per le reti dati tradizionali (quale ad esempio la rete a commutazione di pacchetto- ITAPAC) la cui struttura è definita nella raccomandazione X.121 [4]. Il numero X.121 individua una specifica interfaccia DTE/DCE (Data Terminal Equipment/Data Circuit-terminating Equipment) delle reti dati pubbliche.

La struttura del numero X.121 è di tipo gerarchico ed è riportata in fig. 4. Tale struttura prevede una porzione per l'individuazione dello stato di appartenenza (Data Country Code - DCC) seguita dal numero nazionale (National Number - NN), che a sua volta è formato dai sottocampi di Network Digit (ND) e Numero di Terminazione di Rete (Network Terminal Number - NTN). Il Network Digit viene utilizzato per individuare una particolare rete dati all'interno di uno stesso stato. A livello amministrativo l'ITU gestisce tutto il DNIC (DCC+ND), mentre solo la parte NTN è di pertinenza nazionale. E' a carico di ogni nazione riferirsi all'ITU per l'introduzione di ogni nuova rete tramite la richiesta di concessione dei ND necessari.

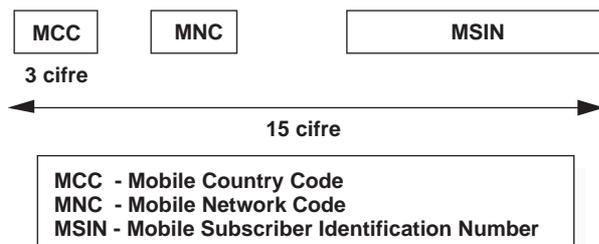


Figura 3 La struttura a campi dell'identificatore IMSI E.212

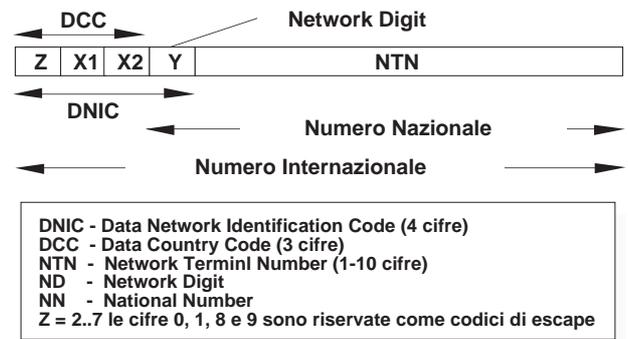


Figura 4 La struttura a campi del numero X.121

Il piano di numerazione X.121, per quanto in uso in molte reti dati di vecchia e recente introduzione (reti X.25, Frame Relay ecc.) dovrà comunque cedere il passo al piano di numerazione E.164, piano destinato a diventare il riferimento per tutte le reti pubbliche ormai non più differenziate per il servizio offerto (dati, voce ecc.).

3.4 Interlavoro tra piani di numerazione

In uno scenario di reti eterogenee si ha la necessità di definire opportune funzionalità di interlavoro in modo che utenti attestati a reti diverse possano comunicare tra loro ed usufruire di servizi di telecomunicazione comuni.

Tra i piani di numerazione precedentemente descritti sono state in particolare definite (raccomandazione E.166 [5]) due tecniche per realizzare l'interlavoro:

- tecnica del doppio stadio;
- tecnica del singolo stadio.

La tecnica del doppio stadio usa il metodo della doppia selezione in cui il chiamante realizza la comunicazione con l'utente destinatario tramite un processo in due fasi. Nella prima fase il chiamante realizza una comunicazione con il punto di attacco all'altra rete tramite un numero del suo piano di numerazione. Nella seconda fase il chiamante invia alla rete di destinazione, come se fosse un suo utente, il numero del chiamato nel piano proprio della rete di destinazione.

La tecnica del singolo stadio utilizza, a sua volta, due metodi:

- metodo del codice di escape;
- metodo dell'identificatore del piano di numerazione.

Il metodo del codice di escape richiede l'esistenza di una cifra che indichi agli organi di commutazione che il numero che segue appartiene ad un piano di numerazione differente da quello della rete di appartenenza. Tale metodo intacca la capacità in termini di numeri del piano di numerazione utilizzato dalla rete e non richiede la presenza di sistemi di segnalazione fuori banda.

Infine il metodo dell'identificatore del piano di numerazione richiede l'utilizzo di procedure di segnalazione e l'esistenza di un campo apposito (campo identificatore del piano di numerazione) nel messaggio utilizzato per trasportare le informazioni di indirizzamento. Il contenuto informativo presente in tale campo individua, in modo non ambiguo, il

piano di numerazione di appartenenza del numero che segue.

