

NOTIZIARIO TECNICO TELECOM ITALIA

LA VIA DI TELECOM ITALIA
VERSO LA LARGA BANDA

CAMPI ELETTRICITÀ
E COMUNICAZIONI CELLULARI

LA NUOVA RETE
INTERNAZIONALE

L'UMTS, TERZA GENERAZIONE
DEI SISTEMI MOBILI

anno 9
n. 2
OTTOBRE
2000



Siamo entrati nell'era dei Terabit

Aequam mentem rebus in arduis servare mentem
(Serba nei più grandi frangenti mente serena)
Orazio - Odi a Delio, libro II - 3 - 1

L'intera rete di telecomunicazione è oggi interessata da un impetuoso mutamento tecnologico e strutturale. Alcuni riferimenti legati alla comunicazione si sono in questi ultimi anni radicalmente modificati: per ciascuno di noi infatti il generico collegamento telefonico, in un passato anche non eccessivamente lontano, assumeva importanza e complessità con il crescere della distanza del chiamato. Le comunicazioni erano classificate in base all'ubicazione del destinatario, come settoriali, distrettuali, compartimentali, internazionali. Quando avviavamo una nuova comunicazione, riconoscevamo dal prefisso telefonico la complessità - e anche il costo - della connessione.

Questa informazione l'abbiamo persa con l'esplosione della telefonia cellulare una decina di anni fa. Non potevamo più sapere a priori dove si trovava il nostro interlocutore ma, anzi, uno dei motivi del successo dei sistemi mobili è proprio legato alla possibilità di rintracciare e di dialogare con una persona ovunque essa si trovi.

Oggi poi con Internet l'importanza di conoscere la destinazione di una nostra chiamata ha perso ancor più di significato. Partiamo impostando un *name*, ma non sappiamo, navigando nella rete IP dove "approderemo" (e forse, tutto sommato, non ci interessa neanche saperlo!).

Anche il concetto di numero delle chiamate effettuate o della durata di una conversazione comincia a perdere d'importanza. L'offerta *teleconomy no stop* - proposta di recente da Telecom Italia - consente, ad esempio, di pagare mensilmente il servizio indipendentemente da come e da quanto impegniamo la rete.

I due riferimenti dominanti di una connessione - durata e numero delle chiamate assieme alla lunghezza del collegamento - stanno quindi via via perdendo di importanza.

Questo cambiamento si verifica in un momento in cui cresce, per il concorrere di numerosi fattori, il traffico sulla rete e forse costituisce uno degli elementi che favoriscono in qualche modo questo mutamento.

Maurizio Dècina, professore di retematica al Politecnico di Milano, nel suo intervento al recente Congresso di Taormina su *Optical Transport Networks*, ha indicato il 2003 come anno nel quale - a livello mondiale - i numeri delle terminazioni della rete fissa, di quella mobile e degli accessi a Internet saranno pressoché gli stessi; ha anche rimarcato che avremmo continuato a registrare una crescita sensibile del numero dei cellulari in servizio e ancor più degli utenti Internet fissi e mobili.

In questi anni poi il traffico di dati sta sorpassando quello fonico: le potenzialità connesse ai nuovi servizi basati sulle tecnologie IP, sempre meglio strutturati e adattati alle esigenze delle diverse fasce di clientela, ci vedono infatti come spettatori - e ancor più come attori - di uno sviluppo sensibile del traffico.

Siamo in presenza di una crescita tumultuosa degli utenti Internet, specie se confrontata con quella che si ebbe sul finire dell'Ottocento con la telegrafia o, verso la metà del secolo scorso, con la telefonia: Internet ha infatti il vantaggio di consentire l'impiego della rete esistente e ha perciò interessato da subito una popolazione assai estesa di utilizzatori, infrangendo il vecchio paradigma che un servizio innovativo dovesse essere offerto ad alcune classi di utenti più interessate e poi, mano a mano, esso doveva essere fornito a strati sempre più ampi della popolazione.

Ci troviamo quindi di fronte a due esigenze: la crescita sensibile del traffico sulle reti; la necessità di rispondere sempre meglio e con tempestività a queste nuove richieste del mercato. Per rispondere a queste esigenze, i gestori - tradizionali e nuovi - stanno introducendo in rete nuove tecnologie abilitanti.

Se ci soffermiamo tuttavia a osservare quanto accade oggi nel nostro settore, abbiamo l'impressione che le possibilità offerte dalla tecnologia anticipino addirittura le richieste correnti degli utilizzatori, siano essi clienti finali o altri operatori coinvolti nella catena del valore quali, ad esempio, gli Internet Service Provider.

L'evoluzione in atto interessa radicalmente l'intera rete TLC, a cominciare dall'accesso che per molti anni ha rappresentato la porzione della rete più statica ma che già nell'ultimo decennio - in particolare con la crescita esplosiva della richiesta di mobilità e con l'introduzione dei portanti ottici nella distribuzione - ha subito una fase di trasformazione.

È ancora in fase di sostanziale cambiamento anzitutto la rete mobile, passando oggi dall'offerta dei servizi di fonia e di messaggistica (con limitata potenzialità) a quella relativa ai dati e alla multimedialità. L'UMTS è infatti ormai in fase di avvio, e presto sarà proposto al mercato.

L'accesso poi da terminazioni fisse - anche da quelle che impiegano cavi in rame - consente di mettere a disposizione di tutti i clienti della rete bande assai estese permettendo allo stesso tempo di svolgere servizi con velocità di cifra ottimizzata, anche (o forse soprattutto) dal punto di vista economico per la singola applicazione. Questa risposta, in particolare, è più calzante rispetto alle attese degli utilizzatori quando si gestiscono due reti di accesso - una in rame, l'altra in fibra - come nel caso dell'offerta proposta dai gestori tradizionali.

Si comincia d'altra parte a intravedere la graduale transizione dalla commutazione a circuito a quella a pacchetto gestita con paradigmi diversi da quelli passati e, soprattutto, con potenzialità sensibilmente maggiore sia dal punto di vista hardware sia software, favoriti in questo cambiamento dalla progressiva disponibilità della tecnologia legata ai giga e ai terarouter.

Nella trasmissione sulle dorsali a lunga distanza della rete (*backbone*), il trasporto ottico sembra poi non presentare limiti allo sviluppo: dai Gigabit/s si sta al momento passando anche in Italia ai Terabit/s e si passerà fra breve ai Petabit/s. Sono stati già trovati i nomi per le velocità di cifre successive (di mille in mille): gli Exabit/s, gli Zettabit/s e gli Yottabit/s (la nuova terminologia è dunque ... a buon punto!).

Con l'introduzione dei nuovi sistemi la rete ottica si caratterizzerà poi per non essere più limitata a collegamenti punto-punto. L'obiettivo che emerge ormai chiaramente è quello di realizzare una rete di trasporto complessa e gestibile, con caratteristiche architettoniche e di servizio che risultano essere almeno pari a quelle oggi offerte dal trasporto SDH e con capacità di trasporto delle informazioni di gran lunga maggiori.

In pochi anni, dunque, l'intera rete si va modificando in maniera sostanziale sotto la spinta delle nuove tecnologie. Cambieranno anche molte delle bande di frequenza in cui operano i sistemi radio (e l'acquisizione dello spettro radio non sarà più ottenuta gratuitamente o quasi). Fra breve la rete sarà costituita da elementi che non somigliano a quelli che ancor oggi ne formano l'ossatura. Resteranno (per fortuna!) solo i portanti ottici posati negli ultimi vent'anni e i "tradizionali" doppi in rame dei rilegamenti di abbonato rivitalizzati con l'aggiunta dell'x-DSL.

Con il *Notiziario Tecnico* anche noi dobbiamo inseguire e, in qualche caso, quando ci riusciamo, precedere le innovazioni. Nel nostro piccolo, con la rivista cerchiamo di fermare "l'attimo fuggente", tracciando un quadro aggiornato in grado di dare una conoscenza non superficiale ai nostri lettori su questi "rivoluzionari" cambiamenti.

Alcune di queste innovazioni saranno trattate in questo numero: presentiamo infatti le possibilità nuove offerte nell'accesso della rete fissa. Avviamo un ciclo di articoli sull'UMTS e un altro sulle reti ottiche. Ci soffermiamo sul WAP. Presentiamo anche alcuni tra i principali interventi realizzativi e le novità architettoniche che riguardano la rete internazionale di Telecom Italia, che - anche sotto la spinta della globalizzazione - è interessata da volumi di traffico assai elevati, di molto maggiori rispetto al passato più recente.

Siamo dunque entrati nell'era del Terabit/s, cioè dei mille miliardi di bit al secondo trasmessi su una singola fibra. Come impiegheremo questa capacità incredibilmente elevata che già oggi è disponibile? Ne parleremo, spero, nei prossimi numeri della rivista.

Mi sia permessa un'osservazione conclusiva a commento: questo quadro evolutivo tumultuoso e imprevedibile fa ricordare con nostalgia il passato, quando tutta l'innovazione sembrava defluire in maniera più regolare e prevedibile e quando non era necessario considerare superata una tecnologia nel momento in cui si cominciava a dominarla. Oggi non è più così; ci tocca correre, e tanto. Ma per nostra fortuna abbiamo ancora ottime gambe e buoni polmoni!

I.C.

La via di Telecom Italia verso la larga banda

STEFANO PILERI

Nel corso degli anni Novanta il trasporto di dati ha cominciato a crescere in misura assai rilevante nelle reti di telecomunicazioni determinato principalmente dal fenomeno Internet. Questo aumento è dovuto al concorrere di due cause concomitanti: il moltiplicarsi del numero di clienti che vogliono connettersi alla rete dati e, allo stesso tempo, l'incremento di banda richiesto da ciascun utilizzatore.

Nell'articolo è indicato il cammino seguito da Telecom Italia per soddisfare questa domanda sia nella rete di accesso sia in quella di giunzione (il backbone). In particolare per l'accesso sono descritte le due modalità con le quali è possibile rispondere a quest'esigenza nella maggior parte dei casi pratici: trasformare la rete in rame a "banda stretta" in una a "banda larga" tramite le tecnologie xDSL (Digital Subscriber Loop) oppure sostituire gradualmente la rete terminale in rame con quella ottica e, in questo caso, privilegiare clienti che hanno un'esigenza - manifesta o latente - di disporre di bande che consentano velocità di cifra assai elevate, superiori agli 8 Mbit/s. Nell'articolo è poi indicata l'evoluzione della rete Interbusiness e, più in generale, sono descritte le modifiche già apportate o ancora allo studio per l'infrastruttura di transito trasmissiva e per quella di commutazione.

È infine mostrato il modello di business individuato da Telecom Italia e avviato con la realizzazione degli Internet Data Center sul territorio nazionale che hanno l'obiettivo di fornire ai clienti - in particolare alle piccole e medie imprese - un'infrastruttura in grado di fornire servizi applicativi per Internet con una logica di "chiavi in mano".

Telecom Italia si propone infatti di offrire così ai propri clienti non solo la connettività alla rete ma anche la gestione dei servizi informativi tipici di ciascuna Azienda.

1. Introduzione

La situazione attuale delle telecomunicazioni è caratterizzata da una convergenza di fatti e iniziative che mette in luce l'avvio di una rilevante fase di sviluppo dei servizi multimediali a banda larga che si stanno moltiplicando attorno al fenomeno Internet.

Lo sviluppo e l'uso di questi servizi costituirà sempre più un elemento caratterizzante delle attività degli individui, delle imprese, della collettività in genere. Già da diversi anni alcune tra le più felici intuizioni di alcuni statisti indicavano questa tra le priorità per lo sviluppo ovvero per la "sopravvivenza" della competitività delle nazioni.

La rete di telecomunicazione italiana nel corso degli anni Novanta si è adeguata in termini di servizi, di capacità e di qualità, alle migliori reti del mondo.

Raggiunto questo obiettivo, negli ultimi anni ('98, '99 e nella prima parte del 2000) è stata adottata una politica di rigore volta a ottimizzare l'utilizzo delle risorse esistenti, riducendo in modo sensibile gli investimenti dedicati allo sviluppo dell'infrastruttura. Tuttavia, a causa della *multime-*

dia wave che richiede infrastrutture a larga banda in accesso e un conseguente incremento della capacità in rete metropolitana, regionale e nazionale (recenti studi portano a ritenere ipotizzabile un incremento di banda con un fattore 3 o 4 ogni anno per i prossimi cinque anni), il livello degli investimenti è destinato a crescere per sostenere lo sviluppo ed il "business" ad esso correlato.

Nel presente lavoro viene sintetizzato il nuovo percorso di Telecom Italia verso la larga banda in termini di tecnologie e infrastrutture - che costituiscono i principali fattori abilitanti per lo sviluppo dei servizi multimediali - ritenute necessarie all'attuazione di tale strategia. La strategia di sviluppo è analizzata per le principali componenti dell'infrastruttura di rete: la rete di accesso e quella dorsale (*il backbone per i dati*).

2. Sviluppo del mercato e della banda

L'attuale sviluppo del mercato dei servizi di connettività mostra una crescita senza precedenti determinata principalmente dal fenomeno Internet. L'andamento, come è possibile osservare in figura 1,

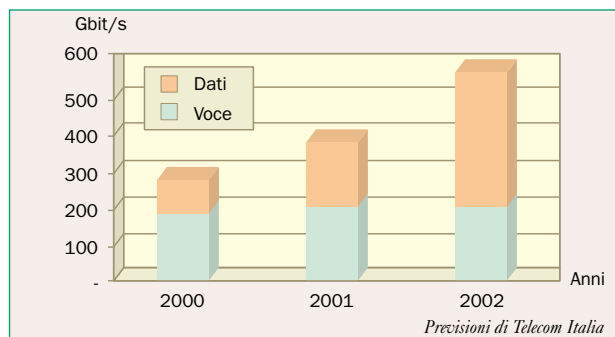


Figura 1 Sviluppo della banda in accesso relativo al mercato nazionale.

lascia prevedere che alla fine del prossimo anno la banda in accesso relativa ai servizi dati possa superare quella dei servizi di fonìa. La banda complessiva indicata nella figura comprende, oltre alla banda aggregata relativa agli accessi innovativi, anche quella relativa agli accessi dati tradizionali (X25, canale D ISDN, Frame Relay, ATM) e ai CDN.

Per quanto riguarda la situazione in Telecom Italia lo sviluppo della banda in accesso previsto è rappresentato nelle figure 2 e 3, distinto per servizi offerti e riferiti rispettivamente all'utenza Residenziale e SOHO - Small Office Home Office (figura 2) ed a quella affari (figura 3). Come è possibile notare, il ritmo di crescita della banda ha un andamento pressoché esponenziale per la combinazione essenzialmente di due effetti: il moltiplicarsi dei clienti delle reti dati e l'incremento di banda di ciascun cliente valutato all'incirca in un 60 per cento l'anno.

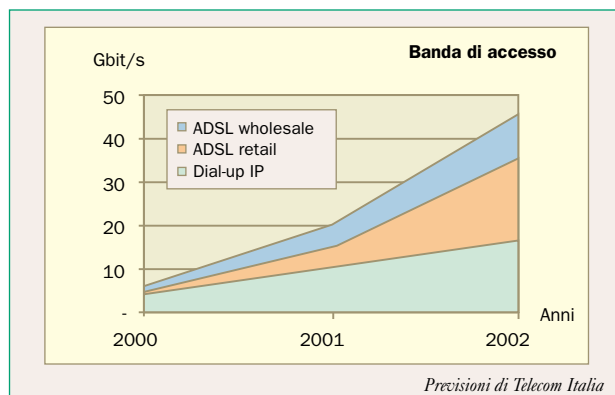


Figura 2 Incremento di banda previsto nei prossimi anni per le soluzioni di accesso rivolte al mercato residenziale e SOHO.

Nella figura 4 è mostrata invece l'architettura di rete che Telecom Italia intende adottare per sostenere la crescita dei servizi a larga banda.

La rete Atmosfera è utilizzata principalmente nel segmento di accesso (per gli accessi raccolti con tecnologia ADSL, HDSL e per parte degli accessi SDH), mentre l'infrastruttura delle dorsali (backbone) è costituita essenzialmente dalla rete IP Interbusiness alla quale sono connessi anche gli IDC (Internet Data Center).

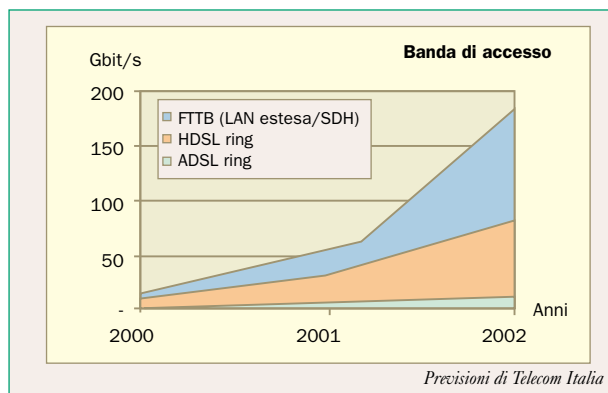


Figura 3 Incremento di banda previsto nei prossimi anni per le soluzioni di accesso rivolte al mercato affari.

La soluzione in fibra che prevede l'utilizzo di tecnologia LAN in ambito metropolitano (indicata in figura come LAN estesa) è realizzata con GBE (GigaBit Ethernet) e con apparati LAN Switch, posti sia presso la sede del cliente (edificio) sia in centrale.

3. La rete di accesso

La rete di accesso di Telecom Italia (la struttura di telecomunicazione che consente la connessione tra le centrali più periferiche e le sedi dei clienti) è strutturata con circa 10 mila centrali terminali (chiamate stadi di linea) dalle quali partono i cavi della rete di accesso (detta anche rete di distribuzione). I cavi sono prevalentemente in rame anche se, come risultato di importanti progetti di cablaggio ottico avviati fin dai primi anni Novanta, Telecom Italia dispone oggi di una rilevante infrastruttura di cavi ottici in rete di accesso.

3.1 L'accesso a larga banda in rame

Dal punto di vista dei portanti in rame la dimensione della rete di accesso è di oltre 100 milioni di chilometri-coppia con una rete caratterizzata da una distanza media tra la centrale ed il cliente di circa 1,5 km¹. Una parte rilevante della rete di distribuzione è anche relativamente nuova - soprattutto

⁽¹⁾ La rete di accesso in rame dispone di 45,7 milioni di rilegamenti di utente sui quali sono attive 24,9 milioni di linee. La percentuale di occupazione della rete è quindi pari al 54,5 per cento.

La lunghezza media di una coppia nella rete di accesso primaria è di 1,3 km, mentre quella di una coppia nella rete secondaria è di 0,47 km. Tenendo conto che in questi indicatori sono presenti anche le coppie "morte" e quelle derivate in parallelo, la lunghezza media delle coppie della rete primaria e secondaria può essere stimata pari rispettivamente a 1,1 km ed a 0,4 km.

Per quanto riguarda le grandi aree metropolitane, da un'analisi condotta nella rete di Milano, risulta che la lunghezza media della rete primaria è di circa 900 m, mentre per quanto riguarda la rete secondaria la lunghezza media è di circa 300 m. Come era prevedibile la lunghezza media di un rilegamento di utente in area urbana (1,2 km per Milano) è minore di quella media nazionale (1,5 km).

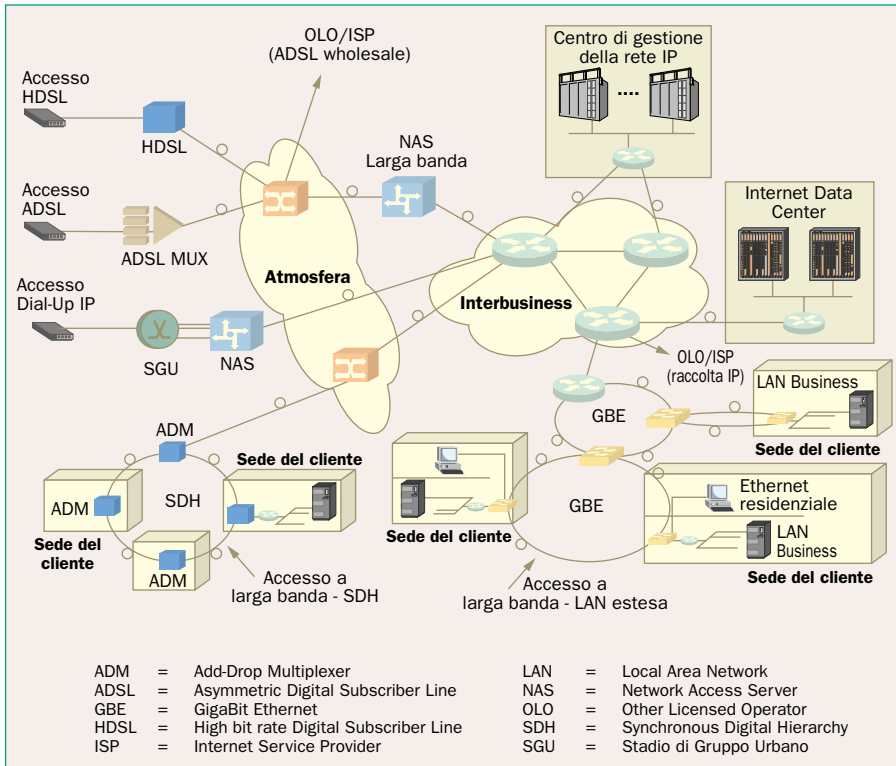


Figura 4 Architettura di rete.

più in generale xDSL - nella rete di accesso, arrivando ad ottobre dello stesso anno a predisporre la prima offerta commerciale destinata ai clienti Business nelle otto principali città del territorio nazionale. È interessante notare che fu proprio la prospettiva temporale ravvicinata di queste tecnologie altamente innovative a costituire uno dei principali motivi della perdita di interesse, da parte di Telecom Italia, verso il cablaggio ottico esteso all'intero territorio nazionale, avviato nel 1997 con il progetto Socrate.

Il piano di sviluppo ADSL procede oggi celermente: circa venticinque città, scelte tra le più importanti, sono coperte con infrastrutture ADSL installate in oltre 350 centrali e, a fine Duemila, il numero di località servite diventerà cento, con 600 centrali interessate e con circa 11 milioni di famiglie che potenzialmente potranno usufruire del servizio.

nelle grandi città - in quanto, specie con il "Piano Europa" sviluppato negli anni 1988-92, sono state destinate alla rete di accesso ingenti risorse finanziarie (circa 6 mila miliardi di investimenti per anno) con le quali è stata quasi completamente rinnovata e ampliata la rete di distribuzione in rame italiana, adeguandola agli standard tecnici e di qualità delle principali reti europee.

Questi elementi costituiscono un notevole punto di forza nel processo di trasformazione della rete di accesso in rame a "banda stretta" in una rete a "banda larga" tramite le tecnologie DSL (*Digital Subscriber Loop*), con le quali si è in grado di trasmettere sui portanti in rame capacità fino a due ordini di grandezza superiori a quelle oggi disponibili con la tecnologia ISDN.

I punti di forza sono più precisamente tre:

- la notevole disponibilità di collegamenti (*loop*) in rame in numero quasi doppio rispetto alla clientela (oltre 45 milioni di loop, comprese le scorte di esercizio e le coppie derivate, su una base di circa 25 milioni di clienti)²;
- la distanza media tra la centrale e la sede del cliente, che è tra le più basse del mondo e che fa della rete di Telecom Italia una delle più adatte all'introduzione delle tecniche a larga banda³;
- l'età relativamente "giovane" della rete di distribuzione, soprattutto nelle principali aree metropolitane.

3.1.1 L'impiego della tecnologia ADSL

Sulla base di questi elementi è stata avviata nel 1998 la sperimentazione della tecnologia ADSL - e

La tecnologia scelta è quella universalmente riconosciuta come stato dell'arte, in grado di raggiungere la velocità massima di 8 Mbit/s in *downstream* e di circa 1 Mbit/s in *upstream*.

L'architettura di riferimento è riportata nella figura 5: in essa è possibile osservare, da destra verso sinistra, tutti gli elementi di rete utilizzati per il collegamento dalla sede del cliente al PoP (*Point of Presence*) di Telecom Italia: il modem ADSL del cliente, il MUX ADSL in centrale, gli apparati di trasporto e gli apparati dati nella sede PoP; a sinistra del PoP è schematizzato, con le componenti tecnologiche (IP, ATM, SDH), il backbone per i dati che sarà descritto successivamente.

⁽²⁾ Le tecniche DSL (Digital Subscriber Loop) hanno un limite nel numero percentuale di coppie che nello stesso settore di cavo trasportano i servizi a larga banda. Ricerche e misure effettuate in modo assai approfondito hanno mostrato che il limite è di circa il 50 per cento rispetto al numero totale di coppie del cavo. I cavi della rete di accesso di Telecom Italia hanno un numero di coppie più elevato rispetto alla clientela attiva e dunque il limite del 50 per cento, se rapportato alla clientela, è, in genere, assai più elevato e di fatto comporta la quasi totale assenza di limitazioni pratiche all'impiego di queste tecnologie.

⁽³⁾ Le tecniche xDSL sono sensibili alla lunghezza della coppia in rame. In particolare i segnali ADSL che arrivano a una velocità "downstream" di 8 Mbit/s sono applicabili a coppie di lunghezza massima di circa 2,5 km, mentre i più veloci segnali VDSL possono arrivare anche a 50 Mbit/s su lunghezze di circa 500 m.

Si noti che per i profili di servizio rivolti alla clientela Residenziale è presente il NAS (*Network Access Server*) che ha il compito di terminare le sessioni PPP (*Point to Point Protocol*) utilizzate dalla modalità di accesso *Virtual Dial up* e di fornire il servizio AAA (*Autenticazione, Autorizzazione e Accounting*): in questo modo è possibile allocare dinamicamente le risorse del nodo ATM, i VC (*Virtual Circuit*) ottimizzandone l'utilizzo.

Dal punto di vista commerciale Telecom Italia ha proposto la tecnologia ADSL con due distinte forme di offerta: la prima dedicata alla clientela Business (nell'ambito della più generale offerta RING), l'altra di tipo *wholesale* indirizzata agli ISP (*Internet Service Provider*) e agli OLO (*Other Licensed Operator*). Le velocità finora proposte sul mercato sono in realtà assai più ridotte rispetto a quelle potenzialmente offerte dalla tecnologia ADSL: per il mercato di massa infatti l'offerta *wholesale* è caratterizzata da 640 kbit/s in downstream e 128 kbit/s in upstream (meno del 10 per cento delle velocità massime), mentre l'offerta business è di 2 Mbit/s downstream e 512 kbit/s upstream.

Le motivazioni per un avvio così cauto dal punto di vista delle prestazioni offerte tramite ADSL sono diverse; le più importanti sono legate, per quanto riguarda l'offerta *wholesale*, alla possibilità di adottare un impianto più semplice a casa del cliente utilizzando un modem che il cliente stesso può acquistare e installare connettendolo a una qualsiasi delle prese telefoniche dell'impianto di casa, avendo cura però di inserire nelle altre prese dei semplici filtri per disaccoppiare il segnale dati da quello fonico⁴. Per quanto riguarda invece l'offerta business, è stato deciso un avvio prudente del servizio, con prestazioni ridotte rispetto a quelle potenziali in modo da consentirne un successivo sviluppo graduale e allo stesso tempo salvaguardare gli investimenti effettuati per i servizi di trasmissione dati tradizionali a 2 Mbit/s (servizi CDN).

Con la prospettiva della presenza sul mercato di un'offerta di servizi a larga banda per la clientela di massa estesa sul territorio (circa 10 Mbit/s per il singolo cliente) preannunciata da alcuni competitor, è

oggi indispensabile accelerare la definizione e il lancio di nuovi profili ADSL con prestazioni e con velocità più spinte rispetto a quelle attuali che, come è stato prima chiarito, è già possibile fornire con le caratteristiche tecnologiche della rete oggi utilizzata⁵.

3.1.2 La tecnologia HDSL

In alternativa all'ADSL è utilizzata, soprattutto per le esigenze della clientela Business, la tecnologia HDSL che consente collegamenti a 2 Mbit/s simmetrici in rete di accesso. In questo caso Telecom Italia ha avviato l'utilizzo di questi sistemi già nel 1996 ed oggi tutte le nuove linee a 2 Mbit/s sono realizzate con la tecnologia HDSL.

Le linee HDSL sono "simmetriche" anche dal punto di vista della struttura di rete e quindi possono essere prolungate verso la rete di trasporto utilizzando la rete trasmissiva (SDH o PDH) consentendo così di realizzare collegamenti punto-punto - sia locali che geografici - e accessi a PoP per servizi dati IP e ATM.

L'architettura utilizzata da Telecom Italia per questo servizio è riportata in figura 6. Anche qui da destra verso sinistra è possibile osservare gli elementi di rete utilizzati per il collegamento dalla sede del generico cliente al PoP di Telecom Italia; in questo caso è impiegato un livello di concentrazione ATM che consente di ridurre gli investimenti per la rete di trasporto nel segmento tra la centrale e il PoP.

Caratteristica importante nel modo di proporre al mercato accessi a larga banda su rame rivolti a clienti con prospettive di crescita nel breve termine è la possibilità di costruire "pool" di linee (ad esempio da uno a quattro) mediante opportune terminazioni di rete da installare presso le sedi dei clienti (TAM con funzionalità IMA⁶). È così possibile realizzare circuiti virtuali permanenti ATM con velocità modulari da 2 a 8 Mbit/s.

La possibilità di impiegare accessi con tecnologia HDSL, a differenza di quanto accade per l'ADSL, si estende oggi sull'intero territorio nazionale: per quanto è stato detto è, infatti, possibile prolungare il trasporto dei flussi relativi a questa tecnologia tramite la rete SDH.

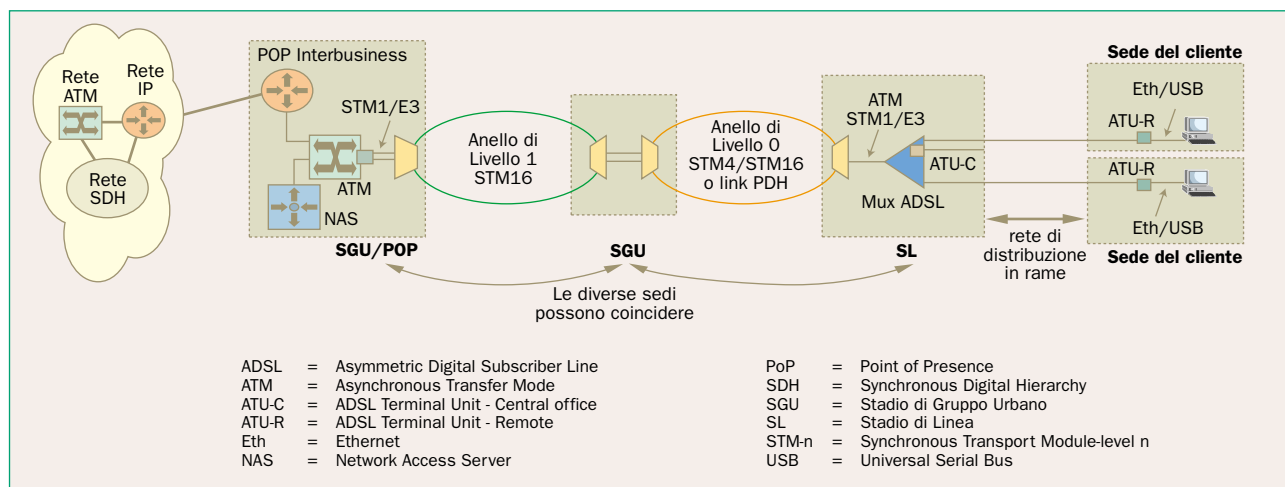


Figura 5 Architettura di riferimento per l'offerta ADSL di Telecom Italia.

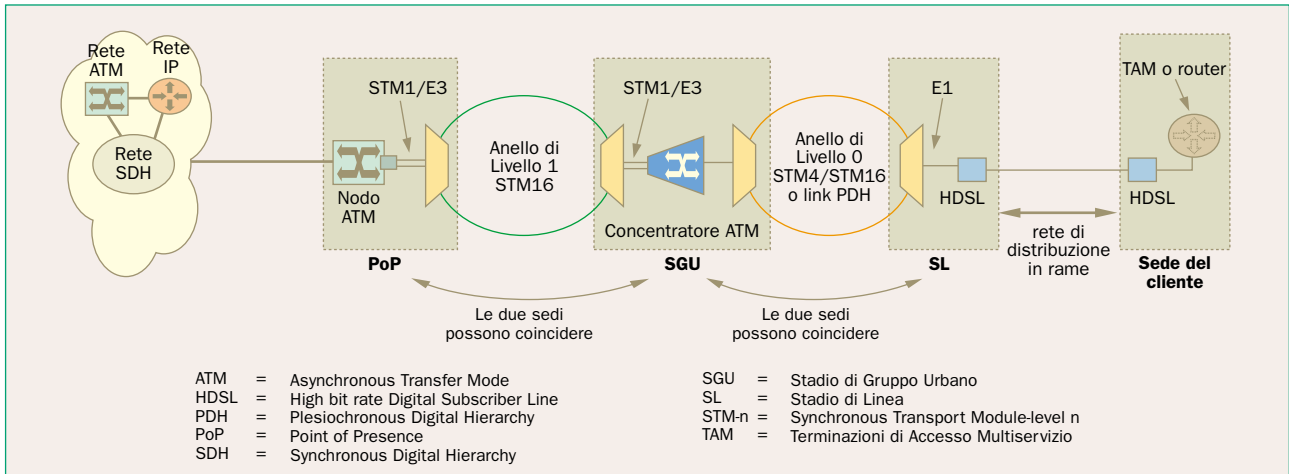


Figura 6 Architettura di riferimento per l'offerta HDSL di Telecom Italia.

3.1.3 Piano di sviluppo degli accessi xDSL

Le considerazioni riportate in precedenza e l'analisi delle tendenze di mercato a livello europeo e nord americano consentono di puntare a una penetrazione assai incisiva delle tecnologie xDSL nel mercato nazionale. Gli accessi ADSL avranno uno sviluppo atteso pari a circa 100 mila unità per l'anno in corso, per passare a una disponibilità di circa 800 mila nel 2001 e di oltre 1,6 milioni nel 2002.

	2000	2001	2002
Località	100	300	500
Centrali	640	980	1.500
Clientela potenziale (mlni)	11	14	16

Tabella 1 Diffusione degli accessi ADSL sul territorio.

La copertura del territorio con punti di presenza ADSL è indicata nella tabella 1 nella quale, oltre al numero delle città coperte nel triennio, è riportato anche il numero di aree di centrale e la copertura di clientela potenziale.

Gli elementi principali che caratterizzano il posizionamento di mercato degli accessi ADSL sono:

- la conferma della modalità di vendita di tipo all'ingrosso (*wholesale*) in cui gli ISP (*Internet Service Provider*) rendono disponibile il servizio di accesso veloce a Internet, comprendendo in esso l'accesso ADSL; si prevede che oltre il 60 per cento delle vendite dell'ADSL al 2002 avvenga tramite questo canale;
- l'avvio determinato da parte di Telecom Italia della vendita al dettaglio (*retail*) di accessi ADSL presentati alla clientela finale quale "naturale" evoluzione degli accessi ISDN; è previsto nel triennio 2000-2002 un effetto di sostituzione di accessi ISDN con ADSL per oltre 600 mila unità pari all'80 per cento degli accessi retail ADSL previsti al 2002.

La stima dello sviluppo atteso per gli accessi HDSL e in prospettiva *SDSL* (*Symmetrical Digital Subscriber Line*) [1], [2] non è lontana da un incremento di 60 mila unità in tre anni (2000-2002) ed è destinata a crescere ancora per il triennio successivo in base all'incremento straordinario previsto per le forme di offerta di accesso a portali a larga banda per servizi che sono essenziali alla crescita del modello di business, soprattutto per le piccole e medie imprese che oggi si trovano nella fase iniziale nell'uso delle tecnologie di comunicazione dati e Internet.

In base alla crescita del numero di clienti dei servizi di accesso con tecnologie xDSL su rame è possibile stimare la capacità richiesta in rete; i dati riportati in tabella 2 tengono conto di diversi fattori quali la contemporaneità della trasmissione da parte dei singoli

⁽⁴⁾ Questa tecnologia è caratterizzata dalla presenza di un diramatore (splitter) distribuito.

⁽⁵⁾ Naturalmente l'aumento della capacità non riguarda soltanto la tratta tra ATU-R e ATU-C, ma si ripercuote, sia pure in maniera più contenuta, anche sui segmenti di rete che stanno a monte delle infrastrutture di accesso.

⁽⁶⁾ La TAM (Terminazioni di Accesso Multiservizio) può effettuare l'IMA (Inverse Multiplexing Access), ovvero la possibilità di mettere assieme la banda resa disponibile da diversi circuiti fisici per ottenere VC (Virtual Circuit) con requisiti di banda superiori alla banda di un solo circuito.

	2000	2001	2002
Accessi ADSL (mlni)	0,15	0,8	1,7
Accessi HDSL (x1000)	18	40	60
Banda ADSL Gbit/s	3	15	40
Banda HDSL Gbit/s	14	50	120
Gbit/s	17	65	160

Tabella 2 Capacità di banda richiesta in rete per gli accessi con portanti in rame.

clienti e la moltiplicazione statistica dei pacchetti in rete.

La capacità richiesta dai servizi a larga banda aumenterà quindi nel prossimo triennio di quasi 10 volte.

3.2 L'accesso a larga banda in fibra ottica

3.2.1 Le tecnologie ottiche Fiber To The Building

La seconda tecnologia, cui è legato lo sviluppo della larga banda, è la fibra ottica in rete di accesso. Con la fibra ottica terminata nella sede del cliente finale la capacità disponibile diventa oltre 10 mila volte maggiore di quella che oggi si ottiene con l'ISDN e quindi permette di soddisfare le future necessità al momento ipotizzabili anche per i clienti più esigenti.

È stato ricordato in precedenza come Telecom Italia, già all'inizio degli anni Novanta, avesse avviato progetti di cablaggio ottico mirati alle zone industrialmente più avanzate del Paese. Dapprima i "veli ottici", il progetto "TOP 500" e infine il grande progetto italiano di cablaggio "Socrate" hanno contribuito a portare, pressoché in tutte le province italiane, a una larga diffusione di sistemi in fibra ottica nella rete di accesso.

Alcuni valori possono consentire di stimare meglio la ricchezza di questo patrimonio: l'estensione dei cavi ottici installati in rete di accesso è oggi di circa 4 mila km dei quali circa il 30 per cento è localizzato a Milano ed a Roma. Se a tale quantità si aggiungono i portanti ottici utilizzati per la connessione delle centrali metropolitane, l'estensione di cavi in fibra ottica supera i 10 mila chilometri.

Nella tabella 3 è riportata la consistenza di fibra ottica nelle diverse aree territoriali in cui è stato suddiviso il nostro Paese⁷.

Telecom Italia intende oggi sviluppare ulteriormente questo patrimonio tramite una strategia basata su tre elementi principali:

- *sviluppo dei portanti in fibra ottica per il completamento dell'infrastruttura di anelli metropolitani* che costituisce l'infrastruttura delle grandi arterie della capacità di comunicazione e di accesso ai servizi ed ai contenuti multimediali metropolitani, nazionali e internazionali;
- *cablaggio fino agli edifici, FTTB (Fiber To The Building) mirato ai clienti Business* o a grandi isti-

tuzioni nazionali o locali con rilevanti esigenze di capacità di trasporto dell'informazione, non gestibili con l'accesso in rame anche se reso sensibilmente più esteso con l'impiego delle tecnologie xDSL;

- *offerta di servizi a larga banda basati su sistemi ottici a tutti quei clienti, Residenziali o SOHO (Small Office Home Office) che si trovano negli edifici e nelle aree dove arriva la fibra giustificata dalla presenza di un cliente Business*⁸.

Il piano di cablaggio mirato ai clienti Business è in corso da alcuni anni. Dopo aver concluso il progetto "Socrate", come si è già avuto modo di ricordare, è stata avviata l'iniziativa di *cablaggio ottico competitivo* basata sull'individuazione dei clienti - che presentano l'esigenza di trasportare una banda maggiore ma che sono ancora connessi alla rete attraverso portanti in rame - e sul cablaggio in fibra ottica degli stessi.

Territori	km cavo in f.o.	km
Piemonte e Valle D'Aosta	500	38.324
Milano	1.226	75.662
Lombardia (escluso Milano)	598	23.394
Nord Est (Veneto, Trentino, Friuli)	1.662	72.623
Centro Nord (Emilia, Marche e Umbria)	1.447	71.879
Centro 1 (Toscana e Liguria)	643	46.818
Roma	2.762	146.462
Centro 2 (Lazio, Sardegna, Abruzzo e Molise)*	433	23.975
Sud 1 (Campania, Basilicata e Puglia)	1.017	49.903
Sud 2 (Sicilia e Calabria)	560	27.698
Totale	10.848	576.738
* Esclusa Roma		

Tabella 3

Consistenza dei portanti in fibra ottica di Telecom Italia nelle principali città del territorio nazionale.

Finora sono circa duemila le sedi connesse in fibra: sono sedi importanti dove spesso sono allocati i centri di calcolo di grandi Aziende o di Enti di rilievo (Industrie, Banche, Università, Assicurazioni). I sistemi trasmissivi oggi impiegati sono quelli SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) generalmente con una capacità di 155 Mbit/s simmetrica. Per le sedi che hanno l'esigenza di disporre di una banda più ampia sono utilizzati collegamenti a 622 Mbit/s e in qualche caso anche a 2,5 Gbit/s.

In base alla nuova strategia il piano di cablaggio ottico mirato ai clienti Business per il triennio in corso (2000-2002) è stato completamente ridefinito e mira a cogliere aspetti rilevanti quali:

- la rifocalizzazione, da parte di Aziende che operano in comparti diversi, di una significativa parte del loro *business system* secondo i principi della *economy* e quindi la ridefinizione dei principali processi interni, dei processi *business to business* e di quelli *business to consumer*, attraverso l'uso massiccio delle tecniche dei portal, dell'*Intranet* o dell'*Extranet*;

⁽⁷⁾ Il numero totale di km cavo in fibra ottica in Italia oggi disponibile nella rete di Telecom Italia (accesso e transito) è di circa 100.000 km per un numero di km f.o. (km cavo * numero di fibre nel cavo) pari a 2,3 milioni.

⁽⁸⁾ Esempio rimarchevole è quello di Milano, dove il progetto di cablaggio mirato della clientela più importante porterà entro il 2002 a circa 12 mila edifici connessi con portanti ottici. Considerando un numero medio di unità abitative pari a circa venti per ciascuno di questi edifici si ottiene un numero di famiglie indirizzabili verso questo tipo di accesso a larga banda di circa 240 mila, ossia oltre il 12 per cento della clientela di Milano.

- la necessità di rispondere in modo deciso alle iniziative di cablaggio da parte dei nuovi operatori oggi in fase di crescita;
 - la necessità, infine, di valorizzare al meglio il patrimonio in fibra ottica già oggi disponibile.
- Questi aspetti rendono necessaria una significativa accelerazione all'iniziativa di cablaggio qui descritta almeno nelle principali città a partire, naturalmente, da Milano e Roma.

	2000	2001	2002
Accessi FTTB	1.000	7.000	22.000
Banda FTTB (Gbit/s)	4	25	100

Tabella 4 Sviluppo degli accessi FTTB e relativa banda raccolta.

3.2.2 Piano di sviluppo degli accessi Fiber To The Building

In accordo con i principi ora enunciati, è stato elaborato un piano di cablaggio finalizzato a raggiungere in tre anni 22 mila nuove sedi di clienti importanti (delle quali circa mille nell'anno in corso) ed a potenziare l'infrastruttura ottica ad anello in rete di accesso. Nell'ambito di tale iniziativa - oggi già in fase operativa - Telecom Italia impiegherà sia la tecnologia di trasporto SDH (già da alcuni anni utilizzata nella rete di trasporto), che costituisce lo strato di base sul quale portare rapidamente e in maniera affidabile il traffico IP, sia il trasporto di flussi IP immessi direttamente su portante ottico con l'obiettivo di rendere minimi i costi per singola sede.

Lo sviluppo di accessi FTTB nel triennio 2000-2002 è indicato nella tabella 4, nella quale è riportata anche la banda totale richiesta nell'accesso.

	2000	2001	2002
Località	25	50	70
Centrali	115	200	600
Rete di accesso in fibra ottica (kmfo)	25.000	70.000	180.000

Tabella 5 Crescita degli accessi FTTB e sviluppo della rete di accesso in fibra ottica.

Questo sviluppo richiede di rendere ottimo l'investimento unitario per edificio (o per connettersi alla sede del cliente Business); tenendo conto dell'accesso e del trasporto, dovrebbe basarsi sui 40 milioni per sede per un totale, nei tre anni, di circa 1000 miliardi.

La diffusione degli accessi FTTB è prevista in accordo con le quantità indicate nella tabella 5.

Le località passeranno dalle 25 del 2000 alle 50 del 2001 fino alle circa 70 del 2002.

La dimensione delle iniziative di cablaggio che saranno realizzate nello stesso triennio vedrà quasi raddoppiare la consistenza attuale di cavi ottici in rete di accesso, portandola da circa 400 mila a circa 700 mila chilometri di fibra ottica.

Il progressivo cablaggio di un numero così significativo di sedi - e quindi di edifici - renderà conveniente l'utilizzo di sistemi ottici anche per offrire connettività a larga banda alla clientela SOHO e Residenziale presente negli stessi edifici. Gli investimenti per realizzare questa offerta sono infatti marginali rispetto a quelli necessari per portare la fibra ai clienti Business che continuerà naturalmente a essere l'obiettivo principale del cablaggio mirato. In questo modo sarà possibile fornire almeno 10 Mbit/s a ciascun cliente, impiegando sistemi di tipo LAN Ethernet adattati per un ambito non più solo locale ma geografico (LAN estesa).

Con questa capacità offerta al cliente in modo simmetrico è possibile integrare voce, video e dati, rendendo realizzabili servizi multimediali evoluti.

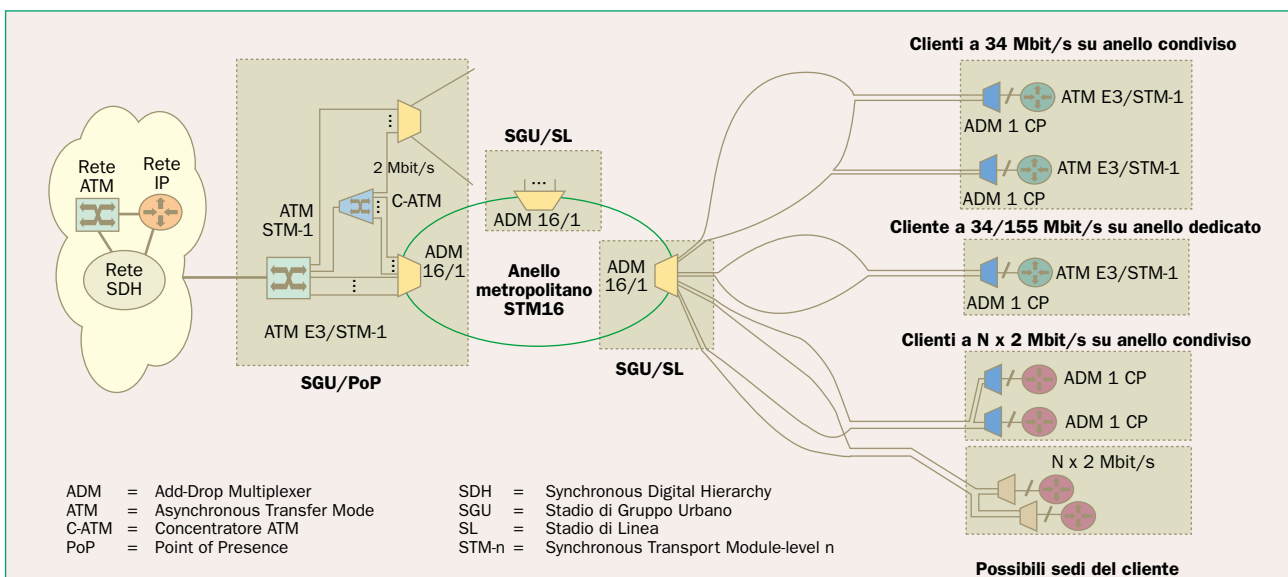


Figura 7 Architettura di riferimento per l'accesso FTTB del tipo SDH.

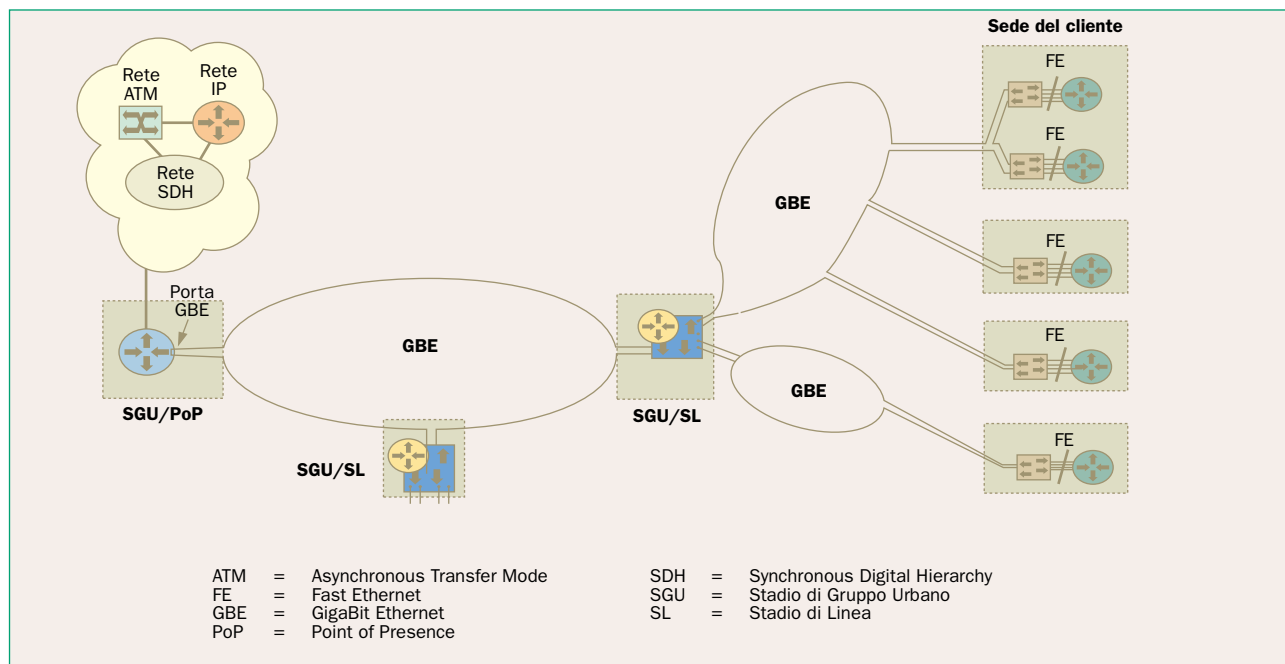


Figura 8 Architettura di riferimento per l'accesso FTTB del tipo LAN estesa.

L'architettura FTTB per la clientela Residenziale e Business proposta da Telecom Italia è indicata in figura 7 (soluzione SDH) e figura 8 (soluzione LAN estesa). La prima di queste due soluzioni prevede l'utilizzo di ADM (Add-Drop Multiplexer) 16/1 in centrale e di ADM 1 compatti presso la sede del cliente, mentre presso il PoP sono posti concentratori ATM per gli accessi N x 2 Mbit/s.

La soluzione con tecnologia LAN estesa è realizzata con anelli in fibra ottica che utilizzano tutti apparati LAN switch con interfacce GBE (GigaBit Ethernet), mentre presso le sedi dei clienti sono utilizzate interfacce FE (Fast Ethernet); in questo caso i servizi offerti sono tutti basati sul solo protocollo IP.

3.3 L'accesso "ibrido" a larga banda in fibra ottica e rame

Telecom Italia sta sviluppando una terza via per il trasporto di segnali a larga banda nell'accesso, basata su tecnologie ibride di rame e fibra che utilizzano il portante ottico negli anelli metropolitani della rete di accesso primaria e il portante in rame nell'ultimo "mezzo miglio".

È così possibile fornire accessi con velocità più elevate di quelle raggiungibili con ADSL. La tecnologia in oggetto prende il nome di VDSL (Very high bit-rate Digital Subscriber Line) e consente di portare al cliente una capacità trasmissiva che va dai 10 Mbit/s simmetrici ai 50 Mbit/s asimmetrici.

Il piano di sviluppo non è ancora definito. La sperimentazione estesa della tecnologia VDSL è stata avviata nell'anno in corso, nell'ambito della "piattaforma sperimentale permanente di rete" e vedrà le prime realizzazioni commerciali nel 2001.

Questi sistemi completeranno nel breve-medio termine le opzioni tecnologiche per portare la larga banda a una rilevante percentuale delle famiglie e delle aziende italiane. Gli investimenti unitari si pro-

spettano contenuti e confermano la validità della strategia descritta nel paragrafo precedente sull'impiego dei portanti in fibra ottica.

3.4 L'accesso "tradizionale" ai servizi on-line

Nell'ambito delle strategie di evoluzione verso la larga banda va considerato lo sviluppo della connettività on-line tramite le normali linee telefoniche POTS o ISDN: innanzitutto perché sono gli accessi numericamente di gran lunga più utilizzati e, in secondo luogo, perché la durata delle connessioni e la quantità di dati scambiata durante una generica connessione sta drasticamente crescendo a fronte di nuove esigenze di intrattenimento, di informazione on-line, di commercio on-line e di altre applicazioni che richiedono l'acquisizione di contenuti non solo testuali ma sempre più ricchi di immagini sofisticate e di brani audio.

L'impatto dello scenario in sensibile crescita sommariamente descritto è molto rilevante per la rete di transito sia a livello metropolitano sia a livello nazionale.

È prevedibile che il numero degli utilizzatori dei servizi on-line abbia uno sviluppo che dai 9 milioni previsti a fine 2000 condurrà a circa 18 milioni al 2004 (questa stima potrebbe essere ancora prudente). L'attività on-line, definita come "esigenze medie di banda di picco per singolo cliente legate al tempo di connessione e alla tipologia di servizi richiesti", cresce anch'essa velocemente.

Nella tabella 6 è riportata una stima delle quantità in gioco.

È opportuno notare che la stima si basa su un'ipotesi, oggi valida, secondo la quale il rapporto di concentrazione tra clienti e porte di accesso è di circa venti. Tuttavia la crescita delle applicazioni usufruibili on-line e le proposte tariffarie (in particolare quelle orientate a un canone fisso cosiddette flat), che

	2000	2001	2002
Clienti (mlni)	9	10,5	12,5
Porte dial-up (x1000)	100	125	150
kbit/s per porta	10	20	30
Banda complessiva generata (Gbit/s)	1	2,5	4,5

Tabella 6 Crescita del mercato degli accessi dial-up e principali grandezze caratteristiche.

incentiveranno comportamenti di connessione permanenti *always on* da parte dei clienti, potrebbero portare facilmente a un ulteriore incremento delle capacità di picco indicate in tabella.

4. Il Backbone per i dati

L'evoluzione dei servizi a larga banda in accesso indicata nei precedenti paragrafi porta a un'evoluzione considerevole delle reti dorsali dedicate al trasporto metropolitano, regionale ed a lunga distanza della nostra rete nazionale.

La tabella 7 riassume le necessità di banda in Gbit/s indotte sul Backbone dalle varie tipologie di accesso; si noti come i valori siano più bassi rispetto a quelli indicati in precedenza. Questa riduzione è dovuta principalmente a due fattori: la richiusura di una quota del traffico all'interno dei PoP e la moltiplicazione statistica del traffico sul Backbone.

Gbit/s	2000	2001	2002
Dial-up	1	2	3
ADSL+HDSL	6	25	65
FTTB	2	6	40
Totale	9	33	108

Tabella 7 Sviluppo della banda complessiva indotta sul Backbone dalle diverse tipologie di accesso.

Il confronto con la capacità oggi trasportata dalla rete, essenzialmente dovuta ai servizi tradizionali di fonia e dati dedicati (*circuiti diretti numerici*), è significativo in quanto il valore attuale è vicino ai 100 Gbit/s e presumibilmente è destinato a decrescere nel tempo.

L'esplosione della banda richiesta per le applicazioni on-line renderà necessario un significativo adeguamento della capacità della rete di trasporto che interesserà tutti gli strati di rete: quello infrastrutturale; di trasporto trasmissivo; di commutazione (*switching & routing*).

4.1 L'infrastruttura trasmissiva

La strategia di intervento legata all'evoluzione dell'infrastruttura trasmissiva si basa sullo sviluppo

dei portanti ottici e dello strato trasmissivo SDH e WDM che su esso si appoggia.

Nell'ambito della rete nazionale l'attuale livello di occupazione delle fibre ottiche (oltre il 65 per cento), nonché la tipologia delle fibre utilizzate - fibre che rispondono alla Raccomandazione G.653 dell'ITU/T e che non sono ottimali per un impiego dei nuovi sistemi ottici (WDM) - rendono necessari una serie di interventi di potenziamento. A questo scopo è allo studio la posa di un nuovo cavo ottico tra Milano e Palermo e uno tra Torino e Venezia con una potenzialità di almeno cento fibre ottiche conformi al nuovo standard indicato nella Raccomandazione G.655 dell'ITU/T.

La capacità aggiuntiva che tale realizzazione consentirà a regime, ossia quando tutte le coppie di fibre saranno equipaggiate con sistemi DWDM a 40 lunghezze d'onda - ciascuna delle quali illuminata con terminali di linea a 10 Gbit/s - raggiunge i 20 Tbit/s, che si aggiungerà alla capacità resa disponibile dalla rete trasmissiva nazionale attuale chiamata "Arianna"⁹.

4.2 L'infrastruttura di commutazione

Come si è precedentemente ricordato, l'evoluzione dei servizi di connettività di dati a larga banda è fortemente polarizzata dall'utilizzo di servizi IP.

A questo scopo è allo studio un'evoluzione della rete di transito di Interbusiness che consente di gestire i volumi di traffico attesi tenendo presente l'ottimizzazione degli investimenti. Questa evoluzione prevede una soluzione architettonica a stella con dodici PoP di transito e due PoP centro stella (a Roma e a Milano).

Ogni PoP centro stella sarà localizzato in una doppia sede per aumentarne la disponibilità, consentendo una più razionale ripartizione del bacino di competenza; in questo modo, ad esempio, il centro stella di Milano raccoglierà il traffico dei PoP di transito del nord Italia e altrettanto farà il nodo di Roma per il centro-sud.

L'incremento di banda previsto suggerisce inoltre altri vantaggi adottando soluzioni IP direttamente su SDH per la realizzazione dei collegamenti tra i PoP e lascia aperta la strada a ulteriori ottimizzazioni con l'introduzione del WDM.

L'utilizzo della tecnologia ADSL e la sua larga diffusione sul territorio rendono necessario anche un adeguamento della rete Atmosfera¹⁰ con l'introduzione (già in atto) di un nuovo dominio ATM. Questo dominio consente inoltre di offrire il controllo della qualità del servizio *QoS* (*Quality of Service*) che è alla base di ogni *SLA* (*Service Level Agreement*); sono anche attese soluzioni analoghe disponibili a breve per la piattaforma di rete IP. Il nuovo dominio ATM prevede quarantasette sedi periferiche *edge* e dodici sedi di transito.

⁽⁹⁾ Tbit/s = 10¹² bit/s.

⁽¹⁰⁾ Gli apparati di raccolta ADSL (MUX) utilizzano la tecnologia ATM; l'utilizzo di moltiplicatori ATM (MGX) è invece necessario per consentire di effettuare la concentrazione del traffico degli utenti RING (HDSL o FTTB).

4.3 Internet Data Center

Di recente, seguendo un modello di business già sperimentato con successo negli Stati Uniti e in diversi altri Paesi, è stato formulato un accordo tra Telecom Italia e IBM per la realizzazione di sette IDC (*Internet Data Center*) sul territorio nazionale entro il 2005 con l'obiettivo di fornire alle piccole e medie imprese italiane un'infrastruttura a banda larga in grado di ospitare tutti i servizi applicativi per Internet con una logica di chiavi in mano. Telecom Italia si propone così come partner privilegiato per offrire soluzioni di outsourcing che riguardano la connettività e la gestione dei servizi informatici peculiari delle singole Aziende.

Quest'anno saranno realizzati i primi due IDC, a Pomezia (Roma) e a Rozzano (Milano): si tratta di grandi centri (circa 2400 m²) ciascuno dei quali ospiterà oltre settemila server; all'interno essi saranno suddivisi in lotti (*field*) nei quali saranno forniti alle Aziende clienti *servizi di housing e hosting*. Dato il profilo di traffico atteso, prevalentemente legato ad applicazioni *B2B (Business to Business)* e *B2C (Business to Consumer)*, e date le dimensioni che essi presentano, gli IDC costituiranno centri di notevole aggregazione del traffico. È prevista perciò un'attestazione di essi alla rete Interbusiness mediante collegamenti a 2,5 Gbit/s protetti su doppia via diversificata.

5. Conclusioni

Alla luce di quanto esposto può essere concluso che Telecom Italia, con il Piano "Larga Banda" appena varato, si appresta a compiere un'importante trasformazione che la vedrà modificare il proprio core business da gestore telefonico (principalmente orientato all'offerta di servizi telefonici) a operatore di servizi dati principalmente impegnato a fornire non solo la semplice connettività trasmissiva, ma anche servizi a valore aggiunto alle imprese. L'impegno finanziario richiesto, pur essendo di notevole entità (circa 3000 miliardi nel triennio 2000-2002), risulta tuttavia sostenibile e giustificato dalla redditività degli investimenti previsti.

Questa nuova strategia consentirà alle Aziende del nostro Paese di recuperare competitività nell'ambito dei mercati emergenti ed a Telecom Italia di proporsi come protagonista di primo piano della "new economy".



Stefano Pileri si è laureato a Roma nel 1980 in Ingegneria Elettronica e si è specializzato in Elettromagnetismo Applicato nel 1981. Ha operato in SIP dal 1982 dove ha occupato responsabilità crescenti nell'ambito della Rete ed in particolare nel settore dei Sistemi di Gestione. È stato poi responsabile della Rete nel territorio dell'Emilia Romagna negli anni 1993-94. Nel 1996 ha assunto la responsabilità della Pianificazione e Sviluppo Clienti Rete nell'ambito della Divisione Rete di Telecom

Italia. Nel 1997 ha ricoperto l'incarico di Responsabile dell'Area Pianificazione e Sviluppo della Direzione Rete. Da marzo 1998 è il Responsabile della Direzione Rete di Telecom Italia SPA, e dal luglio 2000 opera con le stesse funzioni nell'ambito della Business Unit Wireline Services.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare gli ingegneri Cinzia Sternini e Camillo Bellomo per la collaborazione fornita nella redazione di questo testo.

Abbreviazioni

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ATU-C	ADSL Terminal Unit - Central office
ATU-R	ADSL Terminal Unit - Remote
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumer
CDN	Circuito Diretto Numerico
DSL	Digital Subscriber Loop
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
FE	Fast Ethernet
FTTB	Fiber To The Building
GBE	GigaBit Ethernet
HDSL	High bit rate Digital Subscriber Line
IDC	Internet Data Center
IMA	Inverse Multiplexing Access
ISP	Internet Service Provider
LAN	Local Area Network
MUX ADSL	MUltipleXer ADSL
OLO	Other Licensed Operator
PoP	Point of Presence
POTS	Plain Old Telephone Service
QoS	Quality of Service
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDSL	Simmetrical Digital Subscriber Line
SLA	Service Level Agreement
SOHO	Small Office Home Office
TAM	Terminazioni di Accesso Multiservizio
VC	Virtual Circuit
VDSL	Very high bit-rate Digital Subscriber Line
WDM	Wavelength Division Multiplexing

Bibliografia

- [1] Antonelli, F.; Petrini, L.: *Soluzioni di rete per l'offerta di servizi interattivi su sistemi ADSL*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 7, n. 3, dicembre 1998, pp. 61-70.
- [2] Di Biase, V.C.; Petrini, L.: *Realizzazione di reti di accesso con sistemi ADSL*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 7, n. 3, dicembre 1998, pp. 71-80.

L'internazionalizzazione di Telecom Italia

La Rete Internazionale di Telecom Italia

GIANFRANCO CICCARELLA
OSCAR CICHETTI

La progressiva liberalizzazione dei mercati e l'affermarsi di continue innovazioni tecnologiche hanno caratterizzato lo scenario internazionale nel settore delle telecomunicazioni e hanno favorito lo sviluppo di nuovi modelli di business, che fanno riferimento a una segmentazione del mercato molto spinta, con una netta distinzione tra servizi wholesale e servizi retail e che sono basati su innovative architetture di rete e di nodo ora tecnicamente realizzabili.

La liberalizzazione consente infatti la raccolta, l'instradamento e la terminazione del traffico internazionale con modalità che sono alternative agli accordi bilaterali tra corrispondenti e che richiedono l'utilizzo di reti "cross-border" proprietarie di tipo multi-servizio (backbone regionali). È stata così favorita una transizione da un ambiente monopolistico di tipo "integrato", con prodotti "bundled" - per i quali cioè non esisteva una netta separazione tra wholesale e retail, con prezzi "regolati" e con una competizione molto limitata (per esempio ai circuiti e al traffico di transito) - a un ambiente in cui, a causa della competizione, l'offerta dei servizi di telecomunicazione internazionali progressivamente si differenzia e nasce un mercato wholesale specializzato per la banda ed i servizi, per il quale il time-to-market, il costo e la qualità diventano fattori di successo. Come conseguenza dell'evoluzione del modello di business, anche l'architettura della Rete Internazionale di Telecom Italia è ora in una fase di profondo cambiamento: i collegamenti bilaterali sono gradualmente integrati da backbone regionali multiservizio nelle aree dell'Europa, del bacino del Mediterraneo, del nord-Atlantico e dell'America Latina, dove è prevalente l'interesse strategico di Telecom Italia, anche per la presenza di Società Partecipate.

L'introduzione di una nuova piattaforma di rete integrata multiservizio permette inoltre il superamento delle attuali reti specializzate per servizio (voce, dati, IP, ATM) e non solo garantisce gli obiettivi di riduzione dei costi unitari (il costo medio annuo del Mbit/s "venduto" diminuisce del 68 per cento dal 1999 al 2002), ma anche consente una gestione flessibile e mirata della qualità nella fornitura dei servizi.

1. Lo scenario di riferimento

Il nuovo assetto normativo e regolatorio nel settore delle telecomunicazioni ha determinato profondi cambiamenti nel modello di business internazionale dei gestori tradizionali e ha consentito l'ingresso di nuovi entranti (*network provider, network operator, service provider*), sia nel settore dei servizi che in quello delle infrastrutture. In Europa questo processo è stato avviato nel 1996 allorché è stata data la possibilità a nuovi operatori di vendere capacità e, successivamente, nel 1998 è stato aperto alla competizione l'intero mercato della telefonia vocale: da allora Yankee Group [1] valuta che siano attivi quasi seicento provi-

der di telefonia internazionale, con il correlato fabbisogno di connettività pan-europea.

Il numero di carrier operanti nel mercato wholesale internazionale nei quattro principali Paesi europei (Gran Bretagna, Francia, Italia, Germania) si è poi triplicato dal 1997 al 1999 passando da un centinaio a circa trecento.

Il modello di business degli operatori internazionali tradizionali è basato su collegamenti bilaterali (mezzi circuiti) e sul meccanismo delle *TAR (Total Accounting Rate)*. Questo modello presenta una elevata prevalenza dei costi "commerciali" (TAR) rispetto a quelli di rete e regola i pagamenti per la terminazione del traffico sulle reti estere di destinazione in base allo

sbilanciamento tra il traffico entrante e quello uscente.

La figura 1 mostra l'architettura della rete internazionale di Telecom Italia alla fine del 1999: la rete ha una topologia a stella e l'87 per cento della banda acquisita è di tipo bilaterale.

1.1 Nuove modalità di gestione del traffico internazionale

Con il processo di liberalizzazione e di deregulation dei servizi, la raccolta, l'instradamento e la terminazione del traffico internazionale possono essere realizzati adottando modalità alternative agli accordi bilaterali tra corrispondenti (vedi i riquadri riportati in questo articolo).

È possibile effettuare ad esempio la consegna del traffico (*call delivery*) su circuiti privati internazionali, gli IPLC (*International Private Leased Circuit*), connessi a operatori nazionali, oppure realizzare reti cross-border e avere nodi di commutazione in altri Paesi.

In questi casi si parla rispettivamente di modello *ISR* (*International Simple Resale*) e di *break-out* e il costo non è più basato sulle TAR, ma sul costo di terminazione e su quello di interconnessione nazionale.

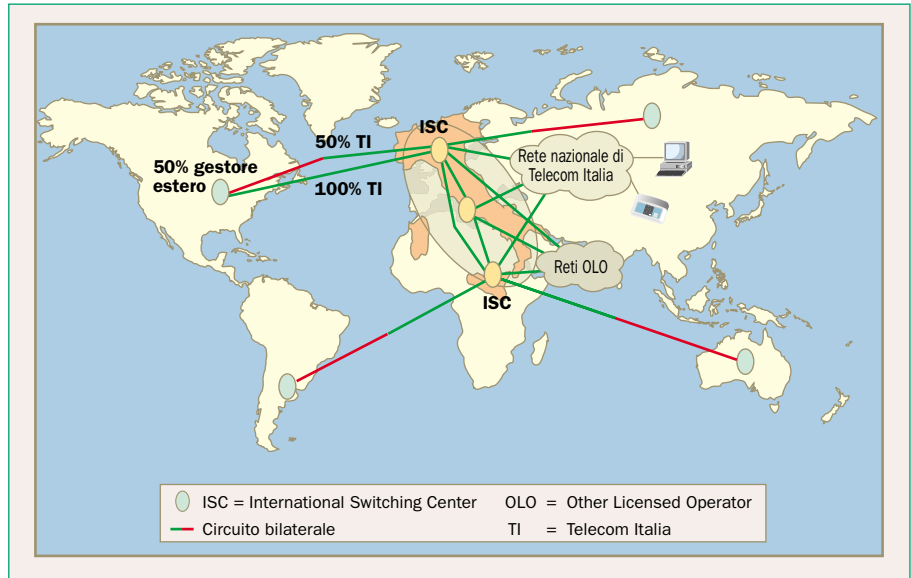


Figura 1 L'architettura della rete internazionale di Telecom Italia nel 1999.

TeleGeography 2000 analizza alcune nuove possibili opzioni [2], disponibili per un *International Service Provider*, valutando il costo di una chiamata telefonica tra New York e Berlino (il cui prezzo retail è pari a 0,20 \$/min) secondo quattro modalità:

- a) *relazioni bilaterali tradizionali tra carrier (carrier settlement)*: 0,121 \$/min (di cui 0,021 per l'acquisizione del traffico dal carrier locale negli Stati Uniti e 0,10 per la TAR, cioè per la consegna in

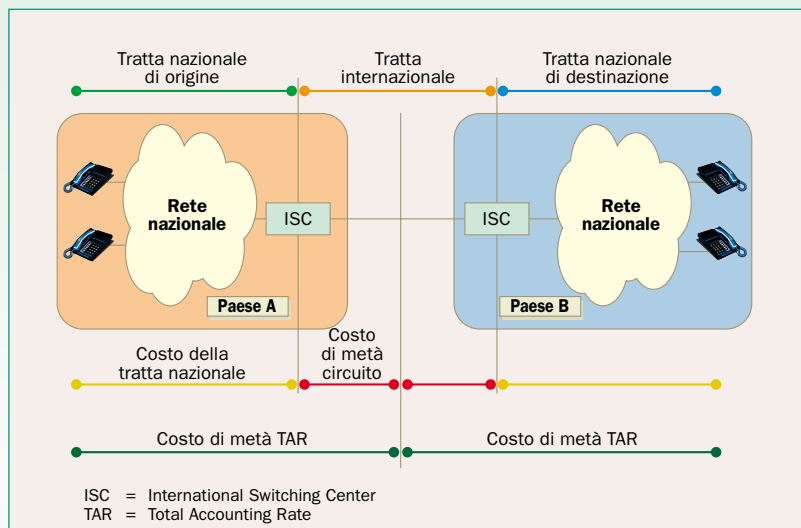
MODALITÀ DI RACCOLTA, INSTRADAMENTO E TERMINAZIONE DEL TRAFFICO INTERNAZIONALE

MODELLO TRADIZIONALE

Le componenti di costo di una chiamata internazionale tra un cliente del Paese A e uno del Paese B sono date da¹:

- costi di rete (17 per cento):
 - costo della tratta nazionale;
 - costo del mezzo circuito internazionale;
- costo commerciale (83 per cento):
 - costo di metà TAR per la consegna del traffico alla rete estera di destinazione.

Nel modello tradizionale il costo del circuito internazionale è condiviso dai due operatori che terminano reciprocamente il traffico sulle proprie reti.



¹⁾ I valori si riferiscono alla commessione New York - Berlino, riportati in "TeleGeography 2000" [2].

MODALITÀ DI RACCOLTA, INSTRADAMENTO E TERMINAZIONE DEL TRAFFICO INTERNAZIONALE

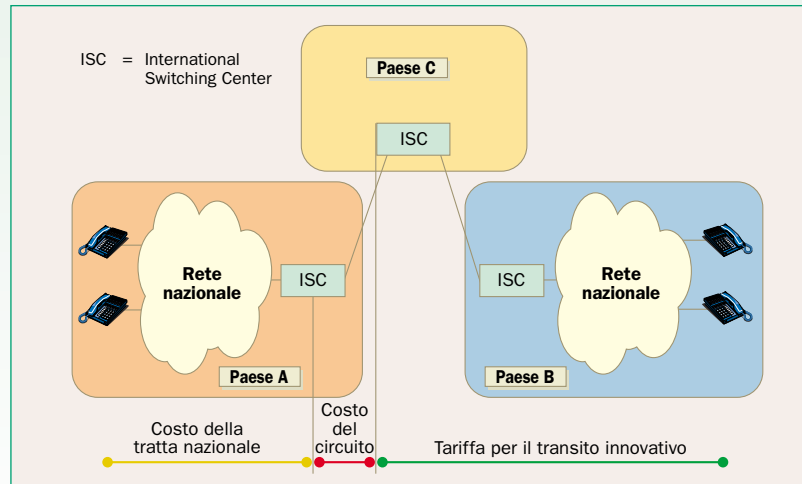
VIRTUAL TRANSIT SERVICE

La consegna di traffico da un carrier del Paese A a uno del Paese B tramite “transito innovativo”, VTS (*Virtual Transit Service*), si basa sull'utilizzo di un carrier intermediario (in questo caso nel Paese C) che consegna il traffico alla rete di destinazione.

Rispetto al modello tradizionale l'operatore VTS del Paese C offre una tariffa di transito a un prezzo più basso rispetto a metà TAR tra il carrier del Paese A e quello del Paese B e alla tariffa di transito tradizionale.

Le componenti di costo di una chiamata internazionale tra un cliente del Paese A e un cliente del Paese B sono date da¹:

- costi di rete (39 per cento):
 - costo della tratta nazionale;
 - costo di un circuito internazionale verso un carrier VTS, che può essere a carico di una delle due parti oppure suddiviso a metà tra le due parti;
- costo commerciale (61 per cento):
 - tariffa per il transito virtuale da parte del carrier VTS.



¹) I valori si riferiscono ai prezzi tra carrier relativi alla connessione New York - Berlino.

Germania. In queste valutazioni è considerato trascurabile il costo marginale del mezzo circuito transatlantico di proprietà);

- b) *utilizzo di wholesale carrier (wholesale for resellers)*: 0,07 \$/min (la tariffa wholesale comprende tutti i costi end-to-end);
- c) *International Simple Resale (ISR)*: 0,059 \$/min (di cui 0,021 per l'acquisizione del traffico dal carrier locale negli Stati Uniti; 0,011 per l'affitto di un circuito privato internazionale e 0,027 per l'interconnessione in Germania);
- d) *interconnessione nel Paese di destinazione (carrier interconnect)*: 0,05 \$/min (di cui 0,021 per l'acquisizione del traffico dal carrier locale negli Stati Uniti e 0,027 per l'interconnessione in Germania). È considerato trascurabile il costo marginale del circuito transatlantico in proprietà).

I nuovi operatori (*newcomer*) entrano così nel mercato con prezzi competitivi, sfruttando le modalità innovative di effettuare la consegna del traffico, che utilizzano reti non tradizionali e il differenziale esistente fra il livello di costo delle TAR ed i costi di terminazione e di interconnessione.

La riduzione dei costi commerciali (ad esempio di terminazione) fa sì che per questi nuovi modelli di business i costi di rete diventano sempre più significativi. Per ridurre i costi e per far fronte alla competizione sui prezzi da parte dei nuovi entranti anche gli operatori tradizionali (*incumbent*) adottano modalità

innovative di consegna del traffico.

1.2 Evoluzione del modello di business

La liberalizzazione dei servizi, oltre all'abbattimento generalizzato dei prezzi, favorisce anche la focalizzazione dell'offerta su tipologie di servizio specifiche e una segmentazione del mercato.

Si è così passati da un ambiente monopolistico di tipo “integrato”, con prodotti *bundled*, per i quali cioè non esisteva una netta separazione tra wholesale e retail, con prezzi “regolati” e una competizione assai limitata (per esempio ai transiti), a un nuovo scenario in cui, a causa della competizione, le differenze tra wholesale e retail si accentuano e in cui il *time-to-market* e quindi flessibilità, costo e qualità della rete diventano fattori di successo.

I mutamenti di scenario impongono perciò a tutti i vecchi e nuovi operatori un riposizionamento strategico nell'ambito della nuova catena del valore (figura 2). Questo processo comporta anche l'integrazione oppure la specializzazione e la focalizzazione per specifici settori di business: alcuni operatori intervengono infatti sull'offerta di prodotti e servizi innovativi a livello applicativo (quali ad esempio i servizi IP, i portali, gli *Internet Data Center*, gli *Application Service*). Altri aggredivono il mercato delle infrastrutture e della capacità.

Profonde modifiche sono state apportate anche al

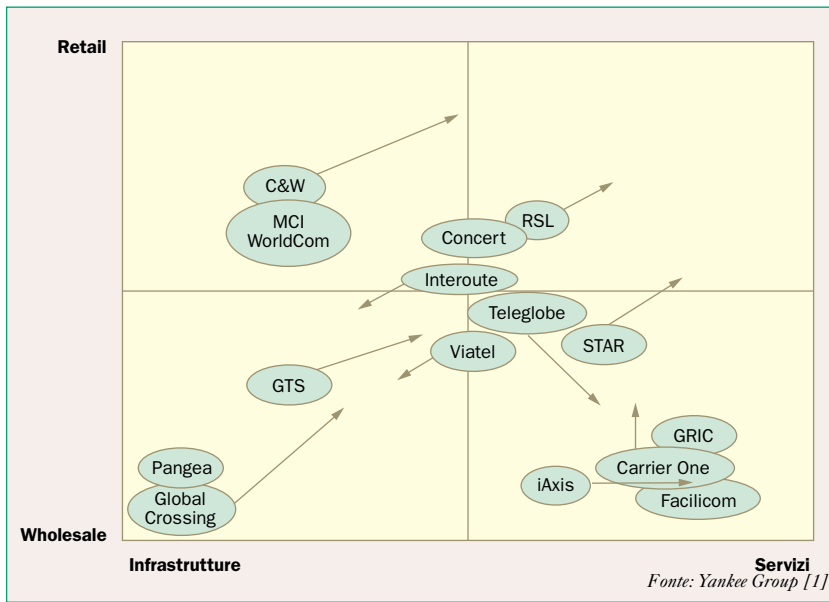


Figura 2 Posizionamento di alcuni operatori.

campo delle infrastrutture: si è così passati dai cavi consortili a Società che realizzano reti proprietarie di tipo transnazionale. Tali Società si propongono come *Wholesale Bandwidth Provider* e come *Internet Connectivity Service Provider*, offrono connettività internazionale *city-to-city* (banda o fibra scura) e hanno un target di clientela che oramai si presenta molto diversificato: quali ad esempio operatori di telecomunicazioni internazionali, nazionali, locali; Internet Service Provider; operatori di Cable TV.

TeleGeography 2000 [2] stima una crescita media annua del 14 per cento dal 1998 al 2002 per il traffico di fonia internazionale e, nonostante nello stesso periodo si preveda che i prezzi per minuto diminuiscano dell'11,7 per cento all'anno, i ricavi avranno comunque un incremento (anche se contenuto: 0,6 per cento all'anno), con un valore globale di ricavi al 2002 valutato intorno ai 70,7 M.di \$ per complessivi 157,1 M.di di minuti.

Nello stesso periodo, secondo stime di Ovum [3], la domanda globale di capacità internazionale per IP passa da 115 Gbit/s nel 2000 a 744 Gbit/s nel 2002, con una incidenza percentuale sul valore globale che passa dal 46 per cento del 2000 al 69 per cento al 2002: nella stessa stima viene ipotizzato che al 2005 la capacità per IP sarà circa sette volte maggiore di tutti gli altri traffici (voce e dati) presi assieme. In Europa, Yankee Group [1] stima che il mercato wholesale per voce e dati crescerà da 1,89 M.di \$ nel 1998 a 5,66 M.di \$ nel 2002

con una crescita media annua pari al 26 per cento. Una porzione notevole di tale segmento (intorno al 23 per cento) è rappresentata dal traffico mobile internazionale: nell'Europa occidentale si prevede che i clienti mobili crescano infatti da 91,9 milioni del 1998 a circa 290 milioni nel 2003.

La nascita di un business wholesale internazionale offre nuove opportunità per Telecom Italia in termini di ricavi, di sinergie con le Partecipate, di riduzione dei costi di trasporto e di creazione del valore.

Una presenza significativa nel business wholesale richiede però allo stesso tempo una revisione dell'architettura di rete e dei sistemi di gestione per conseguire livelli di flessibilità, qualità e costo conformi alle esigenze nuove e diversificate del mercato.

La rete internazionale di Telecom Italia deve quindi trasformarsi in uno strumento di vantaggio competitivo che, basandosi sulle nuove tecnologie di trasporto e gestione, consenta di integrare i servizi di fonia, dati e multimediali (rete multiservizio) e porti ad una significativa riduzione dei costi. L'architettura della rete internazionale in questo nuovo scenario non è più la stella di collegamenti bilaterali punto-punto, ma deve essere basata su backbone multilaterali che abbiano un'estensione regionale (che interessino ad esempio l'Europa, l'America Latina o il Mediterraneo) e che sostituiscano in futuro - in parte o del tutto - i collegamenti bilaterali. I nodi dei backbone saranno collegati tramite anelli in fibra ottica di capacità molto elevata, basati su tecnologia DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) e veicoleranno le diverse tipologie di

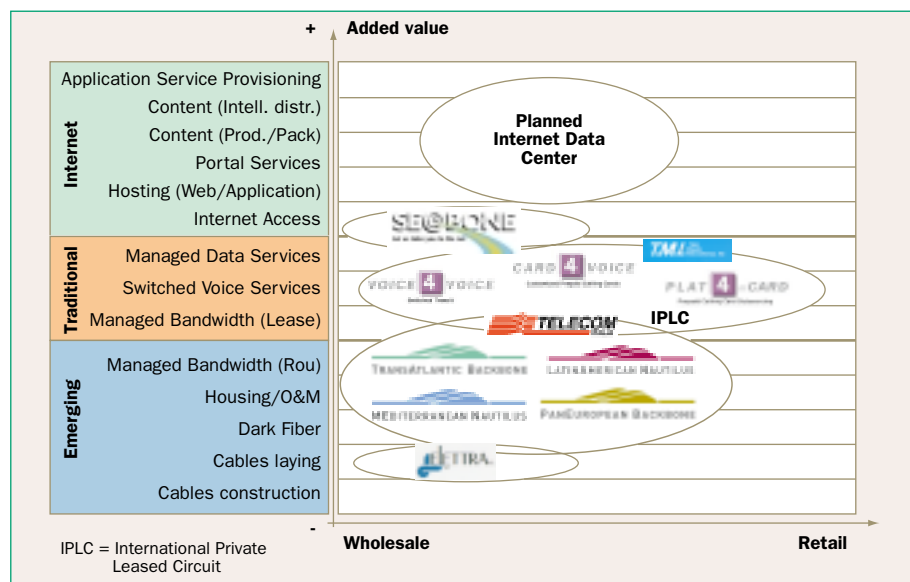


Figura 3 Posizionamento di Telecom Italia.

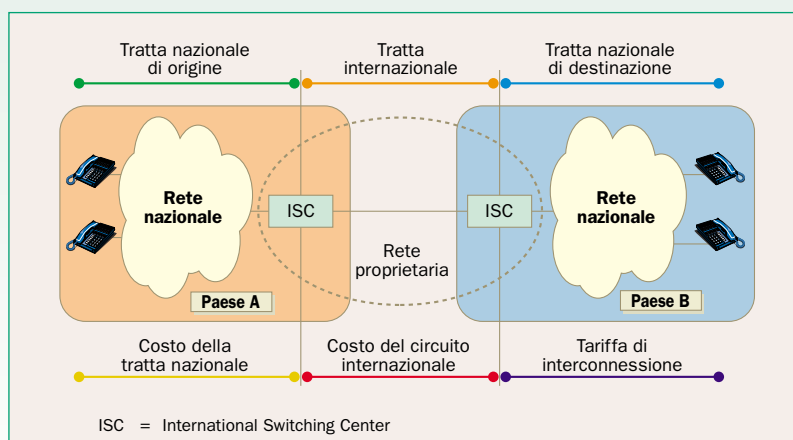
MODALITÀ DI RACCOLTA, INSTRADAMENTO E TERMINAZIONE DEL TRAFFICO INTERNAZIONALE

BREAK OUT

Il break out consiste nel portare il traffico fino al Paese estero di destinazione tramite una rete internazionale proprietaria, con collegamenti cross-border e con l'impiego di PoP nei Paesi di destinazione.

Le componenti di costo di una chiamata internazionale tra un cliente del Paese A e uno di B sono date da¹:

- costi di rete (44 per cento):
 - costo della tratta nazionale;
 - costo del circuito internazionale intero;
- costo commerciale (56 per cento):
 - tariffa di interconnessione alla rete nazionale (prezzo di consegna).



¹) I valori si riferiscono alla connessione New York - Berlino, riportati in "TeleGeography 2000" [2].

traffico su un'unica rete multiservizio con commutazione a celle con pacchetti (*cell/packet switching*). La gestione della rete e dei servizi sarà centralizzata e dovrà consentire di assegnare la qualità specifica per cliente e per servizio.

La figura 3 riporta il posizionamento attuale della Business Unit "International Operations" di Telecom Italia nella catena di valore delle telecomunicazioni. La copertura del business dei servizi internazionali spazia dalla gestione delle infrastrutture (posa e manutenzione di cavi sottomarini con la Società Elettra) ai servizi di Web hosting; in questa filiera un ruolo cardine sarà svolto naturalmente dai backbone in corso di realizzazione che costituiscono di fatto la piattaforma di base dell'intera offerta.

La Business Unit si sta muovendo verso i Servizi Dati Wholesale internazionali, cioè sta focalizzando la propria attività verso la realizzazione di Internet Data Center per offrire servizi di *co-location*, *Web hosting* ed *application service provisioning*.

2. Architettura della rete internazionale

L'interconnessione tra gestori di diversi Paesi avviene tradizionalmente, come è stato già rilevato nel primo paragrafo, tramite collegamenti bilaterali tra centrali di commutazione internazionali denominate *ISC (International Switching Center)*.

L'architettura consolidata della rete internazionale è quindi caratterizzata da una topologia a stella in cui i collegamenti partono da ogni ISC verso un certo numero di altri ISC che si trovano in altri Paesi (figura 4).

Questo schema è valido in un contesto di gestione della rete in monopolio, nel quale i due gestori interconnessi suddividono i costi dei collegamenti internazionali e ottengono un pagamento attraverso il meccanismo delle TAR, già accennato nel primo paragrafo.

Nella rete tradizionale la tecnologia prevalente a livello di nodo è quella a commutazione di circuito: i nodi sono costituiti da autocommutatori dedicati al

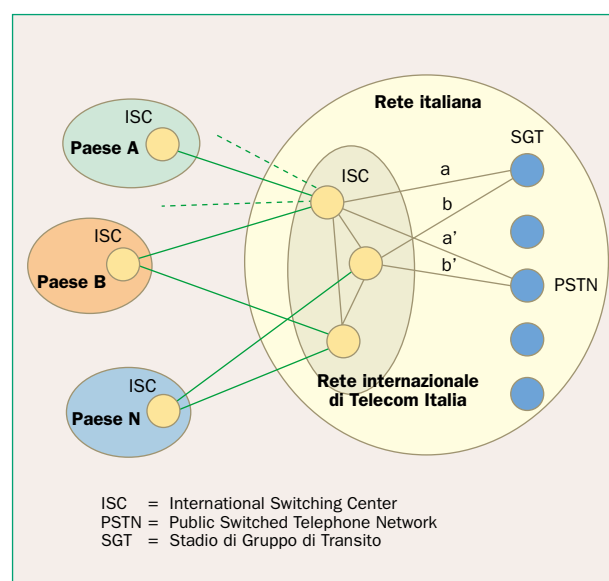


Figura 4 Architettura della rete internazionale tradizionale.

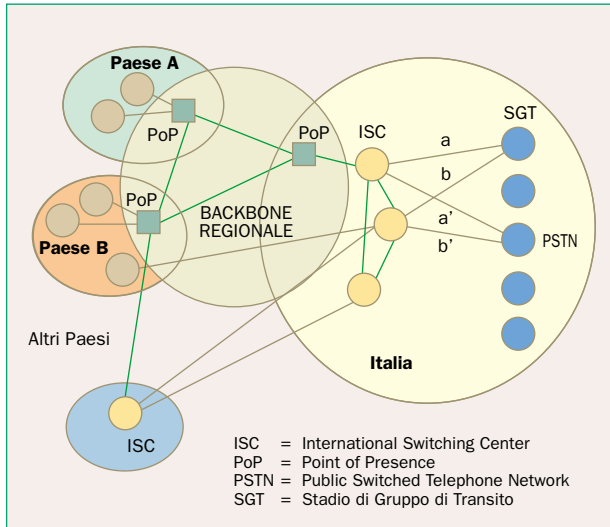


Figura 5 Nuova architettura della rete internazionale.

traffico telefonico, sicuramente dominante oggi, in termini di volumi (nella rete internazionale di Telecom Italia, alla fine del 1999, il 73 per cento dei circuiti era utilizzato per fonia).

Nel tempo a questa rete si sono affiancate altre reti specializzate per differenti tipologie di servizi dati (X.25, Frame Relay, connettività ATM, IP). La specializzazione per servizio delle reti tradizionali e la forte dipendenza dall'hardware degli apparati del software (piattaforme proprietarie) - che realizza e controlla i servizi - rendono alti i costi e molto lunghi i tempi per introdurre nuovi servizi.

Il progressivo consolidamento di nuove modalità di consegna del traffico e la conseguente probabile eliminazione delle TAR, mettono in crisi il modello tradizionale e portano ad un superamento di esso verso una nuova architettura di rete.

Si è oggi perciò in una fase di transizione in cui, almeno per gli operatori tradizionali, convivono nuove modalità di trasporto e di terminazione del traffico con collegamenti bilaterali.

2.1 Evoluzione dell'architettura della rete

Il nuovo modello di business internazionale comporta il passaggio ad un'architettura di rete che consenta di svincolarsi progressivamente dalle relazioni bilaterali e dalla negoziazione con gli operatori nazionali e che permetta la fornitura end-to-end dei servizi in modo flessibile, centralizzato, a basso costo e con qualità legata al prezzo.

La nuova architettura di

rete è basata su backbone regionali proprietari multi-laterali (figura 5) che si affiancano ai tradizionali collegamenti bilaterali. I nodi, PoP (Point of Presence), sono di tipo multiservizio (per voce, dati e IP), integrano cioè le funzioni di commutazione per la fonia e di instradamento per i dati, sono distribuiti in ambiti geografici ritenuti strategici e sono interconnessi tramite collegamenti ottici con capacità molto elevata. Per questi backbone il costo della rete e le funzionalità dei sistemi di gestione - dagli NSS (Network Support System) ai BSS (Business Support System) - diventano i principali elementi di successo. In particolare il costo di queste nuove reti, integrate per voce e dati, è significativamente più contenuto di quello delle reti tradizionali (reti legacy).

Negli ultimi anni l'evoluzione tecnologica è stata uno dei motori fondamentali per la riduzione dei costi: sono stati messi a punto sviluppi significativi della tecnologia ottica nelle trasmissioni, in particolare il DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), e l'integrazione delle tecniche di commutazione a circuito ed a pacchetto (basata su piattaforme IP su ATM). Quest'evoluzione ha anche permesso di introdurre nuove funzionalità nei sistemi di gestione, determinanti per poter realizzare nuovi modelli di business.

L'affermazione della tecnologia DWDM nei collegamenti trasmissivi, sia terrestri che sottomarini, permette di moltiplicare canali ottici a elevatissima capacità su un'unica coppia di fibre (oggi sono in esercizio sistemi a 40 λ a 10 Gbit/s ciascuna).

Questa crescita sensibile della capacità è risultata naturalmente di particolare interesse nei collegamenti sottomarini che trasportano elevate quantità di traffico e sono generalmente impiegati nelle reti internazionali. L'evoluzione della capacità trasmissiva su questi portanti è indicata in figura 6.

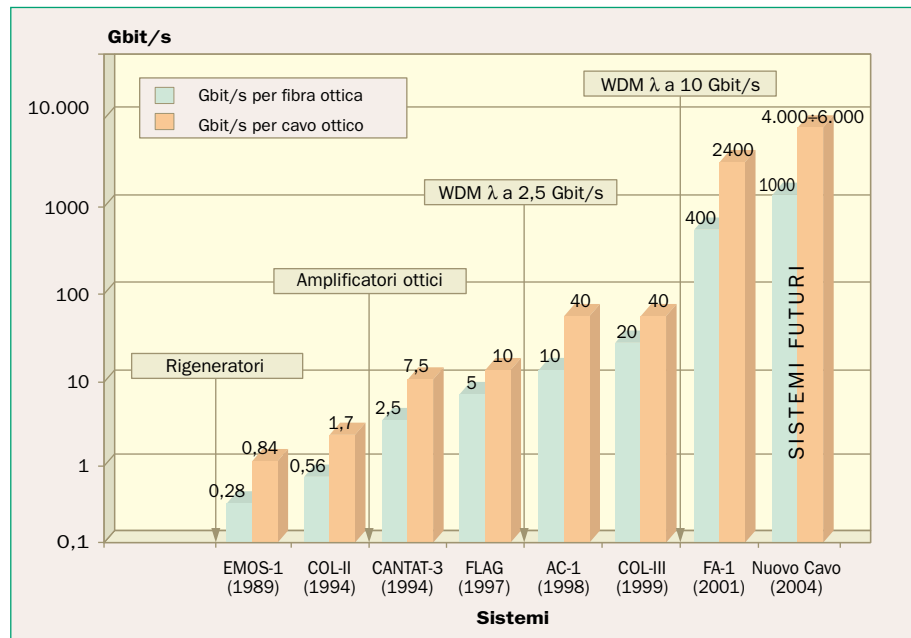


Figura 6 Evoluzione della capacità trasmissiva nei cavi sottomarini in fibra ottica.

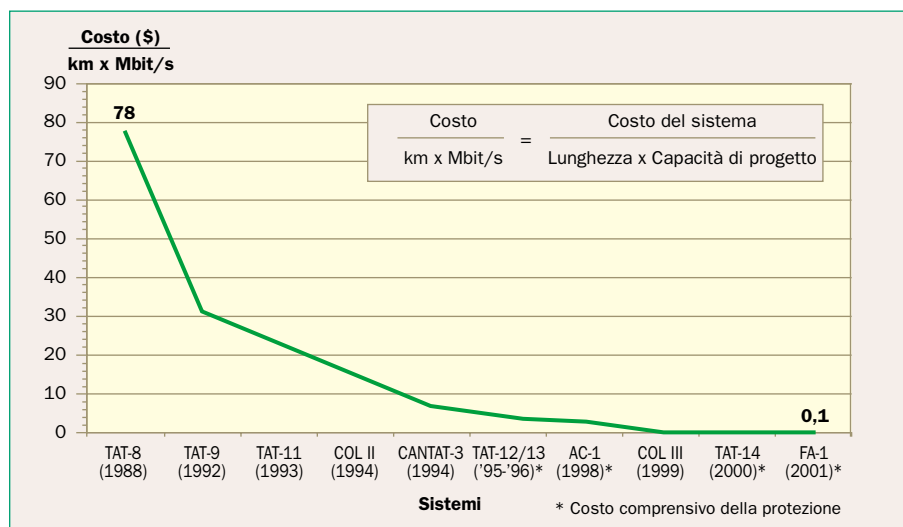


Figura 7 Riduzione di costo della banda per i sistemi transatlantici.

In un sistema ottico DWDM i costi della banda si riducono in modo significativo in funzione del numero di lunghezze d'onda trasportate.

Diminuiscono così i "costi di ingresso" nel mercato wholesale per i nuovi operatori che possono disporre di capacità a prezzi sempre più bassi. Nel caso dei collegamenti transatlantici, le tecnologie ottiche hanno infatti portato a una riduzione esponenziale del costo unitario di banda espresso in Mbit/s/km per i diversi sistemi messi in servizio nel corso dell'ultimo decennio (figura 7).

Per quanto riguarda i nodi di commutazione, due sono state le principali innovazioni: la prima è relativa alla separazione tra le funzioni di trasporto dell'informazione e quelle di controllo e di gestione dei servizi. Questa evoluzione architetturale è basata sulla realizzazione di "piattaforme" aperte in cui l'intelligenza necessaria per la gestione dei servizi (*software*) non risiede nei nodi di commutazione, ma in server specializzati il cui sviluppo trae beneficio dalle nuove possibilità tecniche legate all'Information Technology.

Diventano quindi evidenti i vantaggi economici, poiché sono mediati i costi di sviluppo del mondo delle telecomunicazioni - tradizionalmente alti perché legati all'adozione di soluzioni software "chiuse" - con quelli del trattamento delle informazioni, in continuo calo perché basati su piattaforme hardware e software "aperte".

La seconda innovazione di rilievo introdotta nei nodi di commutazione riguarda l'integrazione delle tecniche di commutazione a circuito ed a pacchetto, che consente di realizzare nodi multiservizio e reti integrate per fonia e per dati.

La figura 8 mostra che il rapporto tra le prestazioni e il costo dello "switching" raddoppia:

- ogni 80 mesi per le centrali tradizionali;
- ogni 40 mesi per i nodi ATM;
- ogni 20 mesi per i router IP.

Considerazioni analoghe a quelle qui indicate per i nodi valgono per i sistemi di gestione: in un contesto altamente competitivo - quale quello internazionale - per l'offerta wholesale risultano essenziali sistemi che, per quanto riguarda le funzioni di rete, siano in grado anzitutto di instradare il traffico su una base origine-destinazione, cioè di gestire in modo differenziato per ogni cliente (*origine*) le modalità di instradamento sulle diverse opzioni di terminazione (*destinazione*) in funzione di obiettivi mirati di qualità e di costo.

I sistemi devono poi consentire di modificare in modo flessibile i piani di instradamento, per permettere di ottenere una qualità "adeguata" e per ridurre i costi di consegna del traffico (*outpayment*): questa funzione consente di agire sui nodi di commutazione e di variare con tempestività l'instradamento dei traffici in modo correlato al rapporto tra qualità e costo delle offerte commerciali.

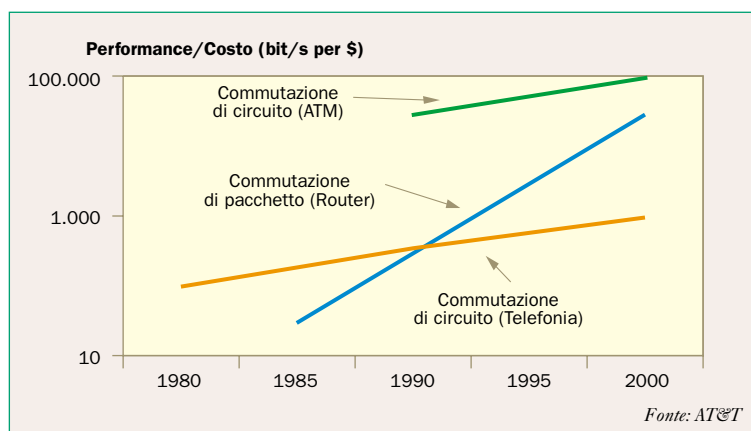


Figura 8 Performance/Costo per differenti tecnologie di commutazione.

I sistemi di gestione devono infine permettere di gestire indifferentemente traffico IP, voce e fonia su IP, *VoIP (Voice over IP)*: questa prestazione consente di interconnettere la rete internazionale in modo integrato e ottimale con le diverse reti dei clienti o dei fornitori indifferentemente dalle tecnologie da essi adottate.

I sistemi di gestione devono quindi disporre di nuove funzioni che consentano di effettuare:

- l'analisi e l'instradamento dei traffici in ottica servizio-cliente-qualità;
- la gestione "ottima" delle risorse di rete e dei costi per servizio-cliente-qualità;
- la supervisione della disponibilità delle risorse e del grado di utilizzazione.

2.2 Aspetti di gestione

Per diversificare l'offerta di servizi wholesale e per soddisfare ogni possibile esigenza messa in luce dal mercato, un fattore di successo risulta essere l'ottimizzazione degli instradamenti finalizzata a una riduzione generalizzata dei costi di terminazione del traffico: è importante quindi disporre di tecniche di instradamento che realizzino il miglior compromesso tra tutte le possibili combinazioni ottenibili tra il costo e la qualità. Proprio in quest'ottica si modifica radicalmente il concetto di qualità: da un contesto tradizionale, in cui l'obiettivo primario della rete era di fornire il livello massimo di qualità, ad un nuovo contesto in cui la qualità diventa una leva per calibrare i costi del servizio e quindi il prezzo applicabile al cliente.

Se si prende ad esempio come riferimento il traffico uscente dall'Italia (o da qualunque altro Paese in cui è presente un partner di Telecom Italia) e diretto verso Paesi non raggiunti da un backbone proprietario (extra Regione), il PoP di interfaccia con la rete di origine delle chiamate ha a disposizione diverse possibilità di instradamento (figura 9):

- circuiti diretti bilaterali: collegamenti di tipo (1);
- circuiti diretti verso un operatore che offre servizi di transito virtuale, VTS (*Virtual Transit Service*): collegamenti di tipo (2);
- transito tramite un backbone regionale con collegamenti di tipo bilaterale verso la destinazione: collegamenti di tipo (3);
- transito tramite un backbone con collegamenti verso un operatore di transito VTS: collegamenti

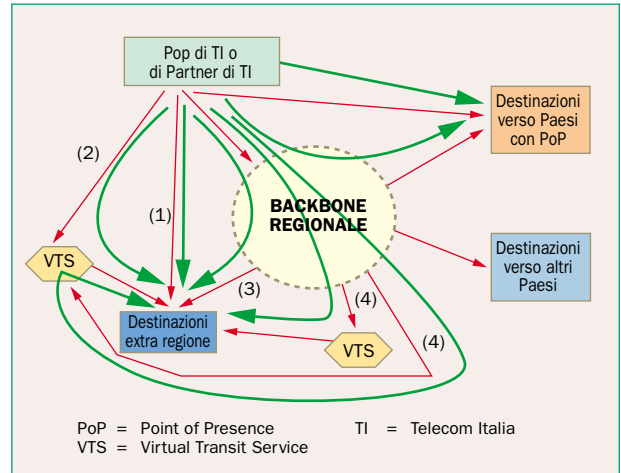


Figura 9 Possibilità di instradamenti alternativi.

del tipo (4).

Dalla figura può essere rilevato che sono possibili diverse aree di ottimizzazione per i costi di trasporto e di terminazione:

- tra i diversi collegamenti bilaterali nel caso di quelli (1) e (3);
- verso gli operatori che offrono VTS per quelli (2) e (4);
- mediante un bilanciamento opportuno del traffico tra quello inviato su circuiti bilaterali (diretto o tramite backbone) e quello su circuiti per transito VTS (diretto o tramite backbone).

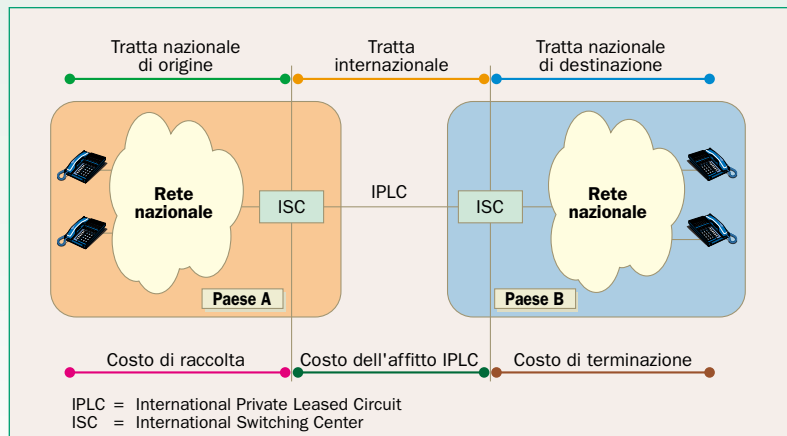
MODALITÀ DI RACCOLTA, INSTRADAMENTO E TERMINAZIONE DEL TRAFFICO INTERNAZIONALE

INTERNATIONAL SIMPLE RESALE

La modalità di consegna *ISR* (*International Simple Resale*) del traffico non richiede una infrastruttura proprietaria di rete internazionale. La chiamata internazionale infatti è veicolata su circuiti privati internazionali, *IPLC* (*International Private Leased Circuit*), presi in affitto da altri gestori. La terminazione del traffico è fatta da operatori con cui è stata stabilita una relazione commerciale (partner nel Paese di destinazione, carrier nazionali o locali).

Le componenti di costo di una chiamata internazionale tra un cliente del Paese A ed uno del Paese B sono date da¹:

- costi di rete (54 per cento):
 - costo di raccolta;
 - costo dell'affitto del circuito internazionale (IPLC);
- costo commerciale (46 per cento):
 - costo di terminazione nel Paese di destinazione.



¹) I valori si riferiscono alla connessione New York - Berlino, riportati in "TeleGeography 2000" [2].

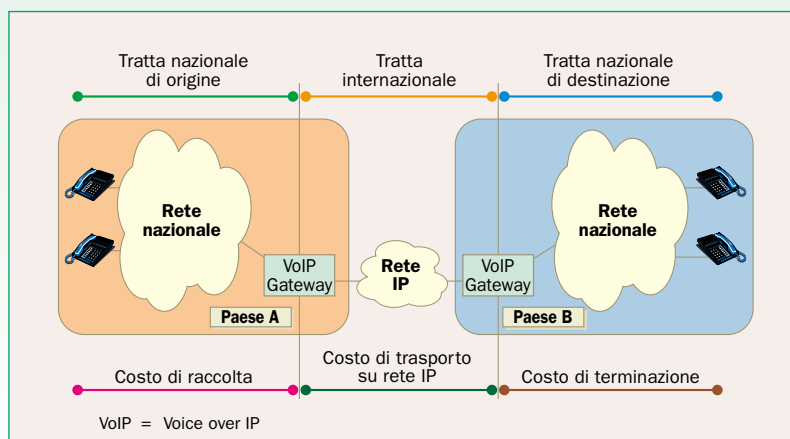
MODALITÀ DI RACCOLTA, INSTRADAMENTO E TERMINAZIONE DEL TRAFFICO INTERNAZIONALE

VOCE SU IP

Con questa modalità di consegna del traffico la chiamata tra un Cliente del Paese A ed uno del Paese B è inviata verso una *voice gateway* che codifica il segnale fonico trasmettendolo tramite pacchetti IP su una rete IP internazionale, normalmente a qualità garantita, verso un PoP analogo nel Paese di destinazione.

Le componenti di costo di una chiamata internazionale tra un cliente del Paese A e uno del Paese B sono date da¹⁾:

- costi di rete (44 per cento):
 - costo di raccolta;
 - costo di trasporto su rete IP;
- costo commerciale (56 per cento):
 - costo di terminazione nel Paese di destinazione.



¹⁾ Stima dei valori per una connessione New York – Berlino.

Anche per il traffico diretto verso un Paese in cui è presente il PoP del backbone è possibile individuare un'area di ottimizzazione tra l'instradamento tramite il PoP (e quindi la rete nazionale del partner), e l'instradamento tramite collegamenti di tipo bilaterale con il gestore dominante nel Paese.

Queste diverse ottimizzazioni sono ancora più valide se realizzate per tutti i clienti wholesale. Può essere infatti ridotta la consistenza complessiva dei circuiti verso una destinazione allocandoli nei nodi più opportuni del backbone; viene attuata così una strategia unica per il controllo degli instradamenti. L'utilizzo congiunto di tutte le risorse presenti nei diversi Paesi minimizza quindi il costo tecnico-gestionale complessivo.

La possibilità di raggiungere le reti estere, potendo scegliere tra diversi operatori, permette di ottenere una politica di offerta basata sul rapporto tra costo e qualità estremamente diversificata in funzione delle richieste del cliente.

2.3 Modalità alternative di realizzazione dei backbone

Per la realizzazione di backbone internazionali sono possibili diversi approcci, caratterizzati dal modo in cui si costituisce l'infrastruttura trasmissiva.

A questo riguardo possono essere seguite diverse soluzioni: anzitutto può essere realizzata la *rete partendo dall'impianto in cavo*. Questo approccio richiede naturalmente notevoli investimenti, ma allo stesso tempo consente di costruire infrastrutture di grande capacità per il mercato wholesale sia per cessione di banda sia di fibre scure e si situa, in particolare per le reti terrestri, su un orizzonte temporale piuttosto ampio. Le principali difficoltà di realizzazione sono associate all'ottenimento dei permessi di posa (*right of*

way) sull'intero tracciato della rete: perciò queste reti utilizzano spesso, oltre alle sedi di posa normalmente utilizzate dagli operatori tradizionali (strade, autostrade) anche infrastrutture alternative (ferrovie, elettrodotti, gasdotti). I gestori di queste infrastrutture, oltre a stipulare accordi con Società di telecomunicazioni per cedere le sedi di posa, entrano a volte come operatori alternativi nel business wholesale.

Dopo aver posato il cavo si realizzano in genere gli altri "strati" della rete: il trasporto ottico DWDM, il trasporto SDH ed i nodi (IP o ATM).

Una seconda soluzione riguarda l'*acquisto di fibra scura*: essa garantisce un controllo completo della rete fisica, senza che si debba sostenere l'onere della costruzione e manutenzione del cavo. Rispetto alla soluzione precedente, l'investimento complessivo è più modesto, anche se naturalmente è più alto il costo unitario (Lire/km per coppia di fibre). I tempi di realizzazione del backbone sono, in questo caso, più contenuti e la competizione oggi in atto in molte regioni geografiche rende questa soluzione molto interessante.

Una terza opzione riguarda l'*acquisto di lunghezze d'onda*: questa soluzione prevede un maggior grado di "virtualizzazione" della rete trasmissiva; le lunghezze d'onda e la protezione a livello ottico sono fornite da un *wholesale provider*, mentre la rete è realizzata installando apparati SDH e nodi.

Un'ulteriore opzione è infine basata sull'*acquisto di banda*: in particolare di IRU (*Indefeasible Right of Use*) per i cavi sottomarini (in genere per vent'anni) o di DDP (*Droit De Passage*) sui cavi terrestri (da 3 a 15 anni). In questo caso tutti gli strati fino al livello SDH sono offerti da un fornitore di banda (*bandwidth provider*) e la rete è realizzata installando i nodi.

Per realizzare backbone proprietari, un altro aspetto innovativo legato al nuovo scenario riguarda

la possibilità di stabilire collegamenti diretti *city-to-city* ubicando gli apparati in *telehouse* in grado di ospitare numerosi operatori nel Paese interessato. In questo caso si ha la possibilità di interconnettersi fisicamente sia con altri operatori wholesale sia di acquisire traffico retail. Nei precedenti contesti “regolamentati” quest’eventualità era preclusa (e in molti casi costituisce ancora un vincolo oneroso), in quanto compete solo all’operatore tradizionale garantire la connessione (*backhaul*) tra la stazione terminale di un cavo sottomarino e la rete nazionale; questa situazione comporta risvolti di costi elevati, essendo di fatto fornita in regime di monopolio.

3. I Backbone internazionali di Telecom Italia

La necessità di adeguare le rete internazionale alle nuove esigenze di business ha portato alla progettazione ed alla realizzazione di backbone regionali in aree geografiche dell’Europa, del Mediterraneo e del Sud America, nelle quali il Gruppo Telecom Italia ha partecipazioni azionarie in operatori dominanti o in nuovi operatori (*start up companies*) (figura 10).

Sono state individuate alcune linee strategiche nell’evoluzione dell’architettura della rete internazionale per servizi wholesale: anzitutto la necessità di *completare i tradizionali collegamenti bilaterali con backbone multilaterali* integrati per fonia e dati, di estensione regionale (in Europa e in America Latina), interconnessi tra loro, in previsione della sostituzione - parziale o totale - dei collegamenti bilaterali con connessioni dirette *city-to-city* proprietarie.

È stato poi deciso di *gestire i collegamenti bilaterali ed i backbone panregionali in modo integrato*, costituendo una rete unica, per ottimizzare i costi di raccolta, di trasporto e di terminazione del traffico.

Un terzo obiettivo è stato mirato a *ridurre i costi unitari dei prodotti e dei servizi ed a soddisfare le crescenti esigenze di banda*, in particolare per i nuovi servizi IP: le attività di razionalizzazione sulla rete esistente e l’introduzione di una nuova piattaforma di rete integrata multiservizio consentono di ridurre del 68 per cento, nel periodo 1999-2002, il costo medio annuo per il Mbit/s utilizzato per la fornitura di servizi.

3.1 Pan European Backbone

Il progetto *PEB (Pan European Backbone)* prevede la realizzazione di un backbone regionale (figura 11) con PoP nei principali Paesi industrializzati dell’Europa: Italia, Francia, Spagna, Gran Bretagna, Olanda, Belgio, Germania, Svizzera, Austria. La rete è realizzata acquistando fibra scura.

Questa scelta è legata ad alcune considerazioni: in primo luogo la presenza in Europa di numerose Società che hanno completato o che stanno realizzando reti regionali e che si pongono quindi come fornitori di banda o di fibra scura, rende “alto” per Telecom Italia il rischio associato al consistente investimento necessario per realizzare *ex-novo* un impianto in cavo.

È stato poi ritenuto necessario entrare in esercizio in tempi brevi, per cogliere i vantaggi relativi alle nuove modalità di trasporto e terminazione del traffico, per generare nuovi ricavi in un mercato - come quello wholesale - in rapida evoluzione e per creare valore per le Società Partecipate europee (in Spagna: Retevisión, Retevisión Movil, Netco Redes, Madritel, Menta, Euskatel; in Francia: 9Telecom, Bouygues Telecom; in Austria: Telekom Austria, Mobilkom).

Questa scelta è stata anche motivata dall’aver riscontrato che l’acquisto di fibra scura consente di realizzare una rete a costi competitivi - in linea con quelli dei competitor - e che questi costi tendono a ridursi in seguito agli sviluppi della tecnologia DWDM.

La soluzione individuata è quindi in grado di fornire banda a basso costo per i servizi tradizionali e per

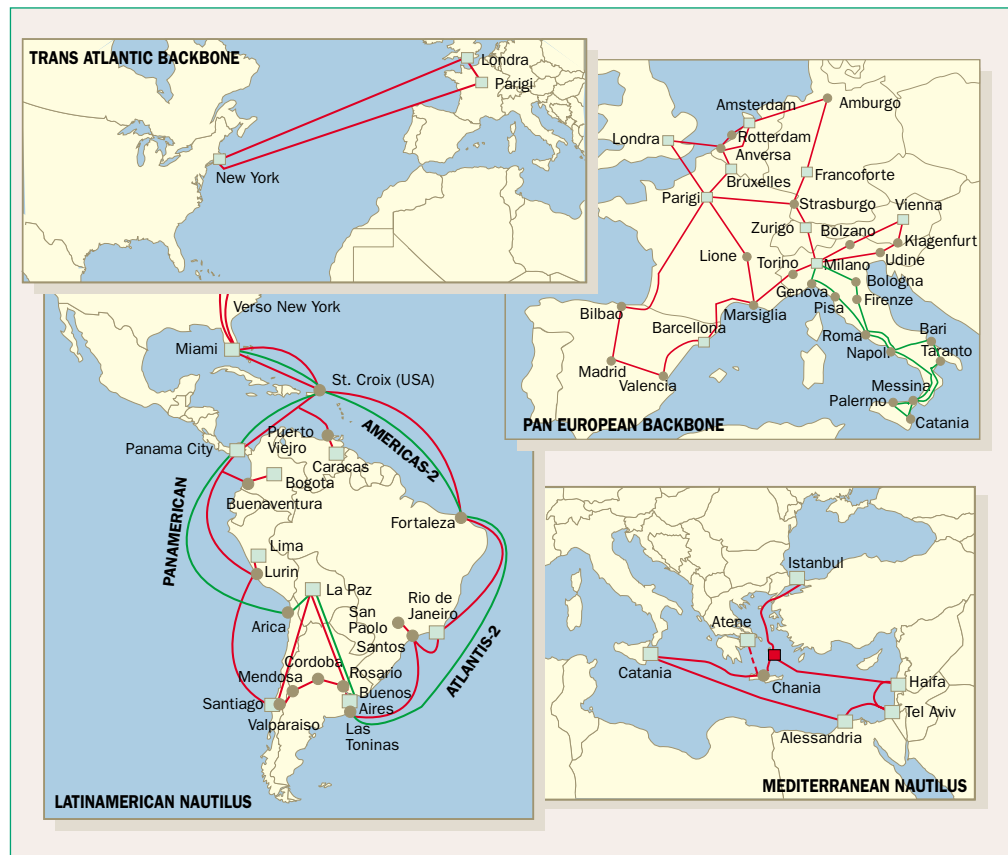


Figura 10 I backbone internazionali di Telecom Italia.



Figura 11 Pan European Backbone.

svolgere attività di *wholesale bandwidth* e di *Internet connectivity service provider*.

La rete si estenderà per una lunghezza di 10.600 km e sarà composta da quattro anelli in fibra (rispondente alla Raccomandazione ITU-T G.655) con una capacità massima di 400 Gbit/s per coppia di fibre (tecnologia DWDM: 40 lunghezze d'onda, 10 Gbit/s per ciascuna λ) con amplificazione ottica di linea.

Per ridurre i costi di interconnessione con le reti nazionali, sono stati predisposti punti di accesso nelle *telehouse* delle principali città europee, dove solitamente sono presenti altri gestori. Il totale degli investimenti previsti in 10 anni è di circa 350 Milioni di Euro.

L'approntamento della rete è previsto attraverso le seguenti fasi:

- luglio 2000: realizzazione del collegamento tra Milano -Zurigo-Francoforte-Parigi-Londra;
- novembre 2000: chiusura dell'anello nord (Parigi-Londra-Amsterdam-Francoforte con la connessione in rete anche di Bruxelles);
- marzo 2001: chiusura dell'anello centrale, con il collegamento Milano-Marsiglia-Parigi, e realizzazione dell'anello con l'Austria;
- agosto 2001: completamento dell'intera rete con la realizzazione dell'anello con la Spagna, tramite l'inserimento in rete di Barcellona, Madrid e Bilbao.

3.2 Mediterranean Nautilus

Il progetto *MEN (Mediterranean Nautilus)* è orientato alla connettività IP internazionale e prevede la realizzazione di un anello sottomarino della lunghezza di 7 mila km che consenta di raggiungere i principali mercati dell'area: Grecia, Turchia, Israele ed Egitto (figura 12). La capacità prevista è pari a 3,84 Tbit/s (6 coppie di fibre, 64 lunghezze d'onda a

10 Gbit/s ciascuna).

La scelta di costruire un nuovo cavo, invece di acquisire infrastrutture da altre Società, è motivata dalla presenza di Telecom Italia nell'area del Mediterraneo orientale con la società MED 1, che ha realizzato il sistema Lev, e che consente quindi al Gruppo di essere uno dei primi operatori (*first mover*) nel mercato wholesale di banda e di connettività Internet.

D'altra parte il 30 per cento della banda totale oggi disponibile nei cavi sottomarini del Mediterraneo è di proprietà di Telecom Italia. Il nuovo progetto consente quindi di consolidare la presenza della Società in quest'area. Entro il quarto trimestre del 2001, sarà disponibile l'intero anello tra Italia (Catania), Grecia (Chania - Atene), Israele (Haifa - Tel Aviv) ed Egitto (Alessandria). Entro il

primo trimestre del 2002 il sistema sarà completato con il collegamento della Turchia (Istanbul) dall'unità di diramazione (*Branching Unit*) sommersa.

3.3 Trans Atlantic Backbone

La Regione atlantica ha visto crescere notevolmente un mercato con capacità trasmissiva giustificato dallo sviluppo di Internet negli Stati Uniti e dalle richieste conseguenti di connessioni e di trasferimento di informazioni verso l'Europa.

TeleGeography 2000 [2] riporta un'analisi sulle venti principali direttrici di traffico uscente tra i centodieci maggiori Paesi: se si fa riferimento ai flussi inter-



Figura 12 Mediterranean Nautilus.

MODALITÀ DI RACCOLTA, INSTRADAMENTO E TERMINAZIONE DEL TRAFFICO INTERNAZIONALE

CALL BACK

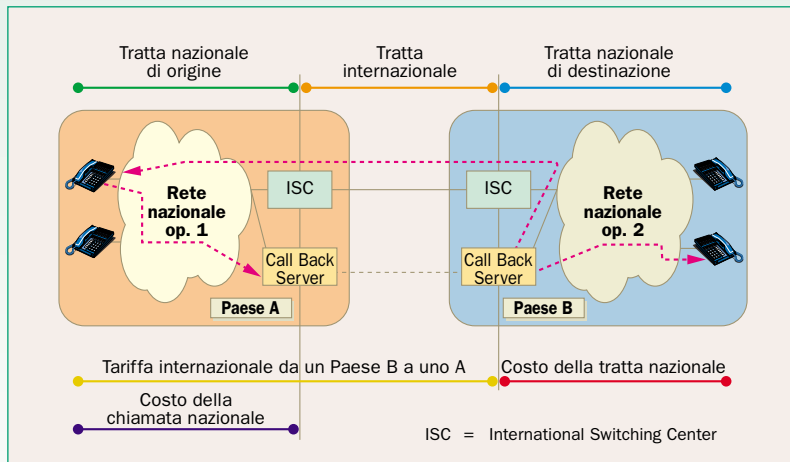
Il meccanismo del Call Back è sfruttato quando fra due Paesi esiste una differenza significativa per le tariffe internazionali nelle due direzioni: nella figura si ipotizza che il prezzo per l'utente finale (*retail*) della chiamata da A verso B sia maggiore di quello di una chiamata in senso inverso. Questa situazione si ha, ad esempio, per una chiamata dalla Gran Bretagna verso gli Stati Uniti il cui prezzo retail è pari a 0,32 \$/min, mentre nel senso inverso essa è pari a 0,10 \$/min (fonte: "TeleGeography 2000" [2]).

Schematicamente l'instaurazione della chiamata internazionale avviene con un collegamento ad un *call back server* (generalmente un numero verde) al quale è comunicato il numero del chiamato e del chiamante.

Successivamente il call back server remoto instaura una nuova chiamata internazionale dal Paese B ad A e mette in comunicazione i due clienti.

Le componenti di costo di una chiamata internazionale tra un cliente del Paese A e uno del Paese B sono date da:

- costo della prima chiamata al call back server;
- costo della tariffa internazionale da B ad A;
- costo della tariffa nazionale nel Paese B.



continentali di traffico in fonia, alla fine del 1998 il 55 per cento del traffico voce uscente è generato negli Stati Uniti e nel Canada. Per quanto riguarda l'ambiente Internet, la stessa fonte valuta che la geografia mondiale della capacità IP sia *USA centric*; l'analisi dell'anno precedente definiva gli Stati Uniti *the Internet central switching office* a livello mondiale.

Uno studio effettuato su trecento *IISP* (*International Internet Service Provider*), che di fatto formano il backbone globale internazionale per IP, fa emergere che i dieci più importanti *IISP* (*with strong USA roots*) controllano il 70 per cento della banda IP internazionale, con una concentrazione ancora più pronunciata rispetto al traffico internazionale in fonia dove i primi venti carrier gestiscono il 60 per cento del traffico complessivo.

La situazione a settembre 1999 della distribuzione degli "host", e cioè dei computer connessi ad Internet con uno specifico *TLD* (*Top Level Domain*), è tale che quasi il 75 per cento (48 su 64,2 milioni) risultano residenti nell'area geografica costituita dagli Stati Uniti e dal Canada, con l'Europa al secondo posto con il 16 per cento (10 milioni).

Sulla direttrice tra il Nord America e l'Europa, la domanda di capacità ha favorito la realizzazione di sistemi sottomarini che, rispetto ai precedenti sistemi (per esempio, il TAT-13 che, nel 1996, aveva una capacità di 5 Gbit/s, pari a 60.480 circuiti equivalenti a 64 kbit/s), mostrano un incremento assai elevato

nella capacità disponibile:

- il sistema *Gemini* fornisce dal 1998 una capacità di 20 Gbit/s, pari a 241.920 circuiti equivalenti a 64 kbit/s;
- il sistema *AC-1* (*Atlantic Crossing 1*) consente dal 1998 una capacità di 40 Gbit/s, pari a 483.840 circuiti equivalenti a 64 kbit/s, ed è estendibile fino a 80 Gbit/s;
- il sistema *Flag Atlantic* - la cui attivazione sarà completata entro giugno 2001 - ha una capacità di 400 Gbit/s per ciascuna coppia di fibra ottica, per complessivi 2,4 Tbit/s, pari a 29.030.400 circuiti equivalenti a 64 kbit/s.

Questi nuovi sistemi "privati", proprio in quanto realizzati non più da consorzi di operatori ma da investitori, offrono connettività "city-to-city" tra l'Europa e gli Stati Uniti e, allo stesso tempo, consentono sensibili riduzioni nei costi della banda, come già messo in evidenza nella figura 7.

Anche Telecom Italia, per far fronte alle immediate necessità di banda verso gli Stati Uniti - soprattutto per i servizi IP - ha acquisito nel corso del 1999 capacità sui sistemi Gemini e AC-1. La capacità transatlantica utilizzata da Telecom Italia ha infatti subito nel corso degli ultimi anni una notevolissima trasformazione: da una situazione a fine 1998 in cui il 75 per cento della banda era dedicata al traffico fonico e solo il 25 per cento a IP, si è passati alla fine del 1999 al 71 per cento

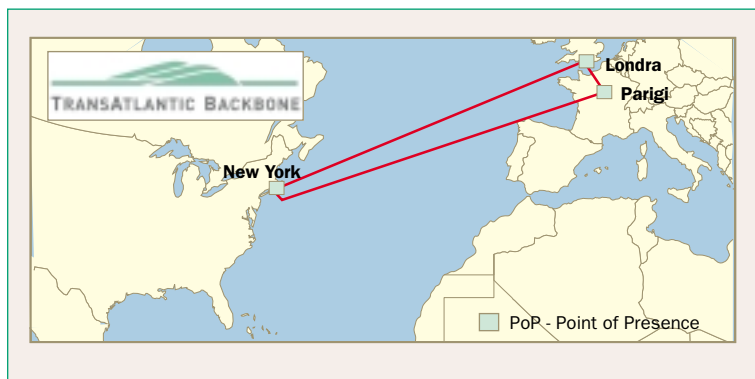


Figura 13 Trans Atlantic Backbone.

della banda dedicata a IP (con un incremento di circa il 200 per cento) e al 29 per cento dedicato al traffico in fonia. Questa crescita porterà, alla fine di quest'anno, ad una prevalenza ancora maggiore della banda per IP che dovrebbe essere di circa l'84 per cento del totale. In tre anni la capacità per IP sulla direttrice Nord Atlantica si è quindi incrementata di oltre 18 volte.

Questo scenario, e le previsioni di sviluppo del business wholesale, portano a costruire un'infrastruttura di rete proprietaria ad alta capacità, attraverso l'Oceano Atlantico (figura 13) che consenta di avere connettività a basso costo per collegare il Backbone Pan Europeo con quello sudamericano: il progetto TAB (*Trans Atlantic Backbone*).

3.4 Latin American Nautilus

Telecom Italia dispone oggi di un anello a 45 Mbit/s in Sud America, realizzato con capacità intera sui sistemi sottomarini consorziali Americas II, Atlantis II e Panamericano, e chiamato *Miniring*. L'intero anello, in esercizio dalla fine di giugno 2000, collega Brasile (Fortaleza), Argentina (Las Toninas), Cile (Arica), le Isole Caraibiche (St. Croix e St. Thomas) e gli Stati Uniti (Miami). I collegamenti con l'Europa sono realizzati con i sistemi Columbus II e Columbus III.

Le prospettive di crescita del mercato sudamericano - in particolare per Internet - unite all'interesse di Telecom Italia verso questo mercato e alla presenza di importanti Società Partecipate (a Cuba: Etecsa; in Bolivia: Entel Bolivia; in Cile: Entel Cile; in Argentina: Telecom Argentina; in Brasile: Tele Centro Sul, Maxitel, Tele Celular Sud, Tele Nordeste Cellular) suggeriscono di potenziare la rete anche nell'America Latina, realizzando un backbone ad alta capacità che si integri con quelli dell'area transatlantica ed europea.

Il backbone sudamericano di Telecom Italia *LAV* (*Latin American Nautilus*) - che avrà una lunghezza di circa 30 mila km compreso anche il collegamento Miami-New York - fornirà connessioni city-to-city e

sarà realizzato con una coppia di fibre (figura 14). Questa soluzione garantisce la disponibilità di banda trasmissiva a basso costo, secondo un approccio che è in linea con quello già seguito nel backbone Pan Europeo, ed è stata scelta sia in quanto nell'area sono già presenti alcune Società che hanno in corso di realizzazione progetti alternativi (alcuni dei quali saranno completati alla fine di quest'anno o entro la fine del 2001), sia perché sono molto alti gli investimenti richiesti per la costruzione di un cavo (1,5-1,7 M.di \$) ed in quanto è elevato il rischio associato a quest'attività (tenendo anche conto che i competitor completerebbero le proprie reti prima di Telecom Italia).

I sistemi in fase di realizzazione (sui quali si prevede di acquistare la coppia di fibre), sono stati progettati con architetture ad anello intorno all'intero continente, con protezione automatica del traffico a livello ottico e hanno una banda maggiore di 1 Tbit/s. È anche prevista la connessione con gli Stati Uniti, in Florida ed a New York.

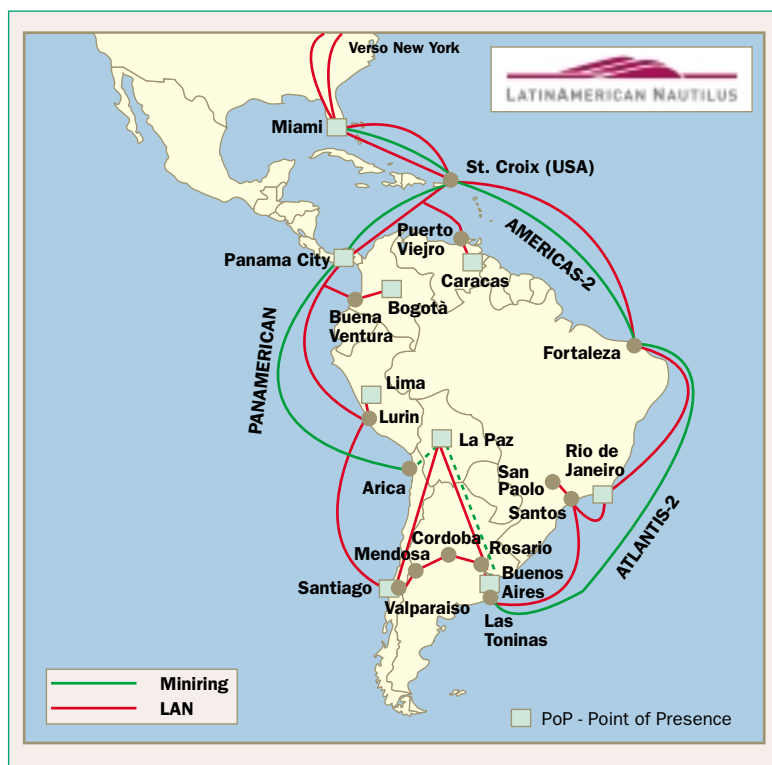


Figura 14 Latin American Nautilus.

4. Conclusioni

I mutamenti introdotti dal nuovo assetto normativo e regolatorio nel mercato internazionale delle telecomunicazioni hanno portato a un nuovo modello di business basato su reti *cross-border* proprietarie, che permettono modalità di raccolta e terminazione del traffico alternative alle tradizionali relazioni bilaterali tra operatori. In questo nuovo contesto fattori di suc-

cesso sono il costo della rete, la flessibilità e la possibilità di garantire un livello di qualità differenziata legata al prezzo.

Telecom Italia ha avviato progetti di sviluppo della rete internazionale basati sulla realizzazione di backbone regionali. La nuova architettura di rete trae la sua validità dalla necessità di ridurre i costi di trasporto e di gestione della rete internazionale per mantenere e per incrementare la competitività ed i margini sul mercato wholesale internazionale. In Europa, ad esempio, il mercato per le infrastrutture di rete di tipo cross-border è stato liberalizzato nel 1996 e molti gestori tradizionali (quali BT, Cable & Wireless, France Télécom e Deutsche Telekom) e nuovi operatori (come Hermes-GTS, Viatel, Global Crossing) hanno in corso di realizzazione o stanno completando reti a dimensione continentale.

Un secondo motivo che giustifica questa decisione è legato alla possibilità di "creare valore" per le Partecipate e per lo stesso Gruppo Telecom Italia, realizzando una rete che consenta di utilizzare modalità di *call delivery* alternative rispetto al sistema tradizionale basato su collegamenti bilaterali (mezzi circuiti) e sul meccanismo delle Total Accounting Rate.

Una terza giustificazione discende dalla consapevolezza della possibilità (offerta oggi da tecnologie di tipo *packet* o *cell switching*), di realizzare un'unica infrastruttura di rete integrata per voce e dati. I principali vantaggi di backbone integrati sono legati, ancora una volta, al costo, in particolare all'efficienza di utilizzo delle risorse di rete e all'eliminazione di reti sovrapposte (*overlay*), realizzate ad hoc per servizi dati.

La realizzazione di backbone regionali è stata così avviata nelle aree geografiche che Telecom Italia ha individuato come strategiche, sulla base sia della presenza consolidata di Società Partecipate, sia delle previsioni di crescita del mercato: Europa, bacino del Mediterraneo, Nord America e America Latina.

La realizzazione di questi quattro progetti è stata già avviata e sarà gradualmente completata entro il prossimo anno, in modo da consentire a Telecom Italia di affrontare con una adeguata infrastruttura di rete il mercato globale delle telecomunicazioni internazionali.



Oscar Cicchetti. Dopo una breve esperienza come Gestore Impianti di Agenzia e successivamente come Responsabile del Mercato di Agenzia, è passato ad operare nella Direzione Generale della SIP come Analista Organizzatore. Successivamente, dal 1992 è stato nominato Responsabile dell'Organizzazione e Formazione in Iritel. Al ritorno in Telecom Italia ha coordinato lo Staff della Direzione Generale "Applicazioni e Servizi Business". Nel 1995 è stato nominato Responsabile della Divisione Internazionale con il titolo di Vice Direttore Generale di Telecom Italia. Nel 1998 gli è stata affidata la Responsabilità della Direzione analisi e piani strategici. Successivamente, nel 1999 è divenuto Direttore della Rete. È oggi Responsabile della Business Unit International Operations di Telecom Italia.

Abbreviazioni

ATM	Asynchronous Transfer Mode
BSS	Business Support System
DDP	Droit De Passage
DWDM	Dense WDM
IISP	International Internet Service Provider
IP	Internet Protocol
IPLC	International Private Leased Circuit
IRU	Indefeasible Right of Use
ISC	International Switching Center
ISR	International Simple Resale
NSS	Network Support System
PoP	Point of Presence
PSTN	Public Switched Telephone Network
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SGT	Stadio di Gruppo di Transito
TAR	Total Accounting Rate
TLD	Top Level Domain
VoIP	Voice over IP
VTs	Virtual Transit Service
WDM	Wavelength Division Multiplexing

Bibliografia

- [1] The Yankee Group: *Europe's Wholesale Market: Growing Fast, but Getting Tougher*. «EuroScope Communications Report», Vol.19, n.10, novembre 1999.
- [2] *TeleGeography 2000*. «Global Telecommunications Traffic Statistics and Commentary», novembre 1999.
- [3] Kee, R.; Wright, C.: *Ovum forecasts: global telecoms and IP markets*, gennaio 2000.



Gianfranco Ciccarella ha ricoperto vari incarichi presso la Scuola Superiore Guglielmo Reiss Romoli (L'Aquila), dove è stato Responsabile della Direzione Didattica. Nel 1997 è diventato Responsabile dell'Information Technology della Direzione Internazionale di Telecom Italia. Ha svolto anche attività di ricerca ed ha insegnato presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica dell'Università di L'Aquila, divenendo Professore Associato nel 1993. Dal 1990 al 1992 è stato anche "Adjunct Associate Professor" presso Polytechnic University di New York. È autore di due libri e di oltre 60 pubblicazioni e memorie su riviste specializzate e congressi internazionali. È membro del CdA di alcune Società del Gruppo Telecom Italia e del Comitato Tecnico CSELT. Attualmente ha la responsabilità delle Reti Internazionali di Telecom Italia, nell'ambito della Business Unit International Operations.

I sistemi DWDM: problematiche trasmissive e loro impatto sul progetto dei collegamenti

GUGLIELMO AURELI
PIERGIORGIO PAGNAN

Solo negli ultimi anni l'idea di trasmettere su una stessa fibra ottica una molteplicità di portanti, generate da sorgenti laser accordate su differenti lunghezze d'onda, ha lasciato i laboratori di ricerca per divenire realtà tecnologica. Lo sviluppo delle tecnologie di amplificazione ottica, la disponibilità di sorgenti laser ad alta stabilità e quella di dispositivi affidabili per l'elaborazione dei segnali ottici come filtri, accoppiatori, compensatori di dispersione e commutatori, hanno reso disponibili sul mercato e pronti per un loro inserimento in rete i sistemi a multiplazione di lunghezza d'onda DWDM.