Nel caso della doppia selezione rientrano tutte le situazioni in cui si voglia realizzare l'interconnessione tra reti che non prevedono espliciti meccanismi per realizzare l'interlavoro tra i rispettivi piani di numerazione. Un esempio di utilizzo di tale metodologia è la realizzazione di comunicazioni tra utenti PSTN ed utenti di ITAPAC, oppure tra utenti ISDN a minima integrazione (X.31 caso A) ed utenti di ITAPAC. Infatti, in quest'ultimo caso si ha una configurazione in cui le funzioni di trattamento pacchetto sono separate dalla ISDN, quindi si ha la costruzione della connessione a 64 Kbit/s a commutazione di circuito dalla centrale locale ISDN fino ad una porta dedicata della rete ITAPAC e una seconda fase in cui il chiamante invia alla rete ITAPAC il numero del chiamato appartenente al piano di numerazione proprio della rete ITAPAC.

I metodi del codice di escape e dell'identificatore del piano di numerazione implicano invece che le reti utilizzino protocolli che prevedono meccanismi per il trasporto di numeri appartenenti a piani diversi da quello di origine. Un esempio attualmente esistente è quello dell'interconnessione tra la rete ISDN e la rete ITAPAC nel caso della massima integrazione (X.31 caso B). Infatti in tal caso si ha una configurazione in cui le funzioni di trattamento pacchetto sono integrate nella ISDN, quindi ad ogni centrale locale ISDN sono associate funzionalità capaci di interpretare le informazioni relative all'individuazione del piano di numerazione del chiamato.

La scelta del metodo più opportuno tra quelli illustrati in precedenza, dipende dalle caratteristiche della rete specifica e dal tipo di servizio che si vuole realizzare.

Nel caso in cui una delle reti sia privata e l'altra pubblica, l'interlavoro tra i rispettivi piani può non essere realizzabile con i metodi descritti. In tal caso si dovrà far uso di tecniche di indirizzamento che verranno descritte nel seguito. Ad esempio, una possibile tecnica non standardizzata per realizzare l'interlavoro tra due reti può essere quella di assegnare agli utenti di una rete numeri appartenenti al piano dell'altra rete, cioè assegnare agli utenti una doppia numerazione. In tal caso, a seconda delle capacità di segnalazione delle reti considerate, può nascere la necessità di realizzare nell'unità di interlavoro un mappaggio tra le differenti numerazioni utilizzate nelle due reti.

4. Struttura del piano di numerazione nazionale

Il piano di numerazione attualmente in vigore in Italia è di tipo "aperto", cioè con lunghezza del numero variabile sia in ambito distrettuale (numero senza indicativo distrettuale) che in ambito nazionale (numero con indicativo distrettuale). La lunghezza massima del numero nazionale (NSN) è di 9 cifre, secondo quanto sancito dal Piano Regolatore Telefonico Nazionale (PRNT).

Per dare un quadro completo del piano di numerazione

nazionale è opportuno prendere in esame le seguenti categorie di servizi:

- 1) servizio telefonico/ISDN;
- 2) servizi mobili (TACS, GSM, ..);
- 3) servizi di rete intelligente;
- 4) servizi speciali.

4.1 Servizio telefonico/ISDN

Per il servizio telefonico/ISDN il campo NDC descritto nel § 3.1 consiste solo del sottocampo TC, che assume significato geografico (codice distrettuale), e può essere ad una cifra (A), a due cifre (BC) e a tre cifre (BDE). Il numero E.164 internazionale di un utente nazionale (lunghezza inferiore o uguale a 11 cifre) avrà la forma:

$$\begin{array}{lll} \text{CC}=39 & \text{A} & \text{XU...U} \\ & \text{BC} & \text{XU...U} & \text{X}\neq 0,1 \\ & \text{BDE} & \text{XU...U} \end{array}$$

e, secondo quanto stabilito nel PRNT, in una ottica di pianificazione complessiva delle esigenze di numerazione, i codici distrettuali hanno le seguenti caratteristiche:

$$\begin{array}{ll} \text{A} & \text{A} = 2, 6 \\ \text{BC} & \text{B} \neq 2, 6, 0 \text{ e } \text{C} = 1, 5, 9, 0 \\ \text{BDE} & \text{B} \neq 2, 6, 0 \text{ e } \text{D}\neq 1, 5, 9, 0 \text{ e } \text{E} = 0 \div 9 \end{array}$$

4.2 Servizi mobili

Per i servizi mobili il campo NDC consiste solo del sottocampo DN che assume il significato di rete di destinazione. Il numero E.164 internazionale di un utente mobile nazionale ha la forma:

$$\begin{array}{lll} \text{CC}=39 & \text{NDC}=360 & \text{SN}=U...U \\ \text{oppure} & & \\ \text{CC}=39 & \text{NDC}=33\text{X} & \text{SN}=U...U \end{array}$$

con $X \neq 1, 2$ in quanto i codici 331 e 332 risultano assegnati come indicativi di distretti telefonici (Busto Arsizio e Varese rispettivamente). Il numero SN avrà al più 6 cifre per rispettare la lunghezza massima ammessa.