Quest'articolo riassume i concetti fondamentali della tecnologia DWDM descrivendo le problematiche trasmissive, le contromisure adottabili per una riduzione drastica, fino all'eliminazione, dei degradamenti e le metodologie da impiegare per una corretta progettazione dei collegamenti punto-punto.

1. La multiplazione di lunghezza d'onda

L'acronimo DWDM è ormai assai noto e conviene dedicare solo un po' di spazio alla sua spiegazione. DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) indica la tecnica di multiplazione che permette di trasmettere contemporaneamente su una singola fibra ottica una molteplicità di segnali generati da sorgenti laser diverse, accordate su differenti lunghezze d'onda indicate in genere come "lambda".

Nonostante, per motivi legati a tradizioni culturali del mondo dell'ottica, si adotti il termine Wavelength (lunghezza d'onda) piuttosto che Frequency (frequenza), il principio di Multiplexing (multiplazione) è quello della divisione di frequenza già noto ed ampiamente utilizzato in quasi tutti i sistemi di trasmissione sia analogici sia numerici. La lettera "D" che precede la sequenza di lettere "WDM" indica che la differenza tra le lunghezze d'onda di canali adiacenti è inferiore ad 1 nm^1 , cioè che la multiplazione è di tipo "denso".

Le lunghezze d'onda che interessano le comunicazioni ottiche su fibre in silice, sia su singolo canale sia multicanale, sono quelle comprese tra 800 e 1600 nm e sono collocate quindi nella porzione dello spettro cosiddetto "prossimo all'infrarosso". In questa regione è possibile identificare tre regioni di lavoro denominate prima finestra (intorno a 850 nm), seconda

finestra (intorno a 1310 nm) e terza finestra (intorno a 1550 nm). A ciascuno di questi intervalli di frequenza corrisponde un minimo locale del valore di attenuazione introdotto dalla fibra ottica e tutti i sistemi trasmissivi adottano sorgenti laser che emettono in una di queste tre regioni. In un sistema Dense WDM tutti i canali ottici sono allocati all'interno di un'unica finestra trasmissiva. Si ricorda che le prime applicazioni della multiplazione di lunghezza d'onda furono di tipo "sparso", nel senso che i segnali ottici giacevano in finestre trasmissive differenti; ad esempio un segnale a 1310 nm e un altro a 1550 nm.

La disponibilità abbastanza recente di amplificatori ottici con alte prestazioni in terza finestra ha orientato gli sviluppi verso sistemi DWDM che operano proprio in questa finestra trasmissiva. Quanto si dirà nel seguito è perciò riferito a sistemi DWDM progettati per funzionare in terza finestra.

Lo schema di principio di un generico collegamento DWDM è rappresentato in figura 1: in essa è riportato uno solo dei due versi di trasmissione; il secondo verso, il cui schema di principio è identico, è realizzato utilizzando una seconda fibra ottica.

I sistemi DWDM progettati secondo lo schema di figura 1 sono detti sistemi DWDM monodirezionali in quanto i segnali che viaggiano lungo ciascuna delle due fibre ottiche che compongono il collegamento si propagano in uno stesso verso (da sinistra a destra nel caso di figura 1; in tale figura ciascun segnale ottico è rappresentato schematicamente dal proprio spettro in frequenza).

⁽¹⁾ $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

È stata anche realizzata una classe di sistemi DWDM - detti bidirezionali - dove, su ciascuna delle due fibre che compongono il collegamento, i segnali si propagano nei due versi opposti, consentendo così di realizzare collegamenti bidirezionali su una singola fibra ottica. Tali sistemi, ad oggi, sono stati impiegati solo in alcuni casi particolari e quindi nel seguito di questo articolo ci riferiremo ai soli sistemi DWDM monodirezionali.

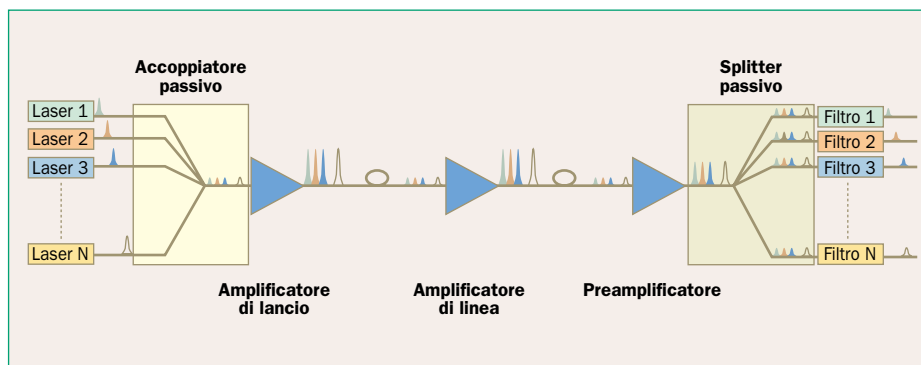


Figura 1 Schema di principio di un verso di trasmissione di un sistema DWDM.

Un collegamento DWDM è di norma bidirezionale e simmetrico, in quanto esso permette la trasmissione di flussi informativi dello stesso tipo in entrambi i versi. Queste caratteristiche possono essere realizzate con sistemi DWDM sia monodirezionali sia bidirezionali.

Con riferimento alla figura 1, e seguendo il percorso dei segnali da sinistra verso destra, si osserva la presenza di un accoppiatore passivo N:1 che svolge la funzione di accoppiare (cioè di convogliare) gli N segnali generati dai laser verso un'unica fibra di uscita. Per permettere ai dispositivi posti in ricezione di filtrare in frequenza e quindi di separare i segnali, le lunghezze d'onda degli N laser devono necessariamente essere diverse.

Per poter recuperare l'attenuazione introdotta dall'accoppiatore passivo e lanciare in fibra ottica una potenza sufficientemente elevata, il segnale all'uscita dell'accoppiatore passivo attraversa un amplificatore ottico detto amplificatore di lancio o di potenza (*booster*). Il segnale all'uscita del booster è predisposto per essere lanciato nella fibra. Qualora la distanza tra i due terminali sia elevata, è possibile introdurre lungo il percorso uno o più amplificatori ottici di linea detti *OLA (Optical Line Amplifier)*, che hanno il compito di recuperare l'attenuazione introdotta dalla tratta in fibra che li precede (nel seguito dell'articolo vedremo che il numero di OLA che è possibile disporre in cascata è limitato da diversi fattori).

Prima di raggiungere lo splitter passivo, il segnale a multilunghezza d'onda subisce un'amplificazione ad opera del *PRE (PREamplificatore ottico)* che ha il compito di riportare il livello dei segnali a valori tali per cui la divisione operata dallo splitter e il successivo filtraggio operato dai filtri ottici non portino la potenza di ciascun segnale sotto la sensibilità minima dei ricevitori (non riportati in figura 1) posti a valle

dei filtri ottici.

Anche non considerando l'attenuazione introdotta dalla fibra ottica, la presenza dell'accoppiatore, dello splitter e dei filtri rende necessaria l'amplificazione ottica per l'utilizzo della moltiplicazione di lunghezza d'onda nelle effettive condizioni di impiego e cioè per distanze tra i due terminali superiori a qualche decina di chilometri. In assenza di amplificazione ottica, infatti, l'attenuazione introdotta dai compo-

nenti passivi (*detta perdita di inserzione*) ridurrebbe il livello di potenza di ciascun segnale a livelli insufficienti per una ricezione corretta.

L'utilizzo di accoppiatori, splitter e filtri a bassissima perdita di inserzione rende comunque possibile l'uso della moltiplicazione di lunghezza d'onda senza amplificazione ottica in applicazioni di trasporto in ambito locale o metropolitano dove le distanze da superare sono dell'ordine della decina di chilometri.

Nei paragrafi seguenti saranno descritte le diverse tipologie di sistemi DWDM, le problematiche trasmissive che è necessario tenere in conto in fase di progettazione e saranno fornite indicazioni circa i criteri stessi di progettazione.

2. I sistemi DWDM: sistemi aperti, sistemi integrati e sistemi misti

I sistemi DWDM consentono, come si è già accennato in precedenza, di trasportare un insieme di N segnali ottici bidirezionali utilizzando una sola coppia di fibre anziché N coppie di fibre. Il sistema moltiplica quindi N canali ottici, ognuno dei quali può ospitare un segnale client generato da un corrispondente apparato connesso al sistema di linea DWDM.

I sistemi DWDM possono essere allora classificati in *sistemi aperti*, *sistemi integrati* e *sistemi misti* in base alle modalità di interconnessione con gli apparati che generano i segnali client da trasportare.

I *sistemi aperti* sono in grado di trasportare una classe potenzialmente molto estesa di segnali client diversi in termini di caratteristiche quali ad esempio: la struttura di trama, il formato di modulazione e la velocità di cifra. Questa possibilità è garantita dall'uso di tecniche di conversione della lunghezza d'onda mediante dispositivi noti come *transponder* o adattatori di lunghezza d'onda (*wavelength adapter*): questi dispositivi permettono di adattare i segnali ottici generati dagli apparati client al trasporto con sistemi DWDM. L'adattamento consiste nella generazione di un nuovo segnale ottico con lo stesso contenuto informativo del segnale client ma con livelli di potenza e lunghezza d'onda conformi alle specifiche del sistema di linea DWDM. I sistemi aperti sono spesso indicati anche come *sistemi con transponder*.

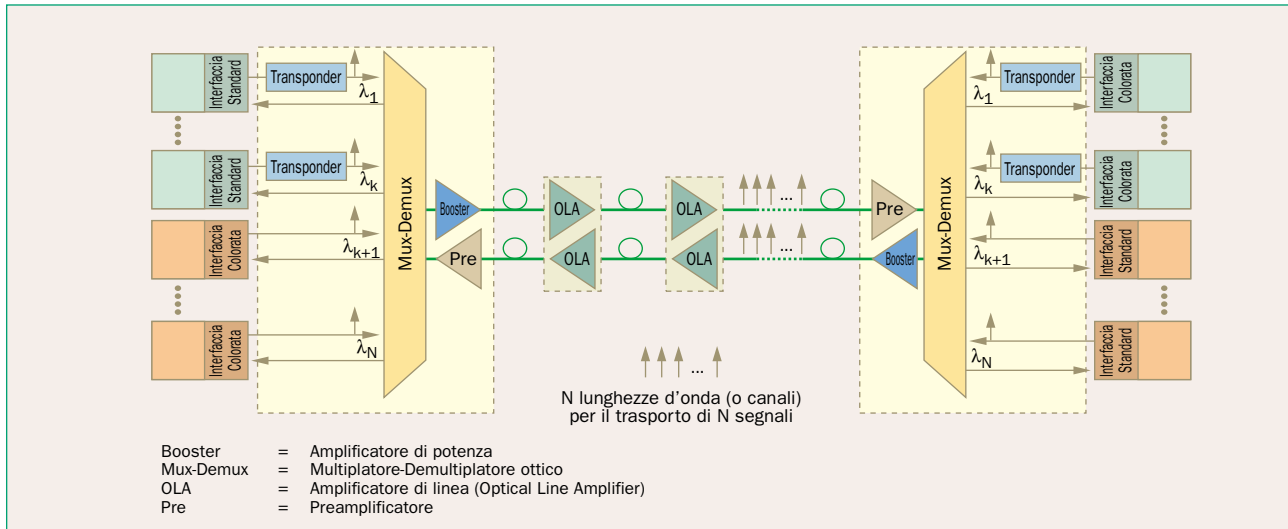


Figura 2 Schema di riferimento di un sistema DWDM in configurazione mista con transponder e interfacce colorate.

I sistemi integrati, al contrario, formano un tutt'uno con i sistemi client. In questo caso, sono le stesse interfacce ottiche dei terminali client (ad esempio degli ADM-16 SDH) a garantire il corretto formato del segnale in ingresso al sistema DWDM in termini sia di potenza sia di lunghezza d'onda. I sistemi integrati sono quindi spesso indicati anche come sistemi con interfacce colorate.

I sistemi misti, infine, sono costituiti sia da transponder sia da interfacce colorate. In figura 2 si riporta lo schema di riferimento di un sistema misto.

I blocchi *Mux Demux* indicati in figura 2 realizzano le funzioni di accoppiamento in fibra (*Mux*) e di separazione dei segnali ottici (*Demux*). Ciascuno dei due terminali DWDM è composto quindi sempre (con riferimento alla figura 1), da un accoppiatore passivo, uno splitter, un banco di filtri ottici, un booster ed un preamplificatore.

3. Le problematiche trasmissive: effetti trasmissivi lineari e non lineari

Indipendentemente dalla tipologia del sistema DWDM, e cioè dalle modalità di interconnessione con gli apparati client, i fattori che influenzano la trasmissione in fibra ottica sono legati alle caratteristiche fisiche delle fibre e degli amplificatori ottici. Tali fattori risultano spesso limitanti anzitutto rispetto al numero massimo di canali che possono essere trasmessi, in secondo luogo relativamente alla massima cadenza di cifra di ciascuno di essi e, infine, anche nei riguardi della lunghezza massima della tratta. Si veda anche [1].

Per poter fornire le indicazioni di massima per la progettazione di collegamenti DWDM è necessario analizzare (seppure brevemente e senza pretesa di completezza di trattazione) i fenomeni fondamentali che regolano la propagazione in fibra ottica accennando alle soluzioni atte a ridurne gli effetti sulla trasmissione di segnali numerici.

3.1 I fenomeni lineari

I fenomeni trasmissivi lineari da considerare quando si analizza la propagazione in fibra ottica sono quattro: l'attenuazione; la dispersione cromatica; la dispersione di polarizzazione; il rumore generato dagli amplificatori ottici ed il suo accumulo.

3.1.1 L'attenuazione

Quando un segnale ottico si propaga lungo una fibra subisce un'attenuazione causata sia dalla struttura fondamentale del materiale sia dalla presenza di impurità dovute al processo produttivo. L'attenuazione introdotta da fenomeni di assorbimento legati a transizioni elettroniche, a vibrazioni molecolari o a imperfezioni e irregolarità della silice (*diffusione di Rayleigh*) non è eliminabile; l'attenuazione dovuta alla presenza di impurità può essere ridotta modificando le modalità di produzione [2].

In particolare l'attenuazione $A(\lambda)$ introdotta da una fibra ottica di lunghezza L è definita da:

$$A(\lambda) = 10 \log \left(\frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \right) \quad [\text{dB}]$$

dove $P_1(\lambda)$ e $P_2(\lambda)$ sono rispettivamente la potenza all'ingresso e all'uscita della fibra. Generalmente si fa riferimento all'attenuazione introdotta da un chilometro di fibra ottica:

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \quad [\text{dB/km}]$$

Il tipico andamento dell'attenuazione chilometrica $\alpha(\lambda)$ è riportato in figura 3. I due massimi di attenuazione sono dovuti all'acqua presente nel vetro sotto forma di ioni ossidrile (OH^-).

Un valore tipico di attenuazione in seconda e in

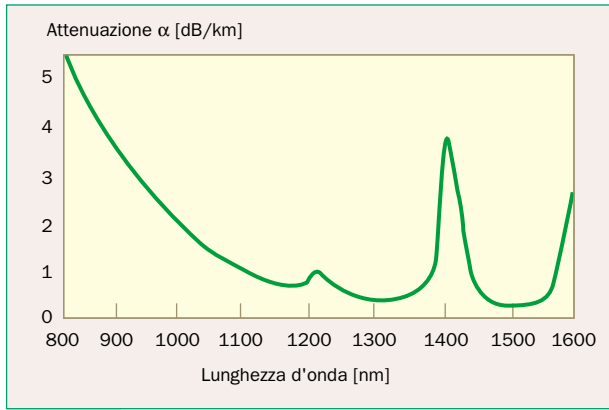


Figura 3 Andamento dell'attenuazione chilometrica in funzione della lunghezza d'onda del segnale ottico che si propaga in fibra ottica.

terza finestra è 0,24 dB/km ma, agendo sul processo produttivo, è possibile ridurre tale valore portandolo a livelli inferiori a 0,20 dB/km. (Nel riquadro di pagina 42 sono riportati ulteriori particolari in proposito).

3.1.2 La dispersione cromatica

La fibra ottica è un mezzo dispersivo: la velocità con cui un segnale ottico monocromatico si propaga in fibra dipende dalla lunghezza d'onda ad esso relativa. La causa principale di tale fenomeno dispersivo è la dipendenza dell'indice di rifrazione dalla lunghezza d'onda [2].

Se il segnale che si propaga in fibra è costituito da una sequenza di impulsi generati modulando l'intensità di un laser, la dispersione cromatica provoca l'allargamento di ciascun impulso e quindi l'interferenza intersimbolica. Si noti che la sequenza di impulsi costituisce l'involuppo dell'onda elettromagnetica generata dalla sorgente laser.

Per avere un'idea del rapporto tra la frequenza della portante ottica e quella del segnale modulante si osservi che un segnale ottico in terza finestra ($\lambda \approx 1550$ nm) ha una portante con una frequenza compresa tra 100 THz e 200 THz². Se questa portante è modulata da un treno di impulsi a 10 Gbit/s, l'involuppo (cioè lo stesso treno di impulsi) ha una *velocità di variazione* che è quattro ordini di grandezza inferiore alla portante.

Per caratterizzare una fibra ottica in termini di dispersione cromatica si introduce il coefficiente di dispersione cromatica, definito come derivata di $\tau_g(\lambda)$ rispetto a λ :

$$D(\lambda) = \frac{d\tau_g(\lambda)}{d\lambda} \quad [\text{ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})]$$

dove τ_g è il ritardo di gruppo specifico, è cioè il

⁽²⁾ 1 THz = 10¹² Hz.

⁽³⁾ 1 ps = 10⁻¹² s.

tempo che impiega un impulso a propagarsi lungo un chilometro di fibra. Poiché il ritardo di gruppo specifico si esprime in genere in picosecondi³ [ps] al chilometro [km] e le variazioni di lunghezza d'onda si esprimono in nanometri [nm], la dispersione cromatica si esprime in ps/(nm·km).

Tipicamente la curva $D(\lambda)$ è approssimabile, nell'intervallo di interesse e cioè tra 1300 nm e 1600 nm, da una retta che attraversa l'asse λ in un punto indicato in genere con λ_0 compreso tra 1300 nm e 1600 nm. L'andamento del ritardo di gruppo τ_g (che è l'integrale di $D(\lambda)$) assume quindi un minimo in corrispondenza di λ_0 .

Le componenti spettrali vicine a λ_0 subiranno perciò un ritardo pressoché costante; al contrario allontanandosi da λ_0 la pendenza è via via crescente e si determina così un maggior effetto dispersivo. Ne consegue che, se la sorgente laser emette con lunghezza d'onda sempre più prossima a λ_0 , gli impulsi tenderanno sempre meno ad allargarsi.

Il coefficiente di dispersione cromatica $D(\lambda)$ può essere espresso come somma di due termini: il primo che dipende dal materiale da cui è composta la fibra ottica e il secondo che è funzione delle caratteristiche guidanti e della struttura del profilo dell'indice di rifrazione della stessa fibra. Agendo opportunamente su alcuni parametri fondamentali della fibra ottica, è possibile quindi modificare la curva di dispersione

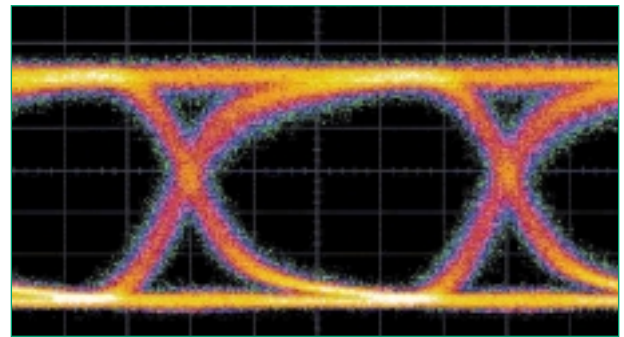


Figura 4 Diagramma a occhio di un segnale a 10 Gbit/s in assenza di dispersione cromatica.

cromatica $D(\lambda)$ spostando conseguentemente anche il valore λ_0 [3].

L'allargamento dell'impulso causato dalla dispersione cromatica non dipende solo dalla fibra ma anche dalle caratteristiche spettrali della sorgente laser e dalla banda del segnale modulante. Le sorgenti laser per telecomunicazioni non emettono una radiazione monocromatica; il segnale emesso da un laser non modulato ha una larghezza spettrale (*line width*) diversa da zero; inoltre la modulazione operata dal segnale client sulla portante ottica tende ad allargare ulteriormente lo spettro e ad accrescere l'effetto dispersivo.

A titolo d'esempio, in figura 4 si riporta il diagramma a occhio di un segnale a 10 Gbit/s in assenza di dispersione cromatica e, in figura 5, quello dello stesso segnale dopo la propagazione in fibra ottica.

Si osservi come l'effetto della deformazione degli impulsi dovuta alla dispersione cromatica abbia ridotto l'apertura dell'occhio, rendendo così più difficile una corretta discriminazione in ricezione tra il livello associato all'uno e quello associato allo zero.

La degradazione introdotta dalla dispersione cromatica della fibra può essere limitata utilizzando particolari schemi di compensazione: si può infatti agire direttamente sul trasmettitore introducendo una particolare modulazione della portante ottica (*tecniche di pre-chirping*), si possono introdurre compensatori della dispersione o, da ultimo, si possono sfruttare le non linearità della fibra stessa.

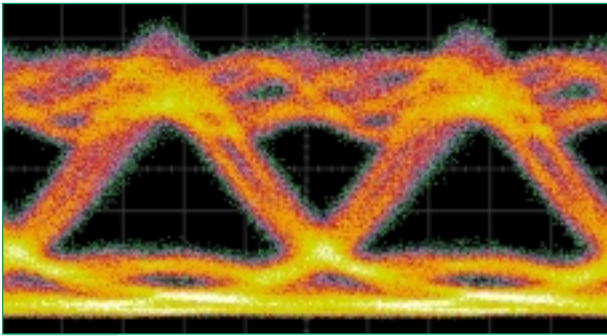


Figura 5 Diagramma a occhio di un segnale a 10 Gbit/s in presenza di dispersione cromatica.

La tecnica del pre-chirping e lo sfruttamento dell'interazione fra dispersione cromatica della fibra e le non linearità (tecnica questa che induce la cosiddetta propagazione solitonica) sono tecniche complesse e non ancora disponibili commercialmente.

La tecnica di maggior interesse, anche perché la più semplice da realizzare, è quella dei compensatori di dispersione. Questi dispositivi - indicati nel seguito con *DCM* (*Dispersion Compensation Module*) - sono realizzati da sezioni di fibra ottica con una curva $D(\lambda)$ in grado di compensare l'effetto della tratta di fibra convenzionale che li precede. La compensazione della dispersione avviene poiché il tratto di fibra ottica da compensare è caratterizzato da un coefficiente di dispersione positivo e molto piccolo, mentre il DCM è caratterizzato da un coefficiente di dispersione negativo e con un modulo molto elevato. Se le lunghezze dei due tratti di fibra (convenzionale e compensatrice) sono scelte correttamente, la dispersione totale introdotta dal collegamento è del tutto compensata.

In genere i DCM sono disponibili "al chilometro", esistono cioè moduli diversi in grado di compensare lunghezze diverse di fibra (ad esempio, un DCM "da 80 km" è in grado di compensare 80 km di fibra convenzionale). La lunghezza della fibra compensatrice necessaria per compensare L chilometri di fibra convenzionale è molto minore di L e, d'altra parte, quando necessario è possibile installare lungo il collegamento più unità DCM. Nonostante i moduli DCM presentino una perdita di inserzione non trascurabile è possibile installarli in posizioni tali (ad esempio prima del *booster* o dopo il *preamplificatore*) da non modificare l'attenuazione totale del col-

legamento.

La compensazione completa della dispersione cromatica in applicazioni DWDM può però causare, come si vedrà più avanti, l'insorgenza di fenomeni non lineari.

3.1.3 La dispersione di polarizzazione

La *PMD* (*Polarisation Mode Dispersion*) è un fenomeno dispersivo causato dalla birifrangenza (dipendenza dell'indice di rifrazione della fibra ottica dallo stato di polarizzazione del segnale che l'attraversa) indotta nelle fibre ottiche: infatti, in presenza di birifrangenza due segnali con stati di polarizzazione ortogonali tra loro si propagano in una fibra ottica con velocità diverse.

In altri termini la PMD è il ritardo di gruppo differenziale *DGD* (*Differential Group Delay*) o $\Delta\tau$ tra due modi polarizzati ortogonalmente (figura 6).

L'energia di un segnale ottico che si propaga in una fibra ottica a singolo modo "ideale", si distribuisce sempre tra due stati di polarizzazione ortogonali tra loro (detti stati LP_{01} degeneri⁴). In condizioni ideali e cioè in assenza di birifrangenza, i due stati di polarizzazione si propagano con la stessa velocità e quindi la PMD non si manifesta.

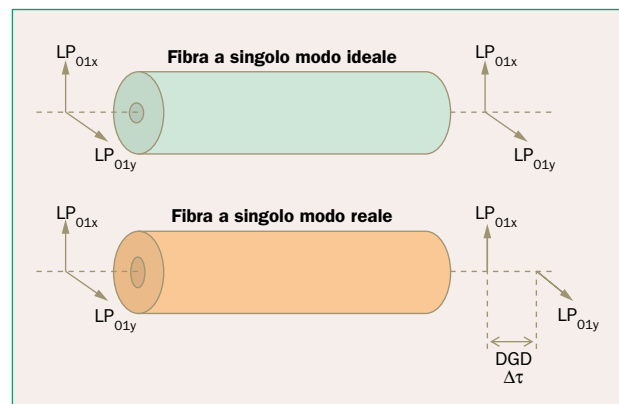


Figura 6 Effetto della birifrangenza nelle fibre a singolo modo (PMD).

In condizioni reali la PMD è causata da tre fenomeni concorrenti [2]:

- la birifrangenza di forma, indotta da imperfezioni geometriche della fibra;
- la birifrangenza indotta nella fibra da sforzi meccanici interni dovuti al processo tecnologico di fabbricazione;
- la birifrangenza prodotta da perturbazioni o sollecitazioni meccaniche agenti sulla fibra all'interno del cavo ottico.

I tre tipi di birifrangenza sono distribuiti casualmente lungo la fibra e distruggono localmente il carattere degenerare dei due modi polarizzati ortogo-

⁽⁴⁾ Degeneri perché, in condizioni ideali, costituiscono un unico modo fondamentale di propagazione.

ESEMPIO DI PROGETTO DI UN COLLEGAMENTO REALE

Si riporta di seguito il progetto di un collegamento su fibra ottica che risponde alla Raccomandazione ITU-T G.653 tra la Centrale A e la Centrale N, realizzato utilizzando un sistema DWDM per il trasporto di 8 canali SDH a 2,5 Gbit/s (tabella A).

Con riferimento alla fase 1 del paragrafo 4 si assumano i seguenti valori per il calcolo delle attenuazioni non marginate:

$$\alpha_f = 0,25 \text{ dB/km}; \alpha_g = 0,02 \text{ dB/km}; A_c = 0,6 \text{ dB}; n_j = 2.$$

Passando alla fase 2, introducendo un margine di esercizio $M_c = 4 \text{ dB}$, si ottengono le seguenti suddivisioni (sudd_j):

$$\text{sudd}_0 = \{28,5; 10,2; 16,7; 17,9; 23,5; 14,0; 28,0; 12,3; 23,2; 11,7; 22,2\};$$

$$\text{sudd}_1 = \{28,5; 22,9; 17,9; 23,5; 14,0; 28,0; 12,3; 23,2; 11,7; 22,2\};$$

$$\text{sudd}_2 = \{28,5; 22,9; 17,9; 23,5; 14,0; 28,0; 12,3; 23,2; 29,9\};$$

$$\text{sudd}_3 = \{28,5; 22,9; 17,9; 23,5; 14,0; 28,0; 31,5; 29,9\};$$

$$\text{sudd}_4 = \{34,7; 30,6; 33,5; 28,0; 31,5; 29,9\}.$$

Si è indicato con sudd_0 l'insieme delle attenuazioni di tratta marginate prima di qualunque accorpamento.

Si supponga che il sistema sia intrinsecamente immune dalle non linearità che utilizzi, ad esempio, una spaziatura dei canali non uniforme per contrastare il FWM. Si supponga inoltre che i dati forniti dal costruttore siano i seguenti: $\text{OSNR}_{\min} = 18 \text{ dB}$, $F = 8 \text{ dB}$, $P_{s,0} = -2 \text{ dBm}$ e che $P_{N,0}$ sia trascurabile.

Allora, convertendo in unità lineari i valori ed utilizzando la relazione:

$$\text{OSNR} = \frac{P_{S,n}}{P_{N,n}} = \frac{P_{S,0}}{P_{N,0} + Fh\nu\Delta\nu \sum_{i=1}^n a_i} > \text{OSNR}_{\min} \quad (1)$$

si verifica che le suddivisioni individuate siano fattibili e si introducono, dove necessario, i rigeneratori. La posizione di un rigeneratore è individuata dalla prima tratta che, introdotta insieme a tutte quelle che la precedono nella relazione (1), non soddisfa la disuguaglianza: il rigeneratore deve essere posizionato prima della tratta in questione.

In base ai dati di progetto e alle ipotesi adottate si ottengono per le suddivisioni sudd_0 , sudd_1 e sudd_2 i progetti riportati nella tabella B.

Le suddivisioni sudd_3 e sudd_4 , come è facile verificare, comportano l'aggiunta, rispettivamente, di uno e due ulteriori rigeneratori, risultando quindi meno convenienti delle precedenti dal punto di vista economico.

La suddivisione economicamente più conveniente è la sudd_2 .

Da centrale	A centrale	Lunghezza tratta (km)	Attenuazioni non marginate
A	B	86,4	24,5
B	C	18,5	6,2
C	D	42,7	12,7
D	E	47,0	13,9
E	F	67,6	19,5
F	G	32,7	10,0
G	H	84,5	24,0
H	I	26,4	8,3
I	L	66,7	19,2
L	M	23,9	7,7
M	N	63,0	18,2
		Totale (km)	559,4

Tabella A Struttura del collegamento.

Centrale	Prima sezione di rigenerazione		Seconda sezione di rigenerazione	
	Apparato		Apparato	
sudd₀	Configurazione relativa alla suddivisione sudd₀			
A	TX+B			
B	L			
C	L			
D	L			
E	L			
F	P+RX	3R	TX+B	
G			L	
H			L	
I			L	
L			L	
M			L	
N			P+RX	
sudd₁	Configurazione relativa alla suddivisione sudd₁			
A	TX+B			
B	L			
C	Ponticello			
D	L			
E	L			
F	P+RX	3R	TX+B	
G			L	
H			L	
I			L	
L			L	
M			L	
N			P+RX	
sudd₂	Configurazione relativa alla suddivisione sudd₂			
A	TX+B			
B	L			
C	Ponticello			
D	L			
E	L			
F	L			
G	P+RX	3R	TX+B	
H			L	
I			L	
L			L	
M			Ponticello	
N			P+RX	

Tabella B Progetti ottenuti con le suddivisioni sudd_0 , sudd_1 e sudd_2 .

nalmente in cui si decompone il modo fondamentale inducendo la formazione di due modi non degeneri che si propagano con velocità differenti. Inoltre, poiché gli assi di birifrangenza sono localmente orientati in modo casuale, all'effetto della birifrangenza si aggiunge quello dell'accoppiamento modale: l'energia associata all'impulso che si propaga si trasferisce continuamente tra un modo e l'altro. L'insieme di questi fenomeni dà luogo ad un allargamento dell'impulso. Ne consegue che la PMD ha carattere statistico e il parametro significativo è il valor medio del ritardo $\langle \Delta\tau \rangle$.

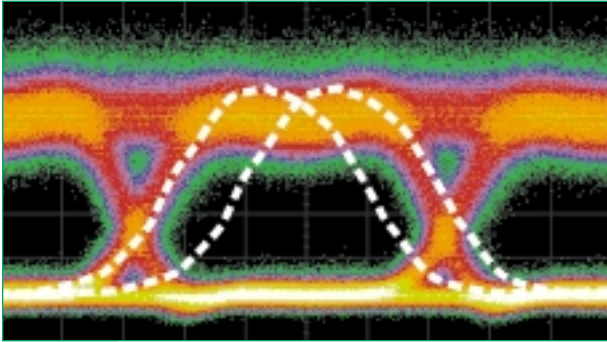


Figura 7 Diagramma a occhio di un segnale a 10 Gbit/s in presenza di PMD (Polarisation Mode Dispersion).

Si può verificare sperimentalmente che, per fibre convenzionali di lunghezza superiore a 100 metri, il ritardo medio $\langle \Delta\tau \rangle$ cresce proporzionalmente alla radice quadrata della lunghezza della fibra.

Si definisce allora un Coefficiente di PMD come:

$$C_{PMD} = \frac{\langle \Delta\tau \rangle}{\sqrt{L}} \quad [\text{ps} / \sqrt{\text{km}}]$$

Il valore di C_{PMD} è variabile da fibra a fibra ma il valore tipico massimo, comunemente utilizzato in fase di progetto, è compreso tra 0,3 e 0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$.

L'effetto della PMD è rilevante solo quando la cadenza di cifra dei segnali che si propagano in fibra è superiore a 10 Gbit/s in quanto il ritardo accumulato dai due modi che si propagano assume valori comparabili con la durata di un singolo bit per le tratte tipiche di collegamenti amplificati otticamente (ad esempio, un bit a 10 Gbit/s ha una durata di 100 ps).

Per tutti i valori della cadenza di cifra inferiori a 10 Gbit/s, il DGD accumulato su tratte tipiche (inferiori a 1000 km) è ampiamente tollerato dai ricevitori.

In figura 7 è mostrato il diagramma a occhio dello stesso segnale di figura 4 affetto da PMD. La natura "duplice" dell'impulso è indicata in modo puramente qualitativo dalle due linee tratteggiate sovrapposte al diagramma. Si può osservare che l'impulso in ricezione è costituito dalla sovrapposizione dei due sotto-impulsi (i due modi) ritardati l'uno rispetto all'altro dalla PMD.

La compensazione della PMD deve essere effettuata dal ricevitore e, poiché il DGD varia nel tempo, il compensatore deve essere di tipo adattativo. Non

sono oggi disponibili in commercio compensatori di PMD; sono però in fase di realizzazione alcune soluzioni. Quelle più promettenti sembrano essere:

- i filtri di equalizzazione elettronici che riducono l'interferenza intersimbolica dopo la ricezione e possono essere integrati con il ricevitore;
- i ricevitori a diversità di polarizzazione che rivelano separatamente i due modi e ne correggono il ritardo;
- i compensatori ottici che correggono il ritardo relativo direttamente sul segnale ottico.

Va infine osservato che, poiché il fenomeno della PMD dipende anche dalla lunghezza d'onda, nei sistemi DWDM è necessario predisporre un compensatore per ogni canale.

3.1.4 L'accumulo di rumore ottico

Gli amplificatori ottici utilizzati nei collegamenti DWDM sono di tipo OFA (*Optical Fiber Amplifier*). Lo schema di principio del generico OFA è riportato in figura 8.

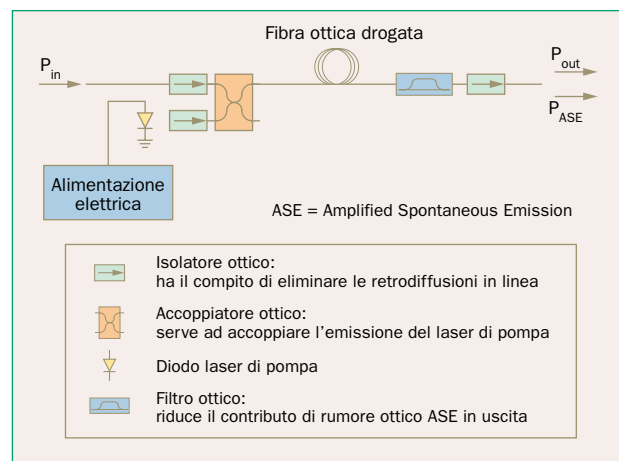


Figura 8 Schema di principio del generico amplificatore ottico (OFA).

Per semplicità in quanto segue saranno esaminati gli EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) che sono gli amplificatori ottici più diffusi sul mercato.

In questo tipo di amplificatori il drogante della fibra ottica è una terra rara: l'*Erbio*. Nel 1985 un gruppo di ricerca dell'Università di Southampton dimostrò che una fibra ottica della lunghezza di qualche decina di metri, drogata con Erblio e opportunamente stimolata (*pompata*) da una radiazione visibile, esibisce, nella regione spettrale intorno a 1550 nm, un guadagno netto maggiore di uno [4].

Il principio di funzionamento degli EDFA si basa sulla fluorescenza dell'Erblio [5] ed il processo di amplificazione coinvolge tre livelli energetici dello ione Erblio Er^{3+} (figura 9).

La radiazione emessa dal laser di pompa - tipicamente a 980 nm - propagandosi lungo la fibra ottica drogata, promuove gli elettroni dello ione Erblio dal livello A al livello C. Gli elettroni rimangono nello stato C per brevissimo tempo e decadono poi al

VALUTAZIONE QUANTITATIVA DEL FENOMENO DELL'ACCUMULO DELL'ASE (AMPLIFIED SPONTANEOUS EMISSION)

Si supponga di avere un collegamento DWDM costituito da n tratte amplificate come riportato in figura A. Si indichi con a_i l'attenuazione della i-esima tratta e con g_i il guadagno dell'i-esimo EDFA. Sia B il Booster, P il Preamplificatore e L l'OLA. La grandezza OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) è il rapporto tra la potenza ottica del generico segnale e la potenza dell'ASE contenuto nella banda del segnale stesso prima della ricezione elettrica e cioè a monte del fotodiodo.

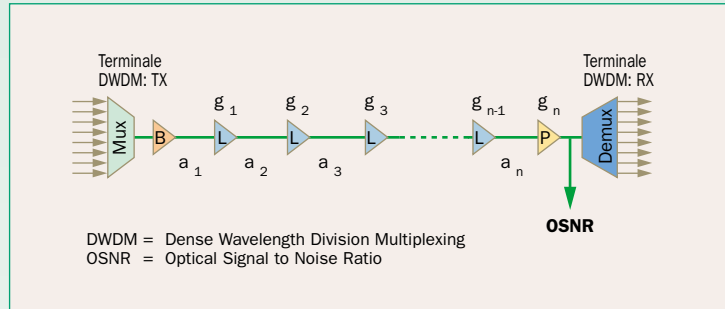


Figura A Collegamento DWDM amplificato composto da n tratte.

Se si indica con $P_{S,i}$ la potenza ottica di segnale del singolo canale del pettine DWDM all'uscita dell'i-esimo amplificatore ($P_{S,0}$ è la potenza del singolo segnale all'uscita del Booster) si ha:

$$\begin{cases} P_{S,0} \\ P_{S,1} = P_{S,0} \cdot \frac{g_1}{a_1} \\ \dots \\ P_{S,n} = P_{S,0} \cdot \frac{g_1}{a_1} \cdot \frac{g_2}{a_2} \cdot \dots \cdot \frac{g_n}{a_n} \end{cases}$$

e analogamente per la potenza di rumore ottico all'uscita dell'amplificatore i-esimo $P_{N,i}$ ($P_{N,0}$ è la potenza di rumore all'uscita del Booster):

$$\begin{cases} P_{N,0} \\ P_{N,1} = P_{N,0} \cdot \frac{g_1}{a_1} + F_1(g_1 - 1)h\nu\Delta\nu \cong P_{N,0} \cdot \frac{g_1}{a_1} + F_1g_1h\nu\Delta\nu \\ \dots \\ P_{N,n} \cong P_{N,0} \cdot \frac{g_1}{a_1} \cdot \frac{g_2}{a_2} \cdot \dots \cdot \frac{g_n}{a_n} + F_1g_1h\nu\Delta\nu \cdot \frac{g_2}{a_2} \cdot \dots \cdot \frac{g_n}{a_n} + F_n g_n h\nu\Delta\nu \end{cases}$$

dove F_i indica la cifra di rumore dell'amplificatore i-esimo; h la costante di Planck; ν la frequenza della portante ottica e $\Delta\nu$ la banda di misura dell'OSNR. Se tutti gli amplificatori sono in grado di recuperare per intero l'attenuazione della tratta che li precede cioè che $a_i = g_i$ (questa condizione si verifica nel caso di un collegamento progettato correttamente) ed inoltre se tutti gli amplificatori hanno la stessa cifra di rumore, $F_1 = F_2 = \dots = F_n = F$, si ha:

$$\begin{cases} P_{S,n} = P_{S,0} \\ P_{N,n} \cong P_{N,0} + Fh\nu\Delta\nu \sum_{i=1}^n a_i \end{cases}$$

Quindi l'OSNR è dato da:

$$OSNR = \frac{P_{S,n}}{P_{N,n}} = \frac{P_{S,0}}{P_{N,0} + Fh\nu\Delta\nu \sum_{i=1}^n a_i}$$

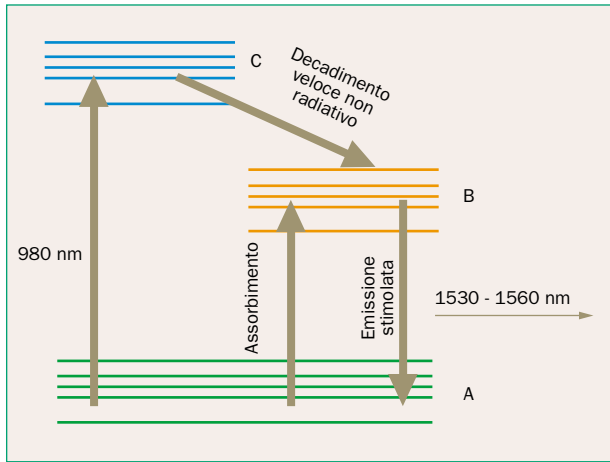


Figura 9 Schema semplificato di amplificazione a tre livelli di un amplificatore per fibra drogata con Erbium (EDFA).

livello B dove stazionano per un tempo sufficientemente lungo da indurre l'inversione di popolazione⁵. In condizioni di inversione di popolazione il numero di elettroni nello stato energetico B è superiore a quello degli elettroni nello stato energetico A e quindi un fotone del segnale incidente su uno ione Er^{3+} ha maggiore probabilità di indurre una emissione stimolata di altri fotoni (transizione da B ad A) che di essere assorbito (transizione da A a B): in condizioni di inversione di popolazione la fibra ottica drogata quindi amplifica invece di attenuare.

In condizioni reali di funzionamento però all'uscita di un EDFA è sempre presente, oltre al segnale di ingresso amplificato, anche una radiazione incoerente a larga banda cui si dà il nome di ASE (*Amplified Spontaneous Emission*). Questa radiazione, dovuta a transizioni spontanee (cioè non stimulate da fotoni appartenenti al segnale da amplificare) dal livello B al livello A, si comporta a tutti gli effetti come rumore ottico.

Si può dimostrare che la potenza dell'ASE all'interno di una banda Δf è:

$$P_{ASE} = h\nu F(G-1)\Delta f \quad [\text{W}]$$

dove h è la costante di Planck ($6,62559 \cdot 10^{-34}$ [J·s]), ν è la frequenza centrale della banda Δf , F è la figura di rumore e G è il guadagno dell'EDFA (F e G sono espressi in unità lineari).

La presenza dell'ASE limita il numero massimo di EDFA che possono essere messi in cascata poiché l'ASE generato all'interno del generico EDFA della catena viene amplificato da parte dei successivi, accumulandosi. Si ha quindi un degrado del rapporto segnale rumore che può, in taluni casi, risultare inaccettabile. Se è possibile infatti, adottando opportuni filtri ottici in ricezione, eliminare i contributi di ASE

al di fuori della banda del segnale, i contributi che cadono all'interno della banda sono ineliminabili e diventano spesso il fattore che limita la lunghezza massima di una tratta DWDM. Nel riquadro di pagina 36 è riportata l'analisi quantitativa del fenomeno dell'accumulo dell'ASE.

L'espressione:

$$OSNR = \frac{P_{S,n}}{P_{N,n}} = \frac{P_{S,0}}{P_{N,0} + Fh\nu\Delta\nu \sum_{i=1}^n a_i}$$

mostra che, a parità di attenuazione di tratta (a_i tutte uguali), al crescere del numero n di EDFA (e quindi del numero di tratte), l'OSNR peggiora; a parità del numero n di EDFA, l'OSNR peggiora al crescere della somma delle attenuazioni delle singole tratte.

Gli amplificatori ottici lavorano in regime di saturazione cioè in condizioni tali per cui la potenza ottica emessa è costante ed è perciò indipendente dalla potenza di ingresso. Questo funzionamento permette, nei casi in cui la potenza in ingresso non scenda al disotto di livelli specificati, di progettare il collegamento avendo la certezza che all'uscita di ogni EDFA la potenza ottica sia fissata e quindi di recuperare per intero l'attenuazione introdotta dalla tratta precedente (per ogni tratta $a_i = g_i$).

Il fenomeno dell'accumulo dell'ASE non può essere eliminato e costituisce uno dei limiti fondamentali per la realizzazione di collegamenti DWDM arbitrariamente lunghi. Tuttavia, qualora il collegamento possa essere progettato senza vincoli topologici, cioè se gli amplificatori possono essere posti in qualunque punto del collegamento, è sempre possibile aumentare l'OSNR riducendo la distanza fra i singoli amplificatori e la loro figura di rumore.

3.2 I fenomeni trasmissivi non lineari

Al crescere della potenza dei segnali che si propagano in una fibra ottica, iniziano a manifestarsi interazioni non lineari tra i segnali e la fibra stessa.

Nei sistemi DWDM questa degradazione è enfatizzata dalla presenza contemporanea di numerosi segnali ottici e dalla necessità di dover aumentare la potenza di ciascuno di essi per superare distanze sempre maggiori.

I fenomeni non lineari si classificano in genere in fenomeni di scattering, cioè di diffusione, e in fenomeni causati dall'effetto *Kerr* che è la dipendenza dell'indice di rifrazione dalla potenza ottica del segnale.

I fenomeni di scattering sono:

- la retrodiffusione stimolata di Brillouin, la *SBS* (*Stimulated Brillouin Scattering*);
- la diffusione stimolata di Raman, la *SRS* (*Stimulated Raman Scattering*).

I fenomeni legati all'effetto Kerr, di maggior interesse per i sistemi DWDM, sono:

- l'automodulazione di fase, la *SPM* (*Self Phase Modulation*);
- la modulazione di fase incrociata, la *XPM* (*Cross Phase Modulation*);

⁽⁵⁾ In condizioni di inversione di popolazione la distribuzione degli elettroni tra i livelli energetici non segue la distribuzione di Boltzmann tipica dell'equilibrio termico.

- la miscelazione a quattro onde, la *FWM* (*Four Wave Mixing*).

Qui di seguito sono brevemente chiariti i motivi dei fenomeni trasmissivi non lineari sopraelencati.

3.2.1 La retrodiffusione stimolata di Brillouin (*Stimulated Brillouin Scattering*)

In un sistema a modulazione di intensità che sfrutti un'emissione laser ad alta purezza spettrale (cioè quasi monocromatica), una frazione significativa della potenza ottica è trasferita dal segnale che si propaga a un segnale spurio retrodiffuso.

Tale fenomeno, previsto da Brillouin nel 1922 e dimostrato sperimentalmente qualche anno dopo, è dovuto all'interazione tra la luce e le onde acustiche (perturbazioni della densità del vetro causate dall'onda elettromagnetica che si propaga) e si manifesta solo quando la potenza del segnale all'ingresso della fibra supera un livello di soglia che dipende dal tipo di fibra e dalla lunghezza d'onda del laser.

Per trasmettitori a modulazione esterna, che sono i più diffusi nei sistemi DWDM commerciali, il valore di soglia è compreso tra 5 mW e 10 mW. Inoltre, se la sorgente laser emette a 1550 nm, il segnale retrodiffuso ha una frequenza più bassa rispetto all'emissione laser di circa 11 GHz.

Dalla figura 10 [4] si deduce che, superati i 10 mW, tutta la potenza del segnale in ingresso eccedente i 10 mW viene retrodiffusa rendendo vani i tentativi di aumentare la potenza per far crescere la lunghezza del collegamento.

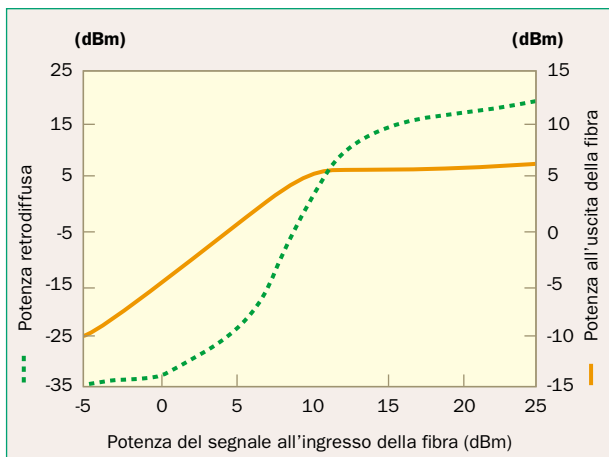


Figura 10 Effetto dello "stimulated brillouin scattering" su un segnale con un'alta purezza spettrale.

La larghezza di banda del guadagno di Brillouin $\Delta\nu_B$, per le fibre in silice, è circa 20 MHz a 1550 nm e varia come λ^{-2} . Il massimo del guadagno per l'SBS si ha con i laser che hanno una larghezza di riga minore di 20 MHz; per i laser con larghezze di riga $\Delta\nu_L$ maggiori di 20 MHz il guadagno dell'effetto Brillouin, cioè la quota parte dell'energia retrodiffusa, decresce con $\Delta\nu_B/\Delta\nu_L$.

Per sopprimere la retrodiffusione di Brillouin è sufficiente aumentare la larghezza di banda dell'e-

missione laser, modulandone, ad esempio, la frequenza (*dithering*), eliminando la portante con modulazioni duobinarie o adottando modulazioni RZ (*Return to Zero*) anziché NRZ (*Non Return to Zero*). La tecnica più diffusa è quella del *dithering*.

3.2.2 La diffusione stimolata di Raman (*Stimulated Raman Scattering*)

L'effetto Raman è un processo di diffusione causato dall'interazione della luce con la vibrazione molecolare.

Se due segnali separati dalla frequenza di vibrazione molecolare (*frequenza di Stokes*) sono lanciati contemporaneamente in fibra, il segnale a frequenza più bassa (detto *segnale probe*) sperimenta un'amplificazione a spese del segnale a frequenza più alta (detto *segnale di pompa*). Poiché la silice fusa, di cui sono composte le fibre ottiche, è un vetro, esiste per essa uno spettro continuo di frequenze di vibrazione molecolari, cioè esiste una distribuzione spettrale del guadagno non lineare g (figura 11).

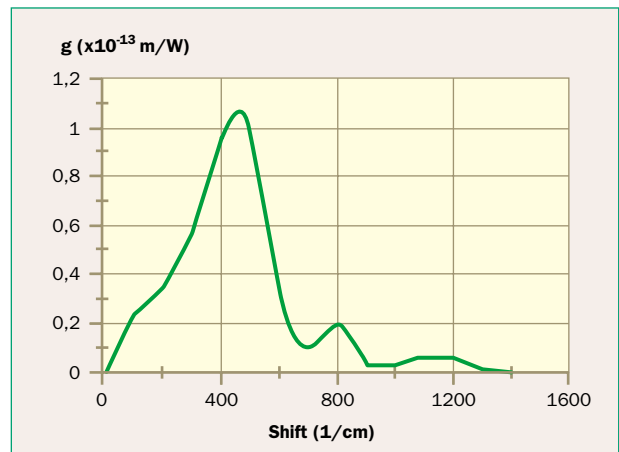


Figura 11 Profilo approssimato del guadagno di Raman. In ascissa la differenza tra i numeri d'onda ($2\pi/\lambda$) della pompa e del probe.

Il guadagno aumenta in modo approssimativamente lineare al crescere della differenza fra le frequenze di pompa e del probe fino a circa 500 cm^{-1} . Ogni coppia di canali con una separazione in frequenza fino a 15 mila GHz è quindi accoppiata attraverso l'effetto Raman.

È possibile scrivere:

$$P_{probe}(L) = P_{probe}(0) \cdot \exp\left(\frac{g P_{pompa} L_e}{2A_e}\right)$$

dove P_{pompa} è la potenza del segnale di pompa all'ingresso della fibra, $P_{probe}(L)$ è la potenza del segnale di probe all'uscita di una fibra lunga L , $P_{probe}(0)$ è la potenza dello stesso segnale all'ingresso, A_e è l'area effettiva di sovrapposizione modale (approssimabile con il doppio dell'area del *core*) ed L_e è la lunghezza efficace:

$$L_e = \frac{1 - \exp(-\alpha L)}{\alpha}$$

Si può dimostrare che, in un sistema DWDM con N canali equispaziati, nessun canale subisce, a causa del SRS, una variazione di potenza superiore ad 1 dB se è verificata la seguente condizione:

$$P_{tot} \cdot \Delta\lambda \cdot L_e < 40000 \quad [\text{mW} \cdot \text{nm} \cdot \text{km}]$$

dove P_{tot} è la potenza totale iniettata in fibra, $\Delta\lambda$ la banda totale occupata dagli N canali e L_e è la lunghezza efficace espressa in km.

3.2.3 L'automodulazione di fase (Self Phase Modulation)

Per l'effetto Kerr, la variazione temporale della potenza ottica (o intensità) di un segnale lanciato in fibra produce una modulazione della sua stessa fase. A tale effetto si dà il nome di automodulazione di fase e provoca un allargamento dello spettro del segnale. L'allargamento dello spettro, a sua volta, per la presenza della dispersione cromatica induce una distorsione del segnale. Se il segnale ha una lunghezza d'onda che giace nella regione di dispersione normale della fibra ($D < 0$) gli impulsi tendono ad allargarsi; al contrario, nella regione di dispersione anomala ($D > 0$) l'SPM e la dispersione cromatica tendono a compensarsi l'un l'altro causando una "compressione" degli impulsi.

Gli effetti della SPM sono significativi solo nei sistemi con alta dispersione cromatica e, tipicamente, l'adozione di fibre a dispersione spostata (G.653 o G.655) ne riduce fortemente l'impatto.

Per sistemi con lunghezze inferiori ai 1000 km l'SPM può essere controllata introducendo lungo il collegamento i moduli DCM (già trattati al paragrafo 3.1.2).

In figura 12 [4] si riporta un grafico che chiarisce il fenomeno dell'allargamento spettrale. Dall'analisi della figura si deduce che, mentre la potenza ottica del segnale $I(t)$ varia, varia con essa anche la frequenza della portante $f(t)$ e quindi lo spettro tende ad allargarsi.

3.2.4 La modulazione di fase incrociata (Cross Phase Modulation)

Nei sistemi DWDM la XPM (Cross Phase Modulation) lega le variazioni di intensità di ciascuno dei segnali ottici alla fase dei segnali adiacenti. L'entità dell'allargamento spettrale, dovuta alle

variazioni di fase indotte dalla XPM, dipende dalla separazione in frequenza tra i canali: quanto maggiore è tale differenza, tanto più le velocità di propagazione di gruppo saranno differenti, e quindi gli impulsi appartenenti a segnali diversi tenderanno ad interagire per tempi sempre più brevi riducendo l'effetto del XPM.

La XPM può essere controllata scegliendo opportunamente la spaziatura dei canali. Studi recenti hanno dimostrato che solamente i due canali adiacenti al canale in esame contribuiscono significativamente alle distorsioni da XPM. Il rapporto segnale disturbo ottico, OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) del canale centrale di un sistema a tre canali tende al valore limite dell'OSNR di un sistema a singolo canale (non affetto da XPM) al crescere della spaziatura in frequenza.

Si è dimostrato che una separazione in frequenza di 100 GHz è sufficiente a ridurre significativamente gli effetti della XPM in un sistema DWDM che adotti una potenza di 5 mW per canale.

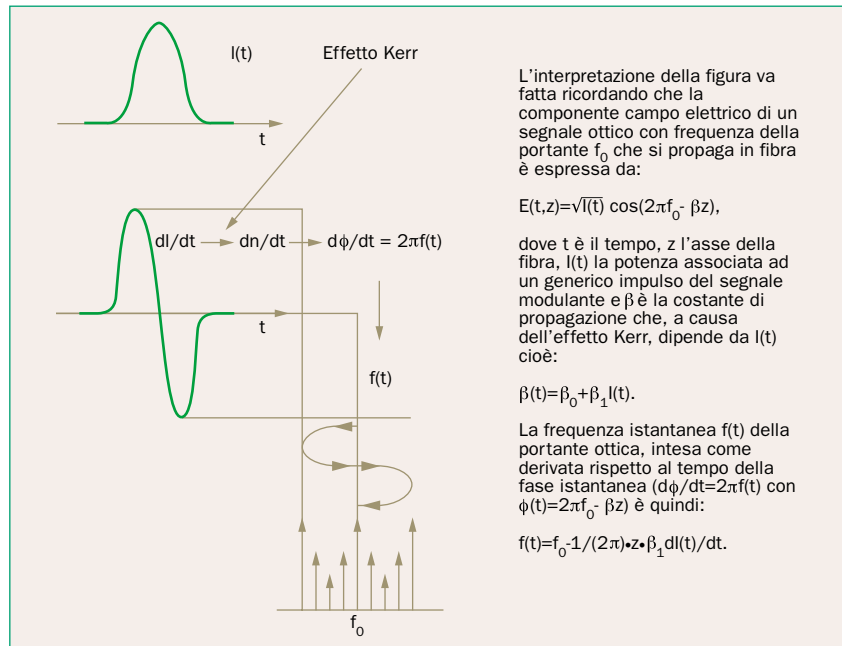


Figura 12 Allargamento spettrale causato dalla Self Phase Modulation.

Le distorsioni dovute all'interazione tra XPM e dispersione cromatica possono essere comunque controllate mediante l'introduzione di moduli DCM.

3.2.5 La miscelazione a quattro onde (Four Wave Mixing)

FWM (Four Wave Mixing) è un processo non lineare analogo ai processi di intermodulazione nei sistemi elettronici. Nei sistemi DWDM, tre segnali ottici a frequenze f_i , f_j ed f_k ($k \neq i, j$) interagiscono dando luogo ad un quarto segnale di frequenza:

$$f_{ijk} = f_i + f_j - f_k$$

Si consideri ad esempio il caso di tre segnali ottici

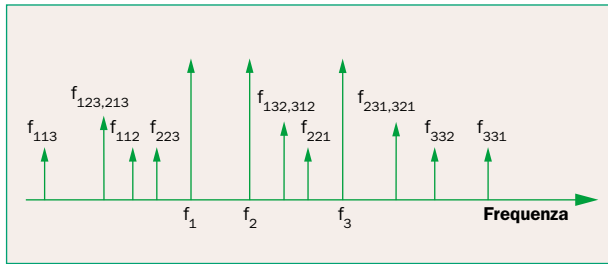


Figura 13 Generazione di prodotti di intermodulazione.

di frequenza f_1 , f_2 ed f_3 , che si propagano in una fibra ottica. Lo spettro risultante dopo l'effetto del FWM è riportato nella figura 13 [4].

La generazione del quarto segnale si verifica per ogni combinazione possibile di tre segnali ottici e il numero dei prodotti di intermodulazione cresce rapidamente al crescere dei segnali trasportati dal sistema DWDM: un sistema con 10 canali può dar luogo a centinaia di prodotti di intermodulazione.

L'efficienza del fenomeno, cioè la quota parte di energia trasferita dai segnali ottici ai prodotti di intermodulazione, è una funzione molto complessa che dipende dalla separazione in frequenza Δf tra i segnali e dal valore del coefficiente di dispersione cromatica D . In generale si può dire che, quanto minore è la differenza Δf tanto maggiore è l'efficienza, così come quanto più piccolo è il modulo del coefficiente di dispersione cromatica D tanto maggiore è l'efficienza.

Si osservi che, a causa della relazione che lega la frequenza dei prodotti di intermodulazione e quella dei segnali, se tutti i segnali sono equispaziati in frequenza allora i prodotti di intermodulazione cadono sulle frequenze dei segnali stessi dando luogo a interferenza.

Se la separazione in frequenza tra due segnali comunque scelti nel pettine DWDM è invece diversa da quella di qualunque altra coppia di segnali, allora tutti i prodotti di intermodulazione avranno frequenze diverse da quelle dei segnali e non danno luogo a interferenza.

Se quindi un sistema DWDM è limitato dal FWM, cioè se il sistema è tale per cui l'efficienza del fenomeno è elevata (ad esempio il coefficiente di dispersione cromatica D è molto basso), un modo per ridurre gli effetti è quello di scegliere le frequenze dei segnali in modo non uniforme, UCS (Unequal Channel Spacing) [6].

In figura 14 è mostrato lo spettro di un segnale DWDM costituito da otto segnali a 10 Gbit/s con spaziatura UCS all'uscita di 50 km di fibra ottica che risponde alla Raccomandazione ITU-T G.653

($D < 5$ ps/(nm · km)).

La tecnica UCS è la tecnica di riduzione del FWM adottata dalla maggior parte dei costruttori di sistemi DWDM, ma presenta lo svantaggio di non impiegare al meglio la banda trasmissiva. Infatti non si dispone in genere di sorgenti laser di lunghezza d'onda qualunque ma si dispone di sorgenti laser con lunghezze d'onda agganciate a "griglie" standard [7] (per motivi costruttivi e di economie di scala perseguite dai costruttori).

All'interno di una banda ottica prefissata è perciò possibile scegliere tra un numero finito di sorgenti laser e, quindi, a parità di spaziatura in frequenza (passo minimo della griglia) il numero di sorgenti equispaziate è certamente superiore a quello delle sorgenti non equispaziate. Ad esempio un sistema DWDM con una banda degli EDFA sufficiente al trasporto da 32 a 40 canali equispaziati può al massimo garantire il trasporto da 10 a 12 canali non equispaziati.

4. Il progetto dei collegamenti DWDM

Per definire correttamente il problema del progetto di un collegamento DWDM terrestre conviene fare riferimento alla figura 15: in essa è mostrata la struttura del generico collegamento DWDM per il trasporto di N segnali. In particolare si hanno i seguenti elementi fondamentali:

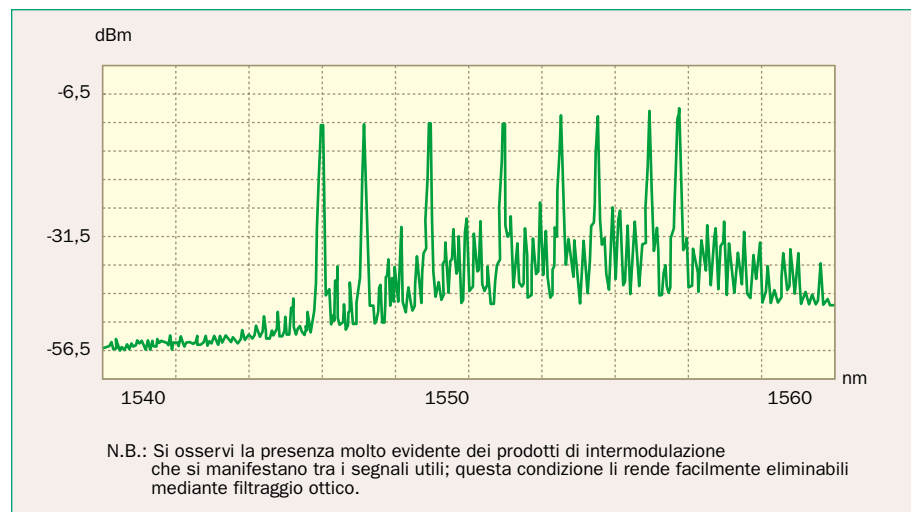


Figura 14 Spettro di un segnale DWDM 8 x 10 Gbit/s con spaziatura Unequal Channel Spacing, dopo 50 km di fibra ottica G.653 (2 mW/canale).

- *terminale DWDM*: è costituito da una coppia trasmettitore (DWDM TX) e ricevitore (DWDM RX);
- *amplificatore ottico di potenza o booster (B)*: è posto immediatamente a valle di un trasmettitore DWDM;
- *amplificatore ottico di linea OLA (L)*: esegue la funzione di amplificare otticamente il segnale DWDM senza terminarlo;
- *preamplificatore ottico (P)*: è posto immediatamente a monte di un ricevitore DWDM;
- *stadio di rigenerazione DWDM (3R)*: è composto da

due terminali DWDM e da N stadi paralleli di rigenerazione o rigeneratori 3R, uno per ciascun canale. L'introduzione dei rigeneratori 3R (*Re-Amplifying + Re-Shaping + Re-Timing*) che operano una rigenerazione completa del segnale numerico, è necessaria qualora la degradazione introdotta sui segnali dalla trasmissione DWDM sia tale da non poter essere ulteriormente tollerata;

- *sito*: è il luogo dove è fisicamente possibile sia installare un apparato (stadio di rigenerazione DWDM od amplificatore di linea) sia effettuare un "attraversamento passivo" o "ponticello" mediante un raccordo (*bretella*) in fibra ottica;
- *nodo*: è il sito fisico in cui viene generato e terminato il flusso DWDM punto-punto;
- *tratta*: è il collegamento in fibra tra due siti consecutivi;
- *accorpamento*: è costituito dal collegamento di due o più tratte adiacenti tramite "attraversamenti passivi" effettuati mediante bretelle in fibra ottica;
- *collegamento ottico*: si intende l'insieme di tratte in fibra ed apparati compresi tra due nodi. Ogni collegamento è qui considerato bidirezionale su due fibre distinte ma con caratteristiche analoghe, e congiungenti i medesimi siti;
- *sezione di trasmissione ottica*: l'*OTS* (*Optical Transmission Section*) è costituito dal collegamento in fibra tra due amplificatori consecutivi, o tra un amplificatore ed un rigeneratore o un terminale DWDM (si noti come una sezione di trasmissione ottica possa essere composta da più tratte se sono stati effettuati accorpamenti tramite ponticello);
- *sezione ottica di rigenerazione*: la *RS* (*Regeneration Section*) è l'insieme di tratte in fibra e apparati di amplificazione di linea compresi tra due stadi di rigenerazione DWDM successivi o tra uno stadio di rigenerazione DWDM ed un terminale DWDM.

Con configurazione si indica poi lo schema di assegnazione ad ogni sito disponibile di un amplificatore di linea, di un rigeneratore DWDM o di un attraversamento passivo in fibra (figura 16 a pagina 44). Una configurazione sarà quindi individuata dagli accorpamenti effettuati e dalla scelta dei siti di amplificazione e rigenerazione. Si intende inoltre che ogni configurazione sia bidirezionale, cioè che i siti di accorpamento, amplificazione e rigenerazione siano gli stessi per i due versi di percorrenza.

Non tutte le configurazioni possibili corrispondono a collegamenti fisicamente realizzabili a causa dei limiti imposti dall'accumulo di rumore ASE, dalla presenza di effetti non lineari e dalle limitazioni tecniche degli apparati impiegati. La progettazione tiene conto di queste limitazioni attraverso opportune regole di selezione che individuano all'interno dell'insieme delle configurazioni possibili il sottoinsieme delle configurazioni effettivamente realizzabili (fattibili).

Una configurazione è quindi fattibile quando soddisfa le regole di selezione sopra citate.

Si può a questo punto definire il concetto di progetto: la progettazione di un collegamento DWDM corrisponde alla determinazione di tutte le configurazioni fattibili del collegamento e alla scelta di una di esse in base a predefiniti criteri di convenienza.

Nel progetto di un collegamento DWDM terrestre, in genere, la posizione dei siti è vincolata, cioè gli apparati, e in particolare gli EDFA e i rigeneratori 3R, non possono essere posti in modo arbitrario lungo il collegamento.

La procedura di progetto si basa sul rispetto di tre vincoli: anzitutto essa deve garantire un rapporto segnale rumore ottico al ricevitore sempre superiore a un valore minimo specificato dal costruttore. In secondo luogo essa deve garantire che la dispersione cromatica totale accumulata sulla singola RS sia inferiore al valore massimo tollerato dai ricevitori. Nel

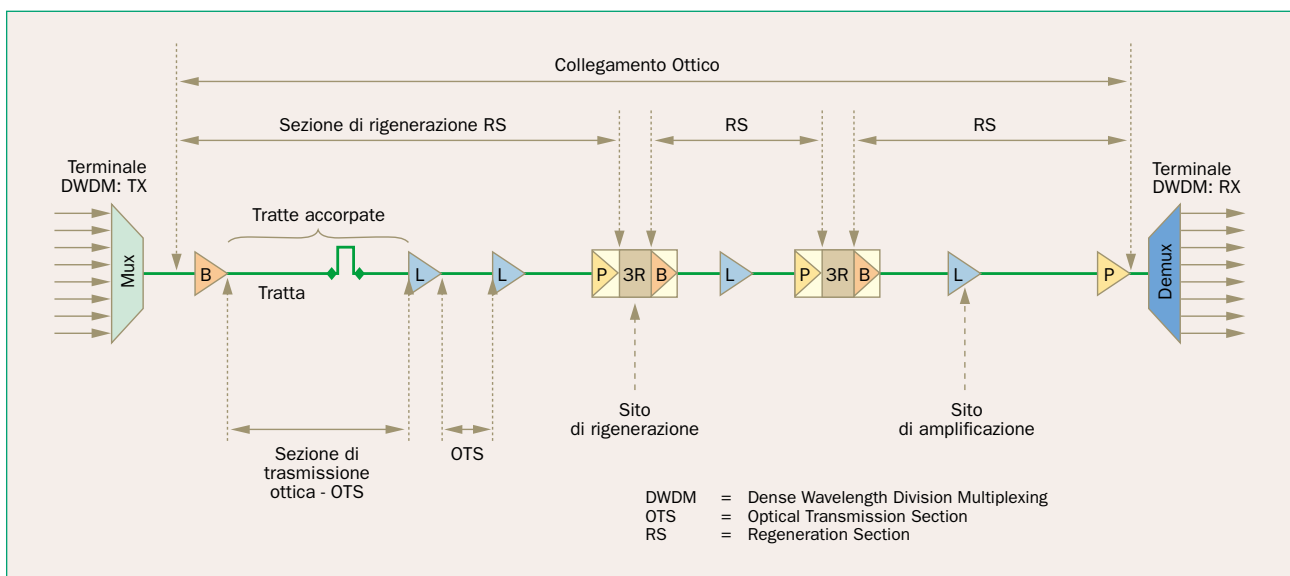


Figura 15 Esempio di configurazione di un verso di trasmissione di un collegamento ottico, con l'indicazione dei corrispondenti elementi costitutivi.

LE FIBRE OTTICHE SINGOLO MODO E LORO PRESTAZIONI

In ambito normativo internazionale sono attualmente standardizzati 3 tipi di fibra ottica singolo modo:

- la fibra singolo modo convenzionale (SM), le cui caratteristiche sono descritte nella Racc. ITU-T G.652 [12];
- la fibra singolo modo a dispersione spostata (DS), le cui caratteristiche sono descritte nella Racc. ITU-T G.653 [13];
- la fibra singolo modo a dispersione non nulla (NZD, *Non Zero Dispersion*), le cui caratteristiche sono descritte nella Racc. ITU-T G.655 [14].

Per completezza bisogna aggiungere anche la fibra descritta nella Raccomandazione ITU-T G.654; si tratta sostanzialmente di una particolare realizzazione della fibra G.652 il cui utilizzo è limitato ad alcune applicazioni nei cavi sottomarini.

La fibra rispondente alla Raccomandazione ITU-T G.652

La fibra G.652 è la fibra più diffusa nel mondo: circa il 90% dei portanti ottici nelle reti terrestri dei principali operatori è infatti di questo tipo. In conseguenza dell'ampissimo mercato mondiale (circa 70 milioni di km di portante installato) la fibra G.652 è il portante ottico più economico. Si tratta di un prodotto assolutamente maturo, essendo in produzione da almeno 15 anni. Nella terza finestra di trasmissione essa è caratterizzata da una dispersione cromatica piuttosto elevata ($D=16\div18$ ps/(nm·km)) e da una attenuazione attorno a $0,20\div0,22$ dB/km.

La fibra G.652 è particolarmente indicata per i collegamenti su cui devono essere trasmessi un elevato numero di canali a frequenza di cifra moderata (fino a 2,5 Gbit/s). Questo tipo di fibra rappresenta infatti il portante ideale per la trasmissione DWDM ad elevata densità in terza finestra poiché, grazie all'elevata dispersione, essa è praticamente immune da effetti di intermodulazione non lineare

(FWM, *Four Wave Mixing* trattati nel paragrafo 3.2.5).

La dispersione cromatica della fibra G.652, se da un lato è un vantaggio dal punto di vista del numero di canali DWDM trasmissibili, dall'altro rappresenta un severo limite alla massima frequenza di modulazione sul singolo canale. Se si considera un flusso STM-16 (2,5 Gbit/s), la dispersione della fibra G.652 non costituisce un grave problema: grazie agli amplificatori di linea la sezione ottica di rigenerazione può arrivare anche a 600 km.

Tuttavia se si passa a flussi STM-64 (10 Gbit/s), a causa della dispersione, la sezione di rigenerazione si riduce a non oltre 80÷100 km, vanificando i vantaggi offerti dalla amplificazione ottica di linea. Per effettuare la trasmissione DWDM Nx10 Gbit/s su collegamenti superiori agli 80 km, volendo sfruttare i vantaggi economici ed impiantistici offerti dalla amplificazione ottica di linea (un amplificatore ottico costa assai meno di N rigeneratori a 10 Gbit/s e occupa uno spazio più ridotto), è necessario adottare tecniche di compensazione della dispersione.

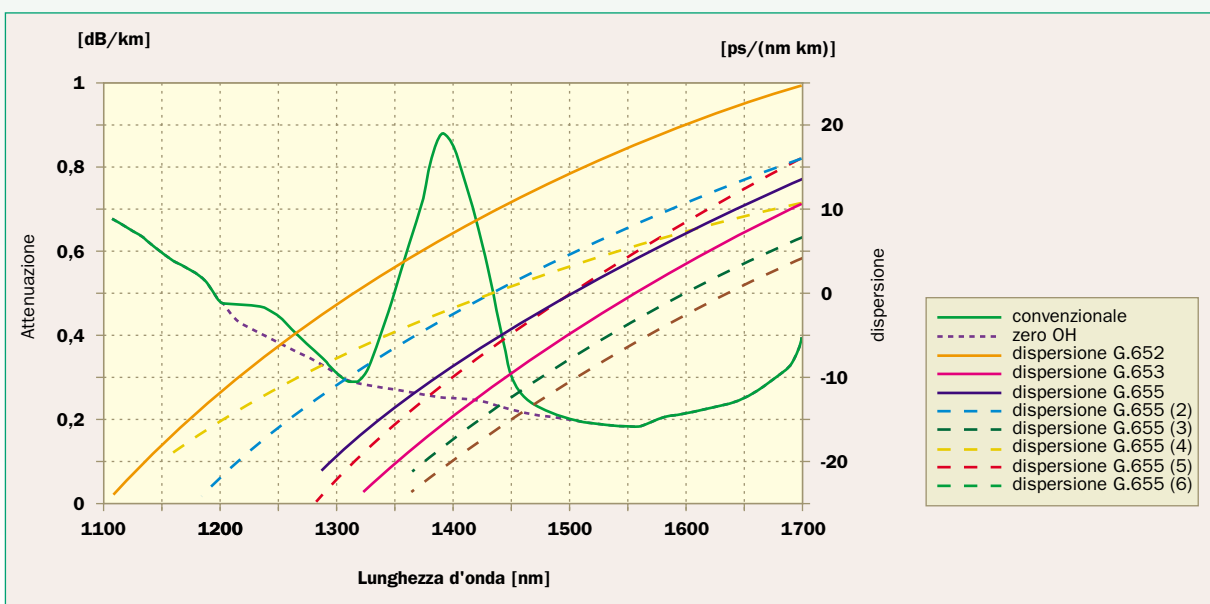


Figura A Attenuazione di una fibra ottica convenzionale e di una di tipo "zero-OH" e caratteristiche di dispersione di fibre G.652, G.653 e G.655.

La fibra rispondente alla Raccomandazione ITU-T G.653

Si tratta di una fibra che ha avuto una diffusione piuttosto limitata nel mondo. Oltre alla rete italiana di lunga distanza (ex Iritel) ed alcuni collegamenti transoceanici della generazione precedente all'utilizzo del DWDM, la fibra G.653 è utilizzata in modo significativo nella rete di lunga distanza solo in Giappone, Svezia e in qualche Paese dell'America Latina (ad esempio il Messico).

Si tratta di un prodotto ampiamente consolidato il cui costo è circa due volte quello della fibra G.652. La fibra G.653 è caratterizzata da una dispersione cromatica praticamente nulla nella terza finestra di trasmissione (figura A), laddove l'attenuazione del vetro siliceo raggiunge il minimo assoluto.

La bassa dispersione della fibra G.653 risulta però essere il fattore limitante nei confronti della tecnica DWDM poiché rende estremamente efficienti gli effetti di intermodulazione non lineare causati dal FWM.

La soluzione sistemistica interessante per le fibre G.653 è oggi rappresentata da sistemi DWDM operanti nella cosiddetta "banda traslata" o "banda L" (approssimativamente tra 1575 nm e 1610 nm), nella quale i problemi di diafonia indotta dal FWM sono notevolmente mitigati dalla dispersione cromatica non nulla delle fibre.

La fibra rispondente alla Raccomandazione ITU-T G.655

La fibra G.655 è stata concepita originariamente per unire i vantaggi offerti dalla fibra G.652 con quelli della fibra G.653. Essa infatti è progettata in modo da presentare una leggera dispersione residua (da cui il nome *NZD-SMF, Non-Zero Dispersion Single Mode Fibre*) nella regione spettrale di operazione dei

sistemi DWDM, sufficiente a sopprimere il FWM, ma tale da consentire la trasmissione a 10 Gbit/s anche sulla lunga distanza. Si tratta quindi di una fibra teoricamente compatibile sia con il DWDM che con il TDM ad elevata velocità. La fibra G.655 dovrebbe consentire il pieno utilizzo delle potenzialità dei sistemi DWDM in commercio, anche dal punto di vista dell'incremento della velocità di modulazione sul singolo canale.

efficace larga e da una dispersione significativamente diversa da zero e uniforme dal punto di vista dello spettro in frequenza. Tuttavia questi requisiti non possono essere soddisfatti simultaneamente. Le fibre G.655 oggi in commercio rappresentano il miglior compromesso tra queste caratteristiche contrastanti dal punto di vista progettuale.

In figura A si riporta l'andamento dell'attenuazione e della dispersione cromatica per le fibre

	G.652	G.653	G.655	G.655*
Costo	++	+	-	-
Affidabilità	++	++	++	++
PMD	++	-	+	+
2,5 Gbit/s	+	++	++	++
10 Gbit/s	-	++	+	+
Alta densità di canali	++	-	++	++
Capacità indicativa (Gbit/s)	80 x 2,5	12 x 10	40 x 10	40 x 10 80 x 10

* Area efficace larga

Tabella A Confronto tra le prestazioni di fibre ottiche con sistemi DWDM in commercio.

Sono disponibili in commercio vari tipi di fibra conformi alla Raccomandazione G.655. Si tratta infatti di un prodotto di tipo nuovo, aperto a un ventaglio di soluzioni realizzative. Sono infatti commercializzate fibre NZD sia a dispersione negativa che positiva. Le fibre G.655 della prima generazione sono sostanzialmente fibre G.653 modificate. Le fibre dell'ultima generazione sono invece caratterizzate da una area *AE (Area Efficace)* del campo modale¹ più estesa di quella delle fibre G.653 al fine di ridurre la densità di potenza guidata e quindi l'incidenza degli effetti non lineari.

La fibra G.655 ideale dovrebbe essere caratterizzata da un'area

G.652, G.653 e G.655. Si riporta anche la curva di attenuazione delle cosiddette nuove fibre "zero-OH".

Tali fibre "spianano" il picco d'assorbimento a 1385 nm (dovuto alla presenza di ioni ossidrilici OH⁻) tra la seconda e la terza finestra trasmittiva e forniscono una banda di 50 THz tra 1300 nm e 1600 nm ovvero un serbatoio potenziale per 500 canali ottici su una griglia con un passo di 100 GHz.

A scopo puramente indicativo si riporta nella tabella A un confronto che mostra le caratteristiche di ciascuna tipologia di fibra e le singole prestazioni in relazione all'utilizzo di sistemi DWDM finora commercialmente disponibili.

⁽¹⁾ *AE (Area Efficace)*, è l'area della superficie della sezione trasversale della fibra ottica interessata dalla propagazione.

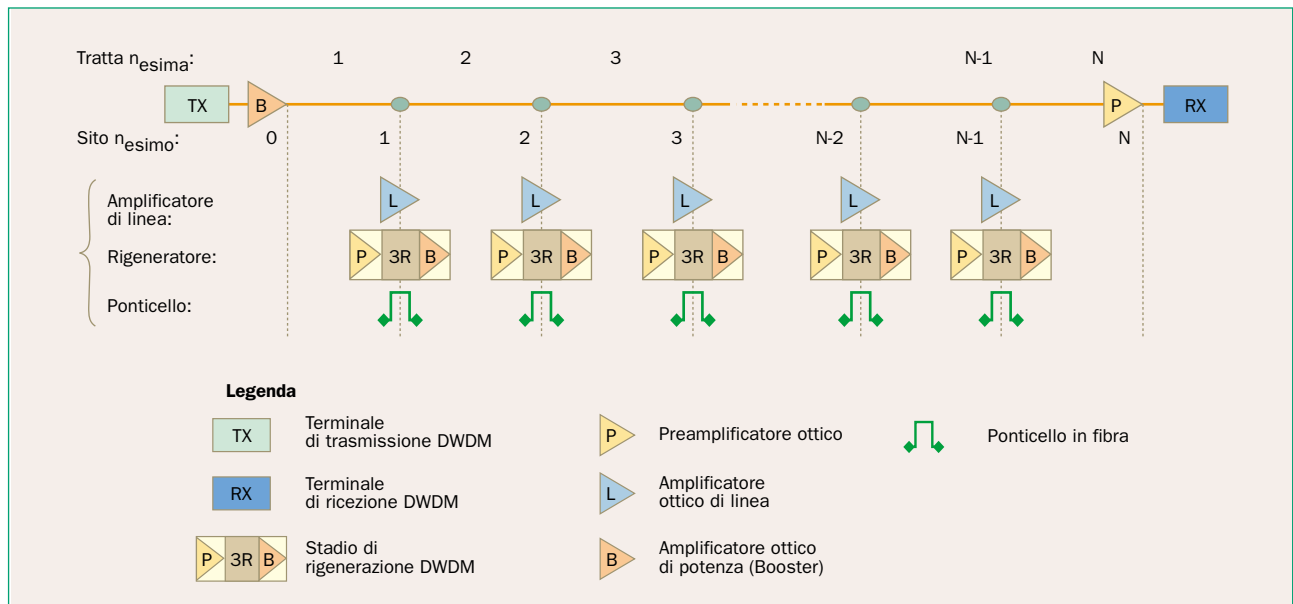


Figura 16 Esempio di collegamento ottico in un verso di trasmissione: è indicata la numerazione delle tratte e dei siti (a partire dal nodo ovest). Sono anche mostrate le alternative possibili di assegnazione per ogni sito.

progetto infine devono essere tenute presenti le distorsioni e l'interferenza introdotte dalle non linearità prendendo degli opportuni margini rispetto ai valori dichiarati dal costruttore. La procedura di progetto si compone di tre fasi distinte:

- fase 1: identificazione dell'attenuazione di tratta;
- fase 2: accorpamento delle tratte e introduzione del margine di esercizio;
- fase 3: collocazione dei rigeneratori e verifica delle configurazioni.

4.1 Identificazione dell'attenuazione di tratta

La struttura di un collegamento DWDM può essere fortemente influenzata, in termini di numero o di tipologia degli apparati utilizzati, dai valori di attenuazione delle singole tratte.

L'attenuazione della singola tratta j-esima, che costituisce il collegamento, si calcola con l'espressione:

$$A_j = \alpha_f \cdot L_j + \alpha_g \cdot L_j + n_j \cdot A_c \quad \text{con } j = 1, 2, \dots, N$$

dove:

- L_j [km] lunghezza della tratta j-esima;
- α_f [dB/km] attenuazione introdotta dalla fibra ottica;
- α_g [dB/km] attenuazione equivalente introdotta dai giunti;
- A_c [dB] attenuazione introdotta dal singolo connettore;
- n_j numero di connettori utilizzati per l'attestazione delle fibre della tratta j-esima e per eventuali transiti in centrale.

Per ogni tratta del collegamento è necessario calcolare l'attenuazione ad essa relativa, prima di procedere alla fase successiva della progettazione.

Sono così note le attenuazioni delle singole tratte costituenti il collegamento e sono disponibili gli N-1

siti dove poter posizionare sia gli apparati sia gli attraversamenti passivi.

4.2 Accorpamento delle tratte e introduzione del margine di esercizio

In alcuni casi può non essere necessario installare gli apparati in ogni sito disponibile (ad esempio nel caso di bassi valori di attenuazione di tratta); in questa situazione il progetto deve prevedere alcuni possibili accorpamenti. Tale operazione, indicata con il termine "riduzione dell'insieme di ingresso dei siti del collegamento", consiste nel passare dall'elenco iniziale dei siti a un insieme più ridotto, nel quale alcuni gruppi di tratte consecutive sono accorpate in tratte uniche, portando a economizzare sul numero degli apparati, amplificatori o rigeneratori e quindi sul costo totale del collegamento.

Prima di procedere alla fase di accorpamento, è però necessario introdurre il margine di esercizio: questo margine, il cui valore deve essere scelto opportunamente, va aggiunto all'attenuazione totale della tratta accorpata.

La procedura di accorpamento è in genere effettuata mediante programmi appositamente sviluppati che forniscono in uscita diverse possibili suddivisioni del collegamento. Ciascuna delle suddivisioni così individuate deve poi essere verificata eseguendo il terzo passo della procedura di progetto.

4.3 Collocazione dei rigeneratori e verifica delle configurazioni

Per ognuna delle tratte del collegamento prima individuate, la procedura di progetto assegna, in ogni sito disponibile, un amplificatore ottico di linea o uno stadio di rigenerazione DWDM.

Si può procedere verificando tutte le assegnazioni possibili secondo una procedura esaustiva, per

poi sottoporre le configurazioni ottenute a una verifica di fattibilità; tuttavia, si è riscontrato essere più efficace utilizzare metodi euristici che consentano di individuare direttamente una singola configurazione fattibile.

Per ciascuna configurazione si verifica quindi il soddisfacimento dei tre vincoli:

- a) garantire un rapporto segnale rumore ottico al ricevitore sempre superiore al valore minimo specificato dal costruttore. Il rispetto di tale vincolo può essere verificato per ciascuna RS mediante la relazione (valida nelle ipotesi descritte nel paragrafo 3.1.4):

$$OSNR = \frac{P_{S,n}}{P_{N,n}} = \frac{P_{S,0}}{P_{N,0} + Fh\nu\Delta\nu \sum_{i=1}^n a_i} > OSNR_{\min}$$

con $OSNR_{\min}$ valore dichiarato dal costruttore che dipende dalla cadenza di cifra del segnale (ad esempio $OSNR_{\min}=16$ dB per un segnale a 2,5 Gbit/s) e con le a_i attenuazioni di tratta accorpate, comprensive del margine di esercizio;

- b) garantire che la dispersione cromatica totale accumulata sulla singola RS sia inferiore al valore minimo tollerato dai ricevitori. Il rispetto di tale vincolo può essere verificato per ciascuna RS mediante l'espressione:

$$D(\lambda_i) \cdot L_{RS} < D_{\max} \quad \text{per ciascuna } \lambda_i \text{ con } i=1, \dots, N$$

con $D(\lambda_i)$ coefficiente di dispersione cromatica della fibra in oggetto alla lunghezza d'onda λ_i , L_{RS} lunghezza della tratta RS e D_{\max} valore massimo di dispersione cromatica tollerabile dal ricevitore dichiarato dal costruttore;

- c) tenere in conto, con un certo margine, le distorsioni e l'interferenza introdotta dalle non linearità. Il rispetto di tale vincolo deve essere verificato analizzando il collegamento e tenendo conto dei limiti in potenza, in larghezza spettrale o in distanza tra le frequenze dei segnali di cui si è discusso precedentemente.

5. Conclusioni (e uno sguardo al futuro)

Fin dall'invenzione del laser, avvenuta nel 1958, si comprese l'enorme potenzialità delle comunicazioni ottiche, ma ci vollero venti anni prima di poter disporre di un mezzo, la fibra ottica, in grado di poter trasportare gli impulsi luminosi in modo affidabile ed economico. Oggi si installano in tutto il mondo circa 4500 km di fibra ottica ogni ora [8] ed i sistemi trasmissivi DWDM commercialmente disponibili sono in grado di trasmettere una banda di 800 Gbit/s su una sola coppia di fibre ottiche.

Nonostante la banda di 800 Gbit/s sembri essere un valore estremamente elevato se confrontata con la

capacità dei sistemi trasmissivi di solo qualche anno fa, le previsioni di crescita di traffico inducono a ritenere che consistenti incrementi della capacità di trasporto siano quanto mai auspicabili.

La banda messa a disposizione dai sistemi DWDM è infatti, finora, l'unico mezzo disponibile per soddisfare le richieste sempre più pressanti di riduzione del costo del bit trasportato ed i risultati ottenuti nei laboratori di ricerca di tutto il mondo sono confortanti. È stata verificata, ad esempio, la possibilità di trasmettere 40 canali a 40 Gbit/s (1,6 Tbit/s) su 400 km di fibra ottica [9] o la possibilità di generare 1021 lunghezze d'onda distinte modulando opportunamente una singola sorgente laser [10]. Si veda [11] per un'analisi approfondita dello stato dell'arte delle tecnologie fotoniche.

Il quadro degli sviluppi in corso nel settore degli amplificatori ottici a larga banda può venire articolato sulla base di tre filoni principali: amplificatori a fibra attiva drogata con erbio a banda di guadagno allargata, amplificatori a fibra attiva drogata con Tulio (*TDFFA, Thulium-Doped Fluoride Fibre Amplifier*) ed amplificatori ad effetto Raman. Questi ultimi, oramai in fase di avvio commerciale, permettono di amplificare il segnale sfruttando la SRS.

Lo sviluppo di tecniche di trasmissione ad altissima velocità che permettono la generazione di segnali ottici a cadenza di cifra dell'ordine delle centinaia di Gbit/s deve tuttavia affrontare i problemi dovuti alla maggiore accuratezza necessaria nella progettazione dei dispositivi di compensazione della dispersione cromatica e soprattutto quelli dovuti alla dispersione della polarizzazione (PMD) che gioca un ruolo determinante in sistemi a frequenza di cifra elevata.

Per poter comprendere quali possano essere i futuri sviluppi dei sistemi ottici, è utile fare qualche considerazione sui limiti della capacità di canale delle fibre ottiche: i limiti fondamentali per la trasmissione in fibra ottica sono imposti, come detto, dalle non linearità e dalla banda totale disponibile, cioè dalla regione dello spettro in cui le fibre ottiche presentano un'attenuazione contenuta.

Tale banda è dell'ordine dei 400 nm (circa 50 THz) e si estende da 1200 nm a 1600 nm, poiché al di sotto di 1200 nm e al di sopra di 1600 nm le perdite intrinseche delle fibre diventano dominanti. Nell'ipotesi di trascurare i fenomeni non lineari, il teorema di Shannon afferma che, in condizioni di rumore additivo gaussiano, la capacità di canale massima C è data da $C=B \cdot \log_2(1+S/N)$ dove B è la banda disponibile, S la potenza del segnale ed N quella del rumore. Da quanto detto $B=50$ THz ed un valore tipico di S/N per segnali modulati NRZ è di 20 dB⁶ (100 in unità lineari), quindi la capacità di canale massima C è di 350 Tbit/s (i sistemi oggi in commercio raggiungono 0,8 Tbit/s).

Lo sfruttamento di una tale capacità trasmissiva dovrà passare naturalmente attraverso lo sviluppo di nuovi sistemi di amplificazione che siano in grado di sfruttare al meglio la banda disponibile e di nuove tecniche di modulazione delle sorgenti ottiche.

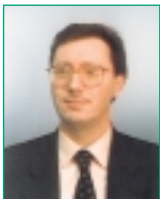
⁶ Per sistemi modulati NRZ con un BER di 10^{-9} .

Abbreviazioni

ASE	Amplified Spontaneous Emission
BER	Bit Error Rate
DCM	Dispersion Compensation Module
DGD	Differential Group Delay
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
FWM	Four Wave Mixing
NRZ	Non Return to Zero
OFA	Optical Fiber Amplifier
OLA	Optical Line Amplifier
OMS	Optical Multiplex Section
OSA	Optical Spectrum Analyzer
OSNR	Optical Signal to Noise Ratio
OTS	Optical Transmission Section
PMD	Polarisation Mode Dispersion
RS	Regeneration Section
RZ	Return to Zero
SBS	Stimulated Brillouin Scattering
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SPM	Self Phase Modulation
SRS	Stimulated Raman Scattering
UCS	Unequal Channel Spacing
WDM	Wavelength Division Multiplexing
XPM	Cross Phase Modulation

Bibliografia

- [1] De Marchis, G.; Matera, F.; Settembre, M.: *Una nuova generazione di sistemi di trasmissione*. «Notiziario Tecnico SIP», Anno 4, n. 2/3, dicembre 1995.
- [2] Vespasiano, G.: *Le fibre ottiche per telecomunicazioni*, Scuola Superiore G. Reiss Romoli.
- [3] Di Vita, P.; Lisi, V.; Giaconi, M.; Vespasiano, G.: *Fibre ottiche per telecomunicazioni: fibre monomodali*. «Notiziario Tecnico SIP», Anno 2, n. 3, dicembre 1993.
- [4] *Application related aspects of optical fibre amplifier devices and sub-systems*. Raccomandazione ITU-T G.663.
- [5] Fontana, F.; Grasso, G.: *L'amplificatore a fibra ottica drogata con Erblio: tecnologia ed applicazioni*. «Notiziario Tecnico SIP», Anno 2, n. 3, dicembre 1993.
- [6] Forghieri, F.: *WDM systems with unequally spaced channels*. «Journal of Lightwave Technology», Vol.13, n. 5, maggio 1995.
- [7] *Optical interfaces for multi-channel systems with optical amplifiers*. Raccomandazione ITU-T G.692.
- [8] Glass, A.M. et alii: *Advances in fiber optics*. «Bell Labs Technical Journal», January-march 2000.
- [9] ECOC '99 postdeadline paper digest, settembre 1999.
- [10] Collings, B.C. et alii: *A 1021 channel WDM system*, «Optics and Photonics News», Vol.11, March 2000, pp. 31-35.
- [11] De Marchis, G.; Settembre, M.; Giaconi, M.; Vespasiano, G.: *La fotonica ai tempi di Internet*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 8, n. 3, dicembre 1999.
- [12] *Characteristics of a single-mode optical fibre cable*. Raccomandazione ITU-T G.652.
- [13] *Characteristics of a dispersion shifted single-mode optical fibre cable*. Raccomandazione ITU-T G.653.
- [14] *Characteristics of a non-zero dispersion single-mode optical fibre cable*. Raccomandazione ITU-T G.655.



Guglielmo Aureli ha conseguito la laurea in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli Studi di Roma La Sapienza nel 1989. Nello stesso anno è entrato in SIP, oggi Telecom Italia, presso la Linea Centrale Ricerca e Sviluppo dove si è occupato di nuove tecnologie e sistemi per la rete di accesso a larga banda, sia su fibra ottica (PON, HFC, FTTx) sia su portante radio (LMDS). Nel 1993 si è occupato della definizione dell'architettura di rete per la sperimentazione dei primi servizi multimediali interattivi (VOD) su ADSL. Dal 1994 si è occupato dello sviluppo della rete di accesso in fibra ottica per i servizi a larga banda e, nel 1996, ha lavorato sui sistemi di accesso radio a larga banda LMDS, operanti nella gamma di frequenze a 42 GHz, conducendo una sperimentazione per la diffusione di servizi video a copertura cellulare. Dal 1997 lavora presso la Linea Centrale Ingegneria delle Infrastrutture dove ha coordinato le attività per l'industrializzazione degli apparati SDH e dei sistemi DWDM e dove, dal 2000, coordina la pianificazione dei prodotti per lo sviluppo della Rete di Trasporto Ottico (OTN). Dal 1991 partecipa alle attività di normativa internazionale in ITU-T e in ETSI dove, dal 1995, riveste la carica di Presidente del WG-TM1 (Core Networks, Fibres and Cables). È autore di diverse pubblicazioni tecniche e ha presentato memorie a Convegni e Forum nazionali e internazionali.



Piergiorgio Pagnan si è laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli studi di Roma La Sapienza. Dopo una esperienza in qualità di ricercatore nell'ambito delle reti ottiche in Ericsson Telecomunicazioni, nel 1995 è entrato in Telecom Italia presso la Linea Centrale Tecnologie ed Architetture dove ha condotto valutazioni tecnico-economiche di soluzioni alternative per le reti d'accesso a larga banda. In particolare si è occupato di sistemi di accesso radio LMDS (Local Multipoint Distribution System) conducendo in collaborazione con CSELT e Philips una sperimentazione per la fornitura di servizi video denominata BACH (Broadband Access for Cellular Home-video). Dal 1997 lavora presso la Linea Centrale Ingegneria delle Infrastrutture dove si occupa dell'industrializzazione di apparati e sistemi per la Rete di Trasporto Ottico (OTN). Conduce a scopo di scouting tecnologico, l'analisi del portafoglio prodotti dei maggiori costruttori di apparati per la rete di trasporto. Ha redatto le specifiche tecniche per l'acquisizione di sistemi DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) per la Rete di Trasporto Nazionale e di apparati DWDM e OADM (Optical Add Drop Multiplexing) per la Rete di Trasporto Ottico. Segue la normativa internazionale ed in particolare l'attività condotta in ITU-T Study Group 15 e in ETSI WG-TM1, dove dal 1995 ricopre la carica di Vice Presidente.

Accesso multiplo a divisione di codice per sistemi radiomobili cellulari di terza generazione

PIETRO PORZIO GIUSTO
FRANCESCO VATALARO

I sistemi radiomobili cellulari di terza generazione (3G) si baseranno sull'accesso multiplo a divisione di codice (CDMA). Gli Enti internazionali hanno completato la prima versione delle specifiche del sistema W-CDMA (Wideband-CDMA), che prevedibilmente sarà tra quelli più diffusi. Questo articolo illustra i principi base del CDMA per l'impiego in sistemi cellulari e le tecniche per garantire i requisiti di efficienza spettrale, capacità e qualità richiesti per le comunicazioni radiomobili del prossimo futuro. Considerata l'esigenza di attivare un ampio panorama di servizi con valori di ritmo binario diversificati e gli associati requisiti di prestazione, si riportano valutazioni sulla capacità del sistema W-CDMA. Si presenta infine lo stato dell'arte sullo sviluppo dei sistemi cellulari basati sul CDMA e su alcune delle tecniche utilizzabili per incrementarne la capacità e per migliorarne le prestazioni.

1. Introduzione

I prossimi sistemi radiomobili cellulari, detti sistemi di terza generazione (3G), si baseranno principalmente sull'impiego dell'accesso multiplo a divisione di codice (CDMA) che si fonda sulle tecniche di modulazione a spettro espanso o *spread spectrum* (si veda il riquadro di pagina 49) [1, 2].

Concepito negli anni Sessanta [3], il CDMA (*Code Division Multiple Access*) per lungo tempo ha stentato ad affermarsi rispetto alle più tradizionali tecniche basate sull'accesso multiplo a divisione di frequenza (*FDMA, Frequency Division Multiple Access*) e sull'accesso multiplo a divisione di tempo (*TDMA, Time Division Multiple Access*). Infatti, nelle condizioni di sola presenza di rumore additivo gaussiano bianco, *AWGN (Additive White Gaussian Noise)*, e quando si utilizzano codici non rigorosamente ortogonali o i segnali non sono sincronizzati, il CDMA è in pratica svantaggiato rispetto a entrambe queste tecniche [4]. La situazione di svantaggio può tuttavia ribaltarsi in canali con caratteristiche sensibilmente differenti da quelle del canale *AWGN*, come previsto in uno studio a lungo sottovalutato [5], successivamente ripreso e confermato da lavori teorici, simulativi e da sperimentazioni in campo [6-8].

I sensibili progressi conseguiti a partire dai primi anni Novanta con l'avvento del GSM hanno confermato che sistemi radiomobili anche assai complessi possono essere sviluppati e gestiti con successo. Rivelatosi ben superiore alle attese, il successo del GSM ha determinato l'attuale posizione di indubbio vantaggio dell'Europa nel quadro internazionale delle

comunicazioni radiomobili. Anche per colmare il differenziale tecnologico venutosi a stabilire con l'Europa in virtù del GSM, nel 1993 gli Stati Uniti d'America decisero di promuovere uno standard fortemente innovativo, lo standard IS-95, [9] che da un lato ha aperto la strada alla prima applicazione commerciale di un sistema radiomobile CDMA, denominato sistema *cdmaOne*, e dall'altro ha stimolato nuove direzioni di ricerca nel settore delle comunicazioni cellulari.

Nella seconda metà degli anni Novanta ha cominciato a manifestarsi una fortissima crescita del numero di utenti e parallelamente, con lo sviluppo di Internet, si è delineata chiaramente l'esigenza di consentire l'accesso a servizi ad alto ritmo binario anche in assenza di reti fisse. Questa domanda non può essere pienamente soddisfatta con i sistemi radiomobili di seconda generazione (*GSM, cdmaOne*). È quindi emerso un generale impegno verso i sistemi radiomobili 3G, con i quali si intende dare risposta all'esigenza di estensione "universale" delle comunicazioni personali, sia in termini di espansione dei servizi (dalla fonia alla multimedialità), sia in termini di copertura geografica (dalle singole nazioni al mondo intero).

L'Europa ha proceduto speditamente alla definizione dello standard *UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)*, la cui soluzione di accesso radio terrestre, detta *UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access)* [10], si articola secondo due modalità, entrambe basate sull'accesso multiplo a divisione di codice: il *W-CDMA (Wideband-CDMA)* e il *TD-CDMA (Time Division-CDMA)*.

Dopo aver riassunto lo stato dell'arte del CDMA nei sistemi cellulari, nel seguito si indicano alcune

delle tendenze innovative e dei problemi connessi alla fornitura di servizi multimediali. Più in particolare, nel secondo paragrafo si richiamano alcuni concetti fondamentali sull'interfaccia radio dei sistemi cellulari CDMA; nel terzo paragrafo ci si sofferma sulle tecniche adottate già nella seconda generazione per ottenere sistemi radiomobili ad alta capacità; il quarto paragrafo fornisce alcuni risultati quantitativi sulle prestazioni radio conseguibili per servizi in fonia e per servizi multimediali e illustra ulteriori tecniche adottabili per incrementare la capacità; infine, il quinto paragrafo riassume le principali conclusioni. A completamento segue un articolo gemello volto a descrivere alcune tra le principali soluzioni standardizzate per il sistema UMTS [11].

2. Concetti base per i sistemi cellulari CDMA

Un requisito fondamentale per un sistema cellulare è l'efficienza spettrale (espressa in bit/s/Hz), valutata su una preassegnata area di servizio. Per migliorare questo parametro si può ridurre la dimensione della cella oppure si può aumentare la *capacità (di cella)*¹, che può definirsi come numero di utenti, K , simultaneamente servibili per cella.

Aumentare la capacità di cella consente di incrementare il traffico servito a parità di stazioni radio-base. Poiché la collocazione degli impianti, specialmente nelle aree urbane, va incontro a difficoltà e ostacoli di varia natura, la capacità di cella risulta di importanza cruciale. D'altronde l'aumento del numero di celle, oltre alla difficoltà di reperire i relativi siti, comporta vari inconvenienti connessi al costo della rete di stazioni, nonché all'aumento di occorrenza degli eventi di cambiamento di cella da parte del terminale mobile. L'elevata frequenza di questi eventi è indesiderabile per diverse ragioni operative tra cui l'alta probabilità di terminazione forzata delle connessioni attive e l'incremento di traffico di segnalazione. Qualunque tecnica cellulare proposta viene perciò primariamente giudicata in base alla capacità.

Un primo immediato vantaggio della tecnica CDMA è dato dall'uso dello spread spectrum, i cui principi di funzionamento sono sinteticamente richiamati nel riquadro di pagina 49. Con esso si possono realizzare sistemi di trasmissione tanto robusti nei confronti dell'interferenza da consentire di riutilizzare l'intera banda disponibile in ogni cella dell'area di servizio. Le tecniche di accesso a banda stretta (FDMA, TDMA) richiedono invece che le celle che utilizzano le stesse frequenze siano opportunamente distanziate e perciò consentono di riusare la banda meno intensamente. In definitiva la tecnica CDMA si presta ad un uso più efficiente della risorsa spettrale disponibile per il servizio.

In un sistema radiomobile l'ottimizzazione d'uso dello spettro radioelettrico non è mai disgiunta da considerazioni di prestazione radio, le quali possono essere rappresentate globalmente dalla probabilità di

fuori servizio (*outage*), P_{out} , intesa come la probabilità che il tasso d'errore o *BER (Bit Error Ratio)* medio, ossia mediato su un percorso sufficiente a filtrare le fluttuazioni rapide dei segnali, risulti maggiore di un valore assegnato, dipendente dagli obiettivi di qualità di servizio. La probabilità P_{out} dipende dal valore di soglia del rapporto tra l'energia per bit e la densità spettrale della potenza disturbante, E_b/N_0 . In un sistema cellulare maturo, ossia che riusa intensamente la risorsa spettrale, questo rapporto è dominato dalle interferenze, dato che il rumore termico ha di norma peso secondario.



Concetto di terminale UMTS.

Per determinare la relazione tra il numero di utenti, K , e la probabilità di outage, P_{out} , in funzione delle caratteristiche del sistema CDMA o, equivalentemente, tra K e il valore di soglia di E_b/N_0 sono state eseguite numerose indagini. Una significativa mole di risultati è in particolare disponibile per lo standard *IS-95* [7, 12]. Molte analisi assumono per semplicità che, una volta superato un dato numero di utenti attivi, non vi sia più possibilità di accesso alla rete (blocco repentino o *hard-blocking*), come avviene nei sistemi tradizionali. In questi, infatti, nessuna ulteriore connessione può essere stabilita quando tutte le frequenze disponibili sono impegnate. Nel CDMA non esiste invece un limite preciso al numero di connessioni che si possono stabilire simultaneamente in ciascuna cella: quanto più cresce il numero di comunicazioni attive, tanto più cresce il valore di BER, ovvero tanto più degrada la qualità di trasmissione di ciascun collegamento. Dato il tasso di errore accettabile per il servizio erogato, si può stimare il massimo numero di connessioni simultaneamente attivabili nell'ipotesi di *hard-blocking*. Ma se diviene prioritario offrire una capacità più elevata, tale limite può essere superato, con la conseguenza di una graduale degradazione della qualità di trasmissione, via via cre-

¹ In letteratura sovente denominata system capacity [7].

“SPREAD SPECTRUM” E ACCESSO MULTIPLO

Le tecniche di modulazione a spettro espanso (*spread spectrum*) utilizzano per la trasmissione del segnale nel canale radio una larghezza di banda molto maggiore di quella del segnale numerico di informazione (vedi anche rif. [29] dell'articolo), e quindi anche molto più grande di quelle richieste dalle tradizionali e ben note tecniche di modulazione impiegate nelle radiotrasmissioni. Lo spread spectrum però consente di sovrapporre nella medesima banda più segnali. Esso si basa sul concetto di associare in emissione al segnale numerico di informazione un'opportuna “chiave di codificazione”, ovvero una forma d'onda numerica ausiliaria perfettamente nota e periodica, impressa individualmente e univocamente sul segnale stesso. In ricezione si potrà estrarre il segnale utile separandolo dai disturbi riconoscendo la chiave di codificazione nota.

Si hanno varie regole di associazione della chiave al segnale, la più consueta delle quali consiste nella loro diretta moltiplicazione, eseguendo cioè il cosiddetto *DS-SS* (*Direct Sequence-Spread Spectrum*). Quando si adoperi il DS-SS per ogni segnale immesso nel canale comune, la tecnica di accesso multiplo prende il nome di *DS-CDMA* (*Direct Sequence-Code Division Multiple Access*).

Come chiavi di codificazione si adoperano di solito codici ortogonali o sequenze pseudocasuali, dette anche *codici PN* (*Pseudo-Noise*), ossia sequenze periodiche note che hanno proprietà statistiche molto simili a quelle del rumore. Per distinguerle dai *bit* del segnale utile, le cifre prive di informazione della chiave di codificazione si chiamano *chip*: detto T_b il tempo di *bit* e T_c il tempo di *chip*, si hanno il ritmo binario $R_b = 1/T_b$ e il ritmo di chip $R_c = 1/T_c$. Per assicurare una buona protezione dai disturbi occorre che $R_c \gg R_b$, ossia che risulti *grande il fattore di espansione spettrale*, $g_s = R_c/R_b$, così definito giacché le larghezze di banda sono proporzionali ai ritmi di trasmissione.

Nel DS-SS il segnale di informazione è riconosciuto in ricezione mediante l'operazione di correlazione con la replica locale del codice PN. Se la correlazione tra tutte le chiavi ha valore nullo, l'insieme delle chiavi è ortogonale e gli altri segnali spread spectrum nel canale sono perfettamente cancellati nel ricevitore. Ciò accade idealmente se i diversi codici PN, oltre ad essere ortogonali, sono sincroni, ma più spesso la cancellazione è solo parziale poiché tali condizioni non risultano rigorosamente soddisfatte. Ne consegue un'*interferenza da accesso multiplo* con proprietà simili ad una quota aggiuntiva di rumore termico, ma con densità spettrale di potenza crescente proporzionalmente con il numero di interferenti.

scente in modo uniforme su tutte le connessioni. In altre parole, se al sistema si richiede (temporaneamente) una capacità oltre i limiti specificati, si determina una degradazione “morbida” di qualità e un blocco graduale per l'ingresso in rete o *soft-blocking* [13]. Pertanto il valore di K stimato sotto ipotesi di hard-blocking potrebbe risultare conservativo nelle effettive condizioni operative.

Nei sistemi cellulari CDMA tratta in salita, ossia dal terminale alla stazione radiobase, e tratta in discesa, da stazione a terminale, si trovano in condizioni diverse e devono perciò essere esaminate separatamente. Nel collegamento in discesa è agevole sincronizzare i segnali destinati ai terminali mobili così da renderli, almeno idealmente, mutuamente ortogonali mediante codici di canale opportuni (ad esempio con i codici di Walsh-Hadamard [5]). Questo meccanismo di moltiplicazione prende il nome di *CDM* (*Code Division Multiplexing*). In ricezione però l'ortogonalità è di norma imperfetta in conseguenza dei cammini multipli di propagazione (*multipath*).

Nella tratta in discesa è poi consuetudine associare uno o più segnali pilota sincroni allo scopo di assistere la demodulazione nel terminale (ricezione coerente). Nel collegamento in salita, per ragioni di complessità, non si sincronizzano i segnali. In queste condizioni si può rinunciare alla ricezione coerente (come nello standard IS-95), ovvero ricorrere ancora alla demodulazione coerente (come nel caso di vari standard 3G), associando un segnale pilota a ciascun canale di traffico.

Pertanto, nella tratta in discesa, se si usano codici ortogonali e se sono trascurabili gli effetti dei cammini multipli, l'interferenza tra segnali destinati all'interno della cella (interferenza interna) è idealmente nulla; viceversa, l'interferenza interna non è mai nulla nei collegamenti in salita, anche se si scelgono opportunamente i codici, a causa dell'assenza di sincronizzazione. Il collegamento in salita opera quindi sovente in condizioni sfavorevoli.

Quanto detto riguarda le condizioni della trasmissione in un'ipotetica cella isolata. Nel caso reale di

copertura multicella insorge anche l'interferenza esterna, ossia prodotta dalle celle circostanti, che nella tratta in discesa è determinata dalle trame CDM di altre stazioni radiobase, mentre nella tratta in salita è dovuta ai segnali irradiati dai terminali mobili controllati dalle altre celle. Eccetto che in prossimità del confine fra celle, l'interferenza esterna nella tratta in discesa è generalmente di entità contenuta grazie alla separazione spaziale delle stazioni radiobase che comporta attenuazioni di tratta molto maggiori per i segnali interferenti. Nella tratta in salita, con controllo di potenza sufficientemente accurato sui terminali mobili e in condizioni di uniformità della distribuzione di utenti e di regolarità della radiopropagazione, l'interferenza esterna è normalmente circa proporzionale a quella interna e risulta tipicamente nell'intorno della metà di questa.

Una distinzione tra architetture di sistema radio riguarda la scelta se sincronizzare tra loro le stazioni radiobase. Nel funzionamento sincrono le trame CDM delle diverse stazioni sono nominalmente poste al passo, mentre nel funzionamento asincrono esse hanno temporizzazione indipendente. La sincronizzazione delle stazioni radiobase può semplificare la funzione di handover (che evita l'interruzione della chiamata nel passaggio del terminale mobile da una cella a un'altra), ma in alcuni casi è in pratica difficile o onerosa da realizzare. Lo standard IS-95 e alcuni standard CDMA di terza generazione adottano il funzionamento sincrono, mentre lo standard W-CDMA presenta anche l'opzione asincrona [14].

Per consentire ai terminali mobili di distinguere le stazioni radiobase ciascuna di queste è identificata da una propria sequenza pseudocasuale (PN) sovrapposta alla trama CDM. Tra le varie possibilità che esistono per attuare questa distinzione in alcuni sistemi CDMA, come lo standard IS-95, si adotta un'unica sequenza con periodo molto lungo, uguale in tutte le celle ma con fase temporale diversa da cella a cella, mentre in altri sistemi, come il W-CDMA, si utilizzano sequenze pseudocasuali diverse da cella a cella. Oltre ad assicurare il riconoscimento univoco di ogni stazione radiobase, è possibile in questo modo riutilizzare nelle diverse celle i medesimi codici ortogonali di utente, che per i sistemi cellulari CDMA sono una risorsa limitata. Poiché le sequenze PN non sono ortogonali, nella tratta in discesa il sincronismo delle loro trame non dà beneficio sull'entità dell'interferenza.

Conviene infine notare che le tecniche di accesso multiplo si distinguono anche in tecniche pure (FDMA, TDMA, CDMA) e tecniche ibride, che sono opportune combinazioni delle tre tecniche di base. Nella pratica dei sistemi radiomobili sono spesso le tecniche ibride ad essere adottate (ad esempio il GSM è in sostanza un ibrido FDMA-TDMA). Il riquadro di

pagina 51 riporta una classificazione delle più note tecniche di accesso basate sul CDMA, tra cui quelle assunte alla base di alcuni standard cellulari; nello stesso riquadro sono descritte sommariamente le principali caratteristiche di ciascuna di esse.

3. Tecniche per migliorare le prestazioni radio

In un sistema cellulare CDMA la qualità di trasmissione migliora direttamente se, a parità di condizioni del sistema, viene ridotto il livello di interferenza ricevuto al terminale e alla stazione radiobase. Questo concetto si esprime affermando che un sistema CDMA è limitato in interferenza e non in potenza. Inversamente, per un prefissato requisito di qualità di trasmissione, ossia per un assegnato valore di P_{out} , ridurre il livello di interferenza comporta un incremento di capacità, con il risultato di servire un maggiore numero di utenti per cella.

D'altra parte si ottiene un equivalente beneficio sulla capacità senza apportare alcuna modifica né di architettura né di funzioni del sistema se, migliorando la qualità della ricezione sia nel terminale che nella stazione radiobase, viene ridotto il valore di soglia del rapporto E_b/N_0 . Pertanto si possono convenientemente attuare provvedimenti atti a limitare la quantità di interferenza generata nel canale (ad esempio il controllo di potenza, il controllo di attività di trasmissione, la settorizzazione). Inoltre, altrettanto vantaggiosi risultano gli accorgimenti atti a migliorare la qualità dei sistemi di trasmissione (ad esempio le tecniche di diversità di spazio, tempo e frequenza).

Consideriamo ora le soluzioni già adottate nella seconda generazione radiomobile, rinviando al seguito dell'articolo l'esame di alcuni dei provvedimenti più innovativi.

3.1 Provvedimenti sull'interferenza

a) Controllo di potenza (tratta in salita)

Un segnale ricevuto con potenza superiore al valore richiesto per la dovuta qualità di trasmissione, come ad esempio potrebbe accadere nella tratta in salita per un segnale emesso da un terminale vicino alla stazione radiobase, produce un livello di interferenza eccessivo sui segnali provenienti dagli altri terminali che condividono la stessa banda e comporta perciò una riduzione della capacità K . Questo inconveniente è conosciuto come *problema vicino-lontano*: esso può essere interpretato come problema di uso ottimo della *risorsa interferenza*². È perciò necessario regolare accuratamente la potenza in modo che alla stazione radiobase tutti i segnali giungano con buona approssimazione con lo stesso livello di potenza. Si osservi che il controllo di potenza regola comunque l'interferenza interna (utenti connessi alla stessa stazione radiobase); viceversa l'interferenza esterna, cioè quella proveniente da altre celle, non può essere controllata semplicemente. Nei casi ove sia necessario porre restrizioni anche sull'interferenza esterna si potrà operare in via preventiva in fase di pianificazione della rete cellulare.

⁽²⁾ Anche se a prima vista potrebbe stupire l'interpretazione come risorsa di una quantità indesiderata, qual è l'interferenza, si tratta del concetto duale di quello comunemente accettato: come per un sistema limitato in banda la condizione di ottimo corrisponde all'equa distribuzione della risorsa spettrale, così avviene per un sistema limitato in interferenza, appunto con la "risorsa interferenza".

TECNICHE DI ACCESSO MULTIPLO BASATE SUL CDMA (CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS)

- CDMA (puro)** Nella variante più importante dell'accesso multiplo a divisione di codice, nota come CDMA a sequenza diretta (DS-SS-SS), ogni segnale di informazione, a ritmo binario fisso R_b , viene direttamente moltiplicato in emissione per una sequenza pseudocasuale (PN) a ritmo di chip fisso, R_c , e la larghezza di banda nel canale risulta espansa del fattore $g_s = R_c/R_b$, anch'esso costante e uguale per ogni segnale. Per ragioni di qualità di trasmissione, e senza produrre ulteriore allargamento di banda, ai segnali numerici di informazione risulta di norma associata la codifica di canale, ad esempio con codici ortogonali di Walsh-Hadamard.
- W-CDMA** Il *W-CDMA (Wideband-CDMA)* è la variante dell'accesso CDMA puro riadattato alla trasmissione di segnali a differente o variabile ritmo binario, R_b , mantenendo fisso il valore del ritmo di chip, R_c , e quindi la larghezza di banda a radiofrequenza ($B \cong 1/T_c$). Il fattore di espansione spettrale, g_s , risulta quindi variabile, ed è piccolo per segnali di informazione a banda larga e grande per segnali di informazione a banda stretta. La codifica di canale richiede una particolare cautela per evitare l'insorgere di interferenza dovuta alla perdita di ortogonalità indotta dal diverso valore del ritmo binario della sorgente. A tal fine si può ricorrere a codici ad albero con l'accortezza che due segnali non siano codificati con sequenze che presentano rami in comune prima della radice (figura 7 nel testo).
- TD-CDMA** Il sistema *TD-CDMA (Time Division-CDMA)* è una tecnica ibrida TDMA-CDMA. Come nel caso del TDMA, il tempo è suddiviso in intervalli disgiunti e ciascun segnale è associato a un singolo intervallo. L'accesso multiplo a divisione di tempo fornisce cioè la trama temporale di base entro cui sono organizzati i segnali numerici. Tuttavia, a differenza del TDMA puro, entro ciascuna finestra temporale (*time slot*) possono essere sovrapposti, con la tecnica CDMA, più pacchetti, ciascuno dei quali è allargato in spettro mediante una sequenza di codice PN differente. I codici PN prescelti possono essere riusati in finestre temporali adiacenti. È consentita la trasmissione di segnali di informazione a diverso ritmo binario: valgono per essa le medesime considerazioni svolte in merito al W-CDMA.
- FD-CDMA** Il sistema *FD-CDMA (Frequency Division-CDMA)* è una tecnica ibrida FDMA-CDMA, talvolta anche denominata *MultiCarrier-CDMA (MC-CDMA)*. Come per la tecnica FDMA pura, lo spettro viene suddiviso in bande disgiunte e ciascun segnale è associato a una singola banda. Si tratta dunque del caso duale del sistema TD-CDMA. Mediante il CDMA vari segnali di informazione sono allargati in spettro entro ciascuna banda. Valgono ancora tutte le considerazioni precedenti in merito alla codifica per segnali a ritmo binario fisso e per segnali a ritmo binario differente o variabile.
- OFDM-CDMA** È una variante della tecnica FD-CDMA. In un sistema *OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)* si adoperano molteplici portanti ravvicinate e un singolo flusso numerico di informazione viene suddiviso sulle diverse portanti. Nel caso OFDM/CDMA ogni cifra binaria viene moltiplicata per una sequenza PN (come per il DS-SS) prima di essere associata alla portante OFDM di pertinenza. In questo caso valgono ancora tutte le precedenti considerazioni in merito alla codifica per segnali a ritmo binario fisso e per segnali a ritmo binario differente o variabile.

Da un punto di vista realizzativo si distingue tra controllo di potenza ad anello aperto e controllo di potenza ad anello chiuso: il primo è attuato dal terminale che, misurato il livello di un segnale ausiliario reso disponibile dalla stazione radiobase, adatta autonomamente la potenza in emissione in modo inversamente proporzionale al livello ricevuto. Ciò è corretto nell'ipotesi che l'attenuazione nella tratta in salita coincida con quella della tratta in discesa, circostanza in pratica non rigorosamente vera, specie se nelle due tratte si trasmette con la tecnica *FDD (Frequency Division Duplex)*, poiché gli affievolimenti che subiscono i segnali a frequenze diverse possono risultare di entità anche sensibilmente differenti. In tali casi è conveniente adottare il controllo di potenza ad anello chiuso che è basato sulla misura da parte della stazione radiobase del livello medio di potenza ricevuta (e/o del rapporto E_b/N_0) e sull'invio al terminale di segnali di comando che regolano la potenza di emissione. Il caso più semplice consiste in un segnale binario di incremento o decremento (controllo a un bit).

b) Controllo e ripartizione di potenza (tratta in discesa)

Il problema del controllo di potenza si pone anche per la tratta in discesa, sempre con l'obiettivo primario di ridurre l'interferenza: tuttavia, poiché la stazione radiobase gestisce simultaneamente più segnali, in questa tratta si pone in aggiunta un problema di ripartizione ottima della potenza utile. Infatti, la stazione deve servire simultaneamente K utenti nella cella e attribuire a ciascuno di essi una frazione, in generale diversa, della potenza disponibile. Ciò al fine di garantire per ciascun utente il rispetto del valore di soglia del rapporto E_b/N_0 in dipendenza della distanza e delle effettive condizioni del canale (può essere interpretato come problema di uso ottimo della *risorsa potenza*). Occorre inoltre ripartire in maniera ottima la potenza disponibile, oltre che tra i segnali di traffico, anche con il tono pilota impiegato per funzioni ausiliarie (quali, ad esempio, il supporto alla demodulazione, alla segnalazione di cella, ...). Essendo quest'ultimo un segnale di interesse comune, viene di norma dotato di una frazione apprezzabile della potenza disponibile (tipicamente un valore fisso non minore del 10 per cento); tuttavia tale frazione non dovrà risultare eccessiva in quanto essa va direttamente a scapito della capacità di traffico.

Per attuare la funzione di controllo e ripartizione di potenza tra i segnali di traffico, ciascun terminale mobile misura il proprio rapporto E_b/N_0 su un segnale diffuso dalla stazione radiobase che lo serve (ad esempio proprio il tono pilota ausiliario) e ne informa questa su un apposito canale. In effetti, il terminale esegue tali misure anche sui toni pilota ricevuti dalle celle circostanti, che comunica alla stazione servente in modo che a tempo debito si possa attivare la funzione di handover.

c) Controllo di attività di trasmissione

Quando un utente connesso è inattivo, come succede ad esempio nel servizio di fonia durante le pause del parlato, nella tratta in salita conviene evitare l'irradiazione, cosicché in ogni istante l'interferenza risulti

dovuta ai soli utenti attivi. Nel caso di servizio di fonia l'attività vocale risulta pari al 40 per cento circa del tempo e il controllo dell'irradiazione comporta una pari riduzione della potenza interferente media. A maggior ragione nei casi di trasmissione dati conviene evitare l'emissione dei segnali in corrispondenza dei periodi di inattività della sorgente. Tuttavia in questi casi non si può facilmente stabilire quale sia il corrispondente beneficio, poiché il fattore di attività è dipendente dall'uso delle applicazioni da parte dell'utente, ossia dalle caratteristiche statistiche del traffico.

d) Settorizzazione di cella

La tecnica più semplice per ridurre l'interferenza media consiste nella suddivisione in settori, ossia nella copertura della cella di pertinenza di una stazione radiobase mediante più antenne direttive in luogo di una sola antenna omnidirezionale. Considerato che il CDMA utilizza ovunque la stessa banda di frequenza, se si fa riferimento ad esempio a una copertura con settori di 120° , che comporta la realizzazione di tre settori per stazione, per distribuzione spaziale uniforme dei terminali attivi la capacità nella tratta in salita si moltiplica per tre, proprio in ragione del fattore di riduzione dell'area da cui ciascuna antenna capta potenza interferente.

Nella tratta in discesa, diversamente dalla tratta in salita, la settorizzazione non determina riduzioni del numero di sorgenti di interferenza, ossia di stazioni radiobase con il compito di assicurare comunque piena copertura dell'area di servizio. Tuttavia si consegue un beneficio analogo a quello della tratta in salita, perché si riduce di un fattore tre il numero di terminali da servire da parte di ciascuna antenna, che riduce così la potenza totale irradiata.

3.2 *Provvedimenti sul sistema di trasmissione*

a) Codifica di canale (diversità di tempo)

La codifica di canale per la correzione degli errori di trasmissione (ad esempio a blocchi, convoluzionale, concatenata, turbo) è uno tra i provvedimenti più efficaci nelle trasmissioni radiomobili per ridurre il valore di soglia del rapporto E_b/N_0 , fermo restando il requisito di BER.

Come è noto, le prestazioni della codifica sono di massima legate al rapporto di codifica, r_c , definito come rapporto fra ritmo binario di sorgente e ritmo binario codificato: quanto più piccolo è r_c tanto più efficace è l'azione correttiva del codice. In pratica però il guadagno di codifica tende a saturare al decrescere di r_c . Ad esempio, con codifica convoluzionale, il rapporto di codifica $r_c = 1/3$ produce già prestazioni prossime al limite teorico che si otterrebbe per $r_c = 0$ (figura 1).

Un provvedimento sempre attuato è l'interallacciamento di cifra (*bit interleaving*), che consiste in una dispersione temporale, secondo una regola nota, dei bit da trasmettere, a cui corrisponde il riordino in ricezione. Questa operazione fa sì che i disturbi, che nel canale radiomobile sono spesso concentrati nel tempo, colpiscano i bit trasmessi in modo più

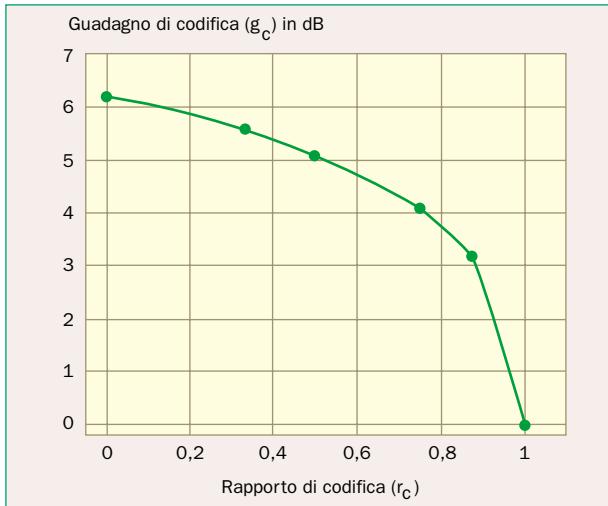


Figura 1 Guadagno di codifica, g_c , per una famiglia di codici convoluzionali in funzione del rapporto di codifica, r_c , per probabilità d'errore per bit pari a 10^{-5} (decodifica con algoritmo di Viterbi e decisione "soft").

uniforme, ossia interessino il segnale in modo distribuito e non concentrato. Ciò comporta un miglioramento della capacità di correzione dei codici, i quali operano assai più efficacemente in presenza di errori sparpagliati che in presenza di errori ammassati.

Come contropartita si introduce un ritardo di trasmissione. Pertanto la scelta dell'intervallo di tempo su cui attuare la dispersione dei bit dipende dalle caratteristiche dei disturbi in canale e dai requisiti di ritardo del servizio.

b) Ricevitore a rastrello (diversità di frequenza)

Per effetto dei cammini multipli e della mobilità del terminale in un canale radiomobile il ricevitore di regola riceve più repliche del segnale utile con ampiezze e ritardi diversi (*echi*) che risultano disperse in tempo e in frequenza. Facendo riferimento all'emissione di un segnale impulsivo molto breve, a causa degli echi la durata massima del segnale ricevuto, definita opportunamente per via statistica, prende il nome di sparpagliamento temporale (*delay spread*), T_{max} , e il suo reciproco, B_{coe} , si chiama banda di coerenza del segnale.

Un ricevitore che non sia in grado di equalizzare gli echi o di demodularli subisce tali echi come interferenza che si aggiunge agli altri disturbi del canale. Nel CDMA, se i ritardi fra gli echi sono maggiori del tempo della forma d'onda elementare del segnale a spettro espanso, ossia della durata di chip T_c (si veda il riquadro di pagina 49), il ricevitore può discriminare e demodulare ciascuna eco e, stimando i differenti ritardi, può poi eseguire la ricombinazione delle corrispondenti componenti di segnale.

Il ricevitore impiegato con tecniche CDMA è noto come ricevitore a rastrello (*rake*) [15]. La figura 2 ne illustra il concetto: il ricevitore a rastrello si compone di "denti" di correlazione, ciascuno dei quali, idealmente, riceve un'eco del segnale utile e, dopo l'operazione di correlazione, combina le varie componenti. Da questa combinazione si ottiene un segnale con rapporto

segnale/disturbo migliore di quello di ogni singola componente rivelata dal ricevitore, perciò si parla di "guadagno di diversità", essendo il miglioramento attribuibile alla combinazione di componenti di segnale che hanno percorso cammini di propagazione diversi.

Idealmente, quanto più è piccolo il valore di T_c , ossia quanto maggiore è la banda del segnale spread spectrum ($B \cong 1/T_c$), tanto più grande è il guadagno di diversità ottenibile mediante il ricevitore rake, giacché le componenti spettrali in cui il segnale può considerarsi suddiviso sono praticamente affette da *multipath* indipendente. Il numero di denti di correlazione dovrebbe dunque essere circa pari a $N = B/B_{coe}$; in effetti, analogamente al caso della codifica, il beneficio tende a ridursi, fino ad annullarsi, al crescere di N_c e valori in pratica ragionevoli sono dell'ordine di 3-4.

Come si è accennato, per effetto della mobilità muta l'ambiente della propagazione, quindi cambiano sia i ritardi che le attenuazioni: è pertanto necessario misurare il profilo dei ritardi e riadattare i denti del rastrello secondo necessità [16]. Per un esame più dettagliato sul ricevitore rake in ambiente radiomobile e sull'ottimizzazione della larghezza di banda in relazione al guadagno di diversità si rimanda a [17].

c) Soft-handover (diversità di spazio)

Un sistema radiomobile utilizza tecniche di handover (si potrebbe dire di *staffetta*) automatico allo scopo di evitare la terminazione forzata della connessione attiva quando il terminale transita dall'area di copertura di una cella a quella di una cella adiacente. Si usa il termine *hard-handover* quando il passaggio della connessione da una stazione radiobase ad un'altra avviene istantaneamente (in pratica con una microinterruzione).

Si ha il *soft-handover* invece quando il terminale, avvicinandosi al confine della cella in cui si trova, mantiene operativo il collegamento con la stazione radiobase da cui è servito e stabilisce allo stesso tempo una connessione con la stazione di una cella adiacente. Si attua così una versione della diversità di spazio che consente di operare con un valore minore di E_b/N_0 .

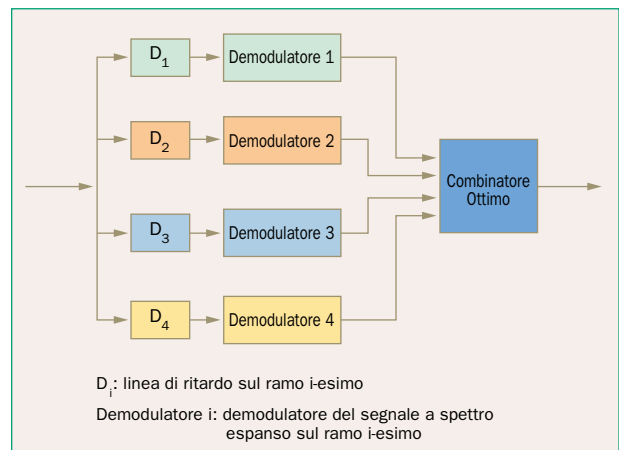


Figura 2 Schema a blocchi concettuale di ricevitore a rastrello.

Nella tratta in salita il soft-handover non necessita di irradiazione aggiuntiva, poiché il segnale irradiato dal terminale mobile può essere captato direttamente da diverse stazioni radiobase. La combinazione dei segnali a radiofrequenza, che darebbe il massimo guadagno, non è praticamente attuabile, essendo le antenne di ricezione tra loro lontane. Se però le stazioni sono tra loro collegate attraverso organi di controllo, come nel caso del sistema W-CDMA, si possono elaborare i segnali in banda base e si può ricavare una ricostruzione dell'informazione migliore di quella ottenibile da ciascun segnale preso singolarmente.

Viceversa nella tratta in discesa il soft-handover implica la trasmissione delle informazioni destinate a un dato terminale da parte di più stazioni (in pratica due o tre). I corrispondenti segnali ricevuti equivalgono a echi e il ricevitore del terminale mobile li può combinare anche a radiofrequenza, indipendentemente dalla stazione che li origina, con notevoli miglioramenti di prestazioni.

Tuttavia come dimostrato dall'esperienza operativa con il sistema *cdmaOne* [18], nella tratta in discesa la trasmissione del medesimo segnale da parte di più stazioni radiobase nella fase di soft-handover può generare un livello maggiore di interferenza, tanto più significativo quanto più grande è il numero di terminali simultaneamente da assistere (tipicamente la frazione di terminali in condizione di soft-handover si valuta nell'intorno del 30 per cento).

La crescita dell'interferenza è dovuta alla difficoltà di attuare, in tali condizioni, un controllo accurato della potenza emessa dalle stazioni radiobase. In presenza di soft-handover non è quindi più scontato che il collegamento in salita di un sistema radiomobile CDMA risulti sfavorito: la stima della capacità richiede perciò valutazioni attente per entrambi i sensi di trasmissione.

Per attuare il soft-handover il terminale invia alla stazione radiobase con cui è connesso informazioni circa le potenze e i ritardi relativi in un apposito messaggio contenuto in un canale di servizio. Sulla base di tale informazione il soft-handover viene attivato nei riguardi dei collegamenti che consentono di ottenere un guadagno di diversità significativo (soft-handover doppio o, più raramente, soft-handover triplo).

Un caso particolare è rappresentato dal *softer-handover*, ossia il soft-handover che si attua tra due settori che fanno capo alla medesima stazione radiobase. In questo caso la tecnica è molto vantaggiosa, perché opera su segnali sincroni in entrambe le tratte e perché nella tratta in salita si possono attuare le elaborazioni più sofisticate, essendo i segnali ricevuti nello stesso sito.

Le tecniche di hard-handover e soft-handover sono tecniche di diversità di spazio su larga scala. Come si è visto, si ha diversità con selezione del segnale migliore nel caso di hard-handover, mentre nel caso di soft-handover si può avere diversità del tipo a combinazione. Ad esse si aggiunge di regola la diversità d'antenna, diversità su piccola scala (per selezione o per combinazione) effettuata localmente presso ciascuna stazione radiobase.

4. Stato dell'arte e tendenze tecnologiche

4.1 Valutazioni di capacità

Come si è detto, la capacità di cella ha importanza cruciale e richiede attente valutazioni nei sistemi cellulari che impiegano il CDMA. I risultati più consolidati si riferiscono allo standard IS-95, le cui caratteristiche tecniche sono riassunte nel riquadro di pagina 58 e per il quale sono disponibili indagini basate sia su modelli di blocco repentino dell'accesso in rete (hard-blocking) [7, 12], sia su modelli di blocco graduale (soft-blocking) [13] con degrado progressivo della qualità di trasmissione.

La figura 3 riporta alcuni risultati analitici basati sulla drastica ma semplice assunzione di hard-blocking secondo cui in una cella, raggiunta una certa soglia di qualità, non si accetta l'accesso in rete di altri terminali. La capacità è valutata nel collegamento in salita IS-95 per un valore di soglia di $E_b/N_0 = 7$ dB. I risultati si riferiscono a traffico binario di 8 kbit/s, fattore di attività pari a 3/8, settori di 120° e in condizioni di propagazione considerate tipiche (perdita di percorso variabile con la distanza con esponente quattro e ombreggiamento dell'am-

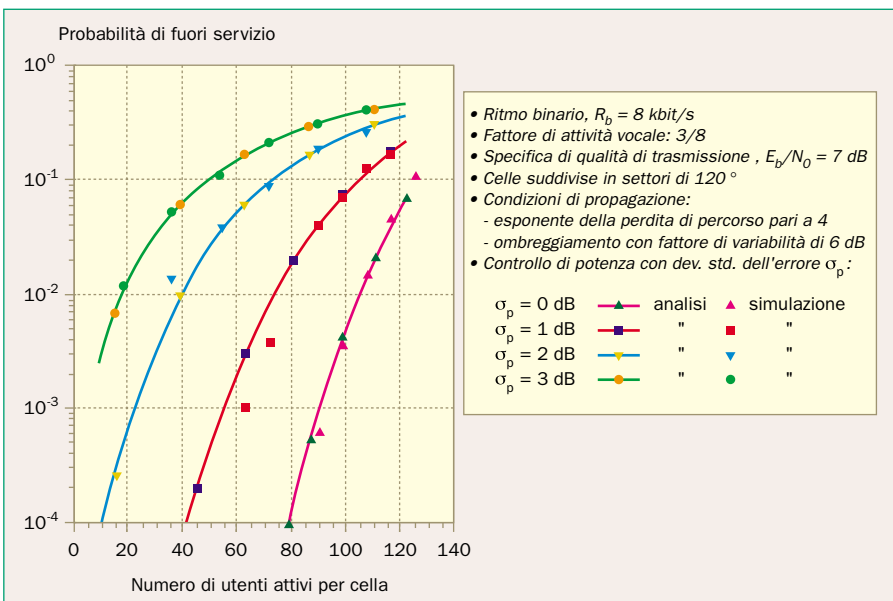


Figura 3 Relazione tra probabilità di fuori servizio (probabilità che il BER medio sia maggiore di 10^{-3}) e capacità di cella nel collegamento in salita del sistema *cdmaOne* (a standard IS-95) per traffico in fonìa.