4.3 Servizi di rete intelligente

Considereremo, in questo paragrafo, una particolare categoria di servizi che necessitano di un trattamento particolare in quanto debbono essere immediatamente riconosciuti dalla rete al momento della richiesta da parte dell'utente e quindi, opportunamente istradati. Tali servizi sono supportati dalla Rete Intelligente o dalla Rete Fonia Dati (RFD). Gran parte di questi servizi utilizza numeri in decade 1 (Numero Verde 167, Audiotel 144, accesso remoto a rete privata virtuale 1482, ecc. ...) in quanto i primi servizi di questo tipo venivano forniti dalle centrali di decade 1 e le centrali analogiche sono fornite della capacità di riconoscere la decade 1 per eseguire gli opportuni istradamenti. Si tratta quindi di codici di accesso

iniziati per 1 e seguiti da un numero (N). I numeri in decade 1, pur facendo parte della stessa risorsa globale, non sono numeri E.164 perché, essendo pensati per solo uso nazionale, non hanno la forma del tipo CC+NDC+SN e non possono essere chiamati dall'estero. Il numero di decade 1 di un utente di un servizio di rete intelligente ha la forma:

$1X...Y + N$

con $1X...Y$ come codice di accesso.

Il codice di accesso ha lunghezza variabile (normalmente 3 o 4 cifre) e N avrà al più un numero di cifre tale per cui la lunghezza del codice di accesso +N sia inferiore o uguale a 9 cifre.

Esistono poi altri servizi di rete intelligente, come la chiamata di massa ed il televoting, caratterizzati da un numero E.164 in cui il campo NDC consiste solo del sottocampo DN che assume il significato di rete di destinazione (989 per le chiamate di massa e 878 per il televoting).

4.4 Servizi speciali

All'interno della categoria dei servizi speciali si trovano servizi di natura diversa, come servizi di emergenza, servizi di informazioni di utente e di rete.

Per questi servizi si utilizzano numeri di decade 1 aventi la forma di solo codice (112, 12, eccetera ...).

I numeri usati per i servizi speciali, appartenendo alla decade 1, non sono numeri E.164.

5. Indirizzamento globale

Con la continua evoluzione nell'offerta dei servizi e il proliferare delle reti, sia pubbliche che private, che li supportano è sorta la necessità di definire, oltre alle strutture di numerazione precedentemente descritte, strutture di indirizzamento evolute con l'obiettivo di consentire l'interconnessione tra ambienti di telecomunicazione diversi, siano questi pubblici o privati. Infatti, in tale contesto, è stata definita una forma di indirizzamento globale, in quanto non vincolata ad un particolare tipo di rete, capace di individuare in modo non ambiguo l'utente del servizio di rete (indirizzamento globale).

Tale necessità, inquadrata nell'ambito della problematica dell'interconnessione di sistemi aperti (OSI - Open System Interconnection), è stata recepita da organismi di standardizzazione internazionali quali ISO (International Standardization Organization) e ITU.

È stato quindi standardizzato [6] un sistema di indirizzamento, noto come indirizzo N-SAP (Network Service Access Point), strutturato in modo da permettere la coesistenza di differenti piani di numerazione pubblici e privati. Questo è un metodo in cui si definisce e si identifica una entità di rete e tutte le autorità gerarchiche da cui la sua identificazione dipende. Ad esempio un applicativo di utente verrà differenziato dagli altri applicativi residenti nella stessa postazione. Tale postazione

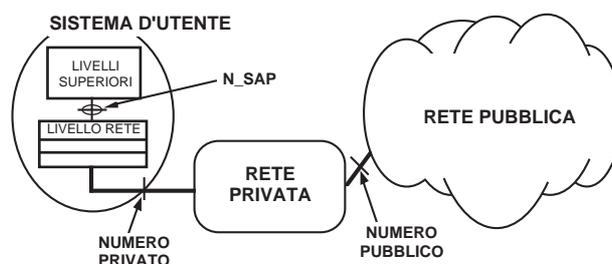


Figura 5

sarà discriminabile da altre postazioni dello stesso utente e tale utente sarà a sua volta distinguibile all'interno di una rete da altri utenti di detta rete. Tale rete sarà differenziabile dalle altre reti componenti un sistema più vasto e così via fino a raggiungere i due possibili vertici della "piramide" del mondo delle TLC che sono l'ISO e l'ITU.

Fino ad oggi l'utente dati ha risolto le esigenze di identificazione del suo dominio privato con metodi proprietari oppure con l'utilizzo di risorse di numerazione pubbliche (numeri E.164 o X.121) strutturate in modo da fornirgli le informazioni di cui aveva bisogno.