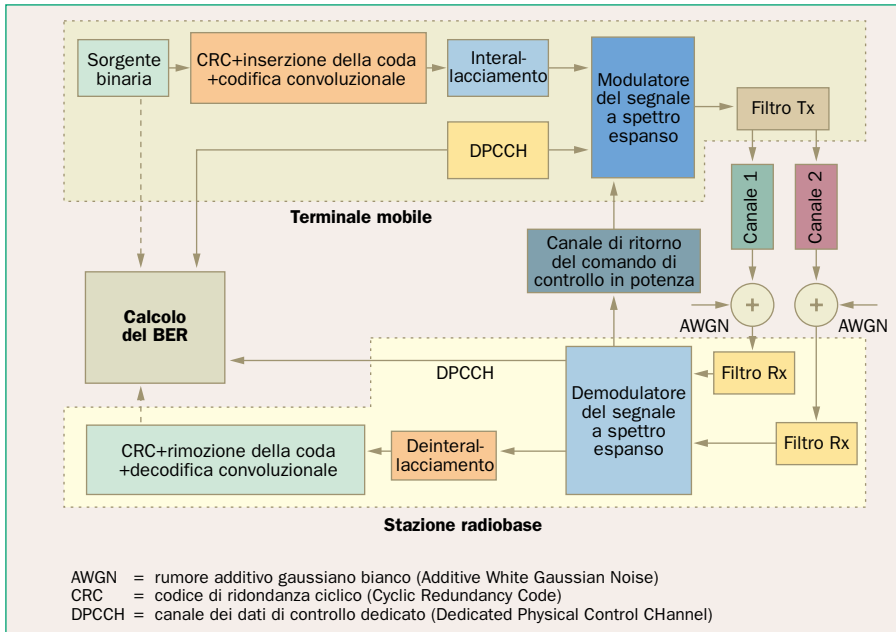


Figura 4a Schema di simulazione dell'interfaccia radio per lo standard W-CDMA: tratta in salita.

biente a statistica normale in decibel con deviazione standard pari a sei). Inoltre, la deviazione standard dell'errore di controllo di potenza, assunto a statistica normale in decibel, viene fatta variare tra zero (controllo perfetto) e tre [12]. La figura mostra che il controllo di potenza deve essere accurato per evitare degradazioni sensibili di capacità.

I risultati di capacità validi per lo standard IS-95 non possono essere estesi ai casi di traffico misto o multimediale, cioè ai casi con ritmo binario delle sorgenti differente o variabile nel tempo. In questi casi si deve tenere conto delle diverse percentuali di richiesta di risorsa radio da parte dei diversi servizi e, inoltre, le specifiche di prestazione (soglia per il BER, valore di P_{out}) possono anche essere differenti per i vari servizi. Le previsioni di capacità in presenza di varie tipologie di traffico sono quindi rese complesse dai molteplici parametri in gioco.

Con riferimento allo standard W-CDMA [10, 14] sono stati eseguiti per via simulativa sia valutazioni di BER che studi di capacità, in accordo con le specifiche tecniche predisposte dall'organismo incaricato 3GPP (3rd Generation Partnership Project) [19]. Le analisi di BER hanno riguardato sia la tratta in salita che la tratta in discesa nei differenti scenari di traffico e ambienti definiti da ETSI (European Telecommunications Standards

Institute), il partner europeo del 3GPP, nel documento ETSI TS30.03 (denominati indoor, indoor-outdoor e outdoor) secondo lo schema di simulazione riportato in figura 4a per la tratta in salita e in figura 4b per la tratta in discesa.

Sono stati ottenuti risultati sulla tratta in discesa per servizio in fonia a 8 kbit/s, con fattore di espansione spettrale $g_s = 26,4$ dB per diverse velocità di spostamento del terminale, tenendo conto degli effetti di limitazione nella potenza massima trasmessa a un utente dalla stazione radiobase e considerando due differenti metodologie per il controllo in potenza, il controllo a un bit e il controllo a due bit.

Alcune delle conclusioni a cui si è giunti possono essere riassunte nei punti seguenti:

- nelle ipotesi di simulazione adottate, per conseguire il valore di BER di 10^{-3} in un canale urbano di tipo *Manhattan (indoor-outdoor)* sono necessari valori di E_b/N_0 intorno a 7 dB, per tutti i valori di interesse pratico della velocità di spostamento del terminale;
- gli effetti della limitazione di dinamica della potenza nella tratta in discesa sono evidenti per velocità basse del terminale mobile (ad esempio per 3 km/h); in questo caso, limitando a circa 15 dB l'incremento di potenza emessa rispetto al valore nominale, è stata osservata una notevole degradazione nelle prestazioni; per velocità più elevate la

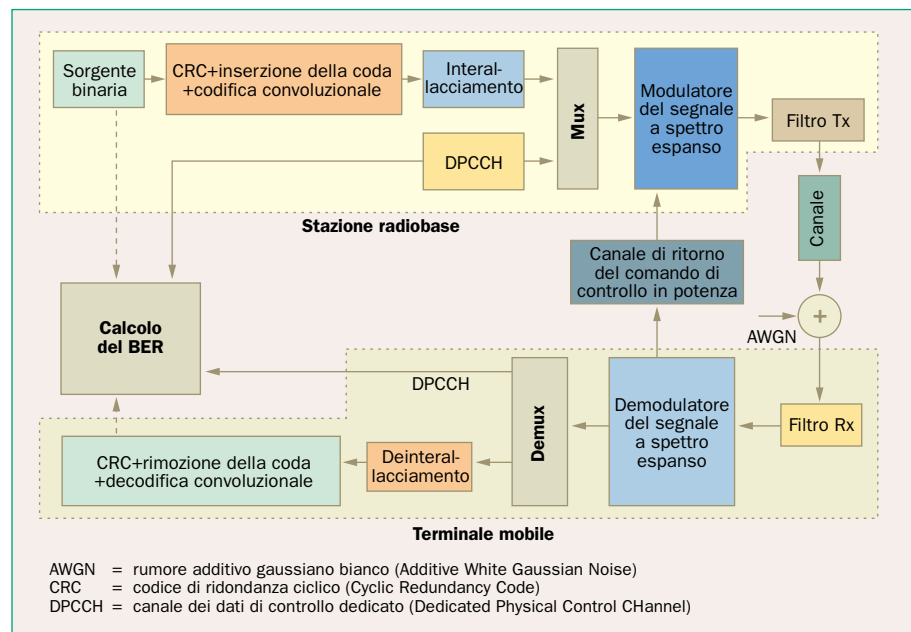


Figura 4b Schema di simulazione dell'interfaccia radio per lo standard W-CDMA: tratta in discesa.

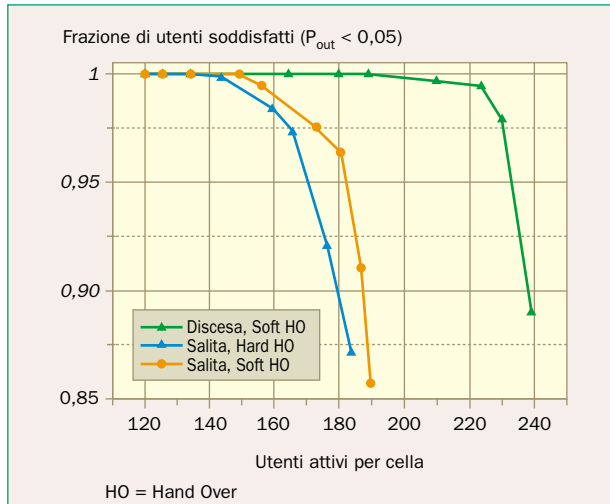


Figura 5a Risultati delle simulazioni di capacità di cella in ambiente urbano di tipo Manhattan per diversi valori di ritmo binario: $R_b = 8$ kbit/s.

degradazione a parità di dinamica è invece trascurabile; in base ai risultati di simulazione è stato osservato che una limitazione attorno a 20 dB costituisce una scelta appropriata;

- si è rilevato che un algoritmo di controllo in potenza a due bit fornisce risultati solo di poco migliori di un algoritmo a singolo bit, soprattutto a medie e alte velocità del terminale. Ad esempio, operando a 85 km/h e scegliendo la risoluzione di 4 dB per il rapporto E_b/N_0 si è ottenuto un miglioramento di solo 1 dB per BER = 10^{-3} ; tale risultato va però a scapito di una maggiore potenza media emessa e della più elevata complessità dell'algoritmo di controllo in potenza.

È stato anche allestito un programma di simulazione [19] per analisi di capacità e di efficienza di copertura (inverso del numero di celle per unità di area), relativo alle due tratte del collegamento W-CDMA, che consente di trattare i servizi a commutazione di circuito previsti dalle specifiche 3GPP [17], ossia il servizio in fonìa a 8 kbit/s ed i servizi dati a tempo differito di tipo LCD (Long Constrained Delay) a 64 kbit/s, 144 kbit/s e 384 kbit/s. Lo strumento di simulazione è adatto a definire e caratterizzare le procedure di controllo in potenza a ciclo aperto e a ciclo chiuso, le tecniche di combinazione di segnale, le tecniche di diversità per selezione di sito, nonché le procedure di hard-handover, soft-handover e softer-handover. Lo strumento consente, in particolare, di impostare sia le caratteristiche dei tre ambienti ETSI sia quelle dei vari servizi erogati, e inoltre di dispiegare traffico misto in fonìa e dati e di simulare utenti mobili secondo diversi modelli di mobilità per i tre ambienti ETSI. Gli effetti delle imperfezioni nel controllo in potenza sono valutati mediante un modello semianalitico [12].

Si adotta inoltre una procedura adattativa per determinare il livello ottimo del rapporto E_b/N_0 richiesto. Si è assunto come riferimento una frazione del 98 per cento di "utenti soddisfatti", definiti da ETSI come gli utenti per i quali P_{out} è minore del 5 per cento per un valore di BER pari a 10^{-3} per ser-

vizio in fonìa e pari a 10^{-6} per servizi dati. Le analisi hanno prodotto una mole notevole di dati statistici sugli eventi di handover, sulla potenza trasmessa dal terminale e dalla stazione radiobase, sulla potenza interferente e sulla statistica dell'errore del controllo di potenza. Alcune delle considerazioni di maggior rilievo ricavate dall'analisi dei risultati sono riportate qui di seguito [20].

- Nell'ambiente veicolare (*outdoor*) con un ampio raggio di copertura (distanza tra le stazioni radiobase di 6 km) e con celle suddivise in tre settori, la tratta che limita la capacità è risultata quella in salita sia per il servizio in fonìa che per il servizio dati a 64 kbit/s; tuttavia l'ottimizzazione del guadagno di antenna e della massima potenza trasmessa dal terminale consente di armonizzare le prestazioni delle due tratte per entrambi i servizi considerati.
- Nell'ambiente veicolare con stazioni radiobase distanti 2 km la tratta limitante risulta essere invece, sia pure di poco, quella in discesa. Si può equilibrare la capacità nelle due tratte per i servizi dati con l'impiego della diversità di antenna in emissione; per il servizio in fonìa in ambiente veicolare, l'introduzione di un errore del controllo di potenza a statistica normale in decibel con deviazione standard pari a due causa un decremento di capacità del 65 per cento nella tratta in salita e del 55 per cento nella tratta in discesa.
- Nell'ambiente urbano di tipo Manhattan (*indoor-outdoor*) la tratta limitante è risultata essere quella in salita; la tratta in discesa impiega fino a tre insiemi di codici e fornisce una capacità elevata dato che, a motivo del ridotto sparpagliamento temporale introdotto dai cammini multipli in questo ambiente, viene preservata quasi per intero l'ortogonalità dei codici appartenenti al medesimo insieme.

In figura 5a sono riportati alcuni risultati delle valutazioni di capacità nell'ambiente urbano di tipo Manhattan per servizio in fonìa a 8 kbit/s, mentre la figura 5b

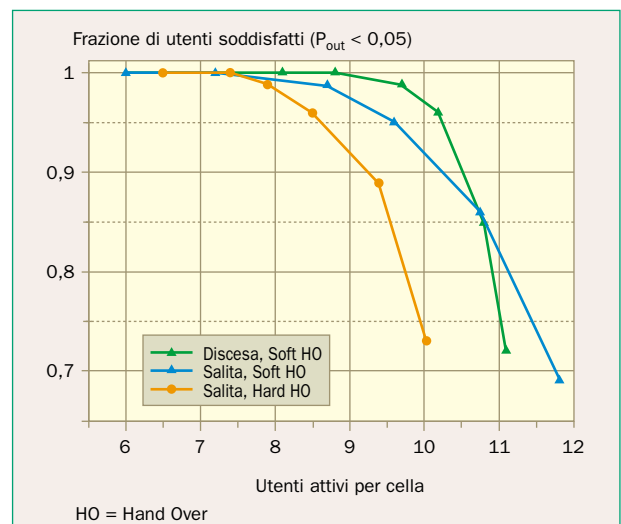


Figura 5b Risultati delle simulazioni di capacità di cella in ambiente urbano di tipo Manhattan per diversi valori di ritmo binario: $R_b = 144$ kbit/s.

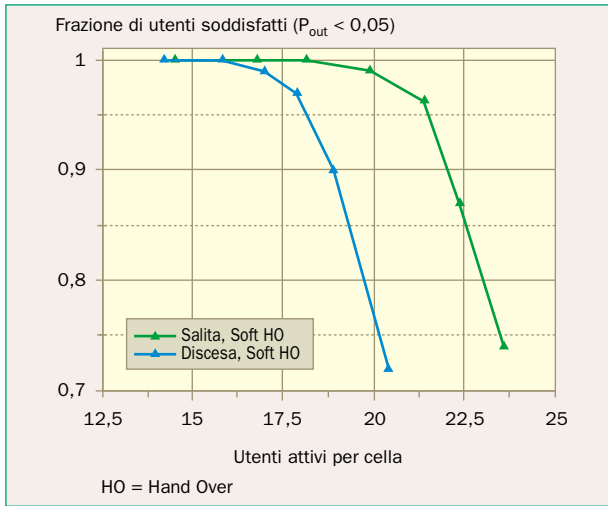


Figura 6a Risultati delle simulazioni di capacità di cella in ambiente interno per diversi valori di ritmo binario: $R_b = 64$ kbit/s.

riguarda il servizio a 144 kbit/s per lo stesso tipo di ambiente.

Analogamente in figura 6a e in figura 6b sono mostrati i risultati relativi all'ambiente interno rispettivamente per i valori di ritmo binario 64 kbit/s e 384 kbit/s.

Come già detto, altre analisi di capacità sfruttano la proprietà di soft-blocking propria dei sistemi cellulari CDMA in virtù della quale, senza pretendere di identificare un limite rigido per il numero di utenti servibili, si studia la dinamica del sistema nelle condizioni di variazione aleatoria del carico di traffico sulla base di modelli a coda, anche tenendo conto delle differenti classi di qualità di servizio (QoS). Un risultato conseguibile sulla base di queste analisi dinamiche consiste nello sviluppo di procedure di *controllo di accesso della chiamata* [21].

4.2 Tecniche per aumentare capacità e flessibilità dei sistemi di terza generazione

Le tecniche incorporate nei sistemi di terza generazione, in aggiunta a quelle discusse in precedenza, tendono innanzitutto a fornire in modo flessibile servizi multimediali interattivi (almeno fino ad alcune centinaia di kbit/s) a fianco dei servizi in fonia e dati a basso ritmo binario. Ciò ha influenza su varie scelte di sistema, tra cui quella della codifica di canale. Per questa codifica si possono impiegare appositi codici ad albero, che sono una generalizzazione dei codici di Walsh-Hadamard e che richiedono un'opportuna strategia di selezione per preservare l'ortogonalità dei codici attivi nella cella, in presenza di segnali con differente ritmo binario. La figura 7 mostra la struttura dei codici ad albero [22]. Nei casi di valori più alti di ritmo binario per servizi dati

insensibili al ritardo, come ad esempio per i servizi del tipo LCD, si possono anche adottare i codici turbo.

Per aumentare la capacità in sistemi di terza generazione l'attenzione si concentra su varie tecniche di riduzione dell'interferenza, tra cui algoritmi di controllo di potenza e ritmo binario, antenne intelligenti e rivelatori multiutente.

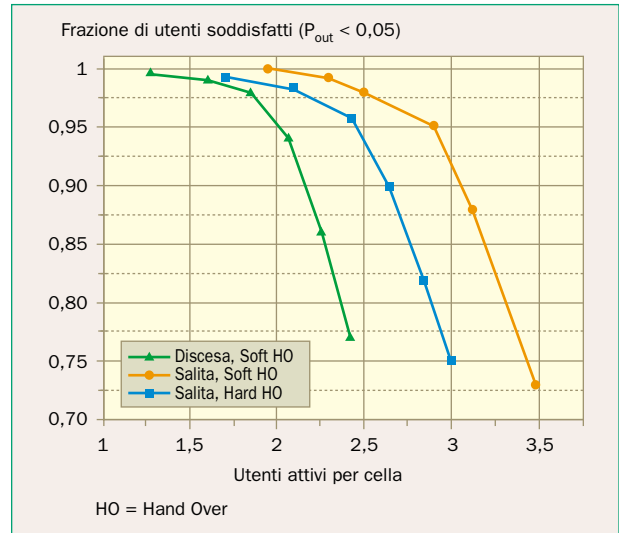


Figura 6b Risultati delle simulazioni di capacità di cella in ambiente interno per diversi valori di ritmo binario: $R_b = 384$ kbit/s.

a) Algoritmi di controllo di potenza e ritmo binario

Si è chiarito nei paragrafi precedenti che il controllo di potenza è uno tra i provvedimenti cruciali per garantire alta capacità già nei sistemi per solo servizio in fonia. Nei sistemi 3G i diversi servizi presentano differenti valori di ritmo binario (eventualmente variabili, persino durante la medesima connessione), requisiti di qualità di trasmissione diversificati e possono richiedere differenti livelli di

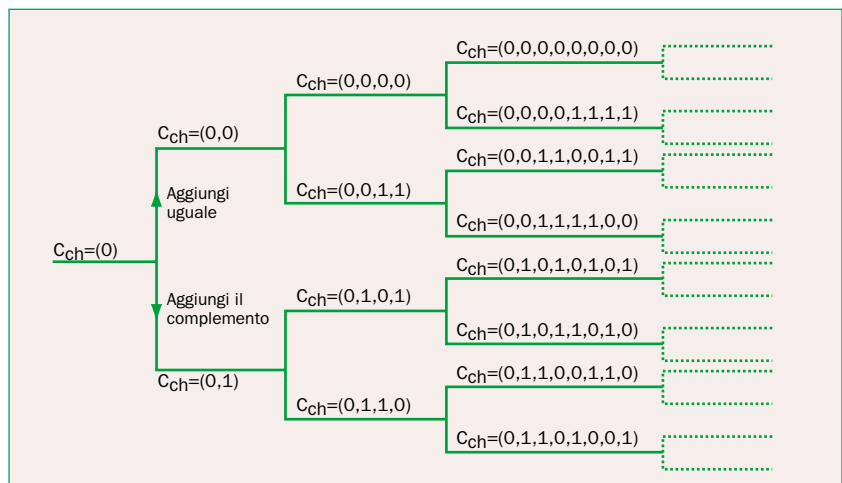


Figura 7 Struttura dei codici ad albero.

INTERFACCIA RADIO A STANDARD IS-95

Nello sviluppo delle comunicazioni radiomobili lo standard americano IS-95 ricopre un ruolo particolare, poiché adotta già molti dei principali provvedimenti atti a migliorare la radiotrasmissione, che sono stati successivamente ripresi negli standard di terza generazione (3G).

Infatti esso contempla l'uso di:

- controllo di potenza ad anello aperto e ad anello chiuso nella tratta in salita;
- controllo di potenza ad anello chiuso nella tratta in discesa;
- tono pilota di potenza pari a circa il 13 per cento del totale per la ripartizione della potenza in discesa;
- controllo dell'attività vocale;
- vari livelli di codifica di canale;
- settorizzazione di cella;
- funzione di *soft-handover*;
- uso del ricevitore a rastrello *rake* (con tre denti nel terminale mobile per combinazione di segnale e un ulteriore dente per la ricerca di segnali pilota più potenti per avviare il *soft-handover*).

Nello standard IS-95 ciascuna portante CDMA occupa la banda di 1,25 MHz per un valore di ritmo di *chip* pari a 1,2288 Mchip/s. Tenuto conto delle necessarie bande di guardia, tre portanti occupano la banda lorda di 5 MHz. Il periodo di trama è di 20 ms.

Le stazioni radiobase sono sincronizzate entro pochi microsecondi in modo da semplificare il terminale mobile, consentendo una più veloce acquisizione iniziale, una pronta esecuzione della funzione di *handover*, e altri vantaggi pratici. Per le esigenze di sincronizzazione di rete il sistema si affida al *GPS* (*Global Positioning System*). Inoltre, come sequenze pilota si usa per tutte le stazioni radiobase una medesima sequenza pseudocasuale (PN) con fasi iniziali diverse da cella a cella.

I canali si distinguono in due classi: *canali comuni* o *di controllo* e *canali dedicati* o *di traffico*. Nella tratta in discesa i canali di controllo sono di tre tipi: canale *pilota*, canali *di paging* e canale *di sincronizzazione*. Per ottenere il segnale al ritmo di trasmissione richiesto di 1,2288 Mchip/s si ricorre ai seguenti trattamenti di segnale:

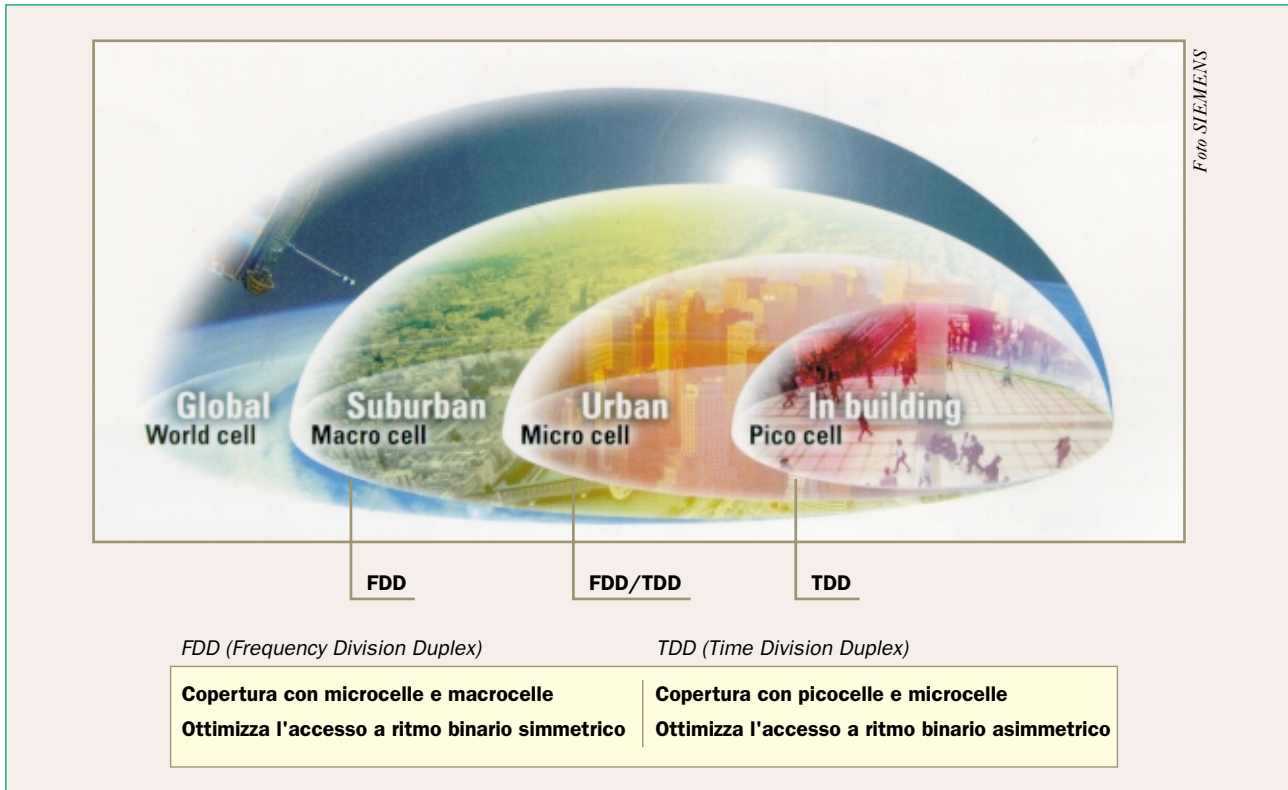
- 64 forme d'onda ortogonali di Walsh-Hadamard (di lunghezza 64) hanno lo scopo di rendere distinguibili i canali generati dalla stazione radiobase: la forma d'onda W_0 (sequenza di tutti zeri) è usata per il canale pilota; la forma d'onda W_{32} è impiegata per il canale di sincronizzazione; le forme d'onda $W_7 - W_{63}$ sono di norma utilizzate per canali di paging; le rimanenti 55 funzioni di Walsh sono a disposizione per canali di traffico.
- Una coppia di sequenze PN, appartenenti alla classe cosiddetta a massima lunghezza o *MLS* (*Maximum Length Sequences*), di periodo $2^{15} - 1 = 16\,767$ è adoperata per eseguire l'allargamento spettrale sulle due vie in quadratura di un modulatore *BPSK* (*Binary Phase Shift Keying*). La scelta di adottare due funzioni PN per eseguire questa operazione sul segnale numerico ripetuto su vie in quadratura è dettata dall'esigenza di rendere mutuamente indipendenti i vari contributi di interferenza di accesso multiplo (vedi rif. [28] dell'articolo). Inoltre, grazie alla coppia di sequenze MLS, le diverse celle e i diversi settori entro la stessa cella risultano univocamente individuati.
- Una lunghissima sequenza PN di periodo $2^{42} - 1$ (pari a circa quaranta giorni) viene usata per le funzioni di *crittografia* e di *paging*; questa sequenza è la stessa usata nella tratta in salita per la separazione dei segnali di traffico dei differenti utenti.

A differenza della tratta in discesa, nella tratta in salita si rinuncia all'ortogonalità ma, per separare i canali, si usa un solo codice PN di periodo molto lungo ($2^{42} - 1$). Le correlazioni tra i differenti canali perciò non risultano nulle ma di valore piccolo. Il vantaggio che consegue è che si dispone di $2^{42} - 1$ canali logici di traffico: uno di questi canali è associato permanentemente al terminale e quindi non cambia a seguito del *handoff* (o *handover*) da una stazione radiobase ad un'altra.

Nella tratta in salita vengono consentiti quattro diversi valori di ritmo binario (1200; 2400; 4800 e 9600 bit/s); in tutti i casi il rapporto di codifica, r_c , è pari a 1/3 mentre il ritmo di bit codificato per tutti i tipi di traffico è di 28800 bit/s. Il ritmo binario codificato viene reso uguale per mezzo di un'ulteriore codifica per ripetizione; dopo la funzione di interlacciamento (*interleaving*) si ha la modulazione che consiste nell'associare a blocchi di 6 bit un simbolo ortogonale di Walsh-Hadamard, scelto tra 64 possibili: il ritmo di simbolo è quindi di 4,8 kbaud.

Segue, come si è detto, la lunga sequenza PN e, ancora, la successiva modulazione con due sequenze più corte in quadratura (PN_I e PN_Q) prima della modulazione armonica del tipo *OQPSK* (*Offset QPSK*). L'impiego combinato di un codice lungo e di uno corto del medesimo valore di ritmo di chip (ossia con lo stesso valore di T_c) ha lo scopo di produrre una sequenza di periodo straordinariamente lunga (2^{57} e cioè circa 3700 anni per $f_c = 1,2288$ MHz); la scelta delle due sequenze in quadratura, PN_I e PN_Q , è motivata dalla necessità di ottenere una fase casuale del segnale modulato.

Si osservi che, a differenza del collegamento in discesa, nel collegamento in salita non si associa al segnale utile il tono pilota: la demodulazione alla stazione radiobase è perciò di tipo non coerente.



Ambienti di servizio UMTS.

potenza ricevuta.

La capacità appare dominata dagli utenti con i più alti ritmi binari e i requisiti di qualità più spinti. Poiché i diversi servizi interferiscono tra loro, i livelli di potenza hanno effetto sulla capacità totale. Si debbono pertanto determinare dinamicamente i livelli di potenza appropriati, negoziare i valori di ritmo binario delle applicazioni attive, come pure definire le strategie di controllo adatte e le precisioni da richiedere agli algoritmi di controllo [23].

Particolarmente rilevanti, anche ai fini dell'impiego ottimo della risorsa spettrale, sono i problemi di controllo di accesso della chiamata e le tecniche di assegnazione dei canali e di prenotazione per la funzione di handover. Anche in questo settore sono in corso numerose ricerche [21, 24].

b) Antenne intelligenti

Come già osservato nel trattare la settorizzazione di cella, i provvedimenti volti a ridurre la dimensione del fascio d'antenna della stazione radiobase producono vantaggi in termini di riduzione dell'interferenza sia nella tratta in salita che nella tratta in discesa, con miglioramento del rapporto E_b/N_0 e conseguente aumento di capacità e di efficienza di copertura.

Un'antenna intelligente (*smart antenna*) [25] collocata nella stazione radiobase provvede all'irradiazione e alla ricezione dei segnali in modo adattativo e perciò, potenzialmente, con maggiore efficacia. In emissione quest'antenna può idealmente indirizzare selettivamente la potenza di ogni singolo segnale verso l'utente interessato mediante un fascio radiante

stretto ottenuto con tecniche di antenna a schiera. Dualmente, in ricezione l'antenna si orienta di volta in volta verso il terminale mobile emittente. L'antenna, poi, può anche collocare nulli del diagramma di irradiazione nelle direzioni di interferenti particolarmente dannosi, sia interni che esterni alla cella. Il vantaggio dell'antenna intelligente si consegue però al prezzo di una maggiore complessità degli algoritmi di elaborazione di segnale e della rete di formazione del fascio.

Gli standard di terza generazione sono predisposti per integrare le antenne intelligenti nelle reti. Questa possibilità si deve all'associazione, nel preambolo di ciascun segnale di traffico, di opportuni campi di controllo. Poiché hanno impatto solo sullo strato fisico del sistema, le tecnologie di antenna intelligente si prestano a un inserimento graduale nelle reti e a varie soluzioni realizzative. Questa flessibilità, con la prospettiva di apportare notevoli miglioramenti di capacità e qualità, fa presumere che le antenne intelligenti avranno un'ampia diffusione nei prossimi anni nell'ambito dei vari sistemi radiomobili di terza generazione.

c) Rivelazione multiutente

Il ricevitore ottimo in presenza di una molteplicità di segnali non ortogonali esegue congiuntamente la demodulazione di tutti i segnali. Poiché la stazione radiobase conosce tutte le sequenze di codice associate ai segnali ad essa indirizzati, nella tratta in salita una tecnica di rivelazione multiutente può consentire di sopprimere l'interferenza interna. Ad esempio si può ricorrere a ricevitori che eseguono opportune

combinazioni lineari dei segnali ricevuti [26, 27], oppure adottare tecniche di cancellazione successiva e progressiva dell'interferenza [28]. La rimozione dell'interferenza esterna è invece di norma più complessa e non viene considerata.

Si osservi infine che l'applicazione delle tecniche di rivelazione multiutente comporta un duplice vantaggio: riducendo l'interferenza, infatti, da un lato aumenta la capacità di cella e dall'altro riduce la criticità del controllo di potenza.

5. Conclusioni

Nell'evoluzione dei sistemi radiomobili il GSM ha rappresentato il passo fondamentale nell'introduzione di uno standard numerico mondiale con struttura di rete flessibile ed evolutiva; successivamente il sistema IS-95 ha messo a punto un'interfaccia radio assai efficiente nell'uso dello spettro. Il passo successivo, oggi in corso con l'avvento della terza generazione radiomobile, prendendo le mosse dalla struttura di rete GSM e dai concetti di interfaccia radio IS-95, sarà in grado di garantire le proprietà di flessibilità di instradamento e capacità trasmissiva necessarie per portare i servizi multimediali interattivi a larga banda in ambito radiomobile.

Le tecniche di accesso dei sistemi di terza generazione saranno basate principalmente sulla divisione di codice, che è per sua natura molto flessibile ed efficiente, e offre la possibilità di progressivi miglioramenti delle prestazioni con l'introduzione di sofisticate tecniche di elaborazione di segnale.

Le tecniche più promettenti per migliorare le prestazioni radio riguardano i metodi di riduzione dell'interferenza, tra cui l'impiego di antenne intelligenti e della rivelazione multiutente.

La flessibilità del sistema e la possibilità di migliorare nel tempo le sue prestazioni in termini di

efficienza e qualità è una garanzia sulla possibilità di fornire ad utenti sempre più esigenti un'ampia gamma di servizi, sia tradizionali che emergenti e non ancora pienamente definiti. I sistemi CDMA riscuoteranno perciò successo crescente in campo radiomobile e si imporranno per molte applicazioni.

Abbreviazioni

AWGN	Additive White Gaussian Noise
BER	Bit Error Ratio
CDM	Code Division Multiplexing
CDMA	Code Division Multiple Access
DS-CDMA	Direct Sequence-CDMA
ETSI	European Telecommunications Standardization Institute
FD-CDMA	Frequency Division-CDMA
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
LCD	Long Constrained Delay
MC-CDMA	MultiCarrier-CDMA
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
TD-CDMA	Time Division-CDMA
TDMA	Time Division Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access
W-CDMA	Wideband-CDMA
3GPP	3 rd Generation Partnership Project



Pietro Porzio Giusto si è laureato nel 1971 in Ingegneria Elettronica presso il Politecnico di Torino. Dopo la laurea ha lavorato per un breve periodo nel reparto di elettronica e fotometria dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris di Torino. Successivamente ha lavorato presso lo CSELT (il Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni della STET) di Torino, conducendo studi su ponti radio a microonde, satelliti per telecomunicazioni e sistemi radiomobili, prima come ricercatore, poi

ricoprendo varie posizioni di responsabilità gestionale. Dall'ottobre del 1994 ha assunto la responsabilità dello sviluppo dei sistemi radio presso TIM. Dal 1987 segue lo sviluppo delle specifiche del sistema GSM, contribuendo alla definizione di alcuni aspetti del sistema di ricetrasmisione radio. Dal 1989 al 1992 è stato presidente del programma di ricerche europeo COST 231, che ha iniziato gli studi sui sistemi radiomobili di terza generazione. Ha poi continuato a seguire lo sviluppo di questi sistemi sia in ambito ETSI/SMG, sia presso l'UMTS Forum, sia presso l'organismo internazionale 3GPP (3rd Generation Partnership Project), costituito nel dicembre del 1998 per definire lo standard mondiale del nuovo sistema. Nel corso della sua attività lavorativa ha sviluppato sei brevetti e ha pubblicato circa cinquanta lavori.



Francesco Vatalaro si è laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Bologna nel 1977. Ha prestato servizio presso la Fondazione Ugo Bordoni, la FACE Standard e la Selenia Spazio. Nel 1987 è divenuto professore associato presso l'Università di Roma Tor Vergata dove è ora professore di prima fascia di Radiocomunicazioni. Nel 1998 è stato visiting professor alla University of Southern California (USC) e nel 2000 visiting professor presso UCLA, Los Angeles, ove ha anche svolto

incarichi didattici. Dal 1985 conduce e promuove vari progetti di ricerca nel settore delle telecomunicazioni nell'ambito di programmi nazionali e europei. Nel 1990 è risultato tra i vincitori del premio internazionale "Piero Fanti" conferito da INTELSAT e Telespazio. È membro dell'Editorial Board dell'"International Journal of Satellite Communications", J. Wiley. È chairman dell'"IEEE Communications Society / Vehicular Technology Society Joint Chapter of Italy" ed è membro di vari comitati scientifici in Italia. È autore di circa cento pubblicazioni scientifiche. I suoi interessi includono le comunicazioni mobili e personali, le comunicazioni via satellite, i sistemi a spettro espanso e i sistemi di accesso multiplo.

Bibliografia

- [1] Simon, M.K.; Omura, J.K.; Scholtz, R.A.; Levitt, B.K.: *Spread Spectrum Communications Handbook (Rev. Ed.)*. Mc Graw Hill, 1985.
- [2] Viterbi, A.J.: *CDMA - Principles of Spread Spectrum Communication*. Addison-Wesley - Wireless Communications Series, 1995.
- [3] Judge, W.J.: *Multiplexing using quasiorthogonal binary functions*. «IEEE Transactions Commun. Electron.», Vol. 81, maggio 1962, pp. 81-83. (anche in R.C. Dixon (Ed.): "Spread spectrum techniques", IEEE Press, 1976).
- [4] Viterbi, A.J.: *When not to spread spectrum: a sequel*. «IEEE Communication Magazine», Vol. 23, n. 4, aprile 1985, pp. 12-17.
- [5] Cooper, G.R.; Nettleton, R.W.: *A spread spectrum technique for high-capacity mobile communications*. «IEEE Transactions on Vehicular Technology», Vol. 27, n. 4, novembre 1978, pp. 264-275.
- [6] Salmasi, A.: *An overview of advanced wireless telecommunication systems employing code division multiple access*. «Atti dell'IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications», Londra, settembre 1990, pp. 18-24.
- [7] Gilhousen, K.S.; Jacobs, I.M.; Padovani, R.; Viterbi, A.J.; Weaver Jr. L.A.; Wheatley III, C.E.: *On the capacity of a cellular CDMA system*. «IEEE Transactions on Vehicular Technology», Vol. 40, n. 2, maggio 1991, pp.303-312.
- [8] Knebelkamp, F.; Eylert, B.; Schutters, W.; Chang, M.; Gilhousen, K.: *Field test of a CDMA system*. «IEEE», 1994, pp. 1-5.
- [9] Telecommunication Industry Association: *Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular system*. TIA/EIA/IS-95, luglio 1993.
- [10] European Telecommunications Standardization Institute: *UMTS terrestrial radio access (UTRA)-wide-band CDMA, ETSI/SMG/SMG2/UTRA W-CDMA*. Gennaio 1998.
Vedi: www.itu.ch/imt/2-radio-dev/proposals/
- [11] Mazzenga, F.; Napolitano, A.; Porzio Giusto, P.; Vatalaro, F.: *Lo standard UMTS per le comunicazioni cellulari di terza generazione*. In questo stesso numero del «Notiziario Tecnico Telecom Italia», pp. 62-75.
- [12] Corazza, G.E.; De Maio, G.; Vatalaro, F.: *CDMA cellular systems performance with fading, shadowing, and imperfect power control*. «IEEE Transactions on Vehicular Technology», Vol. 47, n. 2, maggio 1998, pp. 450-459.
- [13] Viterbi, A.M.; Viterbi, A.J.: *Erlang capacity of a power-controlled CDMA system*. «IEEE Journal on Selected Areas in Communications», Vol. 11, pp. 892-900, agosto 1993.
- [14] Adachi, F.; Sawahashi, M.; Suda, H.: *Wideband DS-CDMA for next generation mobile communications system*. «IEEE Communication Magazine», settembre 1998, pp. 56-69.
- [15] Price, R.; Green Jr., P.E.: *A communication technique for multipath channels*. «Proc. IRE», Vol. 46, marzo 1958, pp. 555-570.
- [16] Padovani, R.: *Reverse link performance of IS-95 based cellular systems*. «IEEE Personal Communications» Third Quarter 1994, pp. 28-34.
- [17] Shapira, J.; Wheatley, C.E.: *Channel based optimum bandwidth for spread spectrum land cellular radio*. IEEE PIMRC, 1992, pp. 199-204.
- [18] Yang, J.; Rajan, M.: *Microcell performance evaluation in IS_95 based CDMA networks*. IEEE ICUPC '98, Vol. 2, 1998, pp. 899-903.
- [19] 3GPP/TSG/RAN/WG1 Technical Specification: *Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)*. TS S1.11, V1.1.0 (1999-03).
- [20] Pace, A.; Valentini, L.: *System level performance evaluation of UTRA-FDD (UMTS Terrestrial Radio Access - Frequency Division Duplex)*. IEEE PIMRC 2000, Londra, settembre 2000, pp. 343-347.
- [21] Evans, J.S.; Everitt, D.: *Effective bandwidth-based admission control for multiservice CDMA cellular networks*. «IEEE Transactions on Vehicular Technology», Vol. 48, n. 1, gennaio 1999, pp. 36-46.
- [22] Dinan, E.H.; Jabbari, B.: *Spreading codes for direct sequence CDMA and wideband CDMA cellular networks*. «IEEE Communication Magazine», settembre 1998, pp. 48-53.
- [23] Sherif, M.R.; Habib, I.W.; Nagshineh, M.; Kermani, P.: *Adaptive allocation of resources and call admission control for wireless ATM using genetic algorithms*. «IEEE Journal on Selected Areas in Communications», Vol. 18, pp. 268-282, febbraio 2000.
- [24] Zou, J.; Bhargava, V.K.: *Design issues in a CDMA cellular system with heterogeneous traffic types*. «IEEE Transactions on Vehicular Technology» Vol. 47, n. 3, agosto 1998, pp. 871-884.
- [25] Lehne, P.H.; Petersen, M.: *An overview of smart antenna technology for mobile communications systems*. «IEEE Commun. Surveys», Fourth Quarter 1999, Vol. 2, n. 4, pp. 2-13.
- [26] Verdu, S.: *Minimum probability of error for asynchronous Gaussian multiple access channels*. «IEEE Transactions on Information Theory», Vol. 32, gennaio 1986, pp. 85-96.
- [27] Moshavi, S.: *Multi-user detector for DS-CDMA communications*. «IEEE Communication Magazine», ottobre 1996, pp. 124-136.
- [28] Viterbi, A.J.: *Very low rate convolutional codes for maximum theoretical performance of spread-spectrum multiple-access channels*. «IEEE Journal on Selected Areas in Communications», Vol. 8, pp. 641-649, 1990.
- [29] Porzio Giusto, P.; Magnani, N.P.; Romano, G.: *L'interfaccia radio dell'UMTS, sistema radiomobile di terza generazione*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 7, n. 1, aprile 1998, pp. 113-116.

Lo standard UMTS per le comunicazioni cellulari di terza generazione

FRANCO MAZZENGA
ANTONELLA NAPOLITANO
PIETRO PORZIO GIUSTO
FRANCESCO VATALARO

Questo articolo descrive le principali caratteristiche delle due versioni dello standard radiomobile di terza generazione UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Il sistema UMTS è un membro della "famiglia IMT-2000" (International Mobile Telecommunications 2000), standardizzata dall'ITU a seguito di una cooperazione e un impegno di dimensioni senza precedenti nella storia delle telecomunicazioni. L'articolo richiama i principali requisiti del sistema ed espone le caratteristiche principali dell'interfaccia radio e dell'architettura di rete.

1. Introduzione

È ormai prossimo l'avvento della "famiglia di sistemi" radiomobili di terza generazione (3G) con specifiche fissate in sede ITU (*International Telecommunication Union*) nell'ambito del cosiddetto IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*). Sebbene differenti in alcune scelte tecniche, molti degli elementi della "famiglia IMT-2000" sono basati sull'impiego dell'accesso multiplo a divisione di codice, CDMA (*Code Division Multiple Access*), oggetto di un articolo gemello su questo stesso numero del Notiziario Tecnico [1].

L'approntamento degli standard IMT-2000 ha richiesto l'intervento coordinato di Enti normativi, industrie manifatturiere, gestori di reti radiomobili, nonché di Enti di ricerca e Università, in un impegno pluriennale planetario. Si è trattato forse del più difficile e concentrato sforzo di coordinamento che il settore delle telecomunicazioni abbia mai affrontato [2]. Il riquadro di pagina 64 traccia il processo storico che ha condotto alla definizione degli standard.

Nel secondo paragrafo si esaminano i principali requisiti di servizio posti per i sistemi 3G. Il terzo paragrafo descrive l'interfaccia radio UMTS, soffermandosi su aspetti generali di architettura e sulla descrizione dello strato fisico. Successivamente il quarto paragrafo illustra l'architettura di rete UMTS. Nel quinto paragrafo sono esaminati alcuni dei principali meccanismi di comunicazione e nel sesto viene descritta la possibile struttura della rete di trasporto. Infine, il settimo paragrafo presenta le conclusioni.

2. Requisiti di servizio di un sistema di terza generazione

Le caratteristiche della famiglia IMT-2000, fissate in sede ITU, e quelle dello standard UMTS, definite in Europa, sono state armonizzate con l'obiettivo di fornire servizi personali multimediali dovunque e in ogni condizione (requisito *anywhere, anytime, anytype, anyvolume*).

Le analisi di mercato hanno messo in luce l'esigenza di conciliare nel medesimo standard servizi con requisiti di ritmo binario sia simmetrici nei due sensi di trasmissione che asimmetrici. I servizi con impegno simmetrico delle risorse radio saranno inizialmente prevalenti, ma con il tempo si farà sempre più largo l'esigenza di connessioni radio con flussi binari asimmetrici (si pensi per esempio alla crescita della navigazione in rete Internet). Con un terminale IMT-2000 si potranno inoltrare e ricevere chiamate telefoniche, spedire e ricevere messaggi di posta elettronica, telefax, documenti, immagini fisse e in movimento, partecipare a videoconferenze, navigare in rete Internet, scaricare documenti e pagine *web*, accedere in modo remoto al proprio sistema di elaborazione personale, e così via.

Il massimo valore di ritmo binario impiegabile, oltre che dal tipo di terminale a disposizione, è di volta in volta dipendente dall'ambiente in cui si viene a operare. A tal proposito sono stati identificati i seguenti requisiti di ritmo binario (ITU-R M.1225):

- 64, 144, 384, 512, 1024 e 2048 kbit/s per gli ambienti interni (indoor) residenziali e di ufficio;
- 64 e 144 kbit/s per gli ambienti esterni (outdoor) pedonali (fino a 10 km/h);
- 16, 32 e 64 kbit/s per gli ambienti esterni veicolari (fino a 200 km/h).

Per definire le varie tipologie di terminale è stato osservato che per applicazioni in interni con terminali multimediali (tipicamente PC fissi), ossia in condizioni di mobilità molto bassa o nulla, il ritmo binario massimo è 2 Mbit/s. In ambiente esterno urbano e con terminale tascabile il ritmo binario massimo potrà scendere anche a 16 kbit/s, mentre con un *PDA (Personal Digital Assistant)*, o anche con un piccolo terminale multimediale con funzioni di elaborazione simili a quelle di un attuale PC portatile, si potrà avere un ritmo binario variabile tra 64 e 384 kbit/s. In condizioni di mobilità veicolare, infine, il ritmo binario sarà presumibilmente limitato a 64 kbit/s o a 144 kbit/s, valori ritenuti adatti anche a terminali a buona risoluzione video per funzioni di comunicazione e navigazione.

Nel rispetto dei valori massimi di ritmo binario per ambiente e classe di terminale, è stato introdotto il concetto di banda su domanda (*BoD, Bandwidth on Demand*): su questa base l'utente è di volta in volta in grado di fissare la propria esigenza di connettività in relazione ad aspetti di qualità di servizio e di costo. In modo analogo saranno resi compatibili servizi sensibili al ritardo con quelli non sensibili al ritardo e il profilo d'utente potrà essere agevolmente e tempestivamente riconfigurato.

diale e l'estensione del servizio IMT-2000 di un dato operatore anche al di fuori dei propri confini nazionali:

- componente terrestre (copertura continentale);
- componente satellitare (copertura globale).

La modalità di fornitura del servizio, se mediante rete cellulare terrestre o via satellite, e il passaggio da una rete all'altra dovrà essere trasparente per l'utente (*seamless handover*).

Le bande di frequenza assegnate al servizio sono 1885-2025 MHz e 2110-2200 MHz ed è previsto che in queste bande operino entrambe le componenti terrestri e satellitare.

In figura 1 sono riportate l'attribuzione di spettro standardizzata per la famiglia IMT-2000 e quelle stabilite per il sistema UMTS in Europa e per altri elementi della famiglia di sistemi in altre significative parti del mondo.

3. Interfaccia radio UMTS

3.1 Architettura dell'interfaccia radio

Per consentire un uso efficiente delle risorse e per trasportare in maniera flessibile un ampio spettro di servizi multiplati simultaneamente sulla stessa portante, è stato deciso di far convivere nel medesimo standard due differenti modalità di funzionamento: la prima, detta *FDD (Frequency Division Duplex)*, prevede che la trasmissione e la ricezione avvengano su frequenze portanti distinte; la seconda, detta *TDD (Time Division Duplex)*, prevede invece che trasmissione e ricezione avvengano in tempi distinti sulla stessa frequenza portante. La tecnica FDD, con due bande di 60 MHz ciascuna, è considerata più idonea per servizi cellulari con ampie coperture, mentre la tecnica TDD, con banda complessiva di 35 MHz in Europa (50 MHz nelle attribuzioni ITU), è considerata più adatta per servizi di tipo cordless e soprattutto per servizi in cui la quantità di informazione da trasferire nei due versi di trasmissione è così diversa da rendere conveniente la realizzazione di canali asimmetrici.

Per le bande simmetriche la soluzione adottata prevede l'associazione delle tecniche W-CDMA e FDD (*sistema FDD/W-CDMA*), mentre nel caso delle bande asimmetriche alla tecnica CDMA si associa la tecnica TDD (*sistema TDD/TD-CDMA*).

I primi tre strati dell'architettura dei *protocolli dell'interfaccia radio* sono conformi, salvo poche modifiche, a quanto riportato nella raccomandazione ITU-R M.1035: partendo dal basso si ha lo *strato fisico* (L1)

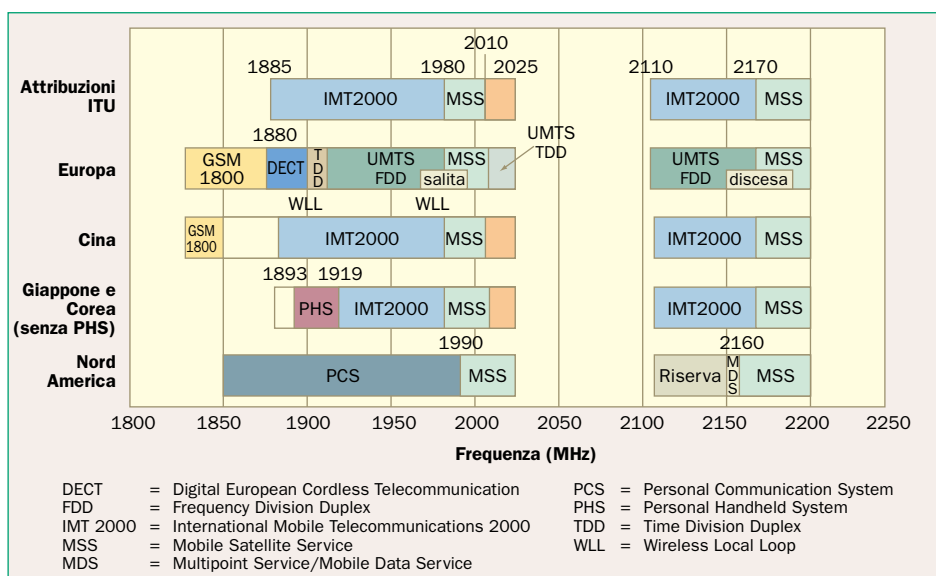


Figura 1 Attribuzioni spettrali IMT-2000.

Le applicazioni di rete IMT-2000 sono molteplici (ITU-R M.1034): cellulare pubblico, reti private, cordless residenziale, servizi di accesso radio diretti all'utenza fissa (*wireless local loop*), cercapersone (*paging*). Il sistema sarà anche in grado di fornire in modo efficiente servizi portanti (fonia, dati, video) sia a commutazione di circuito che a commutazione di pacchetto fino a 2 Mbit/s.

Altri importanti requisiti aggiuntivi sono la capacità di instradamento a livello mondiale tra reti differenti (*roaming*), l'interoperabilità con le reti PSTN, ISDN e satellitari e l'adozione di severi requisiti di sicurezza (in particolare per consentire il commercio elettronico con accesso radio in rete Internet). A tal fine si prevedono due componenti per facilitare il roaming mon-

AVVENTO DELL'UMTS: PERCORSO STORICO

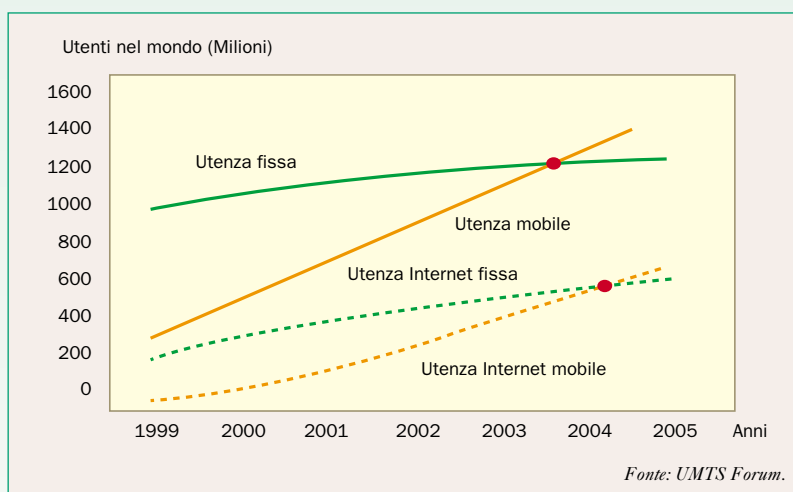
A partire dalla fine degli anni Ottanta furono avviati diversi programmi di ricerca per definire le caratteristiche di base dell'interfaccia radio (modulazione, codifica, accesso multiplo) per sistemi radiomobili di terza generazione (3G): con l'obiettivo di introdurre un sistema radiomobile universale, identificato come UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), furono avviati in Europa studi, prima nell'ambito del programma di cooperazione scientifica COST 231 (1989-1996) e poi del programma precompetitivo RACE II (1992-1995). In questi ambiti furono proposte e sperimentate in campo due differenti soluzioni di interfaccia radio, l'una basata sul CDMA (CODIT) e l'altra sul TDMA (ATDMA). Queste ricerche furono poi seguite da numerosi ulteriori studi e sperimentazioni nell'ambito del programma successivo di ricerca precompetitiva ACTS dell'Unione Europea (1995-1999).

All'inizio del 1997, mentre in tutto il mondo proseguivano le attività di studio e sperimentazione, l'ARIB (*Association for Radio Industry and Business*), Ente giapponese di standardizzazione, decise di procedere nell'emissione di uno standard dettagliato di una soluzione per accesso multiplo a divisione di codice a banda larga (W-CDMA)¹. La spinta tecnologica messa in luce e potenziata da tale iniziativa convinse, specialmente in Europa, della necessità di passare rapidamente dalla fase di ricerca alla definizione di caratteristiche di dettaglio per il sistema 3G. Un'ulteriore spinta si ebbe anche dai molti studi di mercato

che indicavano la crescente esigenza di servizi dati via radio, per utenza sia fissa che mobile, anche assieme alla rapida crescita della domanda di applicazioni multimediali e al successo straordinario di Internet.

Furono così stabiliti rapidamente accordi di collaborazione tra partner europei e giapponesi, anche a livello industriale e di operatori (il primo accordo tra operatori fu stipulato tra TIM e NTT DoCoMo nel 1997) per promuovere congiuntamente il sistema W-CDMA, ritenuto il più appropriato nel fornire servizi mobili multimediali.

che si intendeva realizzare. Pertanto nel gennaio del 1998 ETSI stabilì il tipo di interfaccia radio della componente terrestre dell'UMTS, detta UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*), considerando anche due modalità di trasmissione, ossia la tecnica FDD (*Frequency Division Duplex*) per traffico bilanciato e la tecnica TDD (*Time Division Duplex*) per traffico sbilanciato nei due sensi del collegamento. La soluzione adottata prevede l'uso della tecnica W-CDMA associata a FDD (FDD/W-CDMA); mentre nel caso del TD-CDMA si ha l'uso della tecnica TDD (TDD/TD-CDMA). Questa scelta è stata



Crescita dell'utenza nel mondo.

Da tempo infatti anche l'ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*) aveva iniziato a promuovere la standardizzazione del sistema UMTS che, oltre a prevedere una componente cellulare terrestre, fosse anche dotato di una componente satellitare per agevolare il conseguimento del requisito di copertura globale. Dopo aver analizzato quattro diverse soluzioni per realizzare l'interfaccia radio, già nell'estate del '97 risultò evidente che solo due tecniche presentavano proprietà adatte al sistema

condivisa da diversi operatori anche in Asia e in America, per cui nel dicembre del 1998 tutti gli operatori radiomobili interessati si associarono nel "Third Generation Partnership Project" (3GPP) e fu possibile avviare la definizione delle specifiche del sistema UMTS. Il 3GPP ha già completamente definito una prima versione dello standard, chiamate Release 99, e sta ora lavorando sulla seconda versione (Release 2000).

Negli Stati Uniti di America il

⁽¹⁾ La scelta di tale denominazione dipende dalla larghezza di banda prescelta (circa 5 MHz), più ampia di quella dell'esistente standard CDMA (IS-95) pari a 1,25 MHz.

processo di standardizzazione, per considerazioni tecniche, industriali e politiche, ha seguito inizialmente un percorso indipendente, condizionato tra l'altro dalla necessità di salvaguardare la compatibilità con lo standard IS-95, sul quale è basato il sistema commerciale *CdmaOne*). La TIA (*Telecommunications Industry Association*) nel dicembre 1997 adottò perciò una soluzione di CDMA a banda larga denominata *Cdma2000*, con parametri di sistema derivati dallo standard IS-95.

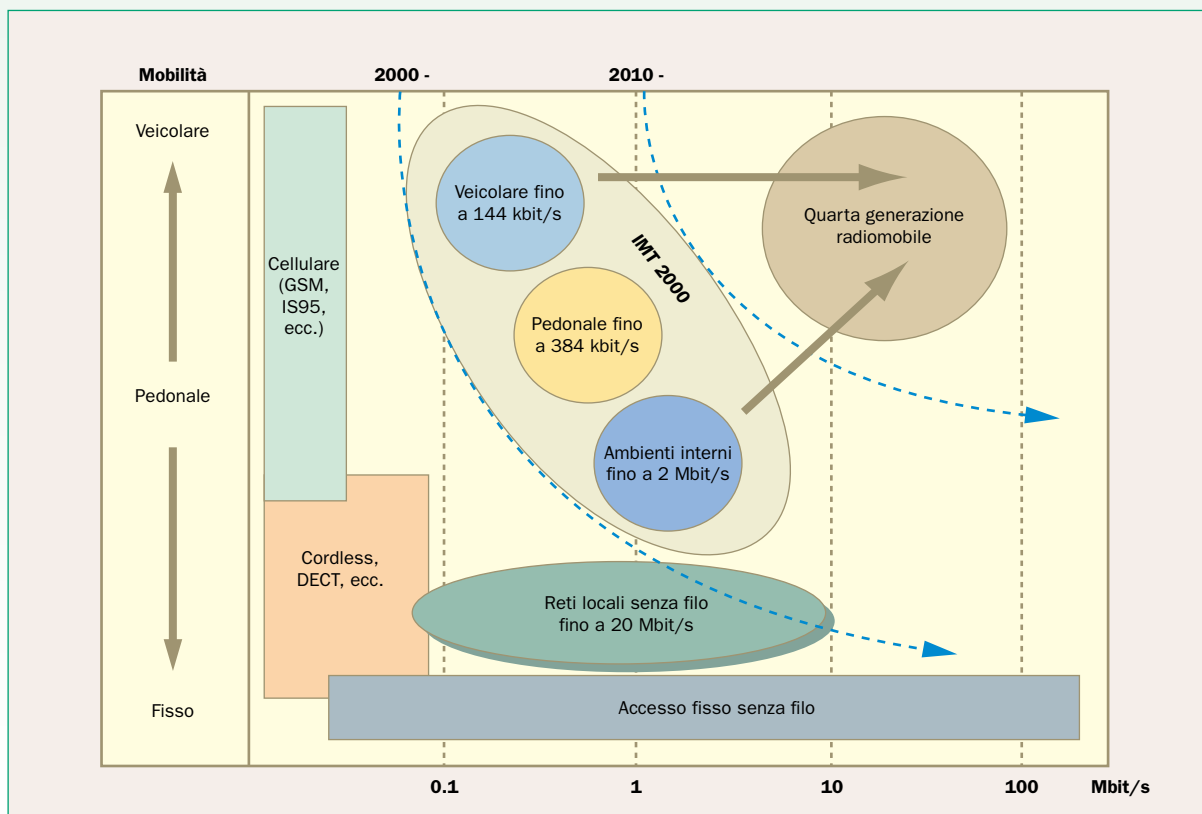
In considerazione di questo dinamico quadro internazionale, nella seconda metà del 1997 anche le attività in ambito ITU hanno subito una forte accelerazione. I lavori, intrapresi fin dalla seconda metà degli anni Ottanta con l'obiettivo sostanzialmente simile a quello dell'UMTS, hanno riguardato una famiglia di sistemi originariamente identificata con la sigla *FPLMTS* (*Future Public*

Land Mobile Telecommunications System), poi rinominata IMT-2000, e si sono concentrati sulla valutazione comparativa delle tecniche di radiotrasmissione, *RTT* (*Radio Transmission Techniques*). Il processo di valutazione e selezione delle proposte avanzate da diversi enti ha richiesto l'intero biennio 1998-99 e nel dicembre del 1999 si è pervenuti a una sostanziale conclusione dell'iter normativo, con l'emissione dei requisiti che i membri della famiglia IMT-2000 devono soddisfare.

Allo stato attuale per l'interfaccia UTRA è dunque accettata l'esistenza di due diverse soluzioni: il FDD/W-CDMA e il TDD/TD-CDMA. Inoltre è anche in uno stadio avanzato la definizione e lo sviluppo di uno standard CDMA di tipo multiportante (*Multi-Carrier CDMA*) estratto dalla proposta *Cdma2000* sostenuta dal TIA, nonché di alcune altre soluzioni caldegiate da

Enti regionali, soprattutto dei Paesi dell'estremo oriente (Cina, Corea).

Una completa armonizzazione tale da condurre a uno standard unificato sembra un obiettivo tramontato, nonostante i riassetto industriali e le convergenze a livello mondiale, la più significativa delle quali è l'acquisizione della divisione radiomobile della Qualcomm da parte di Ericsson avvenuta nella primavera del 1999. In assenza di uno standard unico mondiale, saranno sviluppate sul mercato diverse interfacce radio 3G, cui potrà essere data risposta immediata con lo sviluppo di terminali "multi-modo" e in prospettiva, mediante le tecniche di riconfigurazione radio (*software radio*), basate sull'impiego esteso di algoritmi numerici di elaborazione di segnale.



Evoluzione del radiomobile numerico.

Nome	Tipo	Collegamento	Utilizzazione	Modo
DCH (Dedicated CHannel)	dedicato	salita e discesa	Per informazioni di utente o di controllo tra un terminale e la rete. Interessa tutta o parte della cella.	FDD e TDD
BCH (Broadcast CHannel)	comune	discesa	Per informazioni di sistema e specifiche di cella.	FDD e TDD
FACH (Forward Access CHannel)	comune	discesa	Per informazioni di controllo da radiobase a terminale (quando ne è nota la cella di appartenenza); può anche trasportare pacchetti informativi corti.	FDD e TDD
PCH (Paging CHannel)	comune	discesa	Per informazioni di controllo da radiobase a terminale (quando non ne è nota la cella di appartenenza).	FDD e TDD
RACH (Random Access CHannel)	comune	salita	Per informazioni di controllo da terminale a radiobase; impiegato a contesa, può anche trasportare pacchetti informativi corti.	FDD e TDD
DSCH (Downlink Shared CHannel)	comune	discesa	Per dati di utente e informazioni di controllo (canale condiviso).	FDD e TDD
DSCH-CC (Downlink Shared CHannel - Control Channel)	comune	discesa	Per informazioni di controllo quando il DSCH non è associato a un DCH.	FDD e TDD
FAUSCH (FAst Uplink Signalling CHannel)	dedicato	salita	Per informazioni di controllo da terminale a rete.	FDD
CPCH (Common Packet CHannel)	comune	salita	Per pacchetti d'utente corti e medi. È sempre associato a un canale in discesa per il controllo di potenza.	FDD
USCH (Uplink Shared CHannel)	comune	salita	Per dati dedicati a un terminale e informazione di controllo per mezzo di un canale condiviso.	TDD

Tabella 1 Canali di trasporto dell'UMTS.

seguito a livello superiore dallo strato di controllo (L2). Quest'ultimo è a sua volta suddiviso in due sottostrati: il primo per il controllo di accesso al mezzo (L2/MAC) e il secondo per il controllo del canale radio (L2/RLC). Infine segue lo strato di rete (L3) in cui riveste un ruolo importante il sottostrato di controllo della risorsa di rete. I diversi strati si scambiano informazioni attraverso opportuni canali di comunicazione.

Limitandosi a considerare gli strati L1 e L2, si distingue principalmente tra canali fisici e canali di trasporto: i canali fisici, provvedono al trasporto dei flussi numerici sul mezzo fisico; i canali di trasporto, sono utilizzati dallo strato fisico per fornire servizi agli strati superiori. Questi ultimi possono essere classificati in canali comuni, utilizzati per le informazioni condivise tra più comunicazioni, e canali dedicati, utilizzati in esclusiva dalle singole connessioni. Le modalità con cui i canali di trasporto vengono associati ai canali fisici sono descritte in [4] per il caso FDD/W-CDMA e in [5] per il caso TDD/TD-CDMA. La tabella 1 classifica i principali canali di trasporto e descrive sinteticamente le funzioni da essi svolte.

Per la procedura di accesso al sistema nella tratta in salita si utilizza un canale logico di trasporto comune, indicato con la sigla RACH (Random Access CHannel), sul quale i terminali mobili inviano alla rete le richieste di attivazione delle connessioni. Per la trasmissione dei RACH è adoperato il canale fisico PRACH (Physical Random Access CHannel) il quale è utilizzato con modalità a contesa, ossia i terminali trasmettono le proprie richieste senza tenere conto dell'eventuale occupazione del canale. Quindi possono verificarsi collisioni fra richieste concomitanti di terminali mobili diversi. I canali dedicati sono attribuiti su base prenotazione.

Lo strato fisico svolge diverse funzioni quali la modulazione, la rivelazione e correzione d'errore, la macrodiversità, la multiplazione, la sincronizzazione (di frequenza e di chip), il controllo di potenza e le misure da riportare agli strati superiori (tasso di errore di trama, rapporto segnale/interferenza).

Per entrambi i tipi di interfaccia radio e su entrambe le tratte l'informazione trasmessa è organizzata in trame secondo l'architettura riportata in figura 2. La trama ha un periodo di 10 ms ed è suddivisa in 15 finestre temporali (time slot) di uguale durata. L'informazione trasmessa all'interno di ogni finestra temporale è composta da uno o più campi di controllo e da uno o più campi contenenti i dati di utente. In entrambe le soluzioni, il ritmo di emissione dei chip viene assunto pari a 3,84 Mchip/s. Ogni finestra temporale contiene perciò 2560 chip. I chip trasmessi all'interno della finestra sono ottenuti modulando i chip del codice di canalizzazione assegnato, C_{ch} , con i bit dei campi di controllo e i bit relativi ai dati di utente.

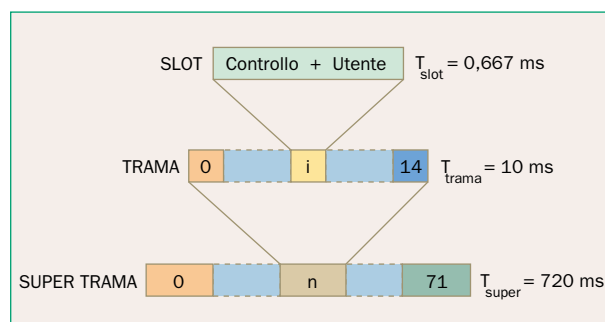


Figura 2 Struttura della trama UMTS.

Un'importante funzione dello strato fisico in entrambe le alternative FDD/W-CDMA e TDD/TD-CDMA consiste nell'adattamento del ritmo binario dei canali di trasporto a uno dei valori di ritmo binario del canale fisico impiegato. Quest'operazione è realizzata mediante opportune tecniche di codifica secondo quanto riportato in [4]. Nei due sottoparagrafi seguenti e nel riquadro di pagina 68, riguardanti la descrizione dello strato fisico delle due interfacce radio UMTS, sarà fatto riferimento alle specifiche nella versione dell'ottobre 1999 [4], [5].

3.2 Strato fisico FDD/W-CDMA

Un canale fisico FDD/W-CDMA è identificato dal codice di canalizzazione ad esso attribuito entro la cella di appartenenza. Per le connessioni d'utente vi sono due canali fisici dedicati: il *DPDCH* (*Dedicated Physical Data Channel*), per la trasmissione dei dati di utente, e il *DPCCH* (*Dedicated Physical Control Channel*), per la trasmissione della segnalazione associata. Per i dettagli sull'organizzazione dei dati all'interno dei canali fisici dedicati nel sistema UMTS si rinvia al riquadro di pagina 68.