Il Network Service Access Point (N-SAP), definito come l'interfaccia tra i livelli bassi e i livelli applicativi del modello OSI (per l'esattezza fra il livello di rete e quelli superiori), individua quel punto, cui è associato l'indirizzo globale, indirizzo N-SAP, dove è offerto un servizio di rete capace di realizzare un substrato per la costruzione di qualunque servizio a valore aggiunto. L'indirizzo N-SAP non è quindi un indirizzo da utilizzare nelle reti tradizionali per instradare, ma è un identificativo "globale" delle entità di rete al confine del dominio degli applicativi d'utente che, opportunamente "tradotto", è capace di fornire tutte le informazioni necessarie per raggiungere dette entità. La fig. 5 descrive lo scenario precedentemente illustrato.

L'insieme di tutti gli indirizzi N-SAP costituisce il dominio globale, suddiviso in parti (domini) ognuna delle quali è amministrata direttamente da un'autorità riconosciuta dall'ISO/ITU. I domini possono essere strutturati gerarchicamente.

La fig. 6 riporta il formato dell'N-SAP la cui lunghezza massima è di 40 cifre decimali.

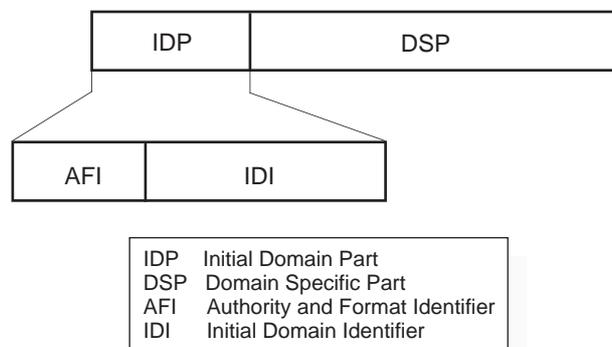


Figura 6 Struttura a campi dell'N-SAP

Il campo Initial Domain Part (IDP) identifica sia il particolare dominio tramite il sottocampo Initial Domain Identifier (IDI), sia l'autorità responsabile per l'assegnazione degli indirizzi tramite il sottocampo Authority and Format Identifier (AFI). Il campo Domain Specific Part (DSP) è il dominio amministrato dall'autorità identificata dall'AFI.

Il campo DSP può essere ulteriormente strutturato secondo una gerarchia stabilita dalla competente autorità.

La tav. 1 descrive i domini e le relative autorità attualmente previste.

Uno dei vantaggi dell'utilizzo dell'indirizzo N-SAP, sia dal punto di vista gestionale che tecnico, è quello di permettere di mantenere separate le informazioni di indirizzamento relative al dominio privato rispetto a quelle proprie del dominio pubblico.

È importante evidenziare altresì che l'utilizzo di indirizzi N-SAP va di pari passo con l'inserimento in rete di protocolli OSI per il supporto di applicativi standard, e questo viene sostenuto dalla Comunità Europea, in applicazione dei concetti dell'Open Network Provision (ONP) [7, 8], che raccomanda l'utilizzo di prodotti conformi agli Standard Internazionali ISO e ITU anziché di prodotti di marca.

In conclusione lo sviluppo delle attività di standardizzazione sullo schema di indirizzamento globale N-SAP ne permette utilizzi concreti sia all'interno delle reti dati attuali sia nelle reti dati ad alta velocità ed in prospettiva Broadband ISDN.

6. Attività di armonizzazione della numerazione

Dopo questa panoramica degli aspetti tecnici relativi alla numerazione, e alla identificazione, agli aspetti di interlavoro e ai meccanismi di indirizzamento globale, per meglio comprendere le linee di sviluppo delle problematiche relative è opportuno presentare un quadro generale delle attività in ambito internazionale, ponendo l'accento sui risultati più significativi finora conseguiti e sulla crescente esigenza di una armonizzazione sempre più spinta.

Le attività di standardizzazione sugli aspetti di numerazione sono iniziate fin da metà degli anni 60

DOMINIO (numero contenuto nel campo IDI)	AUTORITA' (AFI)	Domain Specific Part (lunghezza massima)
X.121	ITU	24 cifre
F.69	ITU	30 cifre
E.163/4	ITU	26/23 cifre
ISO 6523-ICD	ISO	34 cifre
ISO 3166-DCC	ISO	35 cifre
Locale	38 cifre

Tavola 1 Domini e autorità relative dell'N-SAP

quando, per il sopravvento della commutazione automatica su quella manuale, si resero necessarie strutture di numerazione con elementi predefiniti in grado di permettere l'interconnessione tra gli utenti del sistema telefonico. L'ente preposto per la standardizzazione internazionale è l'ITU. Esistono inoltre enti di standardizzazione regionali come l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) e organismi di regolamentazione europei come la CEPT (Conference Européenne des Postes et des Telegraphes) e il suo comitato per le telecomunicazioni, l'ECTRA (European Committee for Telecommunications Regulatory Affairs).

Anche i Gestori europei hanno istituito un gruppo che tratta gli aspetti di numerazione (European Telecommunication Network Operators - Numbering Issue, ETNO-NI), varato nel primo semestre del 1992, con il mandato di formulare posizioni comuni inerenti gli aspetti di numerazione in Europa. In aggiunta agli elementi normativi è infatti opportuno evidenziare un forte impulso alla armonizzazione, dovuto prevalentemente a ragioni di natura economica e politica. Il tentativo di rendere omogenee le procedure di selezione per le chiamate internazionali (00) e per le chiamate di emergenza (112) può essere considerato un esempio di tali esigenze di armonizzazione.

Nella fig. 7 sono riportati tutti gli enti coinvolti negli aspetti di numerazione.

L'attività di armonizzazione in corso a livello europeo, nota con il nome di "European Numbering", riveste particolare importanza per il peso crescente che la numerazione va assumendo in uno scenario di deregolamentazione dei servizi di telecomunicazione.

6.1. European Numbering

Il concetto di "Numerazione Europea" fa la sua prima apparizione dopo la stesura della Direttiva Europea sull'ONP [7, 8] in cui si richiede alla rete europea di telecomunicazioni di essere "aperta", con l'intento di analizzare le possibili limitazioni in tal senso dovute alla numerazione. Successivamente furono stilate due decisioni, "Per l'introduzione di un numero unico europeo per chiamate di emergenza - 112 [9]" e "Per un codice di accesso comune al servizio telefonico internazionale - 00 [10]", nonché varata una Risoluzione [11] "Sulla promozione di una cooperazione europea intesa a definire un sistema di numerazione dei servizi di telecomunicazioni" [9, 10, 11] per promuovere l'armonizzazione degli schemi di numerazione degli Stati Membri sia a livello dei piani di numerazione nazionali che a livello di un nuovo piano di numerazione pan-europeo.

Questa risoluzione rappresenta senz'altro una pietra miliare per "European Numbering". I principali obiettivi politici indicati sono quelli di rafforzare la cooperazione a livello europeo per i sistemi di numerazione destinati ai servizi con applicazioni europee in termini di soddisfazione della domanda, di equità della distribuzione