In figura 3 sono illustrati gli schemi di modulazione e codifica per le tratte in salita e in discesa. Dalla figura 3a si osserva che nella tratta in salita sono assegnati due codici di canalizzazione differenti, $C_{ch,I}$ e $C_{ch,Q}$, per il canale di traffico e per quello di segnalazione associata. Tutti i codici di canalizzazione sono ad albero di tipo *OVSF* (*Orthogonal Variable Spreading Factors*) [1], [6], così da preservare l'ortogonalità tra canali con differente ritmo binario, condizione necessaria per assicurare idealmente l'assenza di mutua interferenza. Più utenti anche all'interno della stessa cella possono utilizzare i medesimi codici di canalizzazione e di conseguenza, per poterli distinguere, ad ognuno di essi viene assegnata una diversa sequenza pseudo-aleatoria, detta in questo contesto sequenza di *scrambling*, C_{scramb} . Inoltre, i fattori β_d e β_c sono usati per ottenere potenze differenti sui canali in fase e in quadratura: ciò può essere utile, ad esempio, per ottimizzare l'uso dell'amplificatore di potenza del terminale.

Nel caso della tratta in discesa (vedi figura 3b) ad ogni connessione viene assegnato un diverso codice di canalizzazione, C_{ch} , con cui si codificano sia i dati di utente che quelli della segnalazione associata. Per sfruttare la proprietà di ortogonalità dei codici *OVSF*, la stazione radiobase sincronizza in emissione i segnali destinati ai diversi utenti. Sui segnali sincronizzati viene successivamente eseguita l'operazione di *scrambling*. Quest'operazione è realizzata mediante una sequenza unica per tutte le connessioni all'interno della stessa cella (o settore). Pertanto, per distinguere le celle, si utilizzano sequenze di *scrambling* differenti da cella a cella.

Il motivo per i differenti approcci seguiti sulle tratte in salita (figura 3a) e discesa (figura 3b) risiedono nelle differenti esigenze nei due collegamenti. Nel terminale occorre che il canale di controllo (*DPCCH*) risulti in emissione disaccoppiato dal canale dati (*DPDCH*) per evitare una interferenza in banda audio causata dalla periodicità di alcuni segnali di controllo (1,5 kHz), se *DPDCH/DPCCH* fossero

multiplati nel tempo. Nella tratta in discesa, non esistendo tale problema, si preferisce la moltiplicazione nel tempo che consente un risparmio nell'attribuzione dei codici di canale.

È anche prevista la modalità di trasmissione multi-codice per trasmettere i valori di ritmo binario più elevati previsti dallo standard o, equivalentemente, per attribuire molteplici flussi binari ad un singolo utente mantenendo un adeguato valore del fattore di allargamento spettrale. In questa modalità ad uno stesso utente sono assegnati contemporaneamente più codici di canalizzazione e il suo flusso numerico è ripartito in flussi componenti con ritmo binario più basso.

Le sequenze dei chip modulati dai dati ($I'+jQ'$ in figura 3a e figura 3b) vengono inviate a un modulatore *QPSK* (*Quadrature Phase Shift Keying*), il cui schema di principio è mostrato nella figura 3c. I filtri formatori di impulso, indicati nella figura 3c con $p(t)$, sono filtri con fattore di sagoma (*roll-off*) di valore 0,22. La durata di un chip è pari a 260 ns per cui l'occupazione spettrale di un singolo segnale W-CDMA è di 4,69 MHz.

3.3 Strato fisico TDD/TD-CDMA

Nella versione TDD/TD-CDMA ogni finestra temporale può essere flessibilmente attribuita alla trasmissione sulla tratta in salita oppure alla trasmis-

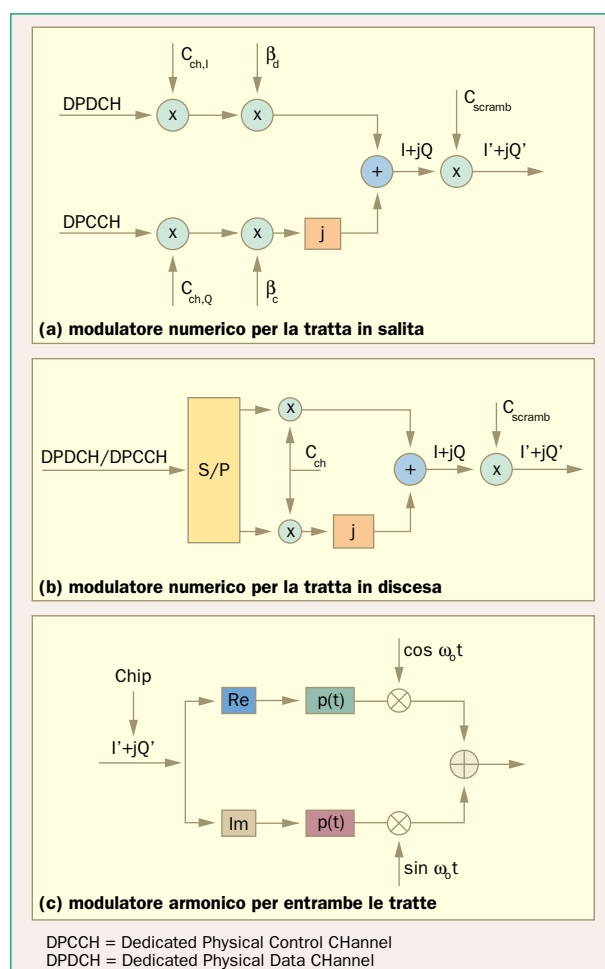


Figura 3 Schema di modulazione e codifica FDD/W-CDMA.

CANALI DEDICATI FDD/W-CDMA E TDD/TD-CDMA

Di seguito sono descritte le caratteristiche dei canali dedicati DPDCH e DPCCCH per le due versioni FDD/W-CDMA e TDD/TD-CDMA dello standard UMTS.

Nel FDD/W-CDMA l'informazione di utente è organizzata secondo i formati illustrati in figura A (casi a e b) che si riferiscono rispettivamente alle comunicazioni sulla tratta in salita e su quella in discesa. Nella tratta in discesa l'informazione di controllo è multiplata a divisione di tempo con i dati.

Il numero di bit che può essere attribuito a ogni singola finestra temporale è variabile e dipende dal valore selezionato per il fattore di espansione spettrale, g_s . Per g_s si assumono potenze intere di due da 4 a 256, ossia $g_s=2^{8-k}$, con $k = 0, 1, \dots, 6$. Poiché ogni finestra contiene 2560 chip, ciò implica che il numero di bit per intervallo di tempo (*slot*) è variabile e pari a $N_{dati} = 10 \cdot 2^k$. Di conseguenza il ritmo binario è anch'esso variabile tra 15 e 960 kbit/s.

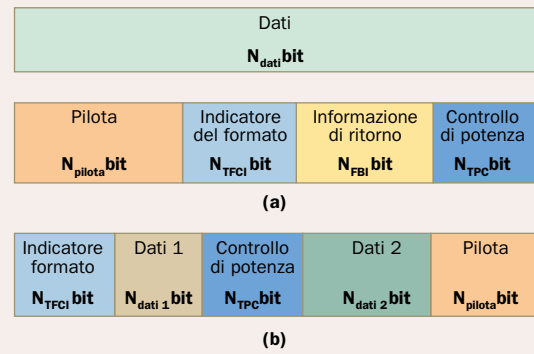
Per il campo di controllo sulla tratta in salita si è assunto il fattore di espansione spettrale $g_s = 256$; si possono così trasmettere al massimo 10 bit per finestra temporale. Il numero di bit assegnati a ogni singolo campo è mostrato nella tabella A.

Nella tabella B sono invece indicati i ritmi binari ammessi nel campo dati della finestra temporale per trasmissione sulla tratta in discesa.

Nel caso di accesso TDD/TD-CDMA, le informazioni all'interno di una finestra temporale sono organizzate come illustrato in figura B: i dati sono divisi in due campi uguali separati da una sequenza di sincronizzazione (*midambolo*); la finestra è conclusa con l'intervallo di guardia G di durata $T_g = 96 T_c$ in cui T_c è il tempo di chip.

Sono stati definiti due formati per la finestra temporale indicati rispettivamente come formato 1 e formato 2: essi si differenziano per la lunghezza del midambolo; il midambolo del formato 1 si compone di 512 chip, contro i 256 del formato 2. Per la maggiore lunghezza del midambolo, la finestra di formato 1 è di solito utilizzata per la comunicazione sulla tratta in salita mentre quella di formato 2 per quella in discesa.

Il numero di simboli che possono essere trasmessi in una finestra temporale è funzione del periodo del codice di canalizzazione. In base a quanto riportato nello standard il periodo del codice di canalizzazione può assumere i valori $T=NT_c$ in cui N è un numero intero che può assumere i valori 1, 2, 4, 8, 16.



FBI = FeedBack Information
TFCI = Transport Format Combination Indicator
TPC = Transmit Power Control

Figura A Organizzazione della finestra temporale per la tecnica di accesso FDD/W-CDMA: (a) tratta in salita, (b) tratta in discesa.

Formato slot	N_{pilota}	N_{TFCI}	N_{FBI}	N_{TPC}
0	6	2	0	2
1	8	0	0	2
2	5	2	1	2
3	7	0	1	2
4	6	0	2	2
5	5	2	2	1

FBI = FeedBack Information
TFCI = Transport Format Combination Indicator
TPC = Transmit Power Control

Tabella A Campo di controllo della tratta in salita.

Formato slot	Dati		Controllo		
	N_{Dati1}	N_{Dati2}	N_{TFCI}	N_{TPC}	N_{pilota}
0	2	2	0	2	4
1	0	2	2	2	4
2	2	14	0	2	2
3	0	14	2	2	2
4	2	12	0	2	4
5	0	12	2	2	4
6	2	8	0	2	8
7	0	8	2	2	8
8	6	28	0	2	4
9	4	28	2	2	4
10	6	24	0	2	8
11	4	24	2	2	8
12	4	56	8*	4	8
13	20	120	8*	4	8
14	48	240	8*	8	16
15	112	496	8*	8	16
16	240	1008	8*	8	16

* Quando i bit TFCI non sono usati, si trasmette in modo discontinuo

FBI = FeedBack Information
TFCI = Transport Format Combination Indicator
TPC = Transmit Power Control

Tabella B Formati delle finestre temporali nella tratta in discesa.

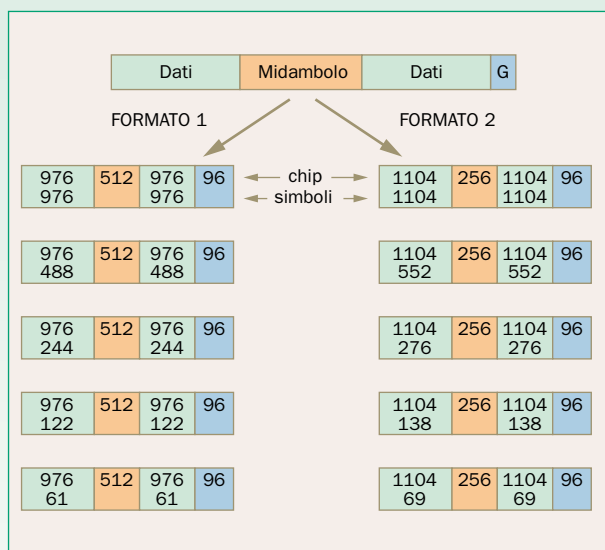


Figura B Formato della finestra TD-CDMA.

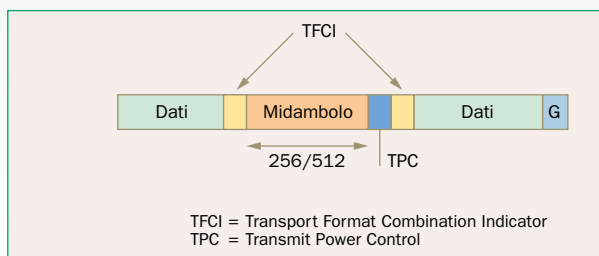


Figura C Posizioni dei campi TFCI e TPC all'interno della finestra temporale.

Le sequenze dei chip dei midamboli appartenenti a utenti differenti che sono attivi nella stessa finestra temporale, sono ottenute come traslazioni temporali differenti di uno stesso codice periodico. Celle differenti utilizzano codici periodici diversi. Questo accorgimento consente di semplificare l'architettura del ricevitore in quanto si può fare una stima congiunta dei canali di trasmissione per tutti gli utenti attivi nella finestra temporale utilizzando semplicemente un correlatore ciclico [5].

La trasmissione delle informazioni dei campi di controllo del formato di trasmissione (TFCI) e del comando per il controllo in potenza (TPC) all'interno della finestra temporale (di tipo 1 o 2), avviene come illustrato in figura C.

Il TFCI (se richiesto) può essere trasmesso su entrambe le tratte di comunicazione. Esso viene inviato per ogni utente una sola volta all'interno di ogni trama e sempre nella stessa finestra temporale stabilita all'atto dell'instaurazione della chiamata. Il TFCI è adiacente al midambolo in assenza di TPC, ovvero come illustrato in figura C in presenza di TPC. Il numero di bit assegnati al TFCI è variabile e ognuno di essi viene trasmesso utilizzando lo stesso codice di canalizzazione adoperato per la parte dati. La trasmissione del TPC è negoziata all'atto dell'instaurazione della chiamata e può essere rinegoziata anche durante la stessa chiamata. Anche il TPC viene trasmesso una sola volta per trama per ogni utente.

sione sulla tratta in discesa e può essere impiegata simultaneamente da non più di sedici diverse connessioni mediante moltiplicazione a divisione di codice.

Per ogni connessione è utilizzato un diverso codice di canalizzazione OVSF. Un canale fisico nel TDD/TD-CDMA è identificato da una finestra temporale che si ripete a intervalli di tempo regolari.

Per trasmettere l'informazione, un utente può usufruire di più finestre, anche non consecutive: quando viene stabilito un canale fisico sono assegnate sia le finestre che la trama di partenza.

Lo schema di modulazione e di codifica TDD/TD-CDMA è illustrato in figura 4; segue anche in questo caso il modulatore armonico QPSK di figura 3c come per l'altra versione dello standard.

Per il TDD/TD-CDMA la lunghezza della sequenza dei chip del cosiddetto "midambolo" (insieme di cifre a disposizione per funzioni di sincronizzazione, stima del canale di trasmissione, ecc.), utilizzato per la trasmissione sulla tratta in salita è il doppio di quella del midambolo utilizzato sulla tratta in discesa (vedi riquadro di pagina 68).

Come già accennato, nel caso di comunicazioni con più utenti all'interno di ogni finestra temporale, ognuno di essi è identificato da un proprio codice C_{ch} di canalizzazione. Anche in questo caso il codice di scrambling (C_{scramb}) è unico nella cella e cambia da cella a cella.

Per ottenere un maggior grado di flessibilità e di granularità nell'assegnazione delle risorse, sono state previste anche altre modalità di trasmissione. Quando il periodo del codice di canalizzazione è costante all'interno della stessa finestra temporale si può adoperare una trasmissione multicodice. È stata anche considerata la possibilità di variare la lunghezza del codice di canalizzazione durante l'invio dei dati in modo da poter meglio adattare il ritmo di emissione della sorgente a quello del canale fisico utilizzato per la trasmissione. In questo caso però non è permesso

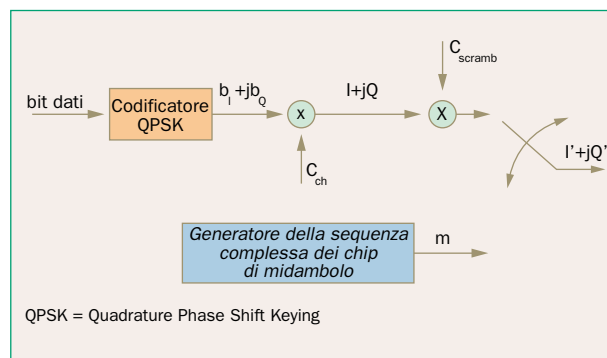


Figura 4 Schema di modulazione numerica e codifica TDD/TD-CDMA.

effettuare una trasmissione multicodice né sulla tratta in salita né su quella in discesa.

4. Infrastruttura di rete

L'architettura di sistema (figura 5) prevede che la rete di accesso radio, *UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)*, sia connessa al nucleo di rete (*Core Network*) con un'interfaccia standardizzata, denominata I_u . I controllori della rete di accesso radio *RNC (Radio Network Controller)* sono tra loro connessi mediante un'interfaccia standardizzata, chiamata I_{ur} . Le stazioni radiobase, o "Nodi B", sono connesse agli RNC di pertinenza tramite l'interfaccia I_{ub} . Ogni RNC è responsabile delle funzioni di assegnazione, mantenimento e rilascio delle risorse radio; ciascun *nodo B* può governare una o più celle.

Si distinguono due domini di rete: il dominio a commutazione di circuito e quello a commutazione di pacchetto. Analogamente al GSM, il primo è basato sui centri di commutazione *MSC (Mobile Switching Center)*. Analogamente al GPRS (General Packet Radio Service) del GSM [7, 8], il secondo è basato su nodi *GSN (GPRS Support Node)*, a loro volta distinti in *SGSN (Serving GPRS Support Node)* e *GGSN (Gateway GPRS Support Node)*, tra loro connessi mediante l'interfaccia standard G_n . Per un approfondimento della piattaforma GPRS si rimanda al riquadro di pagina 72.

I due domini a circuito e a pacchetto utilizzano due distinte dorsali di rete: la prima trasporta traffico a commutazione di circuito; la seconda trasporta traffico a commutazione di pacchetto. I domini sono collegati alla rete di accesso radio, comune ai due tipi di traffico, attraverso l'interfaccia I_u . Questa è divisa in due parti: I_u^{CS} , che collega la rete di accesso alla dorsale a commutazione di circuito, e I_u^{PS} , che collega la rete di accesso alla dorsale a commutazione a pacchetto. Mentre l'interfaccia radio per l'accesso al sistema UMTS è completamente nuova, almeno in un primo periodo l'infrastruttura di rete UMTS sarà un'evoluzione dell'infrastruttura GSM/GPRS.

Vista l'ampia gamma di valori di ritmo binario gestibili dall'interfaccia radio, l'infrastruttura a commutazione di circuito UMTS dovrà essere in grado di creare, mantenere e rilasciare circuiti in modo flessibile. Ciò comporta un inevitabile aumento di complessità rispetto all'attuale architettura di commutazione a 64 kbit/s. Per soddisfare le esigenze di diversi segmenti di mercato, nello standard UMTS sono stati definiti tre diversi modi di operare del terminale mobile:

- **Modalità PS/CS:** il terminale è registrato sia nel dominio a circuito (CS), sia in quello a pacchetto (PS) per poter utilizzare simultaneamente i servizi a commutazione di circuito e quelli a commuta-

zione di pacchetto.

- **Modalità PS:** il terminale è registrato solo nel dominio a pacchetto (PS) e può usufruire solo dei servizi a pacchetto. Questa modalità non precluderà in futuro la possibilità di offrire servizi di tipo CS attraverso il dominio a pacchetto.
- **Modalità CS:** il terminale è registrato solo nel dominio a circuito (CS), e può usufruire solo dei servizi a circuito. Anche in questo caso questa scelta non precluderà la possibilità di offrire servizi di tipo PS attraverso il dominio a circuito.

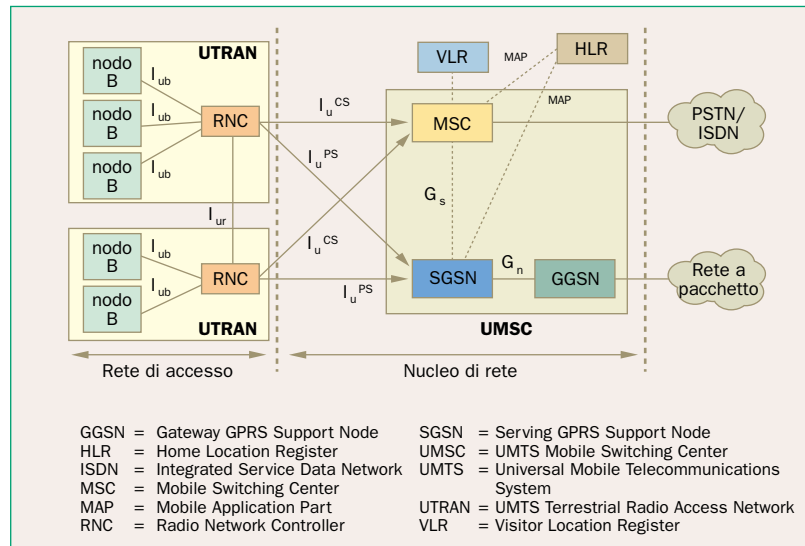


Figura 5 Architettura di rete del sistema UMTS.

5. Meccanismi di comunicazione di una rete UMTS

5.1 Controllo di chiamata per servizi multimediali

Dato che l'interfaccia radio consente di affiancare ritmi binari differenti e variabili, in rete debbono essere resi disponibili servizi convenzionali e multimediali con modo di trasferimento sia a circuito che a pacchetto. Per questo motivo nel sistema UMTS il controllo di chiamata, ossia la funzione che presiede all'analisi della numerazione, all'instaurazione, al mantenimento e al rilascio della connessione, avrà bisogno di funzioni aggiuntive rispetto al GSM: ad esempio nel nuovo sistema dovrà essere possibile iniziare una chiamata telefonica e poi aggiungervi un servizio video o un servizio dati. È stato perciò necessario combinare il sistema di controllo di chiamata del GSM con lo standard ITU-T H.323 per la gestione di applicativi multimediali.

5.2 Procedura di handover

Il meccanismo che consente il passaggio dell'utente in fase di connessione da una cella ad un'altra, senza che la connessione debba essere terminata, è noto come *handover*. Nel sistema UMTS questa procedura ha caratteristiche molto diverse da quelle nel GSM. Innanzitutto, come già illustrato [1], nel

sistema UMTS, oltre al metodo di handover di tipo "hard" previsto nel GSM, si hanno sia il *soft-handover* che il *softer-handover*. Nel GSM, inoltre, l'esecuzione di handover tra celle che fanno capo a controllori (BSC) di stazioni radiobase diverse implica il coinvolgimento del centro di commutazione *MSC (Mobile Switching Center)*, mediante un'operazione che richiede di commutare in tempo reale il percorso fonico dalla vecchia alla nuova interfaccia MSC-BSC.

Nell'UMTS invece, grazie alle caratteristiche dell'interfaccia I_{ur} , la rete di accesso radio è in grado di gestire autonomamente l'operazione di handover senza coinvolgere il centro di controllo (UMSC). Si ottiene così una procedura più semplice e l'assenza virtuale di impatto sulla qualità percepita dall'utente. L'operazione di handover si attua quindi con un iniziale "prolungamento" dell'interfaccia UMSC-RNC tramite la I_{ur} che consente di raggiungere il nuovo RNC. In un secondo tempo, senza l'esigenza di operare in tempo reale, sarà instaurata la connessione verso il nuovo RNC e sarà rilasciato il prolungamento realizzato sulla I_{ur} (figura 6).

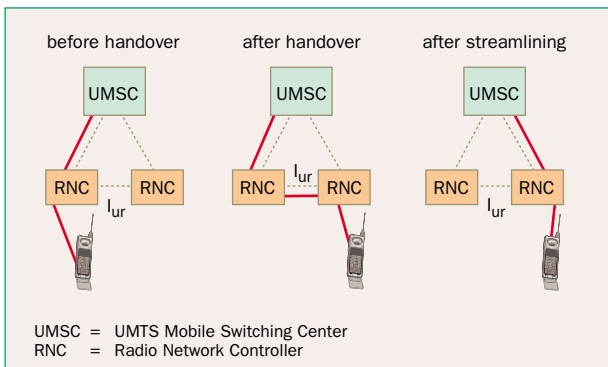


Figura 6 Procedura di handover con cambio di RNC.

La procedura di ridirezione dell'interfaccia radio (*streamlining*), ha lo scopo di minimizzare numero e lunghezza dei circuiti terrestri impegnati (evitando così la formazione di una "catena" di RNC) una volta che l'handover è completato. Il rinvio del completamento dell'operazione di handover rispetto al cambiamento di cella del terminale consente tra l'altro di evitare di coinvolgere l'UMSC in fenomeni oscillatori, in quanto piccoli spostamenti del terminale (o variazione delle condizioni dell'interfaccia radio) che potrebbero determinare un handover in una direzione e un immediato ritorno alla situazione precedente non comportano commutazioni di collegamenti.

5.3 Gestione della mobilità con IP

Per la gestione della mobilità nella rete UMTS è allo studio l'utilizzo del protocollo *IP mobile* in alternativa alla gestione della mobilità di tipo GPRS. IP mobile consente a un computer mobile (detto in tale ambito nodo mobile) di spostarsi liberamente in altre reti (*roaming*) pur mantenendo lo stesso indirizzo IP [9].

Per consentire una procedura di IP mobile occorrono due entità, denominate rispettivamente agente

domestico (*home agent*) e agente dei visitatori (*foreign agent*), che sono due router con alcune funzionalità speciali: un agente domestico consente ai nodi mobili di spostarsi in altre reti. L'agente dei visitatori consente invece al nodo mobile proveniente da altra rete di visitare la rete.

I nodi mobili utilizzano due indirizzi IP, uno per l'identificazione, o indirizzo domestico (*home address*), e uno per l'inoltro del traffico, o indirizzo temporaneo (*care-of-address*). Il computer mobile si attiva per individuare un agente dei visitatori disposto a fornire supporto nella rete che sta visitando.

Sia gli agenti domestici che gli agenti dei visitatori trasmettono periodicamente messaggi di avviso per segnalare la loro presenza in rete; inoltre un computer mobile può sollecitare l'invio di un messaggio di avviso con una richiesta esplicita. Il nodo mobile può scoprire l'identità e il care-of-address dell'agente dei visitatori alla ricezione di uno di questi messaggi di avviso.

Una volta scoperta la presenza di un agente dei visitatori, il nodo mobile comunica l'indirizzo temporaneo, insieme al tempo di validità della registrazione, al proprio agente domestico attraverso l'agente dei visitatori.

L'agente domestico porta a termine la registrazione aggiornando la sua tabella di indirizzamento e creando un legame di mobilità, che associa i due indirizzi, permanente e temporaneo, del computer mobile. Quando i pacchetti IP inviati da un nodo corrispondente arrivano alla rete cui appartiene il computer mobile, l'agente domestico li inoltra all'indirizzo temporaneo usando un metodo di incapsulamento detto anche *tunneling*.

L'agente dei visitatori ove termina il tunnel recupera il pacchetto originale e lo invia al nodo mobile. In senso opposto, assai più semplicemente, il nodo mobile invia i propri pacchetti attraverso un router della rete visitata, in quanto la trasmissione è indipendente dall'indirizzo di origine.

Sono state identificate tre fasi successive per l'evoluzione della rete UMTS dalla soluzione *GTP (GPRS Tunneling Protocol)* adottata nel sistema GPRS a una basata su IP mobile:

- in una prima fase si mantengono i meccanismi attuali per gestire la mobilità all'interno della rete UMTS, mentre il protocollo IP mobile è usato per



Modello di terminale UMTS.

PIATTAFORMA DI RETE GPRS

Architettura di rete

Parte dell'architettura del sistema UMTS si basa su molte caratteristiche dell'attuale piattaforma di rete GPRS (*General Packet Radio Service*) definita in ambito ETSI per l'introduzione della trasmissione dei dati a pacchetto con il sistema GSM. Il GPRS offre un accesso radio efficiente a reti esterne basate su IP, come la rete Internet e le reti Intranet aziendali.

Il GPRS estende la rete GSM introducendo due nuove entità di rete indicate genericamente come GSN (*GPRS Support Node*).

I nodi GSN gestiscono l'interconnessione con altre reti e svolgono numerose funzioni come: la gestione dell'utenza, la tassazione e la sicurezza, la gestione della mobilità, il roaming e il reinstradamento geografico, il controllo della connessione virtuale, la trasmissione dei pacchetti.

Il centro SGSN (*Serving GPRS Support Node*), connesso alla rete di accesso, è allo stesso livello gerarchico delle centrali di commutazione, MSC/VLR (*Mobile Switching Center/Visitor Location Register*), conserva le informazioni di posizione del terminale GPRS ed esegue funzioni legate alla sicurezza della comunicazione e al controllo dell'ac-

cesso. Il GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) opera come unità di interlavoro verso le reti esterne a commutazione di pacchetto. All'interno della rete, il GGSN è collegato ai nodi SGSN tramite una rete di trasporto basata su IP. La base dati HLR deve essere aggiornata con nuove funzioni per la memorizzazione dei dati relativi ai profili di sottoscrizione degli utenti GPRS e alle informazioni di instradamento. Infine i centri di servizio per lo Short Message (SMS-SC) sono potenziati per permettere la trasmissione SMS anche attraverso i nodi SGSN.

Problemi di instradamento e segnalazione

La versione di IP utilizzata nel GPRS non include meccanismi di gestione della mobilità. È stato perciò introdotto il metodo di instradamento brevemente illustrato qui di seguito.

Durante la trasmissione dei pacchetti nel GPRS, il terminale mobile è identificato da un indirizzo IP assegnato in modo permanente o in modo dinamico, al momento dell'instaurazione della sessione. I pacchetti diretti verso il mobile sono consegnati al GGSN di riferimento della rete GPRS in cui il terminale mobile è registrato. Il GGSN provvede a instradare il pacchetto, usando un metodo di incapsulamento (*tunneling*), verso l'entità di rete SGSN che in quel momento controlla il terminale. A sua volta, quest'ultima entità

instaura una connessione logica con il mobile per la consegna del pacchetto. Nel caso di una trasmissione originata da un terminale mobile, essa incapsula i pacchetti entranti e li trasferisce al GGSN di riferimento, da dove i pacchetti sono inoltrati alla rete dati di destinazione.

Tutti i dati relativi agli utenti GPRS, necessari per effettuare l'instradamento e il trasferimento dei dati sono memorizzati nel registro GPRS, che fa parte concettualmente del nodo HLR del sistema GSM. Il registro GPRS contiene le informazioni di instradamento, la corrispondenza tra l'identificativo dell'utente IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) e l'indirizzo IP assegnato tra quest'ultimo e il GGSN di riferimento.

Principali procedure di controllo

Prima che un terminale mobile possa accedere ai servizi GPRS, esso deve informare la rete della propria presenza, eseguendo una procedura di registrazione al sistema GPRS (*GPRS Attach*) verso il nodo SGSN. Tale procedura comprende l'aggiornamento delle informazioni di localizzazione nello HLR, il trasferimento delle informazioni fra il nodo SGSN nel quale il mobile era inserito in precedenza e l'attuale SGSN e la cancellazione dei dati dal precedente SGSN (e dal precedente VLR se il terminale era anche registrato, per i servizi a commutazione di circuito, entro la rete GSM).

gestire il roaming fra sistemi diversi, ad esempio reti locali e UMTS, senza che si perda la sessione in corso;

- in una seconda fase SGSN e GGSN potrebbero essere integrati, facendo quindi scomparire la relativa interfaccia G_n , ma mantenendo inalterate tutte le altre interfacce indicate nella figura 5. In questo caso, il protocollo IP mobile potrebbe essere utilizzato all'interno della rete UMTS per la mobilità fra i vari nodi SGSN/GGSN appartenenti a diversi UMCS. Per ottenere un indirizzamento più efficiente il terminale mobile, durante un handover all'interno di un SGSN, potrebbe usare il meccanismo IP mobile, solo nel caso in cui non stia invece trasferendo dati. Nel caso in cui il terminale mobile stia trasferendo dati durante l'esecuzione di un handover inter-SGSN si potrebbe invece mantenere temporaneamente un collegamento tra nuovo e vecchio SGSN ed eseguire una procedura di ridirezione solo quando

venga completato il trasferimento dei dati;

- in una terza fase IP mobile gestisce anche la funzione di handover con trasferimento di dati in corso. L'interfaccia G_n in questo caso serve solo per gestire clienti roaming che non siano in grado di operare con protocollo IP mobile.

5.4 Qualità di servizio nella rete UMTS basata su IP

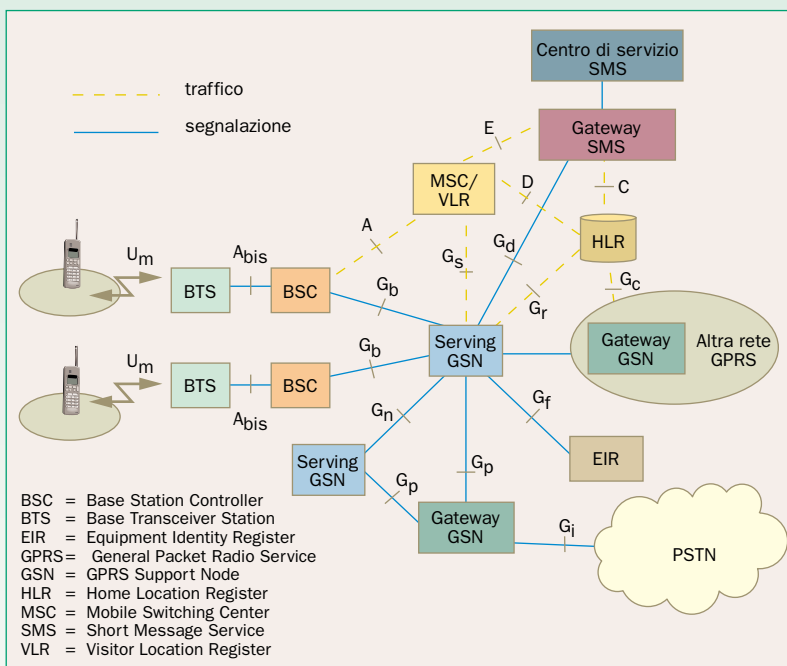
Uno degli aspetti cruciali di una soluzione di rete UMTS basata su IP è quello della qualità del servizio (QoS). La qualità del servizio offerto da una rete si regola in termini di capacità di traffico e di ritardo complessivo del trasferimento delle informazioni tra terminali (*end-to-end*). Per fornire un'assegnata QoS di rete è necessario stabilire un servizio di trasporto (*bearer service*) con caratteristiche e funzioni ben definite dalla sorgente alla destinazione: in un sistema radiomobile cellulare il servizio di trasporto è dominato dalle restrizioni e dalle limitazioni dell'interfaccia radio.

Per trasmettere o ricevere dati, un terminale mobile deve poi attivare un *contesto PDP (Packed Data Protocol)* che serve a notificare la presenza del terminale al GGSN di riferimento. Il contesto PDP contiene anche le informazioni di indirizzamento per il trasferimento dei pacchetti. Per le comunicazioni destinate a un terminale mobile - nel caso in cui i pacchetti fossero ricevuti dal GGSN prima che un contesto PDP sia stato attivato - è il GGSN che avvia una procedura di attivazione del contesto PDP originata dalla rete.

Alla richiesta della procedura di cancellazione (*detach*) - originata dalla rete o dal terminale - tutti i contesti PDP di un determinato terminale sono disattivati. La procedura di sganciamento può anche essere originata allo scadere di un tempo prefissato, durante il quale non si è avuta attività da parte del mobile.

La gestione della mobilità nel GPRS

Il terminale mobile conosce la propria posizione sia in termini di cella che di *RA (Routing Area)* visitate. All'interno del nucleo di rete la posizione del terminale è seguita con modalità differenti a seconda del suo stato. Quando il terminale ha eseguito la procedura di registrazione verso la rete GPRS, ma non ha un collegamento attivo, la rete ne segue gli spostamenti a livello di RA. Quando il terminale è attivo, la



Architettura del GPRS (General Packet Radio Service).

sua posizione è seguita a livello di cella.

La mobilità fra SGSN e GGSN è gestita con il protocollo di *Tunneling GPRS (GTP)* che consente anche il trasferimento delle informazioni fra più SGSN al momento del cambio di SGSN da parte del terminale mobile.

Per aggiornare la propria posizione nella rete, il terminale esegue una procedura di gestione di mobilità periodicamente e anche quando entra in una nuova cella o in una nuova RA. Il passaggio da una RA a

un'altra può portare al cambiamento di SGSN (mobilità *inter-SGSN*). Questa procedura di cambiamento interessa il precedente SGSN, l'attuale SGSN, il GGSN e l'HLR. Essa può avere riflessi negativi sul trasporto dei servizi in tempo reale (per esempio la fonìa) su GPRS. Occorre, infatti, verificare che la procedura sia abbastanza veloce da scongiurare interruzioni nel servizio. Nel GPRS la procedura di handover è pertanto messa in atto in termini di rilesione di cella e di aggiornamento della RA.

Nel sistema UMTS non appare perciò ragionevole definire complessi meccanismi di QoS ma piuttosto privilegiare la robustezza, pur assicurando un sufficiente grado di risoluzione delle classi di qualità di servizio. Sono state pertanto previste quattro classi di QoS: *conversazionale, monodiffusiva (o streaming), interattiva, subordinata (o background)*. La caratteristica principale che permette di distinguere le diverse classi è la sensibilità al ritardo. Questa decresce a partire dalla classe conversazionale, adatta alle tipologie di traffico più sensibili, fino ad arrivare alla classe subordinata, praticamente insensibile al ritardo.

Secondo questa logica le prime due classi sono adatte al trasporto di traffico in tempo reale, mentre le ultime due sono ideate per applicazioni Internet (quali, ad esempio, la navigazione in rete, la posta elettronica, Telnet, FTP...). Grazie ai vincoli di ritardo poco stringenti, le ultime due classi assicurano una migliore resistenza agli errori per mezzo di potenti codifiche di canale e meccanismi di ritrasmis-

sione che viceversa non risultano adatti alle classi conversazionale e monodiffusiva. Inoltre il traffico della classe interattiva ha più alta priorità rispetto al traffico background, che può utilizzare le risorse trasmissive solo quando queste non siano richieste da applicazioni appartenenti alle classi superiori.

La *classe conversazionale* viene utilizzata per conversazioni in tempo reale fra utenti (servizio fonico, fonìa su IP e videoconferenza). In questi servizi il tempo di trasferimento deve essere mantenuto basso e, al contempo, la relazione temporale fra le varie componenti del flusso informativo deve essere mantenuta costante. Le caratteristiche di questi parametri sono determinate dalla percezione umana.

La *classe monodiffusiva* viene utilizzata nel caso l'utente voglia guardare o ascoltare rispettivamente programmi video o audio in tempo reale. Il servizio trasmissivo è unidirezionale, da un server remoto in rete verso l'utente.

Anche questi servizi sono caratterizzati dal fatto

che la relazione temporale fra le varie componenti del flusso informativo deve essere mantenuta costante, ma non sono necessari requisiti particolari di basso ritardo di trasferimento: il flusso è infatti riallineato dall'applicazione ricevente e i limiti di questi meccanismi di riallineamento sono molto superiori ai limiti della percezione umana.

La *classe interattiva* è utilizzata nel caso in cui l'utente richieda dati a un apparato remoto: applicazioni tipiche sono la navigazione in rete, l'interrogazione di banche dati, l'accesso a server remoti in rete, la raccolta di dati di misura. In questo caso i requisiti principali sono due: il ritardo a due vie, in quanto l'applicazione che richiede i dati li attende poi per un tempo prestabilito, e l'integrità degli stessi dati, ossia la garanzia di un basso tasso di errore.

La *classe subordinata*, infine, si riferisce al caso in cui l'utente richieda l'invio o attenda la ricezione di file di dati come processo subordinato (in *background*), quindi secondario rispetto ad altri processi a più alta priorità. Applicazioni di questo tipo sono la trasmissione in posta elettronica e i messaggi brevi (come nel caso SMS del GSM), il trasferimento da banche dati e la ricezione di dati di misura con modalità background. In questo caso l'applicazione che riceve i dati non ha limiti di tempo per l'acquisizione e, quindi, praticamente non è sensibile al ritardo con cui essi sono resi disponibili. Può risultare viceversa molto importante l'integrità dei dati stessi.

6. Rete di trasporto UMTS

L'architettura della rete di trasporto UMTS deve essere in grado di offrire i propri servizi sia alla dorsale a commutazione di circuito, sia a quella basata su IP. Questa peculiarità rappresenta una significativa differenza rispetto ai sistemi di seconda generazione. Ad esempio, il GPRS è stato concepito come elemento aggiuntivo del GSM e, di conseguenza, la rete di trasporto ad esso relativa è separata da quella per il trasporto della voce.

In UMTS telefonia e trasmissione dati sono invece una parte integrante degli obiettivi dell'architettura di rete, ed è perciò necessario adottare una tecnica di trasporto ottimizzata per entrambi. Quando è necessaria una tecnologia di trasporto che emuli i circuiti per la trasmissione della voce e che consenta al contempo il trasferimento dei dati, è particolarmente vantaggiosa la scelta del modo di trasferimento asincrono *ATM* (*Asynchronous Transfer Mode*).

Grazie a una vasta gamma di protocolli e prestazioni standardizzate per l'indirizzamento e l'instradamento delle chiamate, ATM è in grado di incorporare le funzionalità di rete e quelle per il trasporto della segnalazione tipiche delle reti telefoniche, a differenza degli altri protocolli di trasporto per IP. Il motivo per cui l'ATM può soddisfare requisiti così diversi, con una grande flessibilità è che esso è stato progettato per operare in un ambiente multiservizio. Infatti, per consentire ad ATM di gestire servizi estremamente diversi, sono stati definiti strati di adattamento, *ATM AAL* (*ATM Adaptation Layers*), con caratteristiche molto diverse. Nel caso dei servizi UMTS nella piat-

taforma di trasporto sono stati inclusi due livelli di adattamento AAL denominati *AAL5* e *AAL2*.

AAL5 è il livello di adattamento che consente di trasportare un pacchetto IP di lunghezza variabile in un certo numero di celle ATM, ognuna di lunghezza fissa (53 byte). Le principali funzionalità di *AAL5* sono la frammentazione del pacchetto IP in trasmissione e la sua ricomposizione in ricezione. Il ruolo principale di *AAL2* è fornire un efficiente supporto trasmissivo su ATM per le applicazioni che, come la voce, generano un flusso informativo a basso ritmo binario ma con requisiti stringenti sul ritardo complessivo.

Il flusso binario in uscita dal codificatore vocale UMTS, può essere ad esempio pari a 8 kbit/s; il pacchetto generato ogni 10 ms e inviato alla rete di trasporto avrà quindi una lunghezza di 80 bit. Qualora si utilizzasse una cella ATM per ogni pacchetto di questo tipo l'efficienza della trasmissione sarebbe molto bassa ($80 \text{ bit}/384 \text{ bit} = 0,21$). Il livello di adattamento *AAL2* invece moltiplica più pacchetti associati a diverse chiamate nella stessa cella ATM e aumenta così l'efficienza di trasmissione.

Nella figura 7 è mostrata la funzionalità di moltiplicazione di *AAL2*.

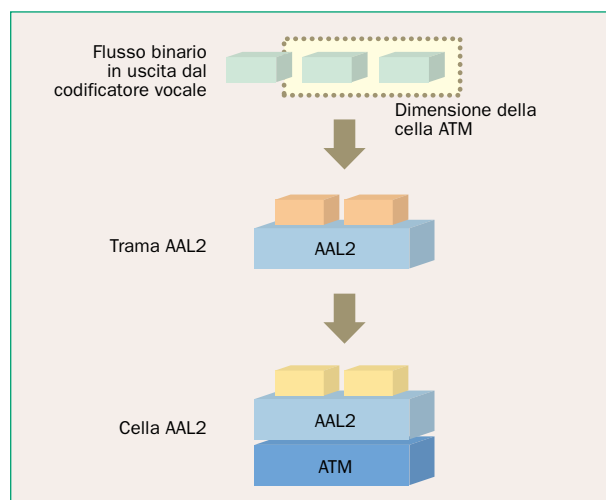


Figura 7 Funzione di moltiplicazione di AAL2.

7. Conclusioni

Il sistema UMTS prevede due tipi di interfaccia radio, entrambe caratterizzate da una grande flessibilità e da un'elevata efficienza spettrale. Per quella basata sulla divisione di frequenza fra trasmissione e ricezione, la *Wideband-Code Division Multiple Access*, è già stata completata la definizione di una prima versione dello standard, mentre per la *Time Division-CDMA*, basata sulla divisione di tempo (in tecnica a *ping-pong*), lo standard è in via di completamento.

Con queste due tecniche di accesso radio, l'impiego dell'UMTS consentirà di soddisfare efficacemente la domanda di comunicazioni mobili del prossimo decennio, che sarà sospinta anche dal forte sviluppo di Internet. Vista la crescita di importanza delle connessioni per la trasmissione di dati e per l'accesso

in rete Internet, l'architettura della rete UMTS è previsto che debba evolvere gradualmente verso l'adozione generalizzata di protocolli della famiglia IP.

Abbreviazioni

AAL	ATM Adaptation Layers
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BSC	Base Station Controller
CDMA	Code Division Multiple Access
DPCCH	Dedicated Physical Control CHannel
DPDCH	Dedicated Physical Data CHannel
ETSI	European Telecommunications Standard Institute
FBI	FeedBack Information
FDD	Frequency Division Duplex
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunications System
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GSN	GPRS Support Node
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HLR	Home Location Register
IETF	Internet Engineering Task Force
IMT-2000	International Mobile Telecommunications 2000
MSC	Mobile Switching Center
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factors
PDA	Personal Digital Assistant
PRACH	Physical Random Access CHannel
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RACH	Random Access CHannel
RNC	Radio Network Controller
SGSN	Serving GPRS Support Node
TD-CDMA	Time Division-CDMA
TDD	Time Division Duplex
TFCI	Transport Format Combination Indicator
TPC	Transmit Power Control
UMSC	UMTS Mobile Switching Center
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
W-CDMA	Wideband-CDMA
3GPP	Third Generation Partnership Project



Franco Mazzenga si è laureato in Ingegneria Elettronica con lode presso l'Università di Roma Tor Vergata nel 1993. Dal 1993 al 1994 ha usufruito di una borsa di studio presso la Fondazione Ugo Bordoni per svolgere attività di ricerca sui modelli di radiopropagazione a onde millimetriche. Dal 1994 al 1996 ha svolto il Dottorato di Ricerca in Telecomunicazioni presso l'Università di Roma Tor Vergata e dal 1998 al 2000 ha usufruito di una borsa di studio presso il

Consorzio di Ricerca in Telecomunicazioni (CoRiTeL) per svolgere attività di ricerca sui sistemi radiomobili di terza generazione. È ora Ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria Elettronica dell'Università di Roma Tor Vergata. Le aree di ricerca di maggior interesse nelle quali opera riguardano l'elaborazione numerica dei segnali e la teoria della stima.

Bibliografia

- [1] Porzio Giusto, P.; Vatalaro, F.: *Accesso multiplo a divisione di codice per sistemi radiomobili cellulari di terza generazione*. In questo stesso numero del «Notiziario Tecnico Telecom Italia», pp. 47-61.
- [2] Porzio Giusto, P.; Vatalaro, F.: *The Standardization of the Third Generation Cellular Systems*. «IEEE Communication Magazine», Global Communications Newsletters, agosto 2000, p. 2.
- [3] Adachi, F.; Sawahashi, M.; Suda, H.: *Wideband DS-SS-CDMA for next generation mobile communications system*. «IEEE Communication Magazine», settembre 1998, pp. 56-69.
- [4] 3GPP, Technical Specification Group, Radio Access Network (RAN), Working Group 1: *Physical channels and mapping for transport channels onto physical channels (FDD)*. TS 25.221 V2.5.0 (1999-10).
- [5] 3GPP, Technical Specification Group, Radio Access Network (RAN), Working Group 1: *Physical channels and mapping for transport channels onto physical channels (TDD)*. TS 25.221 V2.1.0 (1999-10).
- [6] Dinan, E.H.; Jabbari, B.: *Spreading codes for direct sequence CDMA and wideband CDMA cellular networks*. «IEEE Communication Magazine», settembre 1998, pp. 48-53.
- [7] Bettstetter, C.; Vogel, H.J.; Eberspacher, J.: *GSM phase 2+ general packet radio service GPRS: architecture, protocols, and air interface*. «IEEE Communication Surveys», Third Quarter 1999, Vol. 2, n.3, pp. 2-14.
- [8] Napolitano, A.; Panaioli, F.: *Evolution of the GSM platform*. IEEE ICUPC'98, Firenze, pp. 409-413.
- [9] Perkins, C.E.: *Mobile IP*. «IEEE Communication Magazine», maggio 1997, pp. 84-99.

Le biografie di Pietro Porzio Giusto e di Francesco Vatalaro sono riportate a pagina 60.



Antonella Napolitano ha operato in CSELT dal 1987 al 2000 nel settore delle reti per servizi mobili e radio principalmente per i sistemi GSM e UMTS, dove ha maturato esperienza nel settore della ricerca e sviluppo relativamente agli aspetti tecnici e operativi nel campo dei sistemi radiomobili. Le attività hanno riguardato sia obiettivi di breve e medio termine all'interno di progetti finalizzati per Telecom Italia Mobile (TIM), sia aspetti di lungo termine all'interno di progetti di ricerca CSELT. Dal 1992 al 1998 ha

partecipato ai Gruppi di standardizzazione ETSI che specificano gli aspetti di rete per il sistema GSM (SMG3 e successivamente SMG12). Nel 1994 è stata scelta come vice presidente del Comitato tecnico ETSI SMG5, che ha definito i requisiti di rete e di servizio per il sistema UMTS. Dalla costituzione del 3GPP (dicembre 1998) partecipa al 3GPP TSG-SA e presiede il Gruppo 3GPP Coordination Group di UMTS Forum. Sulla base di questo ruolo partecipa al 3GPP Project Coordination Group come rappresentante ufficiale di UMTS Forum. Da ottobre 2000 ha lasciato il Gruppo Telecom Italia.

Il telefonino incontra Internet: il WAP ed altro

FRANCO GUADAGNI

Ci siamo. Dopo una corsa a tappe forzate verso la stesura di specifiche tecniche complete, e dopo un abbondante battage pubblicitario su tutti i media, i terminali mobili WAP ed i relativi servizi hanno avuto una diffusione che dalla primavera del 2000 a oggi sta pian piano conquistando quote di mercato, soprattutto in Europa e in Giappone.

Le reazioni sia degli utenti finali - dal punto di vista dell'usabilità e del costo dei servizi - sia dei tecnici del settore - dal punto di vista della correttezza dell'approccio tecnologico - sono però variegata, e vanno dall'entusiasmo alla perplessità.

L'articolo si propone una disamina tecnica ad un livello divulgativo del WAP ma anche delle tecniche alternative che sono state proposte. Esse sono in alcuni casi ancora solo teoria, valida per un raffinamento futuro dei servizi, in altri casi realtà di mercato di una certa importanza (vedi ad esempio l'I-Mode giapponese).

L'obiettivo è portare un po' di chiarezza in un campo purtroppo spesso caratterizzato più da slogan pubblicitari che da comprensione tecnica dei problemi.

1. Introduzione

Internet e telefonia cellulare: i due settori, non fosse altro che per la vertiginosa crescita di mercato nel recente periodo, sono sotto i riflettori dei mass media e suscitano interesse e curiosità nella popolazione. E siccome Internet, per lo meno per la grande utenza residenziale, è sinonimo di accesso via telefono (modem), e visto che il cellulare è un telefono, il cortocircuito cellulare-Internet è immediato e naturale.

I servizi dati sul telefono cellulare non sono però "tout court" sinonimo di servizi Internet, come dimostrato dall'SMS (*Short Messaging Service*), il primo e più popolare servizio dati offerto dallo standard GSM, che conosce un grande successo di pubblico. Mentre più o meno tutti sono d'accordo sul fatto che i servizi dati su terminali mobili avranno una crescente diffusione, le modalità tecniche di realizzazione di tali servizi non sono certe. Esistono infatti due diversi modelli: secondo i "duri e puri" affezionati a Internet i cellulari diverranno in un modo o nell'altro appendici della

grande rete, così come i Personal Computer e magari altri "aggeggi" come le console per giochi elettronici o i set top box che decodificano i canali televisivi numerici; secondo altri invece il mondo dei servizi dati sarà più variegato, e la telefonia mobile svilupperà un approccio ai servizi dati indipendente e parallelo a quello che si è affermato sulla rete Internet.

Lo standard WAP (*Wireless Application Protocol*) è in questo senso paradigmatico, poiché esprime da un lato una contiguità con il World Wide Web, potendo in molti casi sfruttare gli stessi servizi e le informazioni preparate per essere fruite da persone che hanno un accesso a Internet, dall'altro non ne sposa appieno gli standard, avendo sviluppato (come si vedrà nel seguito) un approccio indipendente per quanto riguarda i protocolli di comunicazione e le modalità di accesso all'informazione.

Il WAP è l'approccio che il mondo della telefonia mobile (costruttori e gestori) ha scelto quasi unanimemente. Unica voce fuori dal coro in questo caso è stato il principale gestore di telefonia mobile giapponese, NTT DoCoMo, che, come vedremo, ha optato per una strada diversa, imponendo ai costruttori una propria visione del connubio cellulare-Internet che ha dato, in quel Paese, frutti insperati. Il sistema usato, denominato I-Mode, ha in un anno e mezzo conquistato gli utenti cellulari giapponesi che, soprattutto nella fascia più giovane, ne fanno un uso massiccio.

Vedremo anche come "l'altra parte del mondo",

Avvertenza: l'autore ha una lunga militanza nel settore degli applicativi e dei servizi Internet; la sua conoscenza del mondo delle comunicazioni mobili è invece meno approfondita. Le parti riguardanti più da vicino i sistemi di comunicazione mobile saranno perciò trattate da altri autori in successivi articoli.

vale a dire l'industria informatica ed i service provider legati al mondo Internet, stia sviluppando modalità alternative a entrambi i modelli precedenti (WAP ed I-Mode). Negando le peculiarità dell'apparecchio cellulare, che viene considerato alla stregua di tutti gli altri apparati che non sono PC ma che probabilmente saranno utilizzabili in connessione con Internet (televisioni, console di giochi, PDA), si sviluppano modelli di interazione che consentiranno all'informazione presente sul Web di essere utilizzata indipendentemente dal tipo di "attrezzo" usato. L'introduzione dell'XML, degli *Stylesheet* e del *CC/PP (Composite Capability/Preference Profile)* vanno in questa direzione.

In questo articolo sarà fatto cenno infine all'uso di un metodo innovativo ma allo stesso tempo molto "tradizionale" per l'accesso a Internet attraverso un telefono (fisso o mobile): la voce.

Il *Voice Browsing* è in proposito una realtà già offerta come servizio negli Stati Uniti e che sta per essere lanciata anche in Italia proprio da Telecom Italia. Perché voler "imitare" il PC usando un cellulare (display e tastierino) e non usare invece i tradizionali metodi di interazione telefonica, la voce e l'ascolto, per "navigare" su Internet?

2. Il problema dei dati su mobile

Trasmettere e ricevere dati su un apparato telefonico cellulare non è come farlo da una postazione telefonica fissa. Così come la qualità della voce trasmessa da un telefono cellulare è diversa da quella che percepiamo nella telefonia tradizionale (come ognuno di noi ha avuto modo di costatare), anche i dati che si possono trasmettere via etere hanno caratteristiche differenti da quelli che possiamo trattare con un modem connesso alla linea telefonica di casa.

Le differenze fondamentali sono legate a:

- **Velocità di trasmissione.** La velocità di trasmissione dei dati sul sistema cellulare più diffuso, il GSM, è limitata a 9600 bit/s. Questa velocità è un limite teorico superiore, ulteriormente limitato, in termini di quantità di dati utili che l'utente riceve o che trasmette, dai cosiddetti *header di protocollo*, e cioè con i bit utilizzati per il controllo della trasmissione e non per i dati di utente. Se si considera che questo "spreco" dovuto agli header è una frazione dei bit trasmessi grosso modo indipendente dalla velocità di trasmissione, si può immaginare come la percezione di un utente abituato ad accedere a servizi dati a 33,6 o a 56 kbit/s sia quella di una trasmissione molto lenta.
- **Variabilità delle condizioni del canale trasmissivo (ritardo, disponibilità).** Le caratteristi-

che nomadiche della telefonia cellulare rendono molto variabili e imprevedibili le condizioni del canale trasmissivo mobile, a differenza di quelle rese disponibili dalla postazione fissa.

- **Caratteristiche del terminale.** Il telefono cellulare è penalizzato nelle funzionalità rispetto agli apparati utilizzati per l'accesso a Internet dalla rete fissa. Esso infatti ha in generale limitazioni nella visualizzazione dell'informazione (display con dimensioni e capacità ridotte), nell'immissione di dati (tastiera limitata) e nella capacità elaborativa (CPU, memoria).

Queste peculiarità mostrate dall'ambiente mobile hanno spinto un gruppo di costruttori di apparati per la telefonia cellulare e di gestori di reti di telefonia mobile a sviluppare un approccio alla fornitura di servizi che, pur basandosi sul modello del World Wide Web, mantiene caratteristiche proprie che derivano dalla necessità di superare i problemi specifici dell'ambiente. Il risultato degli studi intrapresi in questo campo è il WAP (*Wireless Application Protocol*), che specifica le modalità di accesso a servizi informativi ottimizzando lo scambio di informazioni per l'uso da terminali mobili.

3. Il cellulare verso Internet: la soluzione WAP

La soluzione WAP prende le mosse da un modello già ampiamente affermato in Internet: il WWW (*World Wide Web*). Un breve richiamo al funzionamento del Web sarà quindi utile per introdurre lo standard WAP. Il World Wide Web ha un'architettura molto funzionale e flessibile ed è facilmente programmabile, rendendo perciò facile lo sviluppo di servizi specifici di accesso all'informazione. Il Web presenta le informazioni in un formato standard e può perciò essere "navigato" per mezzo di programmi sviluppati indipendentemente dalle basi dati che contengono le informazioni. La modalità di accesso a servizi offerti dal Web è di tipo *client-server*: il programma client (normalmente chiamato *browser*) che risiede nel terminale d'utente chiede servizi ai vari server attestati alla rete (figura 1). Le basi tecniche su cui si fonda il

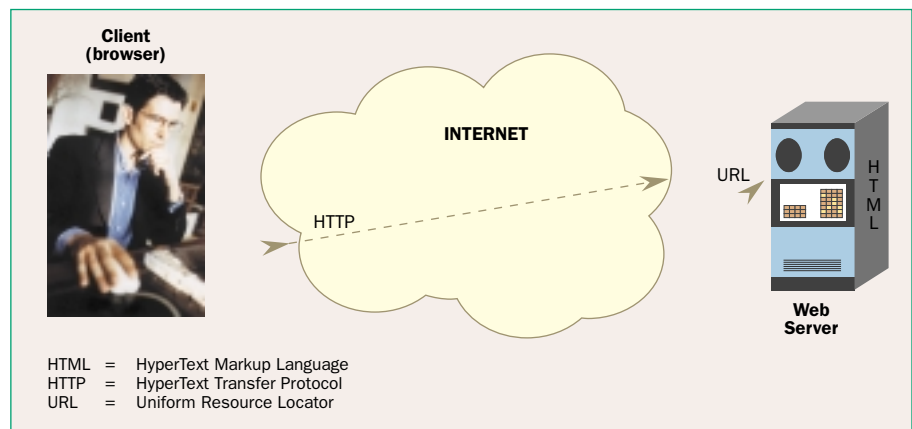


Figura 1 Come funziona il World Wide Web.

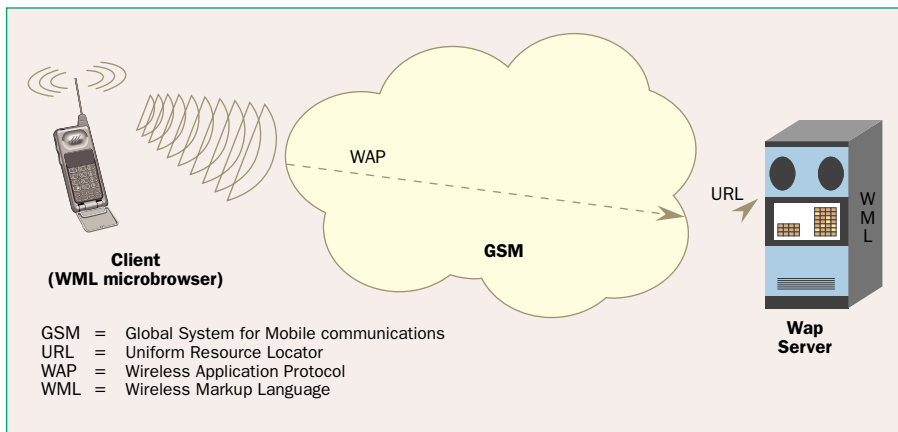


Figura 2 Modello di funzionamento del WAP.

funzionamento del WWW possono in breve essere così sintetizzate:

- l'informazione è contenuta nei Web server codificata in un formato standard, l'HTML (HyperText Markup Language). I server sono in grado di inviare ai programmi browser, insieme alle pagine HTML, anche delle istruzioni speciali, specie di piccoli programmi che vengono eseguiti sul browser. Essi sono in generale scritti utilizzando un particolare linguaggio (Java, Javascript, ECMAScript...);
- il browser indica la risorsa cui richiede l'accesso mediante un meccanismo di identificazione (naming) che usa indirizzi chiamati URLs (Uniform Resource Locators) o URIs (Uniform Resource Indicators);
- lo scambio di informazione tra browser e server avviene secondo un formato standard chiamato protocollo HTTP (HyperText Transfer Protocol), che consente l'interoperabilità tra browser e server costruiti da aziende diverse.

Nello sviluppo di una soluzione per l'accesso a servizi e informazioni da cellulare il modello architetturale seguito dagli specificatori del WAP è simile a quello che tanto successo ha riscosso su Internet. In figura 2 è riportata una schematizzazione simile a quella fatta per il Web. Come si può notare, alcuni elementi sono comuni alle due situazioni - ad esempio l'identificazione delle risorse avviene mediante URLs - mentre altri elementi differiscono: l'utilizzo di un protocollo diverso, WAP invece di HTTP, e l'uso di un linguaggio diverso, il WML (Wireless Markup Language) al posto dell'HTML.

Se l'ambiente di offerta servizi del WAP si limitasse a quello mostrato in figura 2, la similitudine col Web sarebbe fine a se stessa, poiché i contenuti del WWW non sarebbero comunque accessibili al mondo dei cellulari (infatti i server Web, ad esempio, non

“parlano” WAP ma HTTP).

Se si volesse rendere disponibile l'informazione presente su un sito Web al microbrowser realizzato sul cellulare bisognerebbe duplicare il server e riscrivere l'informazione nel linguaggio WML. Coloro che hanno specificato il WAP avevano ben presente il vantaggio che avrebbe comportato il poter accedere, almeno in parte, all'informazione già presente su Internet nei server Web, per cui hanno escogitato una soluzione che, mantenendo le caratteristiche specifiche del protocollo WAP, consente di accedere a servizi e

informazioni presenti sul Web. La figura 3 illustra la soluzione che si basa sull'utilizzo di una funzionalità di traduzione di formato e protocollo (gateway).

La soluzione consente di mantenere le caratteristiche dei componenti WAP che sono la compattezza dei dati trasmessi (WAP invece di HTTP) per risparmiare banda trasmissiva, e la facilità di trattamento (WML rispetto a HTML) per risparmiare nella capacità computazionale richiesta al terminale.

L'utilizzo di una stessa forma di indirizzamento applicativo (URL) rende particolarmente agevole la realizzazione della funzionalità di gateway, che deve solo trasformare i contenuti HTML in WML (con una funzionalità chiamata di filtro) e deve adattare il protocollo trasmissivo al particolare ambiente cellulare (questa funzionalità viene indicata col nome di proxy).

L'ambiente WAP - detto anche WAE (Wireless Application Environment) - non si limita però a imitare le funzionalità presenti su Web, ma le complementa con servizi specifici realizzabili sul telefono cellulare. Per far questo è stata definita una maniera standard per l'accesso a servizi telefonici (ad esempio il controllo di chiamata) da parte dei programmi del WAE. I servizi messi a disposizione dalla WTA (Wireless Telephony Application), consentono, ad esempio, di

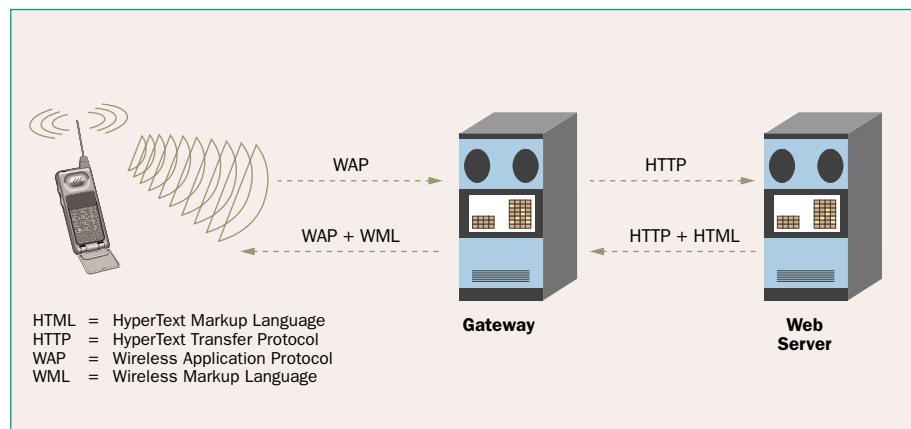


Figura 3 Accesso ad informazioni Web da un terminale cellulare.

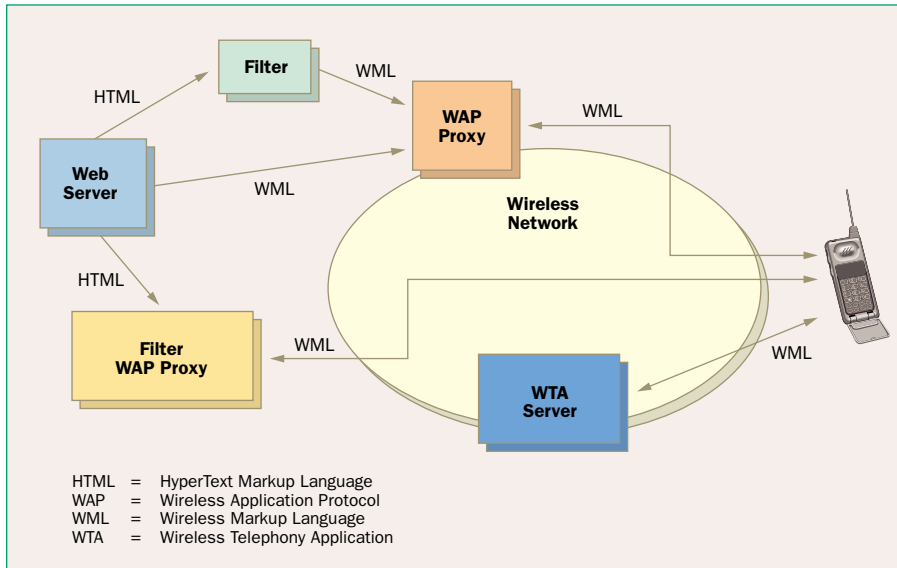


Figura 4 Una rappresentazione più completa dell'ambiente WAP.

iniziare una chiamata vocale dall'interno dell'applicazione WAE.

La soluzione WAP per l'accesso a servizi e informazioni su Internet da cellulare è stata studiata e specificata all'interno di un Consorzio di aziende chiamato WAP Forum. Il Consorzio è stato fondato da Ericsson, Nokia, Motorola e Unwired Planet (oggi Phone.com) e conta oggi oltre 150 membri, in maggioranza aziende appartenenti all'area dei costruttori di apparati mobili o gestori di servizi di telefonia mobile, ma anche venditori di sistemi software, di sistemi e servizi legati alla sicurezza e altro.

La figura 4 - tratta dal sito del WAP Forum - mostra in maniera più accurata l'ambiente WAP e la sua interazione col Web. In questa figura il gateway di figura 3 è stato spezzato nelle sue componenti funzionali di filtro sul linguaggio (da HTML a WML) e di proxy sul protocollo (da HTTP a stack WAP). La figura esplicita anche la funzionalità di WTA, che è svolta da appositi server.

Inoltre, a differenza dell'ambiente WWW - dove tutti gli scambi di informazione sono iniziati dal programma client, che richiede l'accesso all'informazione - il WAE prevede anche una modalità di funzionamento di tipo *push*, vale a dire che i server possono inviare informazione indipendentemente dalle richieste del terminale. Questa prospettiva, se da una parte minaccia di portare sul cellulare informazione non richiesta (come la pubblicità), dall'altra consente di effettuare servizi di effettiva utilità: permette, ad esempio, di segnalare sul cellulare la ricezione di posta elettronica (e-mail) da parte di un determinato mittente, o il superamento di una certa quotazione da parte delle azioni possedute.

Dal punto di vista tecnico i protocolli utilizzati da WAP sono più compatti del protocollo HTTP usato dal Web, riuscendo così a sfruttare meglio la scarsa banda a disposizione. Inoltre le sessioni applicative hanno la capacità di "sopravvivere" a lungo, consentendo all'applicazione sul browser di superare le

discontinuità di servizio che possono caratterizzare la trasmissione wireless su terminale mobile.

A livello del formato utilizzato, il WML (oltre a essere anch'esso ottimizzato dal punto di vista dell'occupazione di banda, con una codifica particolarmente "striminzita") è pensato per meglio organizzare il browsing dell'informazione su un display piccolo e con una possibilità di input contenuta (tastierina numerica).

L'informazione è organizzata in "carte" (*cards*) a loro volta raccolte in "mazzi" (*decks*) e consente una navigazione su due dimensioni effettuabile molto semplicemente. L'utilizzatore sceglie nel

mazzo la carta che contiene l'informazione o il servizio desiderato. L'interazione con la carta (equivalente della *pagina Web*) non è limitata alla lettura di informazione o alla selezione di altre pagine: infatti un semplice linguaggio di *scripting*, il *WMLScript*, consente forme di interazione più complesse, quali ad esempio la compilazione e il controllo locale di formulari (*forms*) per l'invio di informazione verso il server.

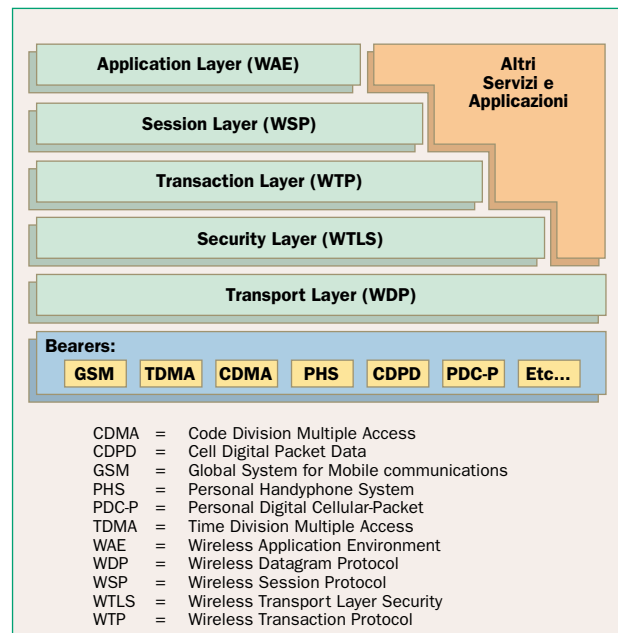


Figura 5 L'architettura WAP.

Anche la figura 5 è tratta dalla documentazione ufficiale del WAP Forum e descrive l'architettura del modello WAP: come si può osservare, WAP non identifica propriamente un protocollo (come il nome erroneamente indica), ma un'architettura che, ai

GPRS ED UMTS: I SUCCESSORI "TURBO" DEL GSM

Certo, l'impressione dell'utente (quella che gli americani chiamano la *user experience*) col WAP sarebbe un'altra cosa se le informazioni fossero trasportate a velocità maggiori rispetto agli attuali 9600 bit/s offerti dai sistemi GSM. Inoltre, come è anche sottolineato nel testo, il fatto che oggi il WAP su GSM sia tariffato a *circuito*, vale a dire sul tempo di connessione al servizio, piuttosto che sull'effettiva quantità di informazione fruita, costituisce un ulteriore contributo alla percezione negativa di alcuni utenti.

L'evoluzione della rete GSM e dei suoi sistemi di trasmissione prevede rimedi per entrambi i problemi fondamentali dati dalla rete attuale: velocità e modo di connessione e di tariffazione. Le reti cellulari di terza generazione, quelle chiamate con un acronimo, *UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)*, che ormai è nella testa di tutti (anche se non tutti sanno effettivamente cosa ci sta dietro)¹, sono la soluzione finale prospettata da costruttori e gestori per le comunicazioni mobili su scala geografica. La strategia di migrazione delle attuali reti di telefonia cellulare verso la rete UMTS pre-

vede almeno un passo intermedio, che in Italia verosimilmente sarà costituito dal *GPRS (General Packet Radio Service)*. Senza avere l'obiettivo di volgarizzare i dettagli tecnici, peraltro molto complessi, delle due soluzioni GPRS e UMTS, si cercherà qui di dare un'idea di quello che le due soluzioni comportano, sia dal punto di vista dei servizi offerti, che da quello delle differenze "sostanziali" dei due sistemi tra loro e rispetto al sistema attuale.

La differenza fondamentale del GPRS rispetto al GSM è la possibilità di allocare dinamicamente le risorse radio, con il principio delle trasmissioni a pacchetto, in modo da ottimizzare lo sfruttamento della banda disponibile. Nel sistema attuale il canale radio trasmissivo relativo a una chiamata (sia essa fonia o dati) viene allocato in maniera fissa a quella comunicazione, anche quando non vi siano dati da trasmettere. Inoltre, a ogni comunicazione è associato un solo canale. La possibilità di adoperare gli intervalli di tempo (*time slot*) delle trame radio quando essi si rendono disponibili, e di aggregarli secondo la necessità dell'utente, amplia

notevolmente la flessibilità del sistema, portando a una velocità media di trasferimento dati (*throughput*) maggiore di quella del GSM fino ad un ordine di grandezza (si parla di velocità di punta intorno ai 100 kbit/s).

Si noti comunque che, visto che il livello fisico della trasmissione radio rimane invariato rispetto al GSM, il numero di bit contenuti nella trama radio rimane lo stesso che nel GSM; la maggiore velocità di trasmissione è pertanto un fatto per la maggior parte dovuto alla statistica; e situazioni di sovraffollamento di cella porterebbero comunque a velocità inferiori rispetto a quelle date come "medie" per il GPRS, di 56 kbit/s.

Dal punto di vista dei protocolli dati, il GPRS prevede il supporto di protocolli IP e X.25 (l'opinione di chi scrive è che questa seconda opzione avrebbe potuto essere abbandonata senza pregiudizio per alcun tipo di servizio). Il trattamento del protocollo IP potrebbe rivelarsi meno semplice del previsto, per questioni di indirizzamento: il numero dei potenziali terminali è molto alto e, all'intro-

⁽¹⁾ Ancora recentemente, in occasione di un convegno sul *broesing* da mobile, mi sono sentito rivolgere domande che denotavano chiaramente la confusione di molte persone tra i servizi di trasporto futuri (GPRS, UMTS) e la parte applicativa (WAP/WML), mentre nessuno confondeva, invece, tra WAP e GSM. In pratica, UMTS è percepito da molti come l'evoluzione del WAP. Forse l'errore, a ben vedere, è solo uno sfizio teorico tipico di un approccio tecnico al problema!

meno giovani, ricorderà certo da vicino quella dell'*OSI (Open System Interconnection)*, in voga negli anni Ottanta. La somiglianza non è casuale, ed i detrattori del WAP indicano proprio nell'apparente complessità del modello una ragione per i problemi che le prime apparizioni di servizi WAP in Europa hanno registrato (vedi capitolo seguente), e predicono per il WAP un altrettanto poco desiderabile oblio.

Dall'altra parte invece, l'entusiasmo con cui i fornitori di servizi, cellulari ma anche Internet, hanno aderito allo standard, e l'impegno anche finanziario profuso nel pubblicizzare la soluzione, rassicurano i sostenitori, che credono nel brillante futuro del WAP pur ammettendone la partenza non proprio entusiasmante.

4. Il WAP alla prova dei fatti: problemi, soluzioni

L'impegno profuso dai membri del WAP-Forum e la grande attesa per la realizzazione di servizi di tipo Internet sul cellulare hanno portato in tempi molto brevi - alla fine dello scorso anno con un lavoro a tappe forzate - al congelamento di un primo set di specifiche WAP. La prevista uscita dei primi terminali *WAP-enabled* per la fine dello scorso anno è stata rispettata, e i primi servizi WAP hanno fatto la loro comparsa sul mercato all'inizio di quest'anno.

In Italia il lancio dei primi portali WAP di una certa importanza è avvenuto nella primavera di quest'anno, preceduto da un buon tam tam dovuto sia alla pubblicità tradizionale sia all'ampia copertura del

duzione del servizio GPRS sarà sicuramente avvertito un bisogno immediato di un numero molto alto di nuovi indirizzi IP. Il modo di risolvere il problema non è ancora completamente deciso. Sicuramente non sarà però possibile di dare a ogni terminale un indirizzo IP della *big Internet*, poiché gli indirizzi IP sono una risorsa scarsa e pregiata. I progettisti stanno cercando modi alternativi di risolvere il problema, prevedendo l'uso di indirizzi IP "privati" (il che richiederà di effettuare una traduzione di indirizzi alla frontiera tra il dominio del gestore GPRS e Internet). L'uso del DHCP (assegnazione dinamica di indirizzi IP sulla base dell'attività del terminale) potrebbe contribuire a semplificare il problema. Una soluzione più radicale prevede invece l'uso del nuovo metodo di indirizzamento previsto nel protocollo Ipv6 (vedi anche [1]), che allarga in maniera "sovrabbondante" il numero di indirizzi pubblici disponibili. Forse l'avvento della nuova versione del protocollo IP, dopo oltre venti anni di onorato servizio dell'attuale IPv4, sarà resa necessaria proprio dalla necessità di estendere fino al cellulare i servizi (e i protocolli) propri di Internet.

Riassumendo, GPRS porta una più alta velocità (storicamente) e un nuovo paradigma di comunicazione (a pacchetto anziché a circuito) nella trasmissione dati sul cellulare. Questa evoluzione

richiede cambiamenti non enormi nella struttura delle reti esistenti GSM. La parte radio rimane pressoché invariata, ed a livello di rete terrestre si aggiungono funzionalmente un paio di elementi: i router interni alla rete dell'operatore mobile, detti *SGSN (Serving GPRS Support Nodes)*, e un nodo di gateway verso altre reti IP, tra cui possibilmente Internet, detto *GGSN*, dove la prima delle due G sta appunto per Gateway. La situazione è illustrata nella figura A.

rispetto a quelli ora impiegati. Questo consentirà di ottenere velocità nettamente superiori (fino a 384 kbit/s per terminali in movimento veloce e fino a 2 Mbit/s per quelli statici o semistatici) rispetto a quelle disponibili su GPRS (e naturalmente su GSM), rendendo teoricamente possibili servizi di trasmissione anche audio e video di buona qualità sugli apparati terminali. È importante notare comunque che il paradigma di trasmissione a pacchetto rimane quello del GPRS.

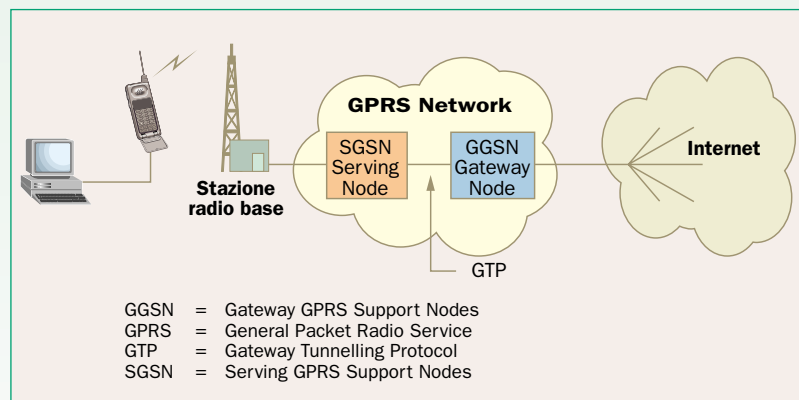


Figura A Struttura semplificata della rete General Packet Radio Service.

L'UMTS consente alla rete cellulare di effettuare un altro balzo in avanti, stavolta basato, rispetto alla soluzione GPRS, su un'effettiva evoluzione della parte radio, che utilizza metodi di trasmissione, di allocazione in frequenza, in tempo e di codice completamente innovativi

Si può dire quindi (con qualche beneficio di inventario) che con l'evoluzione GPRS-UMTS cambierà la parte ai bordi della rete cellulare, cioè la parte radio, mentre la parte terrestre di rete a pacchetto dovrebbe rimanere architetturealmente invariata.

tema WAP da parte dei media specialistici e non. I risultati, in termini di numero di utenti che utilizzano il WAP e di numero di connessioni effettuate, non sembrano essere per ora all'altezza delle aspettative. Qualcuno ricorderà un articolo piuttosto critico apparso sul quotidiano "la Repubblica" nel maggio di quest'anno, che riportava la frustrazione del giornalista che aveva tentato, in modo imparziale, di cercare informazione nei siti WAP dei due maggiori gestori cellulari italiani, ottenendo in entrambi i casi un'impressione d'uso piuttosto negativa, soprattutto per i costi associati all'operazione.

La partenza non esplosiva dei servizi WAP non è vista come un grosso problema da parte di coloro che hanno scommesso su questa tecnologia e che fidano nel miglioramento dei servizi dovuto all'espandersi

del numero dei siti che contengono informazioni codificate in WML, al feedback degli utenti, alla convergenza dei costruttori di terminali verso la totale compatibilità dei loro apparati (al momento sono infatti impiegati "dialetti" WML che consentono l'accesso a siti WAP da parte di alcuni terminali ma non di altri).

I tre problemi principali che il WAP sembra accusare in questo momento sono:

- *problemi di compatibilità dovuti alla presenza di opzioni e dialetti all'interno degli standard WAP (soprattutto del WML).* Questi problemi sono derivati inizialmente dal rapido susseguirsi di versioni diverse dello standard (WAP 1.0 fu pubblicato a maggio 1998; dopo un anno fu pubblicata la versione 1.1, e a dicembre del '99 la versione 1.2) e

la prima fase degli sviluppi dello standard risentì, lo scorso anno, della volontà di costruttori e gestori di arrivare presto sul mercato. Questo obiettivo portò alcuni costruttori sia di cellulari che di server WAP a realizzare variazioni proprietarie dello standard, o comunque di versioni tra loro scarsamente interoperanti. Ancor'oggi alcuni di quei problemi portano strascichi con difficoltà di interoperabilità tra siti progettati per l'uso con un certo terminale e terminali di tipo diverso. Questa classe di problemi ha un'incidenza via via minore, poiché l'assestamento degli standard e la convergenza dei costruttori tendono a eliminarli, pena un'immagine deteriorata lanciata sul mondo WAP in generale;

- *problemi di quantità e qualità di contenuti.* Questi sono dovuti alla necessità di predisporre siti scritti in un linguaggio che, pur nelle somiglianze con l'ampiamente usato e conosciuto HTML, resta un linguaggio nuovo e di non immediato apprendimento. Il mondo Web si avvantaggia ormai di una pletera di strumenti specializzati per la pubblicazione di pagine HTML, e sul mercato è presente una buona disponibilità di tecnici che conoscono approfonditamente questo linguaggio. Lo stesso non si può dire per il WML, che è molto più recente e che costringe a un approccio più artigianale alla scrittura di pagine informative. La predisposizione di software di traduzione di pagine HTML in WML è stata tentata anche con un certo successo, ma il processo non può essere completamente automatico, e l'intervento umano richiesto (che è proporzionale alla complessità delle pagine HTML da tradurre) ha comunque un costo non trascurabile. Una soluzione di medio periodo a questo problema consiste nell'introduzione graduale di XML come linguaggio padre di tutti i dialetti del Web, e la possibilità di "vestire" in maniera semplice contenuti informativi "puri" secondo le necessità del terminale. Il concetto è schematizzato in figura 6 e sarà ripreso nel paragrafo 6;

- *problemi di tariffazione.* Le soluzioni WAP attuali sono basate sul trasporto GSM. L'accesso al WAP gateway avviene attraverso una connessione GSM, e questo richiede che per effettuare una chiamata alla stessa maniera che per l'accesso a Internet tramite modem, è necessaria la connessione telefonica al PoP del service provider. La telefonata cellulare ha però costi diversi da quella effettuata tramite la rete fissa, e, come nel caso del modem, l'uso del terminale con modalità WAP impedisce l'effettuazione contemporanea di telefonate. Un modello sicuramente più attraente sarebbe quello dell'accesso "a pacchetto", che consente di essere sempre connesso alla rete (e

quindi, ad esempio, permette di ricevere posta in qualsiasi momento) e di pagare solo per i dati realmente fruiti e non per il tempo passato on line. La soluzione a questo problema è la migrazione dell'attuale sistema GSM a sistemi di trasmissione più evoluti, basati appunto su un modello dati a pacchetto. Nel box di pagina 80 relativo al GPRS e UMTS, è trattato appunto tale aspetto, che renderà probabilmente più appetibile l'uso del WAP agli utenti.

5. I-Mode ed il C-HTML

Nel 1998, quando si concretizzavano le prime specifiche per il modello WAP, il colosso della telefonia cellulare giapponese NTT DoCoMo decise di seguire una propria strada verso l'integrazione dei telefoni cellulari con il World Wide Web. Pur perseguendo l'obiettivo di costruire qualcosa di

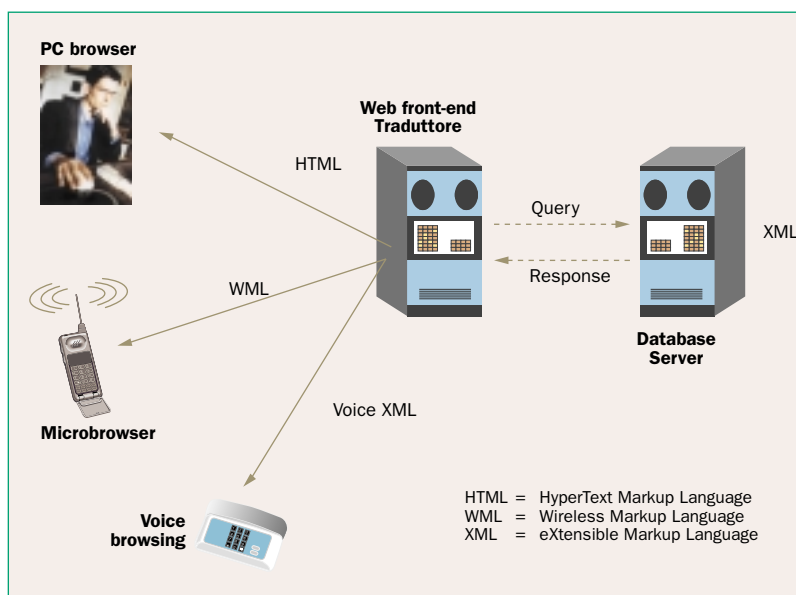


Figura 6 XML come linguaggio universale per il Web.

specifico che risolvesse i problemi più vistosi dell'accesso tramite telefonino a Internet, DoCoMo decise di partire dall'esistente (WWW, HTML) e di seguire il più da vicino possibile il paradigma già usato in Internet.

Nel febbraio 1998¹ un gruppo di costruttori giapponesi (tra cui Matsushita, NEC, Fujitsu e Sony), sostenuto dal principale gestore giapponese di telefonia mobile, presentò al World Wide Web Consortium la specifica del *Compact HTML* o C-HTML, un sottinsieme del linguaggio del Web che tiene conto delle limitazioni proprie degli apparecchi cellulari.

L'accoglienza del resto del mondo verso quella specifica fu molto tiepida, in quanto sul fronte Internet-

⁽¹⁾ Vedi <http://www.w3.org/Submission/1998/04/>

cellulare, grossi interessi stavano raccogliendo le iniziative di Unwired Planet che poco prima, nel settembre 1997, aveva riunito intorno a sé un Gruppo di costruttori e gestori per formare il WAP Forum.

NTT DoCoMo proseguì però sulla strada iniziata con C-HTML, e chiese ai costruttori di inserire sui terminali un microbrowser basato proprio sulle specifiche C-HTML presentate al W3C.

A un anno dalla presentazione al W3C di C-HTML, nel febbraio 1999, NTT DoCoMo lanciò il servizio I-Mode (la I sta per Internet). Il servizio è basato su un'architettura che prevede contenuti scritti in C-HTML, un protocollo applicativo che è lo stesso usato nel Web, l'*HTTP (HyperText Trasfer Protocol)* e che è basato su un trasporto sulla rete cellulare a pacchetto invece che a circuito come si è prima visto nel caso del WAP su GSM; il protocollo di trasporto si chiama *PDC-P (Personal Digital Cellular Packet)*.

Dal suo lancio, il servizio I-Mode ha collezionato una serie impressionante di successi: basti dire che tutte le previsioni di penetrazione del servizio sono state ampiamente superate e che in poco più di un anno e mezzo esso ha conquistato in Giappone 12 milioni di clienti.

Il numero di siti accessibili tramite I-Mode è molto ampio (oltre 20 mila), e la semplicità di scrittura di pagine visitabili (dovuta al fatto che chi può scrivere in HTML può altrettanto facilmente scrivere C-HTML, visto che il secondo linguaggio non è che un sottoinsieme del primo) fa crescere anche questo numero in maniera molto rapida.

Per quanto riguarda la fornitura di servizi, NTT DoCoMo segue un modello ibrido: il gestore ha infatti stretto alleanze con molti fornitori di contenuti che offrono servizi in esclusiva per gli utenti I-Mode. In questo modo NTT controlla la qualità dei contenuti che vengono passati ai propri utenti e i Content providers possono condividere gli introiti; ma l'accesso è consentito anche liberamente a siti disponibili su Internet (con un indirizzamento URL), a siti cioè che non hanno alcun legame con DoCoMo. Questa possibilità di accesso ha favorito la nascita di decine di migliaia di siti indipendenti. La tariffazione del servizio avviene sulla bolletta DoCoMo, consentendo così anche microtransazioni difficili da effettuare in altri contesti. Sono attivi ad esempio servizi che, per l'equivalente di poche centinaia di lire, consentono il download di immagini o la ricezione di musiche personalizzate sul proprio terminale.

Esaminando quanto detto sui problemi del WAP, può essere facilmente notato che I-Mode è immune a tutti e tre quelli citati. Il servizio è infatti basato su un'unica specifica proprietaria, che non pone problemi di interoperabilità; rende semplice la riscrittura di siti informativi esistenti (operazione che si limita alla "ripulitura" dei siti da costrutti HTML complessi) e la scrittura ex-novo di contenuti è operazione che qualsiasi esperto HTML può eseguire. Infine, il protocollo di trasporto è di tipo a pacchetto: consente quindi la tariffazione basata sulla quantità di informazione ricevuta e non sul tempo di connessione, e inoltre permette l'effetto *always on* su

Internet. L'ampia diffusione del servizio I-Mode ha generato effetti molto positivi per i costruttori di terminali cellulari, che in Giappone già oggi hanno a listino modelli I-Mode con display a colori (figura 7) che consentono la visualizzazione di immagini in formato *GIF (Graphics Interface Format)* di quasi 100x100 pixels.



Figura 7 Terminali I-Mode a colori.

NTT DoCoMo, che inizialmente ha mirato solo a incrementare il proprio mercato nazionale di servizi cellulari, ha da poco lanciato iniziative mirate a diffondere il modello I-Mode anche al di fuori dei confini nazionali. È recente la notizia che KPN, Gestore incumbent telefonico e cellulare olandese, ha stretto un'alleanza con NTT DoCoMo, e sta considerando se introdurre il WAP o l'I-Mode nella rete UMTS che prevede di installare.

6. Internet verso il cellulare: le soluzioni WWW

Se le Aziende interessate al mercato della telefonia mobile hanno pensato ad approcciare il mondo Internet per sfruttarne i servizi e le informazioni disponibili, il mondo Internet non ignora certamente la possibilità che il telefono cellulare o altri apparati mobili diventino una parte numericamente importante dei terminali connessi alla grande rete. L'approccio di principio (e tecnologico) è naturalmente diverso nei due casi:

- *WAP* tende a considerare il Web un ambiente a sé, cui avvicinarsi con cautela e attraverso le dovute mediazioni (gateways, filtri e proxies mostrati nelle figure precedenti);
- *WWW* tende invece a considerare il terminale mobile come uno dei tanti "aggeggi" che saranno in grado di accedere a informazioni e servizi, ognuno secondo le proprie peculiarità, ma tutti seguendo gli standard dettati da Internet.

Se si pensa che già oggi, in America, si cominciano a diffondere modalità di accesso a Internet diverse da

quelle di un PC seguito da un modem (ad esempio la televisione tramite i servizi WebTV, le console di giochi di nuova generazione tipo Dreamcast o Playstation2) si può capire come anche il mobile venga visto come un terminale in più da connettere alla rete Internet.

L'argomento dell'accesso a Internet da terminali mobili è affrontato da due importanti Forum internazionali che si occupano della standardizzazione di Internet: l'IETF (*Internet Engineering Task Force*) e il W3C (*World Wide Web Consortium*), senza sovrapposizioni, e secondo punti di vista diversi. Mentre IETF persegue l'obiettivo di rendere disponibile a livello di protocolli di comunicazione IP il meccanismo della mobilità, il W3C affronta il problema a livello applicativo, che è quello che in questa sede è esaminato. Sarà perciò fornito un veloce panorama di come il W3C (e quindi il "mondo" Web) affronta il problema dell'accesso via terminale mobile.

Nell'ottica di affrontare il problema dell'accesso di una gran varietà di terminali all'informazione del Web, lo sforzo maggiore intrapreso dal W3C è lo sviluppo di una funzionalità che consentirà al terminale di negoziare con il sito Web, cui si rivolge, la maniera migliore per trasferire l'informazione. In questo modo il contenuto del sito Web si adatterebbe, prendendo la forma più adatta al terminale che dovrà trattare l'informazione.

La specifica è nota con il nome *Composite Capability/Preference Profile o CC/PP*, e nel nome richiama proprio il fatto che ogni terminale potrà essere caratterizzato da un "profilo" di capacità (ad esempio display limitato, accesso da tastiera numerica) o di preferenze. In questo modo, ad esempio, una persona non vedente potrebbe chiedere che il proprio browser - pur essendo in grado di visualizzare correttamente l'informazione sul video - "comunicasse" al sito server una preferenza per un profilo che consenta la "lettura" via sintetizzatore vocale delle pagine Web.

Il W3C, con un suo specifico Gruppo di studio (*Mobile Access Working Group*) sta anche affrontando il problema dell'adattamento del protocollo HTTP alle particolari condizioni della trasmissione su un cellulare, già sopra ricordate. L'approccio in questo caso non è quello di escogitare un nuovo protocollo, ma di utilizzare tecniche di "compressione" dell'informazione che consentano di "spremere via" i bit inutili, ottimizzando l'uso delle risorse di trasporto dell'informazione.

Il completamento delle specifiche del W3C in questo campo richiederà ancora del tempo, ma l'urgenza della materia è ben compresa anche all'interno di questo Consorzio. È stata perciò sviluppata una soluzione transitoria, che anche in tempi brevi faciliterà l'accesso a risorse Web da parte di terminali di capacità limitate. È stata infatti perfezionata nel marzo dello scorso anno una serie di linee guida per autori di pagine Web che vogliono rendere le pagine accessibili anche da terminali di tipo mobile, in pratica un manuale di uso specifico del linguaggio HTML. Le pagine scritte secondo questa specifica saranno anche più facilmente traducibili da HTML in WML, rendendole più facilmente fruibili anche da

un ambiente WAP.

Pur rappresentando diverse comunità di interessi, il W3C ed il WAP Forum hanno scelto di non perseguire i propri fini secondo strade separate ignorandosi a vicenda. Essi hanno infatti stabilito nel 1998 un rapporto di collaborazione che limiti per quanto possibile la duplicazione degli sforzi tecnici di definizione di protocolli e formati, e che tenda a massimizzare l'interoperabilità di soluzioni tecniche eventualmente sviluppate separatamente.

7. L'accesso in fonìa

Perché lottare con la difficoltà di scrivere lettere su un lillipuziano tastierino numerico se si può dire al telefono che cosa si vuole? Perché leggere su un display microscopico senza una lente da filatelico, se si può ascoltare quello che ci interessa, letto attraverso il più normale strumento di uscita di un telefono, l'altoparlante? Può sembrare "l'uovo di Colombo" ma arrivare a queste conclusioni non è stato semplice. I primi servizi di accesso pubblico via telefono, con interfaccia vocale, a servizi di informazione basati su Internet, sono disponibili in America da meno di un anno. Essi forniscono informazioni frequentemente richieste da persone che, per motivi personali o di lavoro, hanno difficoltà a reperirle su Internet attraverso l'uso di un normale browser da PC. In pratica, esattamente lo stesso tipo di target dei servizi WAP!

Da un punto di vista tecnologico, la soluzione del problema dell'accesso vocale a informazioni presenti su Internet è basata sull'impiego di strumenti già utilizzati in molti altri contesti: i software di TTS (*Text To Speech*) e quelli di ASR (*Automated Speech Recognition*).

È anche vero che già da qualche tempo i costruttori specializzati nei prodotti d'uso del Personal Computer attraverso la voce (programmi di dettatura o di uso del PC da parte di portatori di handicap che non possono usare la tastiera o il video) avevano approntato strumenti software per l'utilizzo di Browser Internet attraverso la voce. Il problema dell'accesso in fonìa da telefono alle informazioni Internet è però significativamente diverso.

Il terminale infatti non è un PC, ma il telefono. I programmi di ASR/TTC non possono perciò risiedere sul terminale, ma debbono essere ospitati nel sistema centralizzato che offre il servizio di browsing vocale.

Questo implica due complicazioni notevoli del problema, vale a dire:

- a) tra le due funzionalità TTS ed ASR la seconda è molto più complessa, richiede una capacità computazionale e una base dati notevole. Il problema ASR su PC è semplificato, poiché i programmi di dettatura automatica o comunque di interazione vocale sono facilitati dal fatto di essere usati solo da una (o da poche) persone, avendo quindi la possibilità di imparare a riconoscere le parole dette da quella persona: hanno infatti bisogno di un periodo di addestramento (*training*). Questo tipo di tecnologia è conosciuta

come *ASR speaker dependent*. Un sistema centralizzato deve invece essere in grado di riconoscere parole dette da qualsiasi interlocutore, senza la possibilità di training preventivo. La tecnologia usata in questo caso è quella del *ASR speaker independent*; essa è molto più complessa della precedente, e in generale ha prestazioni più limitate (la probabilità che una parola venga riconosciuta è minore);

- b) l'ambiente di uso del servizio può essere estremamente severo per il programma di ASR. La qualità della voce trasmessa via telefono cellulare è infatti scadente rispetto a quella del telefono fisso, per non parlare di un ambiente controllato come quello di un microfono connesso a un PC. Inoltre il rumore ambientale può influire in maniera molto pesante (si pensi all'uso di un cellulare in automobile o comunque in ambienti rumorosi).

Nonostante le difficoltà espresse, l'idea di offrire servizi di navigazione vocale tramite telefono è comunque molto attraente per la facilità potenziale di uso e di conseguenza per la probabile adozione da parte di una considerevole fetta di popolazione, anche di persone non abituate all'accesso a Internet tramite PC.

Da un punto di vista tecnico, la soluzione consiste nell'utilizzo di pagine Web "semplici" (esattamente come visto nel caso WAP/WML), in cui il contenuto della pagina viene letto dal programma TTS, che indica anche esplicitamente quali sono le azioni che si possono fare (ad esempio seguire un link, oppure ritornare alla pagina principale, la *home page*). Il programma di ASR accetta in ingresso i comandi vocali che consentono la navigazione.

Lo CSELT, vista anche la decennale esperienza nella realizzazione per Telecom Italia di servizi che utilizzano sintesi e riconoscimento vocale, ha intrapreso all'inizio di quest'anno la realizzazione di una piattaforma in grado di consentire la navigazione vocale, e la realizzazione è stata presentata a SMAU 2000. Il sistema realizzato dallo CSELT, chiamato *VoxNauta*, ha suscitato interesse notevole internamente al Gruppo, e tre Business Unit diverse dell'Azienda hanno iniziato sperimentazioni basate su di esso.

Così come per il WAP, è stato definito un linguaggio specifico per la navigazione vocale, standardizzato dal W3C e chiamato VoiceXML. Anch'esso è un dialetto XML, anche se le somiglianze si esauriscono qui, in quanto la sintassi specifica è notevolmente diversa. La produzione di pagine specifiche in VoiceXML per l'accesso in fonia, presenta però gli stessi problemi visti per il WML, vale a dire la necessità di personale esperto in questo nuovo linguaggio. Per evitare questo problema, il sistema costruito nello CSELT utilizza un approccio alternativo, che è quello di "filtrare" le pagine HTML per renderle comprensibili al voice browser, operazione che richiede un intervento molto limitato da parte di personale esperto.

Negli Stati Uniti sono attivi da qualche tempo alcuni servizi di accesso a informazioni Internet secondo il modello del voice browser qui descritto; in

Italia invece le prime realizzazioni saranno lanciate entro la fine dell'anno in corso.

8. La preparazione dell'informazione

Come si è visto, si stanno compiendo molti sforzi per far in modo che i contenuti di Internet siano accessibili dai terminali mobili. Deve essere comunque chiaro che nessuna tecnica può compiere il miracolo di portare, ad esempio, su un link GSM a 9600 bit al secondo una immagine di buona qualità in un tempo ragionevole (anche ammesso che questa immagine possa poi essere mostrata sul display di un telefonino!). Il problema dell'adeguata selezione e preparazione dell'informazione è quindi comunque da affrontare quando si parla di servizi da rendere disponibili all'utente mobile.

Questa esigenza non comporta necessariamente che le pagine relative a un certo servizio debbano essere scritte in diverse versioni a seconda che si pensi alla loro lettura tramite PC o tramite WebTV o attraverso un cellulare. Un uso adeguato degli strumenti attuali del Web può fare in modo che una pagina sia fruibile con diverse modalità a seconda del mezzo di comunicazione e di visualizzazione che l'utente ha a disposizione.

La realizzazione di portali Web intelligenti che "vestono" l'informazione in maniere diverse a seconda delle occasioni (una schematizzazione è mostrata in figura 6) è uno dei campi in cui si giocherà il successo di aziende che vogliono rendere i propri servizi disponibili su Internet a classi di utenti che utilizzano mezzi di accesso diversi. Così, l'agenzia turistica potrà offrire videoclip dimostrativi all'utente che esamina le proposte da una postazione multimediale con accesso veloce a Internet, e trasmetterà invece solo le informazioni relative al prezzo dei biglietti aerei a chi accede da cellulare, inviando l'informazione sul display del telefonino o magari, attraverso le tecniche che rendono possibile la navigazione a voce (*voice browsing*) rendendo disponibile il contenuto del sito Web attraverso l'auricolare del telefono.

9. Conclusioni

La fornitura di servizi dati su terminali mobili è unanimemente considerata un'attraente possibilità di business. Essa è comunque ostacolata da difficoltà oggettive di carattere tecnologico, dovute alle caratteristiche del terminale e del canale trasmissivo. L'accesso da parte di un terminale mobile alle informazioni e servizi disponibili su Internet, e in particolare sul WWW, non sembrava possibile senza una qualche forma di adattamento all'ambiente mobile di una realtà nata e cresciuta per l'accesso da parte di terminali completamente diversi (i Personal Computer) su un canale trasmissivo più capace (la connessione modem da telefono fisso).

L'urgenza di trovare una soluzione percorribile ha coagulato gli interessi di una serie di Aziende (costruttori di apparati mobili, gestori di telefonia

mobile) che si sono riunite in un Consorzio che ha rapidamente sviluppato una serie di specifiche tecniche (conosciute collettivamente col nome di WAP) mirate a risolvere i problemi che un accesso diretto di terminali mobili a Internet avrebbe comportato. La soluzione WAP è ora nella fase di diffusione commerciale da parte di gestori e costruttori di terminali, e rende possibile anche una prima valutazione dei ritorni economici che l'offerta di servizi di questo tipo può comportare.

Una soluzione diversa, ma comunque specifica per il mondo dei cellulari, denominata I-Mode, è stata adottata su un piano mondiale da un solo gestore, e ha avuto uno straordinario successo in termini di crescita di utenza.

Questo risultato dimostra che l'idea di accostare i servizi Internet e la rete cellulare è potenzialmente una scommessa vincente. Un'alternativa più recente consiste nella possibilità di accedere a servizi Web utilizzando ancora il telefono come terminale, ma navigando tramite la voce. Anche questa soluzione è specifica per terminali di tipo telefonico.

Mentre tutte queste soluzioni di breve termine risolvono il problema della realizzazione veloce di servizi di accesso da telefono a Web, il Consorzio W3C - che presidia lo sviluppo del Web - sta studiando e specificando soluzioni tecniche di più ampio respiro, che risolvano non solo i problemi specifici dei terminali telefonici mobili o fissi, ma quelli più generali di una moltitudine variegata di terminali, attuali o più o meno futuribili, per far sì che essi possano in maniera semplice utilizzare servizi e informazioni disponibili sul Web.

Il lavoro del W3C ha respiro di più lungo periodo rispetto alle soluzioni viste nell'articolo, e si pensa che esso possa costruire un framework ragionevole per la convergenza futura e la realizzazione dell'obiettivo di lungo periodo: quella di avere sul Web contenuti che sono indipendenti dal mezzo di accesso usato per raggiungerli, e che si "adattano" alle esigenze di visualizzazione e di fruizione dei diversi utenti e terminali.



Franco Guadagni si è laureato in Ingegneria Elettronica all'Università di Pisa nel 1980, e lavora in CSELT a Torino dal 1981. Da allora ha sempre operato nel campo delle reti dati, inizialmente collaborando per l'introduzione in Italia della rete a commutazione di pacchetto ITAPAC, in seguito occupandosi di applicativi OSI (posta elettronica X.400, File Transfer). Dal 1990 la sua attività si è sempre più focalizzata sulla rete e sulle applicazioni Internet, fino alla costituzione in CSELT, nel

marzo 1998, di una linea di ricerca denominata "Servizi Internet", di cui è responsabile. I settori trattati nel suo Gruppo di lavoro comprendono il Commercio Elettronico, la Security su Internet, le applicazioni multimediali a larga banda. Dal 1995 rappresenta Telecom Italia nell'Advisory Committee del World Wide Web Consortium, l'Organismo di standardizzazione che guida l'evoluzione tecnica del Web. Dal 1998 è anche rappresentante aggiunto di Telecom Italia nella Internet Society (ISOC).

franco.guadagni@cse.lt.it

Abbreviazioni

ASR	Automated Speech Recognition.
CC/PP	Composite Capability / Preference Profile
CDMA	Code Division Multiple Access
CDPD	Cell Digital Packet Data
C-HTML	Compact HTML
GGSN	Gateway GPRS Support Nodes
GIF	Graphics Interface Format
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
GTP	Gateway Tunneling Protocol
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IETF	Internet Engineering Task Force
OSI	Open System Interconnection
PDC-P	Personal Digital Cellular-Packet
PHS	Personal Handyphone System
SGSN	Serving GPRS Support Nodes
SMS	Short Messaging Service
TDMA	Time Division Multiple Access
TTS	Text To Speech
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URIs	Uniform Resource Indicators
URLs	Uniform Resource Locators
W3C	World Wide Web Consortium
WAE	Wireless Application Environment
WAP	Wireless Application Protocol
WDP	Wireless Datagram Protocol
WML	Wireless Markup Language
WSP	Wireless Session Protocol
WTA	Wireless Telephony Application
WTLS	Wireless Transport Layer Security
WTP	Wireless Transaction Protocol
WWW	World Wide Web
XML	eXtensible Markup Language

Bibliografia

- [1] Guadagni, F.: *Nomi e indirizzi Internet: rivoluzione in vista?*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 8, n. 2, agosto 1999, pp. 35-49.

Campi elettromagnetici e comunicazioni cellulari

Un contributo all'approfondimento di queste tematiche

Di pari passo con il successo dei servizi radiomobili e con la conseguente diffusione di terminali e impianti radio cresce l'attenzione, e talvolta la preoccupazione, circa gli aspetti sanitari e di impatto ambientale. Non v'è dubbio, d'altra parte, che nella prospettiva imminente della disponibilità di varie tecnologie di accesso radio a servizi multimediali interattivi, la convivenza dell'uomo con le onde elettromagnetiche (e.m.) tenderà a manifestarsi sempre più capillarmente nell'interesse di strati sempre più vasti delle popolazioni, sia nei Paesi avanzati che in quelli in via di sviluppo.

Ne conseguono pertanto due importanti doveri sociali per tutti gli operatori a vario titolo coinvolti: in primo luogo, l'acquisizione di conoscenze sempre più puntuali dei meccanismi di interazione tra onde e.m. e corpo umano e, in secondo luogo, la rigorosa e responsabile informazione dell'opinione pubblica. È con questo spirito che ho assolto all'invito del *Notiziario Tecnico Telecom Italia* di collezionare una serie di articoli tecnico-scientifici su temi rilevanti nell'ampio panorama delle discipline che contribuiscono alla conoscenza degli effetti dei campi e.m. prodotti da sistemi radiomobili e all'attuazione delle misure di protezione e controllo. Il risultato di questo impegno è raccolto in questo numero del *Notiziario* e nel prossimo che ospitano i contributi di studiosi di fama internazionale, che ringrazio per avere

accettato di esprimere qui il loro autorevole punto di vista. Il tema trattato è per sua natura fortemente interdisciplinare e richiede, per un'adeguata esposizione, competenze che spaziano dai settori della medicina e della biologia a quelli delle telecomunicazioni e delle misure, fino a quelli delle scienze sociali e giuridiche. La serie di articoli raccolti nei due numeri si propone di fornire un'aggiornata visione d'insieme di tali tematiche.

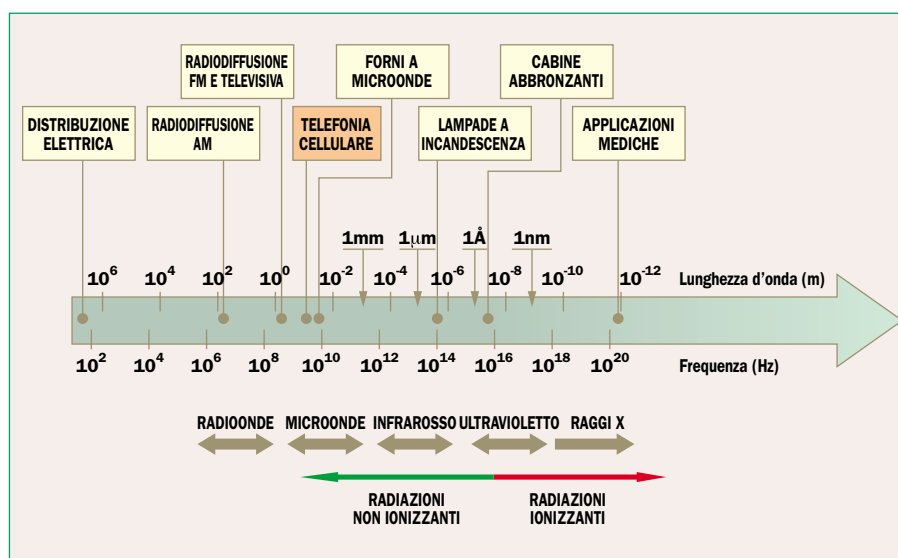


Figura 1 Lo spettro elettromagnetico e alcune applicazioni.

È forse utile, in sede di presentazione, richiamare subito alcuni concetti e informazioni di carattere generale e propedeutici. Come è noto i sistemi radiomobili cellulari operano in bande di frequenza che, a seconda dei Paesi e dei tipi di sistema (ad esempio in Italia ETACS e GSM), sono collocati in alcune bande tra circa 800 MHz e circa 1900 MHz: ai futuri sistemi, detti di terza generazione, sono state attribuite frequenze nella regione spettrale immediatamente superiore fino a 2200 MHz. Pertanto i sistemi cellulari operano, grosso modo, nella banda 1-2 GHz, ossia all'inizio dell'intervallo spettrale denominato *regione delle microonde* (figura 1). Naturalmente molti altri servizi insistono su frequenze contigue in quella che, per ragioni di propagazione e tecnologiche, è una delle regioni più "affollate" dello spettro elettromagnetico. Lo spettro viene anche classificato in *spettro delle radiazioni non*

ionizzanti, dalle frequenze più basse fino a circa 10^{16} Hz ($\lambda = 30$ nm) e, al di sopra di questo valore, spettro delle radiazioni ionizzanti. La frontiera si trova nella regione dell'ultravioletto e le radiazioni ionizzanti sono così denominate in quanto l'energia trasportata dai fotoni è sufficiente ad estrarre elettroni dagli atomi. A contatto con i tessuti le radiazioni ionizzanti, ad esempio i raggi X, sono considerate una pericolosa causa di danno biologico. Viceversa, l'effetto biologico misurabile delle microonde consegue al riscaldamento dei tessuti: altri effetti, allo stato attuale delle conoscenze, non sembrano dimostrati e su questi, in particolare, sono in corso in tutto il mondo vaste campagne di ricerca.

Per determinare gli effetti delle onde e.m. le scienze medica e biologica adottano due classici tipi di ricerche: studi epidemiologici, ossia indagini statistiche sull'uomo, e prove di laboratorio *in vivo* e *in vitro*. A queste ricerche si affiancano, specialmente con riferimento al caso dell'irradiazione della testa umana, i modelli di calcolo e simulazione con calcolatore elettronico e le misure mediante fantocci con calibrate proprietà elettromagnetiche. A valle di queste indagini, svolte da anni in tutto il mondo da qualificati laboratori e centri di ricerca, esiste già oggi un poderoso corpus di risultati pubblicati nella letteratura specialistica. Le ricerche sono spesso dirette a livello nazionale o internazionale da accreditati enti, tra cui il più autorevole è senz'altro l'Organizzazione Mondiale della Sanità (*World Health Organization, WHO*). La nostra serie di articoli apre con il contributo del Dr. M. Repacholi intitolato "Il progetto internazionale sui campi elettromagnetici del WHO" (titolo originale: "WHO's International EMF project") che delinea un programma di ricerca coordinato iniziato nel 1996 e di cui si prevede il completamento nel 2005 con l'obiettivo di "stabilire gli effetti sulla salute e sull'ambiente dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici nella regione spettrale da 0 a 300 GHz." L'articolo del Dr. Repacholi dà pienamente conto della complessità e dell'approfondimento necessari per pervenire a risultati scientificamente provati.

Le ricerche mediche forniscono i parametri primari necessari per la successiva determinazione dei limiti di irradiazione da impiegare nella progettazione degli impianti radio in condizioni di sicurezza. I limiti sono spesso basati su standard elaborati da associazioni volontaristiche, quale ad esempio lo *IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)* negli Stati Uniti d'America: particolarmente influente è lo standard IEEE C95 1-1991 (K.R. Foster, J.E. Moulder, "Are mobile phones safe?", IEEE Spectrum, agosto 2000, pp. 23-28). Doverosamente, i limiti massimi stabiliti per l'esposizione umana alle radiazioni includono fattori di sicurezza assai cautelativi.

La grandezza primaria di base, cui viene comunemente dato il nome di *SAR (Specific Absorption Rate)*, è la potenza di irradiazione per chilogrammo di peso corporeo assorbita dall'organismo sotto esame. Quanto più grande è il valore di SAR, tanto maggiore è l'effetto di riscaldamento dei tessuti biologici sottoposti ad irradiazione. Gli esperti osservano il limite di SAR a cui si associa un incremento termico tale da causare anomalie di comportamento sulle cavie di laboratorio nello svolgimento di azioni alle quali esse sono state addestrate. Nel secondo articolo della serie dal titolo "I rischi sanitari della telefonia cellulare: valutazione, percezione, informazione", il Dr. P. Vecchia ricorda che il valore limite di SAR generalmente accettato, corrispondente a un incremento pari a circa 1°C , è di 4W/kg . Nel suo articolo l'autore distingue gli effetti a breve termine dell'esposizione ai campi e.m. da quelli a lungo termine richiamando criteri e metodi alla base delle indagini scientifiche che hanno condotto alle normative protezionistiche in vigore in molti Paesi, tra cui l'Italia. Successivamente si sofferma su un importante aspetto, sia pure non strettamente sanitario ma di compatibilità elettromagnetica, legato all'interferenza con *pacemaker* e altri dispositivi impiantati, nonché con apparati biomedicali in ambiente ospedaliero. Infine esamina interessanti questioni relative alla percezione soggettiva del rischio, evidenziando la differente sensibilità dell'opinione pubblica rispetto alla presenza della stazioni radiobase che presentano livelli di potenza generalmente piccoli ma determinano spesso fenomeni sociali di rigetto in quanto percepite come imposte e fuori del diretto controllo soggettivo.

Le raccomandazioni degli organismi internazionali più autorevoli e le norme in materia dei Paesi sviluppati, incluse le direttive dell'Unione Europea, forniscono limiti assai severi per i livelli di densità di potenza irradiata dagli impianti radiomobili (4,5 W/m² a 900 MHz e 9 W/m² a 1800 MHz), in attuazione del criterio di salvaguardia della salute che suggerisce di imporre ampi fattori cautelativi. In Italia la normativa attuativa di riferimento è rappresentata dal Decreto Interministeriale 10 settembre 1998, n. 381, contenente il "Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana". Il Decreto fissa valori limite all'esposizione della popolazione ai campi e.m. connessi al funzionamento e all'esercizio dei sistemi fissi di telecomunicazione e radiotelevisivi operanti nell'intervallo di frequenza compresa fra 100 kHz e 300 GHz. Esso fornisce livelli di campo elettrico e magnetico e di densità di potenza mediati su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano e su qualsiasi intervallo di sei minuti (medie spaziale e temporale). Per le frequenze di interesse nei sistemi cellulari il valore limite di densità di potenza media (indipendente dalla frequenza) è di 1 W/m², portato a 0,1 W/m², ossia ridotto di un ulteriore fattore cautelativo pari a 10, per le installazioni in aree con edifici adibiti a permanenza maggiore di 4 ore (in pratica, ovunque siano presenti edifici). Inoltre la norma si intende applicata alla somma dei contributi dovuti all'insieme delle sorgenti eventualmente presenti e le modalità di verifica includono sia calcoli che, se necessario, misure in campo. In definitiva, per aree abitate la norma italiana risulta più severa delle indicazioni comunitarie rispettivamente di almeno 45 volte (a 900 MHz) e di 90 volte (a 1800 MHz).

Questa serie prosegue con l'articolo a cura del Dr. A. Ancora, che tratta appunto "Il quadro normativo internazionale e comunitario", richiamando dapprima i principali organismi internazionali che disciplinano i limiti di esposizione ai campi elettrici e magnetici. L'autore passa successivamente a considerare il Decreto 10 settembre 1998, n. 381, che rappresenta la normativa nazionale emanata con l'intento di superare la precedente disomogeneità di regolamentazione regionale. Infine, l'autore richiama le evoluzioni normative in corso e ripercorre la più recente giurisprudenza in materia.

A valle del processo normativo occorre dotarsi di strumenti di controllo efficaci per assicurare il rispetto dei limiti prescritti. Nel suo contributo "Valutazione dell'esposizione a radiazione elettromagnetica emessa da ripetitori per telefonia cellulare", il Dr. G. d'Amore si sofferma sui metodi di misura dell'intensità della radiazione da parte delle stazioni radiobase e presenta i risultati dell'attività di monitoraggio svolta dal Dipartimento di Ivrea dell'ARPA (*Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente*) della Regione Piemonte. In una prima parte del lavoro, l'autore richiama le principali caratteristiche dei sistemi cellulari. Successivamente esamina le principali modalità di misura che si differenziano tra misure a larga banda, utilizzate per una preliminare indagine dei livelli di campo nell'area per determinare i punti di maggiore esposizione, e a banda stretta per una successiva valutazione più accurata del livello. Infine l'autore mostra risultati di misura ottenuti mediante banco automatico collocato su laboratorio mobile costituito da un furgone schermato.

In questo numero, con l'aiuto degli autori, seguiamo dunque un percorso che si articola dalla fase di impostazione della ricerca, ai suoi risultati, all'azione normativa e, infine, alla verifica e al controllo in campo. L'obiettivo è di offrire gli elementi basilari per comprendere il funzionamento del "sistema sicurezza" in un settore tanto importante qual è quello delle radiazioni dei campi elettrici e magnetici da parte degli impianti radiomobili. Si invita il lettore interessato a considerare anche il prossimo numero, che conterrà ulteriori approfondimenti su significativi aspetti di ricerca.

Francesco Vatalaro

Campi elettromagnetici e comunicazioni cellulari

Who's International EMF project

Progetto Internazionale EMF dell'Organizzazione Mondiale della Sanità¹

MICHAEL HARRY REPACHOLI

With growing concern being expressed that exposure to electromagnetic fields (EMF) may cause various health effects and that everyone in the world, both in developed and developing countries, is now subjected to EMF from manmade sources, WHO established the International EMF Project in 1996 to move towards a resolution to this issue.

Briefly the International EMF Project provides: a co-ordinated international response to the concerns about possible health effects of exposure to EMF; assesses the scientific literature and make status reports on health effects; identifies gaps in knowledge needing further research to make better health risk assessments; encourages a high quality, focused research programme to fill important gaps in knowledge; incorporates research results into WHO Environmental Health Criteria monographs, in which formal health risk assessments of exposure to EMF will be made; provides information on risk perception, risk communication and risk management as they apply to EMF; provides advice and publications to national authorities on EMF issues; and facilitates the development of internationally acceptable standards for EMF exposure.

This presentation provides an update of activities and outputs for the International EMF Project.

A causa della crescente preoccupazione circa la possibilità che i campi elettromagnetici (EMF) possano comportare vari effetti sulla salute e che chiunque nel mondo, sia nei Paesi sviluppati sia in quelli in via di sviluppo, è oggi esposto ai campi elettromagnetici generati da sorgenti artificiali, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO-OMS) ha istituito, nel 1996, il progetto Internazionale EMF, per muoversi verso la risoluzione di questo problema.

In sintesi il progetto Internazionale EMF: fornisce una risposta internazionale coordinata alle preoccupazioni circa i possibili effetti sulla salute dovuti all'esposizione ai campi elettromagnetici (EMF); valuta la letteratura scientifica e prepara un rapporto sullo stato degli effetti sulla salute; identifica le lacune nella conoscenza individuando ulteriori ricerche per meglio valutare il rischio sulla salute; incoraggia programmi di ricerca finalizzati, di alta qualità, per colmare gravi lacune nella conoscenza; include i risultati di ricerca nelle monografie "Environmental Health Criteria" dell'OMS, nelle quali viene fatta un'esplicita valutazione del rischio da esposizione ai campi elettromagnetici; fornisce informazioni sulla percezione del rischio, sulla comunicazione e sulla gestione del rischio relativamente ai campi elettromagnetici; dà pareri e studi alle Autorità nazionali sui temi dei campi elettromagnetici; agevola lo sviluppo di standard condivisi a livello internazionale per l'esposizione da campi elettromagnetici.

Quest'articolo fornisce una breve indicazione aggiornata sulle attività e sui risultati del progetto Internazionale EMF.

1. Introduction

The WHO (World Health Organization) takes seriously the concerns raised by reports about possible health effects from exposure to EMF (ElectroMagnetic Fields). Cancer, changes in behaviour, memory loss, Parkinson and Alzheimer's diseases, and many other diseases have been suggested as resulting from exposure to EMF. Everyone in the world is now exposed to a complex mix of EMF frequencies in the range 0-300 GHz. EMF has become one of the most pervasive environmental influences and exposure levels at

1. Introduzione

Il WHO (World Health Organization) considera in maniera seria le preoccupazioni sollevate da rapporti circa i possibili effetti sulla salute generati dall'esposizione ai campi elettromagnetici (EMF, ElectroMagnetic Fields). Sono state ipotizzate numerose malattie derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici tra le quali il cancro, mutamenti nel comportamento, perdita

⁽¹⁾ [NdR] Testo pervenuto il 10 maggio 2000.

many frequencies are increasing significantly as the technological revolution continues unabated and new applications using different parts of the spectrum are found. Major sources of EMF exposure include: electric power generation, distribution and use; transportation systems; telecommunications facilities and associated devices such as mobile telephones; medical, commercial and industrial equipment; radars; and radio and television broadcast antennas.

2. International EMF Project

WHO established the International EMF Project to assess health and environmental effects of exposure to static and time varying electric and magnetic fields in the frequency range 0 - 300 GHz. The Project commenced at WHO in 1996 and is scheduled for completion in 2005. It has been designed to follow a logical progression of activities and produce a series of outputs to allow improved health risk assessments to be made and to identify any environmental impacts of EMF exposure. The ultimate objectives of the Project are to provide sound advice to national authorities on how best to manage the EMF issues, and to complete health risk assessments that will lead to the development of an international consensus on exposure guidelines. Details on the EMF Project are available on the home page at: <http://www.who.ch/emf/>. An overview of the complete EMF Project is shown in figure 1.

WHO, through its International EMF Project, has recently conducted in-depth international reviews of the scientific literature on the biological and health effects of exposure to radiofrequency (RF), and static and Extremely Low Frequency (ELF) fields. These reviews were conducted with the purpose of identifying;

1. health effects that can be substantiated from the literature, and
2. biological effects that are suggestive of possible health effects, but require further research to determine if exposure to EMF at the low levels of exposure normally encountered in the living and working environment has any impact on health.

The results of these reviews have been published (Repacholi, 1998; Repacholi & Greenebaum, 1999 [1], [2]). Research still needed to fill these gaps in knowledge form the WHO EMF Research Agenda that is available on the EMF Project home page or from WHO.

Having completed the initial international scientific reviews, WHO is now urging EMF funding agencies world wide to give priority to this research, if it is their intention to obtain results that will assist both WHO and the IARC (*International Agency for Research on Cancer*) to make better health risk assessments.

Both WHO and IARC have already established a timetable for assessing health effects of EMF fields. In 2001 IARC will conduct a meeting to formally identify and evaluate the evidence for carcinogenesis from exposure to static and extremely low frequency

di memoria, morbo di Parkinson e di Alzheimer. Oggi tutti noi nel mondo siamo esposti a una combinazione complessa di campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenze da 0 a 300 GHz.

L'EMF è diventato uno dei fattori ambientali più diffusi ed i livelli di esposizione, a molte frequenze, sono cresciuti significativamente con il progresso dell'evoluzione tecnologica e si trovano continuamente nuove applicazioni utilizzando parti differenti dello spettro di frequenza.

Le principali sorgenti di esposizione da campi elettromagnetici comprendono: la generazione dell'energia elettrica, la sua distribuzione e l'utilizzo; i sistemi di trasporto; i sistemi di telecomunicazione e i dispositivi associati come i telefoni portatili; gli apparati medicali, commerciali e industriali; i radar; i sistemi di antenna per la diffusione radiofonica e televisiva.

2. Il progetto Internazionale EMF

L'OMS ha istituito il Progetto Internazionale EMF per valutare gli effetti sulla salute e sull'ambiente derivati dall'esposizione ai campi elettrici e magnetici, statici e variabili nel tempo, nell'intervallo di frequenze comprese tra 0 e 300 GHz. Il Progetto è iniziato presso l'OMS nel 1996 e il completamento è previsto per il 2005. Esso persegue l'obiettivo anzitutto di seguire le attività con una successione logica; di produrre poi una serie di risultati per consentire una migliore stima del rischio e di identificare infine qualsiasi impatto ambientale dovuto all'esposizione a campi elettromagnetici.

Gli obiettivi fondamentali del Progetto sono quelli di



(ELF) fields. IARC will publish the results of this meeting in the IARC Monograph Series. The International EMF Project will accept the IARC conclusions on carcinogenesis and incorporate them into the results of a WHO evaluation of non-cancer health risk assessment of exposure to static and ELF fields in 2002. The results and conclusions will be published in the Environmental Health Criteria series.

It is anticipated that IARC will conduct a similar evaluation of evidence for carcinogenicity of RF fields in 2003. WHO would then complete an overall health risk assessment of exposure to RF fields in 2004.

3. EMF risk perception, communication and management

International seminar were held in Vienna (October 1997) and Ottawa (September 1998) to discuss application of the principles of risk perception and risk management to EMF fields. The seminars were followed by working group meetings to progress draft report on this topic.

The proceedings of the Vienna seminar have already been published by ICNIRP (1998) and the Ottawa meeting proceedings will be published by WHO in 1999. Further publications coming to press concerning this issue will be a WHO monograph and

fornire una valida informazione alle Autorità nazionali su come meglio gestire le problematiche relative ai campi elettromagnetici (EMF) e, allo stesso tempo, di completare la valutazione del rischio sulla salute che porterà allo sviluppo di un consenso internazionale relativamente alle linee guida per l'esposizione. I particolari relativi al progetto EMF sono disponibili presso il sito Internet <http://www.who.ch/emf/>.

Uno schema generale dell'intero Progetto EMF è mostrato in figura 1.

L'OMS, con il Progetto Internazionale EMF, ha recentemente condotto approfonditi esami della letteratura internazionale relativamente agli effetti biologici e sulla salute causati dall'esposizione alle radiofrequenze, RF (Radio Frequency) e relativamente ai campi statici ed a frequenza estremamente bassa, ELF (Extremely Low Frequency).

Questi esami sono stati eseguiti con l'obiettivo di identificare:

1. effetti sulla salute la cui fondatezza è dimostrata dalla letteratura;
2. effetti biologici che sono indicativi di possibili effetti sulla salute, ma che richiedono ricerche ulteriori per determinare se l'esposizione ai campi elettromagnetici di basso livello, che si incontrano normalmente nell'ambiente domestico e in quello di lavoro, hanno un qualche impatto sulla salute.

I risultati di queste indagini sono stati pubblicati (Repacholi, 1998; Repacholi & Greenebaum, 1999 [1], [2]). Le ricerche ancora necessarie per colmare le

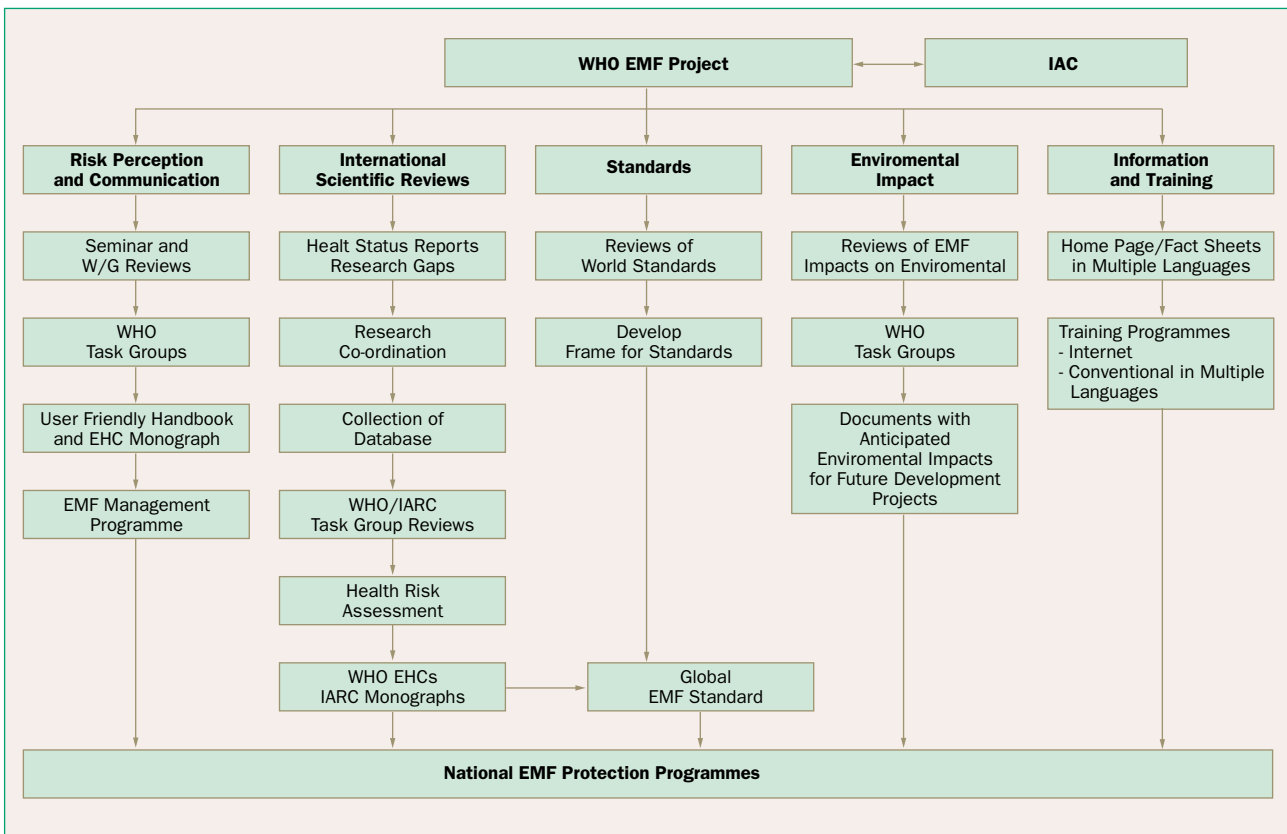


Figura 1 A schematic outline of the activities and outputs of the International EMF Project. Schema delle attività e dei risultati del progetto Internazionale EMF.

a Handbook. Terms of reference for the monograph are as follows:

- Intended for use by governmental and non-governmental authorities, as well as by individuals seeking further information about this topic.
- To foster a better understanding of governmental, non-governmental, and individual views on EMF issues, how they can be better communicated, and how fruitful resolution of disagreements can be fostered.
- Provide an easily readable overview of the characteristics and underlying assumptions of peoples' perceptions of EMF risk, differences between scientific, governmental and popular views, and why these occur. Theoretical concepts of risk perception and risk communication will be presented and explained as necessary to provide context and understanding.
- Be practical and provide sufficient information for agencies and organizations to examine their current approaches to EMF and to design better and more effective information and risk management programmes. Information provided should be "user friendly" and "menu-driven" (e.g. through extensive indexing) where possible.

Its information will be useful to individuals and capable of helping them better understand the process of scientifically-based risk assessment, the approaches and assumptions involved, and their reliability. The Handbook will be a user-friendly, how-to publication with some 40 frequently asked questions answered within a format that is easily read and practical for EMF programme managers who need basic information on EMF risk perception, communication and management.

Both the Monograph and the Handbook should be published in 2000 and will be available through the EMF Project at WHO.

Further Reading

- [1] Repacholi, MH (1998): *Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields. Health effects and research needs.* Bioelectromagnetics 19: 1-19, 1998.
- [2] Repacholi, MH & Greenebaum, B (1999): *Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems. Health effects and research needs.* Bioelectromagnetics 20: 133-160.

Fact Sheets

The following WHO Fact Sheets concerning EMF have been published or are being drafted:

- [3] Electromagnetic Fields and Public Health. *The International EMF Project.* WHO Fact Sheet #181 October 1997, reviewed May 1998. (Available in

lacune della conoscenza su questi temi costituiscono il programma di ricerca del progetto EMF dell'OMS e sono disponibili sul sito del Progetto EMF presso l'OMS.

Dopo aver completato la parte preliminare dell'esame della letteratura scientifica internazionale, l'OMS sta ora spingendo gli Enti finanziatori a livello mondiale per dare priorità a questa ricerca, qualora fosse loro intenzione ottenere risultati che siano di ausilio sia all'OMS sia all'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) in modo da avere una migliore valutazione del rischio sulla salute.

Sia l'OMS che lo IARC hanno già stabilito un programma per la valutazione degli effetti sulla salute generati dai campi elettromagnetici. Nel 2001 lo IARC organizzerà un incontro per identificare ufficialmente e per valutare l'evidenza della carcinogenesi dovuta all'esposizione a campi statici ed a bassissima frequenza (ELF).

Lo IARC pubblicherà i risultati di questo incontro nella propria collana di monografie. Il progetto Internazionale EMF accetterà le conclusioni dello IARC sulla carcinogenesi e le includerà nel 2002 tra i risultati di una valutazione dell'OMS sulla stima rela-



La home page dell'International EMF Project (www.who.int/peh-emf/).

tiva all'esclusione del rischio di cancro sulla salute da esposizione ai campi statici e ELF. I risultati e le conclusioni saranno pubblicati nella collana *Environmental Health Criteria*.

È stato già anticipato che lo IARC nel 2003 eseguirà una valutazione simile di evidenza di cancerogenicità da campi a radio frequenza (RF). L'OMS vorrebbe quindi completare nel 2004 una valutazione globale del rischio per la salute relativa all'esposizione da campi a radio frequenza (RF).

3. Percezione, comunicazione e gestione del rischio relativamente ai campi elettromagnetici

Sono stati tenuti due seminari internazionali, a

- English, French, Spanish, German and Russian)
- [4] Electromagnetic Fields and Public Health: *Physical Properties and Effects on Biological Systems*. WHO Fact Sheet #182 October 1997, reviewed May 1998. (Available in English, French, Spanish, Italian, German and Russian).
 - [5] Electromagnetic Fields and Public Health: *Health Effects of Radiofrequency Fields*. WHO Fact Sheet #183 October 1997, reviewed May 1998. (Available in English, French, Spanish, Italian, German and Russian).
 - [6] Electromagnetic Fields and Public Health: *Public Perception of EMF Risks*. WHO Fact Sheet #184 October 1997, reviewed May 1998. (Available in English, French, Spanish, Italian, German and Russian).
 - [7] Electromagnetic Fields and Public Health: *Mobile Telephones and their Base Stations*. WHO Fact Sheet #193 May 1998. (Available in English, French, Spanish, Italian and Russian)
 - [8] *Video Display Units (VDUs) and Human Health*. WHO Fact Sheet #201 July 1998 (Available in English, French, Italian and Spanish).
 - [9] Electromagnetic Fields and Public Health: *Extremely Low Frequency (ELF) Electromagnetic Fields*. WHO Fact Sheet #205 November 1998 (Available in English, French and Spanish).

Most published Fact Sheets are now available in English, French, Italian, German, Russian and Spanish. Translation into other languages would be considered if national authorities could assist. WHO fact sheets are available on the Project home page.

Press Releases

The following press releases have been published by WHO on the Project:

- 1 *WHO Launches New International Project to Assess Health Effects of Electric and Magnetic Fields*. Press release WHO/42, 4 June 1996.
- 2 *Electromagnetic fields: Experts Met in Vienna to Assess Public Perceptions of Risks*. Press release WHO/75, 23 October, 1997.
- 3 *Health Effects of Electromagnetic Fields: WHO Recommends Research Priorities*. Press release WHO/95, 19 December 1997.
- 4 *Scientists Meet in Moscow to Discuss Adverse Effects of Electromagnetic Fields*. Press release WHO/38, 20 May 1998.
- 5 *WHO launches an initiative to harmonize EMF standards worldwide*. Press release WHO/88, 17 November 1998.