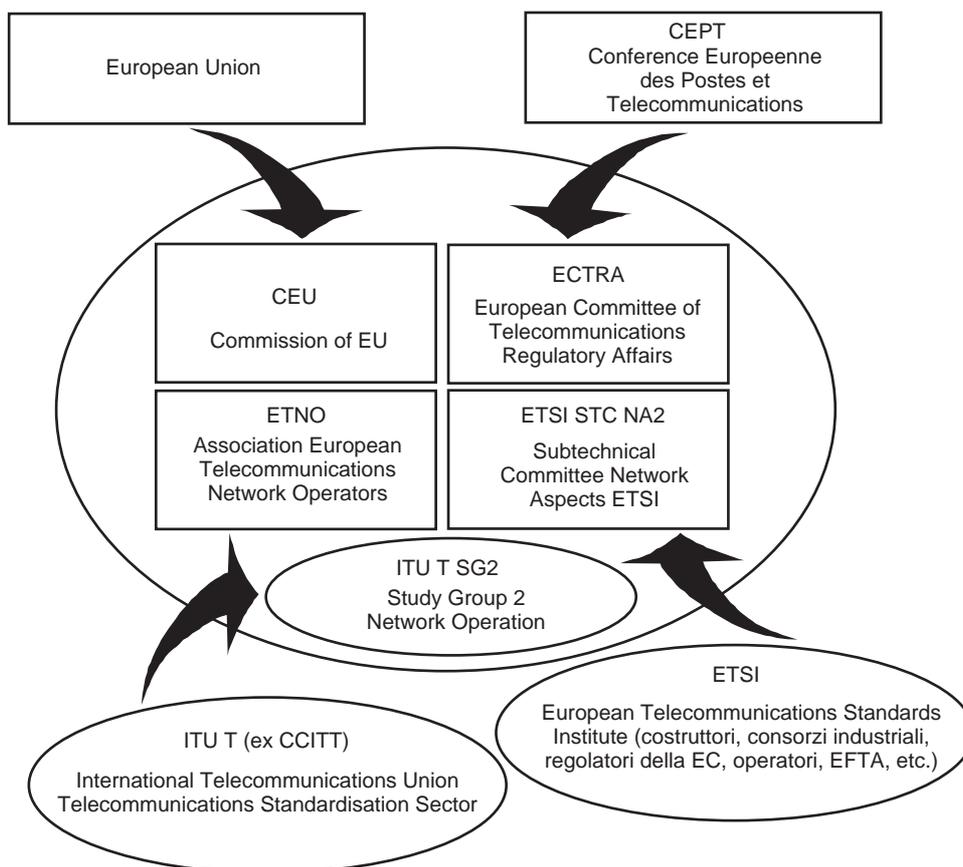


Figura 7 Enti coinvolti in aspetti di numerazione

e di ottimizzazione dei numeri. Essa propone altresì la creazione di una numerazione Europea ed un codice europeo (European Area Code - EAC) e di istituire un ente per la gestione della stessa e per l'esecuzione di studi comuni (European Numbering Office - ENO).

L'indicativo di area europea (EAC), da utilizzare all'inizio in aggiunta agli indicativi di paese dei vari Stati membri (solo successivamente dovrebbe sostituirli), servirebbe ad individuare univocamente l'Europa, e potrebbe essere utilizzato da utenti che vogliono essere caratterizzati come utenti europei, indipendentemente dalla loro dislocazione geografica (es. l'utente IBM Europa).

In sintonia con i contenuti della Risoluzione è stato creato ufficialmente, a metà 1993, da parte dell'ECTRA, un ufficio europeo per le telecomunicazioni (European Telecommunications Office - ETO) con al suo interno un organismo avente l'incarico di trattare aspetti di numerazione europei (European Numbering Office - ENO), operativo dal 1994, per tutti i paesi della CEPT. L'ENO quindi dovrebbe gestire l'assegnazione dei numeri in Europa con l'obiettivo finale della realizzazione di un piano di numerazione unico europeo.

Parallelamente, tra tutti gli organismi europei coinvolti in tale tematica, è stato raggiunto un accordo di massima relativamente al modello di cooperazione europea sugli aspetti di numerazione

per i servizi di telecomunicazione.

Tale modello, rappresentato in fig. 8, prevede che sulla base di idee provenienti dai diversi ambiti (ETSI, ETNO, ECTRA, associazioni di utenti, di service provider ecc.) la cooperazione (European Numbering Cooperation) avvii un processo consultivo all'interno dei gruppi stessi allo scopo di armonizzare le posizioni per intraprendere linee di azione comuni e raggiungere gli obiettivi concordati.

In tale contesto l'ENO rappresenta il punto di riferimento delle attività che ciascun ente svolge autonomamente nei relativi campi di competenza.

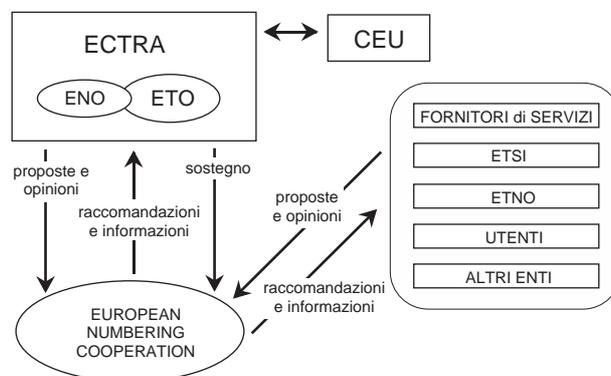


Figura 8 Il quadro di riferimento per la cooperazione europea

7. Conclusioni

Nei prossimi anni le tematiche di numerazione e di indirizzamento diverranno sempre più importanti rappresentando un aspetto strategico nella pianificazione delle reti di telecomunicazioni.

Lo sviluppo tecnologico e dell'utenza, la crescente richiesta di nuovi servizi mobili e a larga banda, la crescente deregolamentazione del mercato dei servizi di telecomunicazioni richiederanno procedure di assegnazione dei numeri flessibili ed articolate che tengano conto di tutti i fattori in gioco.

La gestione della numerazione richiederà la massima attenzione per evitare "sprechi" e dare possibilità di sviluppo all'ampia gamma di servizi che il mercato delle telecomunicazioni può offrire.

La numerazione e l'indirizzamento costituiranno uno fra i mezzi più rilevanti di concorrenza nel futuro mercato delle telecomunicazioni e le relative problematiche andranno perciò seguite con particolare attenzione.

Acronimi

AFI	Authority and Format Identifier
CC	Country Code
CCITT	Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique
CEPT	Conference Européenne des Postes et des Télégraphes
CEU	Commission of the European Union
DCC	Data Country Code
DN	Destination Network
DNIC	Data Network Identification Code
DSP	Domain Specific Part
DTE/DCE	Data Terminal Equipment/Data Circuit-terminating Equipment
ECTRA	European Committee for Telecommunications Regulatory Affairs
ENC	European Numbering Cooperation
ENO	European Numbering Office
ETNO	European Telecommunications Network Operators
ETNO NI	ETNO Numbering Issue
ETO	European Telecommunications Office
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
ETSI NA2	ETSI Network Aspects 2
EU	European Union
GSM	Grupe Special Mobile
IDI	Initial Domain Identifier
IDP	Initial Domain Part
IMSI	International Mobile Station Identity
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Standardization Organization
ITU	International Telecommunication Union
MCC	Mobile Country Code

MNC	Mobile Network Code
ND	Network Digit
NN	National Number
N-SAP	Network Service Access Point
NDC	National Destination Code
NSN	National Significant Number
NTN	Network Terminal Number
ONP	Open Network Provision
OSI	Open System Interconnection
PRNT	Piano Regolatore Nazionale Telefonico
PSTN	Public Switched Telecommunication Network
RFD	Rete Fonia Dati
SIM	Subscriber Identity Module
SN	Subscriber Number
TACS	Total Access Communication System
TLC	Telecomunicazioni
TC	Trunk Code
UPT	Universal Personal Telecommunications

Bibliografia

- [1] *Numbering plan for the ISDN era*. CCITT Recommendation E.164, 1991.
- [2] *Timetable for coordinated implementation of the full capability of the numbering plan for the ISDN era*. CCITT Recommendation E.165, Blue Book.
- [3] *Identification Plan for Land Mobile Station*. CCITT Recommendation E.212.
- [4] *International Numbering Plan for Public Data Network*. CCITT Recommendation X.121.
- [5] *Numbering plan Interworking for the E.164 and X.121 Numbering plans*. CCITT Recommendation E.166.
- [6] *Information Technology-Telecommunications and Information Exchange between Systems - Network Service Definition for Open System Interconnection*. ISO/IEC 8348, Annesso A "Network layer addressing" e *Information Technology-Network service definition for Open Systems Interconnection*. Racc. ITU X.213, Annesso A "Network layer addressing", 1992.
- [7] *Sull'istituzione del mercato interno per i servizi delle telecomunicazioni mediante la fornitura di una rete aperta di telecomunicazioni - Open Network Provision*. Direttiva 90/387/CEE.
- [8] *Relativa alla concorrenza nei mercati di telecomunicazioni*. Direttiva 90/388/CEE.
- [9] *Per l'introduzione di un numero unico europeo per chiamate di emergenza - 112*. Decisione 91/396/CEE.
- [10] *Per un codice di accesso comune al servizio telefonico internazionale - 00*. Decisione 92/264/CEE.
- [11] *Sulla promozione di una cooperazione europea intesa a definire un sistema di numerazione dei servizi di telecomunicazioni*. Risoluzione 92/C 318/02.

Nota di redazione

Quali obiettivi futuri si propongono le telecomunicazioni? Verso dove vanno? Si tratta di interrogativi che sembrerebbe appropriato si ponesse chi è esterno al mondo degli operatori del settore; chi, ad esempio, appartiene all'insieme non piccolo degli utilizzatori qualificati, che guardano con interesse ai servizi di cui in futuro si potrà sviluppare l'offerta.

Ma se ciò è possibile ed auspicabile che accada, è a maggior ragione doveroso, oltre che necessario, che si interrogino gli addetti ai lavori, dedicando alla elaborazione di adeguate risposte frequenti pause di riflessione, ricavate nel pur pressante impegno quotidiano. L'impegno quotidiano è infatti per lo più di tipo specialistico, centrato su problemi specifici, tali da distogliere l'attenzione da quei problemi d'insieme che oggi, al continuo complicarsi del sistema delle telecomunicazioni sotto il profilo tecnologico e sistemistico, tendono a sfuggire al controllo anche dei tecnici più qualificati.

Un tema di particolare rilevanza è, a questo riguardo, costituito dal ruolo che hanno oggi, e che presumibilmente potranno avere domani, le radiocomunicazioni, considerate non isolatamente, ma come elemento di un sistema molto articolato nell'ambito del quale si integrano e si confrontano con altre tecniche. E' ovvio che per ogni valutazione rivolta al futuro si debba partire da un esame della situazione attuale, non tanto come elencazione di apparecchiature, sistemi e servizi oggi disponibili, quanto come analisi delle motivazioni tecniche e del potenziale dei fattori tecnologici che ne hanno permesso la realizzazione; un'analisi che non può prescindere da un sommario richiamo dell'evoluzione storica degli strumenti tecnici di cui oggi vediamo l'applicazione in versione matura, e dei quali appunto è da prevedere l'ulteriore sviluppo per gli impieghi futuri.

E' piuttosto evidente che la riflessione del tecnico sul futuro delle radiocomunicazioni, come delle telecomunicazioni in generale, non può essere di livello divulgativo, né può prendere le mosse da testi che, volendo trattare sistematicamente una materia vasta, complessa ed articolata, devono necessariamente arrestarsi ad un limitato approfondimento.

E non è un caso che siano rarissimi i testi capaci di fornire un aiuto ed una guida al tecnico che voglia misurarsi con questo esercizio di aggiornamento su temi collaterali alla propria esperienza specialistica.

Sotto tale premessa invitiamo i lettori del Notiziario alla consultazione della pubblicazione elaborata dal Comitato Scientifico dello CSELT "Il futuro della Radio"; un'opera aggiornatissima di agevole lettura che, grazie all'articolazione in due volumi, consente anche un buon approfondimento di alcuni temi specifici, particolarmente rilevanti per il futuro delle telecomunicazioni, e dei quali viene chiarita l'essenza e le implicazioni attuali e prospettive.

Dell'opera in questione si riporta una breve recensione.

p.r.

«Il Futuro della Radio»

recensione a cura di P. Oberto (*)

«Il Futuro della Radio», libro pubblicato nello scorso mese di giugno, offre una visione organica delle tendenze e dei possibili sviluppi di uno dei settori in maggior fermento nel mondo delle telecomunicazioni, presentando un quadro completo delle applicazioni dei sistemi radio ed illustrando le tecniche e le tecnologie di cui questi si avvalgono.

L'opera, di circa settecento pagine, è divisa in due volumi. Il primo descrive l'evoluzione delle applicazioni lungo il corso dei quasi cento anni di storia dell'invenzione di Marconi ed indica il ruolo che la radio avrà nelle future reti di telecomunicazioni, sia nei settori in cui essa ha tradizionalmente svolto una funzione di primaria importanza (collegamenti a lunga distanza), sia in quelli in cui si propone come alternativa ad altri mezzi di trasmissione (collegamenti in zone rurali, in reti locali

ed in reti via satellite per utenti affari), sia in quelli in cui è insostituibile (collegamenti con terminali mobili).

Gli argomenti del primo volume sono raggruppati in quattro capitoli:

- «Aspetti generali e sintesi dello studio», che introduce i temi trattati nel libro, correlandoli con l'evoluzione storica delle reti di telecomunicazione;
- «Collegamenti radio tra punti fissi», che tratta i collegamenti punto-punto e punto-multipunto, realizzabili con mezzi terrestri o con sistemi via satellite;
- «Diffusione e distribuzione», che illustra l'uso della radio nel campo della radiofonia e della televisione;
- «Comunicazioni mobili e personali», che considera i sistemi, terrestri e via satellite, concepiti per telecomunicazioni con terminali mobili.

Alcune appendici arricchiscono il testo di utili dati di riferimento (bande di frequenza, caratteristiche delle tecniche di registrazione e di codifica di suoni ed immagini, criteri e metodologie di calcolo dell'efficienza spettrale, ecc.).

(*) ing. Paolo Oberto -CSELT- Torino

Il secondo volume introduce alle nozioni basilari sulle tecnologie dei sistemi radio, consentendo anche ai non esperti del settore di comprendere i limiti che da esse possono derivare, di intuire i progressi che si prospettano per il futuro e di individuare le aree su cui potrebbe essere proficuo investire. Esso si articola nei capitoli:

- «Propagazione ed utilizzazione dello spettro», sulle caratteristiche della propagazione nei campi di interesse e l'uso delle risorse spettrali;
- «Trattamento del segnale», sulle tecniche di ricetrasmissione e di codificazione dei segnali audio e video;
- «Antenne, circuiti e dispositivi», sugli aspetti tecnologici più critici per la realizzazione degli apparati;
- «Tecnologie dei satelliti», su bande di frequenza, vettori, apparati di bordo, ecc., riguardanti i sistemi via satellite.

Completano l'opera una ricca bibliografia ed un ampio elenco di sigle e di acronimi.

Il libro è stato redatto dal Comitato Scientifico dello CSELT, il Centro Studi e Laboratori di Telecomunicazioni del Gruppo STET, sotto la guida del Prof. Francesco Carassa, ispiratore dell'opera, con la collaborazione di un ampio gruppo di illustri esperti di vari Enti. In esso traspare l'esperienza di chi ha contribuito direttamente ai progressi tecnici del settore ed è tuttora coinvolto sul fronte delle scelte strategiche e dello sviluppo tecnologico.

«Il futuro della radio» è sicuramente un valido aiuto sia per coloro che hanno responsabilità di indirizzare investimenti e ricerche sia per coloro che intendono acquisire una conoscenza di base nel campo radio. Esso è distribuito dalla SEAT Divisione STET, Editoria per la Comunicazione, Via Carducci 2, 00187 Roma (tel. 06/85569776, fax 85569792), ed è disponibile presso le principali librerie tecniche.