All press releases are available in English and French, and some are available in other languages, particularly the language of the city in which the release was issued. Further details can be obtained from the Programme Manager, Health Communications and Public Relations, WHO, Geneva, Tel: +41 22 791 2532, Fax: +41 22 791 4858. All WHO press releases can be obtained on the Internet on the WHO HOME PAGE <http://www.who.ch/>.

Vienna (ottobre 1997) e ad Ottawa (nel settembre 1998), per discutere le applicazioni dei principi di percezione e gestione del rischio relativamente ai campi elettromagnetici. I seminari sono stati seguiti da incontri di Gruppi di studio per sviluppare bozze di rapporto su questi argomenti. Gli atti del seminario di Vienna sono stati già pubblicati dall'ICNIRP (1998) mentre gli atti del seminario di Ottawa sono stati pubblicati nel 1999.

Ulteriori pubblicazioni che stanno per andare in stampa relativamente a questi argomenti consistono in monografie e manuali dell'OMS.

Termini di riferimento per le monografie sono i seguenti:

- progettati per l'uso da parte delle Autorità governative e non governative, come pure da singoli individui per la ricerca di ulteriori informazioni relativamente a questa tematica;
- per favorire una migliore comprensione del quadro di riferimento sugli argomenti relativi ai campi elettromagnetici di Enti governativi, non governativi e di singoli individui, e su come possono essere meglio comunicati e come possa essere incoraggiata una conveniente soluzione dei punti di disaccordo;
- per fornire una panoramica facilmente leggibile delle caratteristiche e delle ipotesi di base della percezione del rischio della popolazione relativamente ai campi elettromagnetici, differenze tra i punti di vista scientifici, governativi e della popolazione, e perché questi avvengono. Saranno presentati e chiariti, quando necessario, i concetti di percezione del rischio e di comunicazione del rischio in modo da fornire il contesto in cui esse si applicano e da favorirne la comprensione;
- operare in maniera applicativa e fornire sufficienti informazioni alle Agenzie e alle Organizzazioni per esaminarne gli attuali approcci ai campi elettromagnetici (EMF) e per progettare meglio e in maniera più efficace i programmi di informazione e gestione del rischio. Le informazioni fornite dovrebbero essere facili da usare (*user friendly*) e guidate ove possibile da menù (ad esempio attraverso un esteso indice).

Le informazioni contenute saranno vantaggiose per i singoli individui e permetteranno di aiutare a meglio comprendere il processo della stima del rischio imposta su basi scientifiche; gli approcci e le assunzioni utilizzati, e la relativa affidabilità. Il manuale sarà di facile utilizzo, una pubblicazione del tipo "come fare" con le quaranta domande maggiormente richieste e con le risposte date in maniera facile da leggere e di uso pratico per i gestori di programmi sui campi elettromagnetici, che hanno bisogno di informazioni di base sulla percezione del rischio dei campi elettromagnetici, sulla comunicazione e sulla gestione.

Schede Sia le monografie che il manuale saranno pubblicati entro l'anno e saranno disponibili attraverso il Progetto EMF presso l'OMS. I documenti dell'OMS sono disponibili anche in italiano sul sito <http://www.who.ch/>.

Michael Harry Repacholi, Responsible officer for radiation protection and global hazards assessment, World Health Organization, Geneva, Switzerland. Chairman Emeritus of the International Commission on non-ionizing radiation protection. B.Sc (physics) University of Western Australia; M.Sc. (radiation biology) London University, United Kingdom; Ph.D (biology) Ottawa University, Canada.

Campi elettromagnetici e comunicazioni cellulari

I rischi sanitari della telefonia cellulare: valutazione, percezione, informazione

PAOLO VECCHIA

È largamente dimostrato che l'introduzione di nuove tecnologie comporta problemi di accettabilità, tanto maggiori quanto più tali tecnologie sono innovative e quanto più rapidamente esse si diffondono. La telefonia cellulare presenta entrambe queste caratteristiche e non deve quindi sorprendere che la sua diffusione desti, accanto ad entusiasmi, anche interrogativi. In particolare, sono state manifestate preoccupazioni per un possibile riscaldamento dei tessuti cerebrali, per un eventuale ruolo dei campi elettromagnetici nello sviluppo di tumori, per le interferenze dei telefoni cellulari con i pacemaker e con altri dispositivi medici, sia impiantati nel corpo dei pazienti sia presenti in ambienti ospedalieri. L'articolo analizza quanto queste preoccupazioni siano giustificate dai risultati della ricerca scientifica e quanto invece siano dovute a una distorta percezione dei rischi, a sua volta legata, in larga misura, a una non corretta informazione.

1. Introduzione

Con la progressiva, continua espansione della telefonia cellulare si sono andati moltiplicando anche gli interrogativi sui possibili rischi per la salute che, in modo diretto o indiretto, questa tecnologia può comportare. Se infatti nella fase iniziale di sviluppo del mercato l'attenzione era concentrata quasi esclusivamente sul telefono portatile e sui possibili effetti termici cui la radiazione elettromagnetica emessa nelle immediate vicinanze della testa poteva dar luogo, sono successivamente emersi altri motivi di interesse e dibattito, come gli eventuali effetti dei campi generati dalle antenne radio base, i problemi di compatibilità elettromagnetica o le ipotesi di effetti a lungo termine dell'esposizione a campi elettromagnetici a microonde.

Molti di questi problemi non riguardano, in realtà, la sola telefonia cellulare, ma più in generale i sistemi di radiotelefonia mobile nel loro complesso. Le numerose ricerche svolte in questi ultimi anni sulla spinta degli interrogativi posti dalla telefonia cellulare hanno quindi indotto anche a una revisione critica di quanto si riteneva già acquisito per tali sistemi, evidenziando in taluni casi problemi protezionistici che non erano stati precedentemente considerati o adeguatamente valutati.

Con questa nota si vuole fornire un quadro aggiornato, anche se necessariamente sintetico, delle attuali conoscenze, dei problemi tuttora aperti e dei più recenti orientamenti normativi nel campo della telefonia cellulare e, più in generale, della radiotelefonia mobile.

2. Effetti a breve termine dell'esposizione

Come è ampiamente documentato da un grandissimo numero di studi compiuti nell'arco di oltre quarant'anni [1] [2] l'effetto primario dei campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde è il riscaldamento dei tessuti, conseguente all'assorbimento dell'energia elettromagnetica che viene dissipata sotto forma di calore. A questo processo di interazione possono conseguire tutta una serie di effetti - generalmente ben compresi e documentati - che sono comunque associati all'aumento globale o locale della temperatura corporea piuttosto che ai campi elettromagnetici in se stessi.

Tali effetti, che per le ragioni appena esposte vengono normalmente indicati come effetti termici, sono quelli che le attuali normative protezionistiche mirano a prevenire. Senza entrare nel merito delle linee guida internazionali, per le quali si rimanda ai relativi documenti scientifici [2] [3] [4], è qui di seguito ricordato che alla base di esse vi è l'assunzione che un aumento stabile, per un periodo prolungato di tempo, della temperatura generale o locale all'interno del corpo pari a 1°C costituisca un limite per l'insorgenza di effetti biologici, sia pure di modesta entità.

Da questo limite, attraverso modelli dosimetrici, ne è stato ricavato uno, corrispondente in termini di tasso di assorbimento specifico o SAR (*Specific Absorption Rate*), pari a 4 W/kg; da questo valore, sempre attraverso opportuni modelli teorici ed introducendo adeguati fattori di sicurezza cautelativi, sono stati dedotti dei cosiddetti livelli di riferimento, in

termini di grandezze fisiche direttamente misurabili, come il campo elettrico, il campo magnetico e la densità di potenza.

È bene sottolineare che questo procedimento logico-scientifico è stato sviluppato facendo riferimento a un'esposizione, praticamente uniforme, dell'intero corpo alla radiazione elettromagnetica. Quest'ipotesi corrisponde, in effetti, a tutte le condizioni di esposizione che - almeno per quanto riguarda la popolazione - si riteneva potessero incontrarsi nella vita quotidiana prima dell'avvento della telefonia cellulare. Il nuovo servizio ha posto ricercatori, protezionisti e normatori di fronte al problema nuovo di un'esposizione estremamente localizzata e praticamente limitata a una parte della testa; a questo caso, per le ragioni sopra esposte, non potevano essere applicati i modelli dosimetrici fino ad allora impiegati.

In realtà, il problema non nasce con la telefonia cellulare, essendo lo stesso tipo di esposizione comune a tutti i sistemi di comunicazione mobile, già in uso da molti anni: esempi significativi sono i walkie-talkie e le ricetrasmittenti portatili per radioamatori.

Per poter rispondere agli interrogativi specifici posti da questo tipo di apparati, le principali Organizzazioni protezionistiche hanno ripercorso, sin dall'inizio, il processo logico già descritto, facendo però riferimento a modelli della testa anziché dell'intero corpo e tenendo presenti le particolari caratteristiche dell'antenna radiante e la sua posizione.

Gli studi sull'assorbimento di energia sono stati effettuati sia mediante metodi di calcolo numerico, sia su fantocci di tessuto equivalente a quelli del corpo umano. Per quanto riguarda in particolare i primi, vale la pena di ricordare che nell'ambito di un progetto *COST (Cooperation in Science and Technology)* dell'Unione Europea sono state coordinate numerose ricerche condotte con modelli e codici di calcolo diversi, per verificarne, attraverso il reciproco confronto, l'affidabilità [5].

Il buon accordo dei dati forniti dai diversi codici, nonché di questi con quelli ottenuti sperimentalmente su fantocci, rende affidabili le conclusioni, che possono sintetizzarsi come segue: i telefoni cellulari, sia TACS sia GSM, emettono potenze talmente basse da non poter dar luogo, in nessuna condizione d'uso, ad aumenti apprezzabili della temperatura, in particolare nei tessuti cerebrali. I walkie-talkie e, soprattutto, le ricetrasmittenti radioamatoriali, che emettono potenze più elevate, potrebbero invece dar luogo ad assorbimenti di energia superiori a quelli raccomandati, e anche a un certo aumento della temperatura, particolarmente nell'occhio: quest'organo infatti - per la sua scarsa vascolarizzazione che non consente un efficiente smaltimento del calore - è considerato un organo critico per questo tipo di esposizioni. Può essere in proposito osservato che gli apparecchi in questione vengono in genere tenuti di fronte al viso e irradiano quindi direttamente gli occhi, a differenza di quanto accade con i telefoni cellulari.

Al di fuori della letteratura scientifica, è stata data notizia di vari casi di disturbi di carattere soggettivo

(cefalea, senso di vertigini, nausea) riportati da alcuni individui durante l'uso del telefono cellulare; in qualche caso, il disturbo era lamentato anche se il telefono era utilizzato da altre persone nelle vicinanze.

Questi casi - da considerare con molta cautela per i possibili effetti di suggestione - potrebbero costituire un esempio di "ipersensibilità ai campi elettromagnetici". Di questo fenomeno, attentamente analizzato in questi ultimi anni [6] [7], non si hanno prove convincenti, anche perché diversi studi in cui i soggetti erano sottoposti in modo controllato a esposizioni di cui non erano consapevoli (i cosiddetti "studi di provocazione") hanno generalmente fornito esito negativo.

3. Effetti dell'esposizione a lungo termine

In alcune nazioni (particolarmente in Gran Bretagna e negli Stati Uniti) sono state intentate negli ultimi anni diverse azioni legali contro aziende produttrici di apparecchi cellulari, o contro i gestori delle reti di telefonia mobile, da parte di familiari di utenti deceduti per tumore, soprattutto cerebrale. Alla base di queste cause vi era l'assunzione che l'esposizione prolungata ai campi elettromagnetici ad alta frequenza utilizzati per la telefonia cellulare potesse favorire lo sviluppo di tumori, in analogia con quanto era stato precedentemente ipotizzato per i campi magnetici a frequenze estremamente basse (50 o 60 Hz).

Non sorprende che, stando almeno a quanto riportato dai mezzi di informazione, nessuna di queste cause legali sia stata vinta dai ricorrenti, in quanto l'ipotesi non ha alcuna base logico-scientifica: infatti, la normale prevalenza di tumori cerebrali da un lato e la percentuale di utenti di telefoni cellulari dall'altro sono così elevate che un numero rilevante di decessi per questa patologia tra gli utenti deve considerarsi, per semplici ragioni probabilistiche, comunque atteso a priori, e l'osservazione di singoli casi non può quindi avere particolare significato statistico.

Inoltre, ogni estrapolazione delle osservazioni epidemiologiche (peraltro ancora molto controverse) relative ai campi magnetici a 50 Hz al caso dei telefoni cellulari è arbitraria e assolutamente improponibile per le caratteristiche completamente diverse dei campi.

In assenza di indagini epidemiologiche specifiche per la telefonia cellulare, una verifica di quanto possa essere plausibile l'ipotesi che i campi elettromagnetici - associati a questa tecnologia - svolgano un ruolo nello sviluppo dei tumori può essere effettuata prendendo in esame le ricerche epidemiologiche relative a campi elettromagnetici di frequenza non troppo dissimile, cioè campi a radiofrequenze e microonde, ma generati da sorgenti diverse. Recenti contributi apparsi nella letteratura del settore [8] [9] [10] indicano che i dati epidemiologici sono non conclusivi e parzialmente contraddittori. Il loro quadro generale è quello che, tipicamente, la ricerca epidemiologica offre quando essa si propone di verificare l'esistenza di rischi che, comunque, sarebbero molto ridotti. In questo caso, infatti, l'epidemiologia si trova a dover fronteggiare limitazioni intrinseche, dovute al ruolo

che il caso gioca inevitabilmente in qualunque analisi statistica. Le incertezze e le contraddizioni che contraddistinguono questo tipo di indagini non indicano quindi un'inadeguatezza o una scarsa qualità degli studi bensì, verosimilmente, il fatto che i rischi ipotizzati sono molto ridotti, se non addirittura inesistenti.

A queste considerazioni di carattere generale occorre aggiungere che, per quanto riguarda la telefonia cellulare, le indagini epidemiologiche svolte negli anni passati potrebbero, al più, fornire dei motivi di plausibilità per eventuali effetti a lungo termine, essendo comunque i dati riferiti a sorgenti ed a modalità di esposizione molto differenti. I risultati ottenuti, ad esempio, su lavoratori addetti ai radar, che sono stati ampiamente studiati per le potenziali esposizioni molto elevate, non possono essere trasposti al caso della telefonia cellulare se non con molta cautela ed a fini puramente indicativi.

Per una valutazione attendibile dei rischi sanitari occorre anche considerare le ricerche su sistemi biologici in vitro ed in vivo, che costituiscono un complemento fondamentale delle indagini epidemiologiche; esse, sebbene importanti perché riferite direttamente all'uomo, conservano comunque un carattere di pure osservazioni statistiche. Il quadro complessivo della ricerca biologica non mostra che i campi a radiofrequenze e microonde siano mutageni e non fornisce quindi elementi di plausibilità all'ipotesi di un loro ruolo nell'induzione di tumori [1] [11] [12] [13].

Le considerazioni fin qui svolte sono efficacemente riassunte in un documento di informazione al pubblico dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS 1998a), che afferma tra l'altro che "una revisione dei dati scientifici svolta dall'OMS nell'ambito del Progetto internazionale *campi elettromagnetici* ha concluso che, sulla base della letteratura attuale, non c'è alcuna evidenza convincente che l'esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenza abbrevi la durata della vita umana, né che induca o che favorisca il cancro".

4. Interferenza con pacemaker e dispositivi impiantati

Nel 1994, ricercatori dell'Istituto Superiore di Sanità segnalano per la prima volta la possibilità di interferenze tra i segnali prodotti da telefoni cellulari e apparati per la stimolazione cardiaca (*pacemaker*).

I risultati, successivamente confermati da altri gruppi di ricerca operanti in diverse nazioni, mostrano che le interferenze sono dovute a particolari sequenze di segnali che il telefono portatile scambia con la stazione radio base in fase di chiamata da parte di quest'ultima, e che si presentano solo se l'antenna si trova a pochi centimetri di distanza dai terminali di ingresso dell'elettrocattetero nel pacemaker.

Le interferenze poi sono state osservate solo per alcuni modelli di pacemaker e possono dar luogo, sempre in relazione al modello, a malfunzionamenti di diverso tipo, che vanno da una semplice commutazione automatica da un funzionamento sincrono a uno asincrono (senza alcun rischio per il paziente)

fino all'inibizione del pacemaker [14].

Il problema, in sé, non è dunque di carattere sanitario, bensì di compatibilità elettromagnetica ed in tale ambito esso deve essere risolto. Sono stati già messi a punto standard di progetto per i pacemaker, finalizzati ad una loro protezione da interferenze esterne; ciò che si impone è quindi un'armonizzazione tra questi standard e quelli costruttivi dei telefoni cellulari.

Il fatto che la maggior parte dei modelli più recenti di pacemaker non presentino nessuno dei malfunzionamenti sopra menzionati mette in evidenza che le soluzioni tecniche sono già oggi disponibili e che il problema sarà verosimilmente risolto in modo definitivo in un prossimo futuro.

Rimane comunque aperto il problema transitorio dei portatori degli attuali modelli di pacemaker. A questo proposito appare opportuna una discussione più ampia che vada al di là della telefonia cellulare, per analizzare l'atteggiamento del portatore di pacemaker verso i campi elettromagnetici in generale.

Il problema fondamentale per questi pazienti è quello di conciliare le esigenze di protezione con quelle della serenità di vita di soggetti che, per il fatto stesso di dipendere in qualche misura da un dispositivo impiantato, sono in genere psicologicamente fragili e vulnerabili.

Un punto chiave della discussione è il fatto che il pacemaker costituisce ormai solo per una parte dei pazienti un ausilio vitale, mentre va sempre più diffondendosi la tendenza a installarlo come supporto per un miglioramento della qualità della vita. In quest'ultimo caso, un suo malfunzionamento non comporta rischi gravi per il portatore.

Va inoltre ulteriormente ribadito che molti dei meccanismi di interferenza con campi elettromagnetici esterni (di qualunque origine, e non solo connessi con la telefonia cellulare) danno luogo semplicemente a una commutazione da un modo di funzionamento ad un altro, senza che venga meno la funzione basilare del dispositivo.

I casi di effettivo rischio per la salute sono quindi limitati alla possibilità di inibire i pacemaker, e solo in soggetti che siano vitalmente dipendenti da questi stimolatori cardiaci.

A conclusione di quanto esposto si può osservare che, dal punto di vista del paziente, i problemi di compatibilità tra pacemaker e campi elettromagnetici esterni (di qualunque origine e natura questi siano) possono essere risolti solo attraverso adeguate conoscenze e corrette informazioni. È quindi dovere dei costruttori informare i medici sulle caratteristiche dei dispositivi e sulla sensibilità e suscettibilità di essi ad interferenze esterne; è dovere poi dei medici informare a loro volta i pazienti non solo sulle caratteristiche tecniche, ma anche sulle funzioni del particolare dispositivo impiantato e fornire loro i consigli più idonei a salvaguardarli da rischi reali, evitando nello stesso tempo eccessi di scrupolo che inducano a vedere in qualunque oggetto che emetta campi elettromagnetici una fonte di rischi per la salute, se non per la vita stessa, che possono essere invece anche del tutto inesistenti.

Considerazioni del tutto analoghe possono essere

svolte per altri dispositivi impiantati, come pompe per l'infusione di farmaci o defibrillatori cardiaci.

Data la loro funzione vitale, questi sistemi meritano particolare attenzione e sono, per questo, oggi oggetto di approfondite indagini. I dati finora disponibili indicano, fortunatamente, possibilità di interferenza sensibilmente minori rispetto ai pacemaker.

5. Interferenza con apparati biomedicali in ambiente ospedaliero

Come tutti i sistemi che irraggiano campi elettromagnetici, i telefoni cellulari pongono problemi di compatibilità con altri sistemi a funzionamento elettronico, di cui i pacemaker ed i dispositivi impiantati costituiscono solo un caso particolare.

Altri esempi noti, anche per l'attenzione che hanno ricevuto dai mezzi di informazione, sono le interferenze con i sistemi di controllo delle automobili - i cosiddetti "computer di bordo" - o di pilotaggio degli aerei (che giustificano la proibizione d'uso dei telefoni cellulari a bordo degli apparecchi).

Nella letteratura tecnico-scientifica sono riportati numerosi casi di malfunzionamento di apparecchi biomedicali in ambiente ospedaliero. Questi possono riguardare sia sistemi di terapia, come pompe per la somministrazione controllata di farmaci, sia sistemi di diagnosi. In questi ultimi sistemi, le interferenze possono dar luogo a indicazioni errate o a segnali spuri, con una possibile errata interpretazione e diagnosi da parte del medico.

Anche in questo caso si impongono soluzioni che non possono prescindere da una conoscenza della natura e dei limiti del problema. Prove sperimentali hanno dimostrato che i telefoni cellulari possono dar luogo ad interferenze come quelle sopra indicate entro un raggio massimo di circa 3 metri; le stesse prove hanno anche indicato che i walkie-talkie - da anni usati in alcuni ambienti ospedalieri senza particolari attenzioni - possono interferire con gli stessi sistemi fino a distanze maggiori, dell'ordine dei 5 metri, a causa delle più elevate potenze irraggiate. Anche dal punto di vista statistico, il numero di malfunzionamenti segnalati per effetto dei walkie-talkie supera quello relativo ai telefoni cellulari [15].

L'uso non solo dei telefoni cellulari, ma anche dei walkie-talkie, deve quindi essere interdetto in tutti i casi in cui possa comportare rischi diretti o indiretti per il paziente. Occorrerebbe, in questo caso, che le autorità sanitarie fornissero chiari orientamenti generali, che concilino le esigenze di protezione con l'indubbia utilità del telefono cellulare come strumento di lavoro per il medico e come ausilio psicologico per il paziente.

Dovrebbe spettare successivamente ai medici tradurre, negli specifici ambienti ospedalieri, tali orientamenti in norme di pratica attuazione, individuando le aree e le situazioni in cui debba essere interdetto l'uso di telefoni mobili (appaiono ovvi casi quali le sale operatorie, i reparti di rianimazione e terapia intensiva, la vicinanza ad elettrocardiografi ed elettroencefalografi), ed evitando proibizioni indiscriminate che, oltre a privare medici e pazienti di uno

strumento di cui si è già sottolineata l'utilità, contribuirebbe ad alimentare ulteriormente i diffusi e generici allarmismi che già circondano la telefonia cellulare.

6. Il ruolo delle stazioni radio base

Le considerazioni svolte in precedenza riguardano in generale i campi elettromagnetici generati dai sistemi di telefonia mobile in tutte le loro componenti.

L'attenzione dei ricercatori e delle organizzazioni protezionistiche è, comunque, concentrata soprattutto sugli apparecchi mobili che, per la vicinanza dell'antenna al corpo dell'utente, possono dar luogo a esposizioni significative.

Le preoccupazioni dell'opinione pubblica, al contrario, nascono soprattutto dalle antenne radio base, che sono motivo di polemica, se non di aperta opposizione, nonostante i livelli di esposizione cui queste possono dar luogo nei normali ambienti di vita siano centinaia o migliaia di volte inferiori rispetto a quelli cui, almeno localmente, può dar luogo il telefono cellulare.

Questi timori non sono del tutto sorprendenti, essendo ben noto e scientificamente documentato che l'uomo comune percepisce in modo particolarmente acuto tutti i rischi che non sono liberamente scelti (come sono, invece, quelli che potrebbero derivare dall'uso del telefonino), che non possono essere evitati (come nel caso di chi abiti vicino ad un'antenna) e di cui non abbia il controllo [6] [16] [17].

Gli studi sulla percezione del rischio indicano peraltro, come è ovvio, che questa è condizionata in modo determinante dalla disponibilità di una corretta e completa informazione.

Appaiono quindi opportune, a conclusione di queste note, alcune considerazioni sul ruolo delle antenne radio base, anche nella prospettiva generale dei rischi da esposizione a campi elettromagnetici generati da altre sorgenti.

In primo luogo, si deve osservare che tutte le antenne radio base presentano caratteristiche sostanzialmente comuni; ciò permette di esprimere per questo tipo di impianti valutazioni di carattere sanitario del tutto generali, prescindendo dalla singola installazione. Queste valutazioni sono, peraltro, abbastanza dirette e immediate; la struttura relativamente semplice degli impianti consente infatti di valutare con ottima approssimazione, attraverso codici di calcolo standardizzati, i livelli di campo elettromagnetico nell'ambiente circostante, senza necessità di misure sperimentali.

Appare quindi del tutto ingiustificata la richiesta di verifiche sistematiche su ogni singola installazione: esse infatti comportano un notevole impegno di risorse per un banale e ripetitivo esercizio tecnico dal risultato scontato in partenza; data la sostanziale uniformità delle caratteristiche delle antenne, cui si è già accennato, i livelli di campo elettromagnetico che si possono riscontrare nelle loro vicinanze sono infatti sempre dello stesso ordine di grandezza. Queste verifiche appaiono tanto più vuote di significato sanitario

se si considera che i livelli misurati, oltre che uniformi e prevedibili, sono generalmente almeno di un ordine di grandezza inferiori ai limiti raccomandati dalle più autorevoli normative internazionali [2] [3] [4].

In base a quest'ultima considerazione si possono fornire risposte precise ad alcuni dei legittimi interrogativi posti dall'opinione pubblica. Sono assolutamente da escludere, in qualunque condizione pratica di esposizione della popolazione, effetti termici imputabili alle emissioni delle antenne radio base, così come possono essere esclusi effetti di interferenza su pacemaker e altri dispositivi impiantati.

Per quanto riguarda eventuali effetti a lungo termine, che non possono essere categoricamente esclusi a priori (per i campi elettrici o magnetici come per qualunque altro agente fisico, chimico o biologico), oltre a ribadire che le conoscenze scientifiche, soprattutto le più recenti, non forniscono elementi a favore di una loro esistenza, è opportuno esaminare il ruolo che, anche in questa ipotesi, potrebbero avere gli impianti di telefonia cellulare nel quadro più ampio delle esposizioni a campi elettromagnetici in generale.

Numerose campagne di misura hanno dimostrato che le intensità dei campi elettromagnetici generati dalle antenne radio base sono basse rispetto non solo ai limiti di esposizione ma anche a quelle dei campi che, in molte circostanze, sono generati nello stesso ambiente da altre sorgenti. A titolo di esempio, nel caso di un'antenna radio base installata su un edificio residenziale in area urbana (sono questi gli impianti più frequentemente oggetto di contestazione), il contributo che questa fornisce al campo elettromagnetico globale misurato sul terrazzo stesso dell'edificio risulta generalmente confrontabile con quello di fondo, attribuibile soprattutto ad antenne radiotelevisive [18] [19]. È stato valutato che, in generale, in aree urbane e all'aperto, il contributo dei sistemi di telefonia cellulare sia dello stesso ordine di quello di una singola emittente radiofonica o televisiva. All'interno degli edifici, il peso relativo delle antenne radio base è ancora inferiore.

In conclusione - qualunque sia l'effetto ipotizzabile per l'esposizione a campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde - ai fini di una valutazione sanitaria completa ed oggettiva, occorre tener conto del ruolo preminente di altre sorgenti sulle quali, soprattutto in casi particolarmente eclatanti e non rari come quelli di potenti antenne radiotelevisive vicine ad abitazioni, sarebbe opportuno intervenire in modo prioritario.

Le considerazioni qui espresse, largamente condivise a livello internazionale [18] [20] [21] [22] [23], sono riportate anche in un articolo del notiziario ufficiale dell'Istituto Superiore di Sanità [24].

7. Conclusioni

Come tutti i sistemi profondamente innovativi, la telefonia cellulare ha destato non solo interesse, curiosità ed entusiasmi, per l'indiscutibile utilità del servizio, ma anche interrogativi su possibili rischi per la salute. Questi interrogativi sono assolutamente giu-

stificati e comprensibili, soprattutto se si considerano alcuni elementi importanti nella percezione del rischio, come l'impercettibilità della radiazione elettromagnetica, le particolari modalità di esposizione, le dimensioni delle antenne radio base e la loro frequente collocazione all'interno di centri abitati.

Sono quindi doverose risposte chiare e argomentate, sia da parte del mondo scientifico, sia dalle autorità sanitarie centrali e locali. Grazie alle conoscenze già acquisite in decenni di studi sugli effetti delle radiofrequenze e microonde in generale e ai notevoli sforzi, sia di ricerca sia di verifica sul campo, nel settore della telefonia mobile in particolare, molte di queste risposte possono essere oggi fornite in termini precisi.

Nonostante ciò, prevale ancora, nei confronti della telefonia cellulare, un atteggiamento di allarmismo. È bene ricordare che quest'ultimo costituisce anch'esso un danno alla salute essendo la salute stessa, secondo la definizione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità "uno stato di completo benessere fisico, psicologico e sociale e non semplicemente l'assenza di malattie o infermità".

Come si è cercato di evidenziare in queste note, alla base di tale allarmismo non vi è una carenza di conoscenze scientifiche, bensì di corretta informazione, e ciò deve essere motivo di riflessione e di preoccupazione. Un'informazione corretta e completa costituisce infatti non solo un preciso dovere nei confronti dei cittadini, ma il presupposto necessario perché una tecnologia che comunque non potrà non continuare ad espandersi (anche per la richiesta degli stessi cittadini) possa svilupparsi secondo criteri che concilino nel modo migliore le esigenze di protezione della salute con quelle tecniche ed economiche del servizio e possa, su queste basi, trovare il consenso di tutte le parti interessate.

Abbreviazioni

COST	Cooperation in Science and Technology
SAR	Specific Absorption Rate

Bibliografia

- [1] *Environmental Criteria 137. Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz)*. WHO/UNEP/IRPA, World Health Organization, Ginevra, 1993.
- [2] ICNIRP: *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*. «Health Phys.» 74:494-522, 1998.
- [3] *Esposizione umana ai campi elettromagnetici. Alta frequenza (100 - 300 GHz)*. Norma Sperimentale Europea ENV 5611-2, CENELEC, CEI, Milano.

- [4] *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*. Document IEEE C95-1, Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 1999.
- [5] *Proceedings of the COST 244 Meeting on Reference Models for Bioelectromagnetic Test of Mobile Communication Systems (D.Simunic, ed.)*. COST, Roma, 17-19 novembre 1994.
- [6] Berqvist, U.; Vogel, E. (Eds.): *Possible Health Implications of Subjective Symptoms and Electromagnetic Fields*. A Report by a European Group of Experts for the European Commission, DG V. Arbete och Hälsa 1997:19, 1997.
- [7] Leitgeb, N. (Ed.): *Proceedings of the International Workshop on Electromagnetic Fields and Non-Specific Health Symptoms*. Graz, Austria, 19-20 settembre 1998.
- [8] Vecchia, P.: *Epidemiological studies on long term effects of radiofrequency and microwave electromagnetic fields*. In: *Proceedings of the International Symposium on Future Telecommunications and the Electromagnetic Environment*. Eliat, Israele, 22-26 gennaio 1995, pp. 138-145.
- [9] Kilkenny, M.; Cardis, E.: *Possible Health Effects from Radio Frequency Exposure*. «Epidemiological Review», in: *Proceedings of the Forum on Future European Research on Mobile Communications and Health*. Bordeaux, Francia, 19-20 aprile 1999.
- [10] Elwood, J.M.: *A Critical Review of Epidemiological Studies of Radiofrequency Exposure and Human Cancers*. «Environ. Health Perspect.» 107, Supplement 1:155-168, 1999.
- [11] *Non-ionising Radiation: Sources, Exposure and Health Effects*. CEC (1995), Report CEC/V/F/1/LUX/35/95, European Commission, Directorate General V, Lussemburgo, 1995.
- [12] Matthes, R.; Bernhardt, J.H.; Repacholi, M.H. (Eds.): *Non-Thermal Effects of Electromagnetic Fields*. Proceedings of the International Symposium on Biological Effects of Non-Thermal Pulse and Amplitude Modulated RF Fields and Related Health Hazards, Monaco-Neuerberg, Germania, 20-22 novembre 1996.
- [13] Moulder, J.E.; Erdreich, L.S.; Malyapa, R.S.; Merritt, J.; Pickard, W.F.; Vijayalaxmi: *Cell Phones and Cancer: What Is the Evidence for a connection?* Radiat. Res. 151:513-531, 1999.
- [14] Barbaro, V.; Bartolini, P.; Donato, A.; Militello, C.: *Interferenza tra telefonia cellulare e pacemaker*. Stato dell'arte al 1995, Cardiostimolazione 14:10-19, 1995.
- [15] *Electromagnetic Compatibility for Medical Devices. Issues and Solutions*. FDA/AAMI Conference Report, AAMI, Association for the Advancement of Medical Instrumentation, Arlington, VA, USA, 1996.
- [16] Kunsch, B.: *Electromagnetic fields and risk perception*. Proceedings of the COST 244 Meeting on Electromagnetic Hypersensitivity (D.Simunic, ed.). Graz, Austria, 26-27 settembre 1994.
- [17] Wiedemann, P.: *Introduction to Risk Perception and Risk Communication*. Arbeiten zur Risikokommunikation, Helf 38. Jülich, Germania, 1993.
- [18] *National Symposium on Wireless Transmission Base Facilities: a Tutorial*. Federal Focus, Washington, D.C., USA, 1995.
- [19] Garn, H.: *Health Aspects of Cellular Mobile Telephones*. Proceedings of the 9th International Conference of the International Radiation Protection Association (IRPA9). Vienna, 14-19 aprile 1996, Vol. 1, pp. 243-249.
- [20] ICNIRP: *Health Issues Related to the Use of Hand-Held Radiotelephones and Base Transmitters*. «Health Phys.» 70:587-593, 1996.
- [21] SSI: *Radiation from Mobile Telephony Base Stations*. SSI Information 97:05. Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, 1997.
- [22] OMS: *Campi elettromagnetici e salute pubblica. Effetti sanitari dei campi a radiofrequenza*. Promemoria n. 183, 1998. (Documento disponibile sul sito Internet del Progetto Internazionale Campi Elettromagnetici dell'Organizzazione Mondiale della Sanità: www.who.int/peh-emf).
- [23] OMS: *Campi elettromagnetici e salute pubblica. I telefoni mobili e le loro stazioni radio base*. Promemoria n. 193, 1998. (Documento disponibile sul sito Internet del Progetto Internazionale Campi Elettromagnetici dell'Organizzazione Mondiale della Sanità: www.who.int/peh-emf).
- [24] Grandolfo, M.; Mariutti, G.F.; Polichetti, A.; Vecchia, P.: *Esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici generati dalle antenne radio base per la telefonia cellulare*. «Notiziario dell'Istituto Superiore di Sanità», Vol. 9, n. 11, novembre 1996.

Paolo Vecchia si è laureato in Fisica presso l'Università di Roma nel 1969. Dal 1973 lavora presso il Laboratorio di Fisica dell'Istituto Superiore di Sanità, dove dirige dal 1991 il settore Radiazioni Non Ionizzanti. La sua attività nel settore della ricerca sugli effetti biologici e sanitari si è tradotta nella pubblicazione di oltre cento articoli su riviste scientifiche e nella partecipazione attiva a numerosi Congressi nazionali e internazionali. Svolge inoltre un'intensa attività di consulenza nel settore della protezione e dello sviluppo di normative e di linee guida, in seno sia al proprio Istituto sia ad organismi internazionali. È attualmente presidente dell'Associazione Italiana di Radioprotezione (AIRP), presidente dell'Associazione Europea di Bioelettromagnetismo (EBEA), membro del Comitato Scientifico Consultivo del Progetto Internazionale CEM (campi elettromagnetici) dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, membro dello Steering Committee del Progetto Europeo COST 244bis "Effetti biomedici dei campi elettromagnetici", componente della Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP) e di varie commissioni nazionali.

Campi elettromagnetici e comunicazioni cellulari

Valutazione dell'esposizione a radiazione elettromagnetica emessa da ripetitori per telefonia cellulare

GIOVANNI D'AMORE

Uno degli elementi più complessi per valutare l'esposizione alle radiazioni elettromagnetiche è rappresentato da una corretta effettuazione delle misure. Esse dipendono da numerosi fattori legati sia alle sorgenti (quali, ad esempio, la frequenza dei segnali, il tipo di modulazione, l'intensità del campo elettromagnetico), sia alle modalità di funzionamento (ad esempio direzione dell'emissione), sia al tipo di antenna utilizzata, sia anche all'ubicazione dei ripetitori (urbano, sub-urbano o extraurbano) e alla coesistenza di più impianti.

Nell'articolo sono chiariti gli aspetti di maggior rilievo che influenzano queste misure e sono presentati anche i risultati dell'attività di controllo svolta dal Dipartimento di Ivrea dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente.

I valori relativi ai ripetitori per telefonia cellulare sono finora in genere confrontabili con il rumore di fondo già presente in ambiente urbano. Occorre, tuttavia, continuare a monitorare il territorio anche per rilevare con continuità la crescita del campo elettrico dovuta allo sviluppo della telefonia mobile.

1. Introduzione

Il rapido sviluppo della telefonia mobile ha portato a una crescente diffusione di antenne ricetrasmittenti (ripetitori) in ambiente urbano e, conseguentemente, a un significativo aumento degli individui della popolazione interessati dall'esposizione a radiazione elettromagnetica emessa dai ripetitori. Negli ultimi anni è quindi emersa in modo sempre più stringente l'esigenza di valutare sia teoricamente che sperimentalmente i livelli di esposizione della popolazione al campo elettromagnetico, CEM (*Campo Elettromagnetico*), generato dagli RTC (*Ripetitori per Telefonia Cellulare*), per poter quantificare il rischio sulla base del rispetto di livelli limite di esposizione definiti da leggi, raccomandati da organismi tecnici o, ancora, individuati da ricerche scientifiche ancora discusse e non definitive.

Una corretta valutazione dell'esposizione risulta spesso complessa per i numerosi fattori che devono essere presi in considerazione, legati alle caratteristiche tecniche di emissione della sorgente (intensità del CEM, frequenza, modulazione, ...), a quelle della sua dislocazione (area urbana, extra urbana, coesistenza di più impianti, presenza di strutture metalliche, ...) e alle sue modalità di funzionamento (direzionalità dell'emissione, continuità nel tempo, ...).

In questo lavoro sono sviluppati gli aspetti più critici nella valutazione dell'esposizione e sono presentati i risultati dell'attività di monitoraggio svolta dal Dipartimento di Ivrea dell'ARPA (*Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente*) Piemonte.

2. Caratteristiche delle sorgenti

I sistemi radiomobili oggi più utilizzati e che sono trattati in questo lavoro sono di due tipi: TACS (*Total Access Communication System*) e GSM (*Global System for Mobile communication*).

Entrambi i sistemi sono di tipo cellulare in quanto applicano una tecnica che consiste nel riutilizzo della stessa frequenza più volte in luoghi diversi e sufficientemente lontani tra loro. Per ottenere questo risultato si suddivide il territorio in aree aventi dimensioni limitate, dette celle, ognuna delle quali è servita da una SRB (*Stazione Radio Base*) che opera quindi con potenza ridotta. L'utilizzo di potenze inferiori a quelle tipiche dei sistemi di comunicazione non cellulari, quali quelli che effettuano trasmissioni radiotelevisive, è un'importante caratteristica degli impianti RTC. In particolare, questi impianti hanno una potenza in antenna variabile da alcune decine di Watt (solitamente inferiore a 50 W per i sistemi GSM) a circa 300 W.

I sistemi TACS e GSM presentano profonde differenze sia nelle caratteristiche tecniche degli impianti che nelle modalità di accesso alle risorse radio.

Il sistema TACS opera con segnali modulati in frequenza (FM) in modo analogico e con banda di canale pari a 25 kHz. Esso utilizza una tecnica di accesso al canale radio di tipo FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) sulla base della quale ad ogni frequenza portante corrisponde un singolo canale radio sul quale la stazione mobile e la SRB trasmettono continuamente

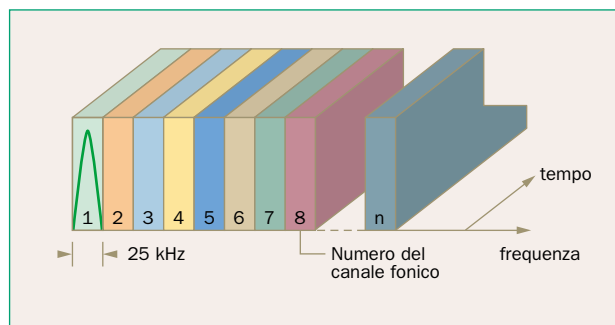


Figura 1 Sistema di accesso multiplo a divisione di frequenza FDMA (Frequency Division Multiple Access).

e simultaneamente (figura 1). La SRB trasmette generalmente un massimo di 32 canali nell'intervallo di frequenze 927 - 950 MHz.

Il sistema GSM utilizza segnali con modulazione numerica. Questa tecnica consente di adottare la modalità di accesso a divisione di tempo, TDMA (Time Division Multiple Access), per la trasmissione su una stessa frequenza portante di più canali radio (figura 2).

L'apparecchio mobile non trasmette continuamente, ma emette su una data frequenza in intervalli di tempo prefissati, *timeslot*, che ricorrono ciclicamente. In questo modo con una stessa frequenza sono serviti più utenti, pari al numero totale di *timeslot* (trama) realizzati su quella frequenza, che nell'attuale sistema GSM è pari a otto. Tenendo conto che la durata della trama è di 4,616 ms, la frequenza di ripetizione dei *timeslot* è di 217 Hz.

Una caratteristica fondamentale del sistema GSM è il tipo di modulazione numerica del segnale che riguarda sia la sua fase che la sua frequenza, GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). In particolare, nella modulazione GMSK si ha uno spostamento nella fase del segnale da +90° a -90° in corrispondenza di uno spostamento della frequenza della portante da +67,708 kHz a -67,708 kHz (figura 3).

Lo spettro è ridotto in estensione frequenziale grazie all'utilizzo di un filtro gaussiano. Solitamente

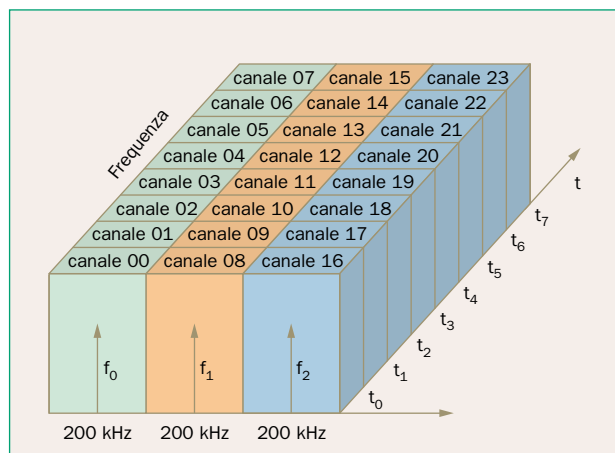


Figura 2 Sistema di accesso multiplo misto a divisione di tempo e frequenza TDMA (Time Division Multiple Access) e FDMA.

le SRB trasmettono fino ad un massimo di otto portanti nell'intervallo di frequenze 935 - 960 MHz.

La distanza massima entro cui può essere realizzato il collegamento telefonico non è elevata ed è variabile generalmente da 0,5 a 35 km, la densità di installazioni RTC in aree urbane è perciò alta ed è ancora in fase di crescita elevata. A fronte di una maggiore penetrazione nell'ambiente urbano rispetto ai trasmettitori radiotelevisivi, gli impianti RTC presentano una minore potenza in antenna dando luogo, quindi, ad esposizioni più localizzate.

Gli impianti sono costituiti da un minimo di uno a un massimo di tre sistemi di antenne (celle) che emettono in modo molto direttivo e, nel caso di più sistemi, lungo direzioni che differiscono di 120°. In figura 4 sono riportati un diagramma di irradiazione orizzontale e uno verticale tipici di una antenna utilizzata in una SRB per telefonia mobile. In alcuni casi gli impianti RTC possono anche essere costituiti da antenne omnidirezionali.

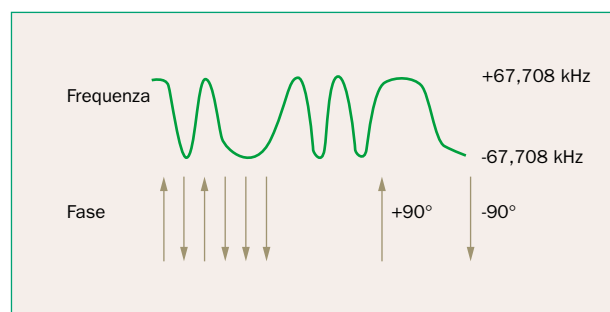


Figura 3 Modulazione numerica di un segnale in frequenza e fase di tipo GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

3. Misure di campo elettromagnetico

Le misure di CEM a radiofrequenza emessi da impianti RTC devono essere effettuate con un complesso di misura che consenta di discriminare la frequenza (misure in banda stretta) dei diversi segnali rilevati. Una misura del livello globale di CEM eseguita con un misuratore che ha una risposta in frequenza non selettiva (misura a banda larga), non è in genere adeguata a questo tipo di valutazioni per due motivi: anzitutto in quanto è necessario individuare il livello di CEM emesso dalla singola cella, per poter esprimere un giudizio sul suo contributo all'inquinamento elettromagnetico complessivo, e, in secondo luogo, perché i misuratori a larga banda possono avere una risposta in frequenza che pesa in modo diverso i diversi contributi, dando luogo a un livello di campo totale non corretto.

La presenza di segnali modulati a banda larga, come quelli di tipo GSM, può causare risposte non corrette dei misuratori a larga banda che, solitamente, non sono calibrati per questo tipo di segnali.

La misura a larga banda non può tenere conto della variabilità dell'emissione dei ripetitori.

In questo caso, infatti, il livello di CEM dipende dal numero di canali attivati al momento della misura

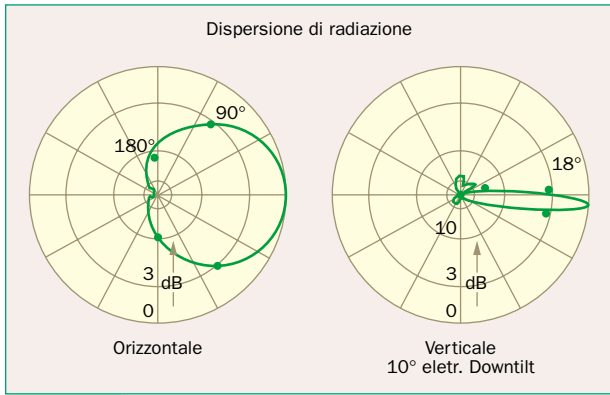


Figura 4 Diagrammi di irradiazione orizzontale e verticale, in coordinate polari, di un'antenna per telefonia mobile.

che può dar luogo, quindi, ad una sottostima del valore massimo di esposizione.

I misuratori a larga banda possono pertanto essere utilizzati, limitatamente all'effettuazione di una prima mappatura dei livelli di CEM nell'area indagata, per determinare i punti di maggiore esposizione; per una valutazione più accurata del livello di esposizione conviene invece utilizzare un sistema di misura in banda stretta.

Le misure in banda stretta devono essere effettuate con un sistema che consiste in un analizzatore di spettro collegato per mezzo di un cavo coassiale schermato a una antenna ricevente (figura 5).

Per poter eseguire misure in ambiente esterno occorre realizzare un laboratorio mobile costituito da un furgone schermato, provvisto di gruppo elettrogeno, dove utilizzare l'analizzatore di spettro. Per ottenere una maggiore riproducibilità dei dati acquisiti sul campo, è importante automatizzare la misura pilotando l'analizzatore di spettro con un computer portatile: gli spettri rilevati sul campo sono così acquisiti e rielaborati in laboratorio.

La gestione automatica delle misure può consentire, in particolare:

- di acquisire, in ogni punto di misura e per ogni componente, tre spettri ad intervalli di tempo prefissati, per valutare la variabilità dei livelli di campo

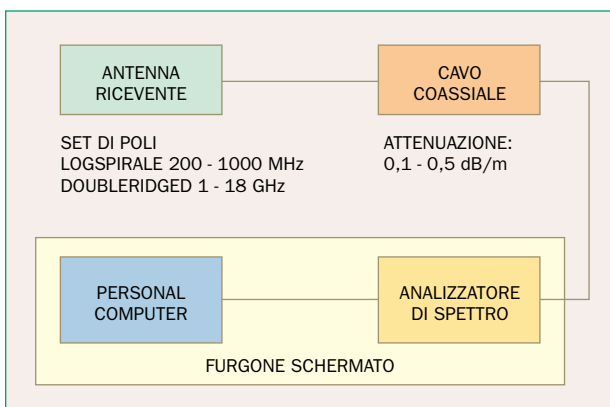


Figura 5 Schema a blocchi del sistema per misure in banda stretta dei campi elettromagnetici.

nel breve termine;

- nel caso in cui si usino antenne direttive (ad esempio del tipo log-coniche, log-periodiche o horn), di comporre più spettri determinati puntando l'antenna ricevente direttiva secondo diverse orientazioni, per ottenere uno spettro unico nel quale siano presenti i picchi più elevati, nel punto di misura considerato, dovuti a trasmettitori dislocati in diverse posizioni;
- di ottenere degli spettri rielaborati che tengano conto dei fattori di calibrazione della catena di misura alle diverse frequenze e di operazioni matematiche effettuate sui singoli picchi: ad esempio media delle tre misure, somma quadratica delle tre componenti (misure con antenne a dipolo).

In figura 6 è presentato uno spettro rilevato in prossimità di un impianto RTC di tipo TACS. L'esame dello spettro relativo al sistema TACS mette in evidenza la presenza di sei canali emessi dalla cella orientata verso il punto di misura (picchi più elevati) e sei canali emessi da una delle altre due celle (picchi più bassi).

Poiché le celle dell'impianto considerato possono

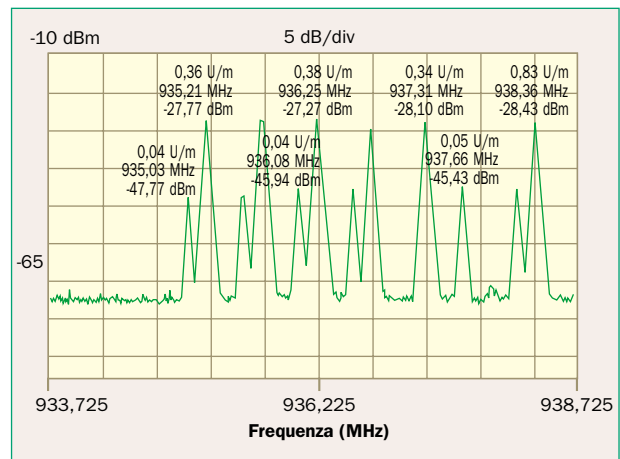


Figura 6 Spettro del segnale emesso da un ripetitore TACS (sei canali attivi per cella).

gestire otto canali, la presenza di soli sei picchi per cella nello spettro rilevato indica che al momento della misura due canali non erano attivi. Una valutazione cautelativa dell'esposizione deve basarsi, in questo caso, sulla conoscenza del livello di campo dovuto a un singolo canale per cella e del numero massimo di canali gestibili dalle celle.

In figura 7 sono invece riportate due portanti relative a una SRB di tipo GSM che presentano una maggiore larghezza rispetto alle portanti TACS in relazione alla maggiore banda passante tipica del sistema GSM (200 kHz).

A seguito della diffusione sempre maggiore delle installazioni RTC ed al conseguente crescente interesse da parte della popolazione di conoscere i possibili rischi sanitari derivanti dall'esposizione ai CEM da esse generati, risulta di grande importanza la conoscenza dei livelli di esposizione possibili in ambienti residenziali prossimi a impianti RTC.

Nell'istogramma di figura 8 è riportata una sintesi

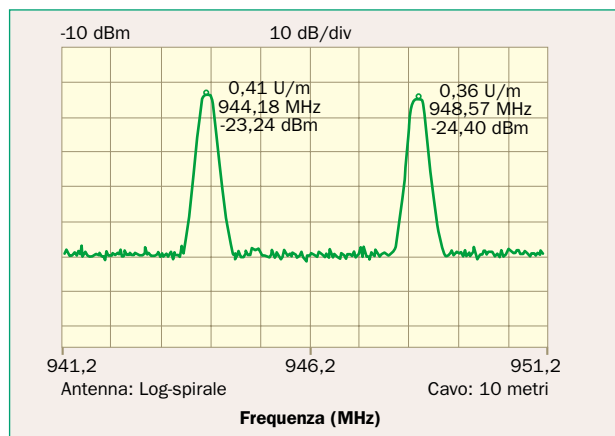


Figura 7 Spettro del segnale emesso da una cella di un ripetitore tipo GSM (due portanti).

dei livelli di campo elettrico da noi rilevati in circa cento punti di esposizione relativi sia ad ambienti interni (abitazioni) sia esterni frequentati dalla popolazione. In particolare i dati relativi all'intervallo 2-5 V/m sono stati rilevati in ambiente esterno nelle immediate vicinanze dell'impianto. I dati dell'istogramma indicano che nella maggior parte dei casi il livello di campo elettrico al quale può essere esposto un individuo della popolazione a causa della vicinanza di un ripetitore RTM è inferiore ad 1 V/m. Per fornire un'idea dell'entità di questo livello di esposizione si può ricordare che in un ambiente urbano si può avere tipicamente un livello di fondo dovuto alle emissioni degli impianti RTC proprio dell'ordine di 1 V/m.

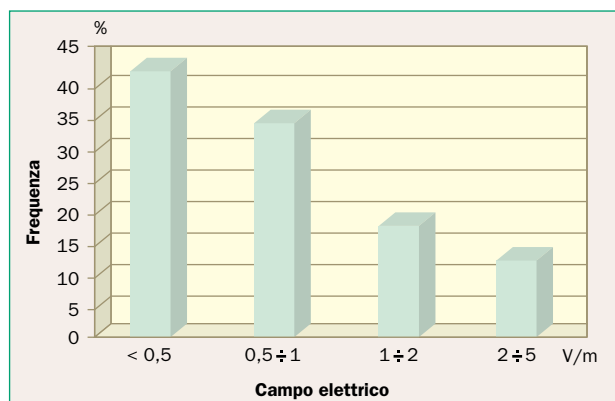


Figura 8 Distribuzione dei livelli di campo elettrico emessi da ripetitori per telefonia mobile in ambienti sia interni sia esterni.

4. Conclusioni

L'esposizione a radiazione elettromagnetica emessa dai ripetitori per telefonia cellulare (RTC) è molto diffusa, particolarmente nell'ambiente urbano, a causa del grande numero di impianti che sono installati in modo sempre più capillare. Per valutare in modo corretto tale esposizione è indispensabile conoscere le caratteristiche dei sistemi di antenna utilizzati e dei segnali trasmessi, cui consegue la messa in atto di procedure complesse che devono tenere

conto di numerosi fattori comprendenti le caratteristiche delle sorgenti, quelle del sito di misura e della strumentazione utilizzata. Affinamenti nella tecnica di misura legati all'automatizzazione delle rilevazioni sperimentali consentono di migliorare la determinazione dell'esposizione, che spesso fattori ambientali rendono poco ripetibile.

L'impatto degli impianti RTC sull'esposizione della popolazione al campo elettromagnetico a radiofrequenza risulta finora generalmente contenuto a livelli confrontabili al rumore di fondo già presente in ambiente urbano. Il continuo sviluppo della telefonia mobile ed il conseguente aumento della densità di ripetitori soprattutto nel tessuto urbano pongono, comunque, il problema del contenimento di una crescita incontrollata dell'esposizione, sia mediante una attenta sorveglianza da parte degli organi di controllo preposti sia attraverso azioni di cautela che abbiano lo scopo di minimizzare i livelli del campo magnetico a radiofrequenza.

Abbreviazioni

CEM	Campo ElettroMagnetico
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GSM	Global System for Mobile communication
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
RTC	Ripetitori per Telefonia Cellulare
SRB	Stazione Radio Base
TACS	Total Access Communication System
TDMA	Time Division Multiple Access

Bibliografia

- [1] Bertazioli, O.; Favalli, L.: *GSM*. Ed. Hoepli, 1996.
- [2] d'Amore, G.; Anglesio, L.; Benedetto A.; Pignocco, M.: *Valutazione dell'esposizione a campi elettromagnetici emessi da impianti per teleradiocomunicazione: procedure di misura e nuove grandezze dosimetriche*. Atti del 30° Congresso Nazionale AIRP, L'Aquila, 23-26 settembre 1997.
- [3] Hewlett Packard Company: *An Introduction to Digital Modulation as Used in Communication Systems*. Publication Number 5965-7160E.



Giovanni d'Amore ha iniziato nel 1987 la sua attività di fisico presso la sezione fisica del Laboratorio di Sanità Pubblica di Ivrea, divenuto nel 1997 un Dipartimento dell'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (A.R.P.A.) del Piemonte. Dal 1999 ricopre il ruolo di direttore del Dipartimento di Ivrea dell'A.R.P.A. Piemonte. Dopo essersi occupato di problematiche radioprotezionistiche sulle radiazioni ionizzanti, si è dedicato in modo sempre più specifico alle radiazioni non ionizzanti ed, in particolare, agli aspetti teorici sullo sviluppo di modelli numerici per la caratterizzazione di sorgenti e sperimentali sulla messa a punto di nuove metodiche di misura. I risultati della sua attività di ricerca sono stati oggetto di numerose pubblicazioni su riviste scientifiche nazionali e internazionali. Ha svolto, infine, una rilevante attività di organizzazione scientifica di corsi di formazione e convegni, anche in qualità di segretario della sezione radiazioni non ionizzanti dell'AIRP (Associazione Italiana di Radioprotezione).

Campi elettromagnetici e comunicazioni cellulari

Il quadro normativo internazionale e comunitario

ALDO ANCORA

L'iniziale confusione legislativa su installazione ed esercizio degli impianti di telecomunicazioni ha recentemente lasciato il passo a una riorganizzazione maggiormente organica delle norme; questo è stato possibile anche in virtù dei più recenti studi scientifici che hanno fissato univocamente valori limite per i livelli di campo elettrico e magnetico finalizzati alla tutela della popolazione.

L'attività dei vari organi internazionali che disciplinano i limiti di esposizione al campo elettromagnetico viene attualmente recepita da numerosi Paesi; la legislazione italiana ha stabilito limiti di campo elettromagnetico ancora più stringenti di quelli definiti in ambito internazionale dai diversi organismi preposti (ICNIRP, CENELEC, ecc.).

1. Introduzione

In questi ultimi anni la comunità scientifica internazionale ha dedicato un'attenzione sempre crescente all'analisi dell'impatto sull'ambiente e sulla salute dovuto all'uso di installazioni che producono campi elettromagnetici; in relazione ai risultati della ricerca alcuni Comitati scientifici indipendenti hanno formulato linee guida e criteri di sicurezza da rispettare, al fine di disciplinare i livelli di esposizione degli individui ai campi elettromagnetici.

I principali Organismi internazionali che regolamentano i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici sono l'IRPA/ICNIRP (*International Radiation Protection Association/International Commission on Non Ionizing Radiation Protection*), una Commissione scientifica internazionale indipendente riconosciuta dal WHO (*World Health Organization*) e il CENELEC (*Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*).

Esistono inoltre Enti quali l'ANSI (*American National Standards Institute*), il DIN/VDE (*Deutsches Institut für Normung-Verband Deutscher Elektrotechniker*) e l'NRPB inglese (*National Radiological Protection Board*) che trattano il problema a livello nazionale.

I valori di esposizione tali da mantenere livelli di assoluta sicurezza sono pari a 41,2 V/m per il campo elettrico e 0,11 A/m per il campo magnetico, in accordo alle indicazioni fornite dall'IRPA/ICNIRP nel

documento *Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz* pubblicato nel 1998 e analogamente dal CENELEC attraverso lo standard sperimentale ENV 50166-2 del 1995.

In Europa vari Paesi, come Germania, Finlandia e Austria, hanno elaborato normative in tema di esposizione ai campi elettromagnetici adottando sostanzialmente i limiti indicati dall'ICNIRP e dal CENELEC; in altri Paesi, come la Gran Bretagna, si fa riferimento a limiti maggiori di quelli indicati dall'ICNIRP; altri Paesi ancora, come Francia, Svezia e Danimarca, pur non avendo elaborato normative nazionali in materia, hanno recepito come norme di buona tecnica le norme dell'ICNIRP e più recentemente quelle del CENELEC.

La Raccomandazione del Consiglio d'Europa del 12 luglio 1999 (n. 1999/519/CE), che costituisce il più recente atto normativo in materia di campi elettromagnetici, recepisce nel suo contenuto i risultati della Comunità medico-scientifica internazionale; infatti fissa il limite di campo elettrico a 41,8 V/m per la banda di frequenza a 900 MHz ed a 58,4 V/m per la banda a 1800 MHz.

Si osserva che i limiti adottati sono estremamente cautelativi in quanto scelti pari a cinquanta volte inferiori ai valori per i quali, secondo la letteratura scientifica internazionale, insorgono effetti biologici

pur di modesta entità; in altre parole nella stesura della suddetta Raccomandazione del Consiglio d'Europa si è considerato un fattore di riduzione di rischio pari a 50.

2. La normativa nazionale

In Italia i campi elettromagnetici di bassa frequenza associati ai sistemi di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica sono da tempo oggetto di una specifica normativa nazionale contenuta nel D.P.C.M. del 23 aprile 1992, mentre i campi elettromagnetici ad alta frequenza - connessi all'esercizio di sistemi fissi radiotelevisivi e di telecomunicazioni nell'intervallo di frequenza compreso fra 100 kHz e 300 GHz - sono stati disciplinati solo di recente da una normativa applicabile nell'ambito del territorio nazionale con il Decreto Interministeriale n. 381/98: *Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana*.

Prima dell'emanazione di questo Decreto, soltanto le regioni Piemonte, Abruzzo, Veneto e Lazio avevano regolamentato l'argomento sia stabilendo, anche se in modo disomogeneo, alcune procedure, sia per il rilascio di autorizzazioni all'installazione di impianti di telecomunicazioni, sia indicando limiti di sicurezza per la tutela della salute della popolazione.

Per giungere a una normativa nazionale unitaria in materia di esposizione alle onde elettromagnetiche e alle radiazioni non ionizzanti è stato determinante il disposto dell'articolo 1, comma 6, lettera a), n. 15 della Legge 249/97, secondo cui il compito di vigilare sul rispetto del tetto di campo elettromagnetico a radiofrequenza compatibile con la salute umana è affidato all'Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni, mentre la definizione di tetti di esposizione anche alla luce delle norme comunitarie è stata affidata al Ministero dell'Ambiente, d'intesa con il Ministero della Sanità e con il Ministero delle Comunicazioni, sentiti l'Istituto Superiore di Sanità e l'ANPA (*Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente*).

In caso di esposizione al campo elettromagnetico, il Decreto Interministeriale 381/98 emanato in attuazione della Legge 249/97 prevede che i livelli di campo elettrico, magnetico e della densità di potenza, mediati su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano, entro il periodo limite di sei minuti non superino i valori riportati nella tabella 1.

Nel caso di campi elettromagnetici generati da più sorgenti, i limiti si applicano componendo in potenza tutti i contributi. In particolare in base all'allegato B dello stesso Decreto la somma di tutti i contributi normalizzati delle singole sorgenti deve essere minore dell'unità; l'allegato specifica che ciascun contributo normalizzato deve essere calcolato come il rapporto tra il quadrato del valore misurato di campo elettrico o magnetico e il quadrato del corrispondente valore limite oppure - per frequenze com-

prese fra 3 MHz e 300 GHz - come rapporto tra la densità di potenza e il corrispondente valore limite. Il successivo allegato C del Decreto descrive la procedura per la riduzione a conformità.

Il Decreto prevede inoltre misure di cautela e obiettivi di qualità stabilendo che, fermi restando i limiti di esposizione sopra riportati, la progettazione e la realizzazione di sistemi fissi radiotelevisivi e di telecomunicazioni nonché l'adeguamento dei sistemi preesistenti devono avvenire in modo da minimizzare i valori di campo elettromagnetico, compatibilmente con la qualità del servizio del sistema stesso.

Per tali finalità di minimizzazione, nel caso di esposizione prolungata il Decreto stabilisce che «in corrispondenza di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore non devono essere superati i seguenti valori, indipendentemente dalla frequenza, mediati su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano e su qualsiasi intervallo di sei minuti: 6 V/m per il campo elettrico, 0,016 A/m per il campo magnetico intesi come valori efficaci e - per frequenze comprese tra 3 MHz e 300 GHz - 0,10 W/m per la densità di potenza dell'onda piana equivalente».

I valori limite enucleati dal Decreto sono sintetizzati nella tabella 1.

Frequenza f (MHz)	Valore efficace di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente (W/m ₂)
0,1 - 3	60	0,2	-
3 - 3.000	20	0,05	1
3.000 - 300.000	40	0,1	4
0,1 - 300.000 ¹	6	0,016	0,1 ²

1) Esposizione superiore a 4 ore
2) Per frequenze comprese tra 3 MHz e 300 GHz

Tabella 1

Valori limite da non superare per il corpo umano in sei minuti per i livelli di campo elettromagnetico secondo il Decreto Interministeriale 381/98.

Sotto il profilo della tutela sanitaria i valori stabiliti dal decreto sono pertanto assai più cautelativi dei limiti protezionistici indicati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, e dai competenti Organismi tecnico-scientifici internazionali, quali l'ICNIRP e il CENELEC.

A supporto della valenza preventiva dei limiti stabiliti dalla legislazione italiana, si riporta la relazione del 28 maggio 1999 nella quale l'Istituto Superiore di Sanità, chiamato dal TAR dell'Umbria a esprimere un parere tecnico sugli effetti sanitari dovuti alle emissioni prodotte dalle stazioni radio base utilizzate per la telefonia cellulare, ha espresso le seguenti conclusioni:

- Le caratteristiche di emissione delle stazioni radio base consentono a priori di escludere categoricamente ogni possibilità di effetti immediati di natura termica in conseguenza dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici generati dalle stazioni stesse; a conferma di ciò, in tutte

le indagini effettuate sia in Italia sia all'estero, i livelli di esposizione nelle aree normalmente accessibili alla popolazione sono risultati largamente inferiori a tutti i limiti di esposizione fissati da leggi o raccomandazioni a livello nazionale o internazionale.

- Gli studi epidemiologici non supportano alcuna ipotesi di effetti a lungo termine da parte dei campi generati dalle antenne radio base.

È ora all'esame del Parlamento il Disegno di legge n. 4816 *Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici*.

3. Problematiche interpretative del Decreto n. 381

In primo luogo occorre ricordare che tutte le normative sanitarie vigenti, sia internazionali che nazionali in materia di elettromagnetismo, assumono come parametri di riferimento grandezze fisiche quali i valori efficaci di campo elettromagnetico generato e/o le potenze emesse, mentre in Italia le autonomie locali, Regioni e Comuni, hanno contribuito alla diffusione di strumenti normativi basati su diversi parametri come la distanza dell'impianto dagli edifici abitati, imponendo in alcuni casi il divieto di installare impianti di telecomunicazioni radiomobili in prossimità di abitazioni.

Tuttavia l'allontanamento degli impianti in questione dai centri abitati non garantisce affatto la riduzione dei livelli di campo elettromagnetico a cui la popolazione è esposta, a maggior ragione poiché in tale caso i gestori degli impianti sarebbero inevitabilmente costretti ad aumentare la potenza trasmessa, per garantire la copertura radioelettrica e la continuità del servizio, particolarmente nelle zone urbane soggette a ingenti volumi di traffico. Al contrario, la localizzazione degli impianti all'interno dei centri abitati, portando la sorgente in prossimità degli utilizzatori, mira sia alla minimizzazione delle potenze emesse e dei campi generati, sia all'ottimizzazione della qualità del servizio, generando infatti così minori livelli di interferenza; tutto ciò nel più ampio rispetto delle norme protezionistiche legate agli unici parametri oggettivi forniti dal Decreto.

Al riguardo, è significativo come il Decreto Interministeriale 381/98 non faccia minimamente menzione della distanza degli impianti da edifici e abitazioni; la definizione di valori esatti per i livelli di campo, in luoghi dove presumibilmente la perma-

nenza di individui sia superiore alle quattro ore, conferma l'ipotesi che la legislazione nazionale non esclude affatto l'installazione di impianti dentro i centri abitati, mentre allo stesso tempo stabilisce misure di prevenzione per la tutela della salute pubblica proprio per installazioni all'interno degli agglomerati urbani.

A tale proposito occorre ricordare che il TAR del Lazio, con l'ordinanza n. 1190 con oggetto la delibera della Giunta Comunale di Roma n. 5187 del 29 dicembre 1998 che ha cercato di «escludere la possibilità di installare impianti di telefonia mobile e similari su scuole, asili nido, case di cura e di riposo o nella loro prossimità a distanza inferiore ai metri cinquanta», ha ritenuto illegittima la rimozione degli impianti così ubicati ordinata dal Comune di Roma, ravvisando un «eccesso di potere per difetto di istruttoria, non risultando verificato l'effettivo rispetto dei limiti di esposizione ai campi elettromagnetici, individuati come parametri certi dagli articoli 3 e 4, secondo comma, del Decreto Interministeriale n. 381».

Inoltre il 2 luglio 2000 il Consiglio dei Ministri ha rinviato la legge regionale Lombardia n. 157 in materia di *Protezione della popolazione e dei lavoratori esposti ai campi elettromagnetici a radiofrequenze e microonde* al riesame del Consiglio regionale Lombardia, accogliendo le osservazioni contenute nell'esposto presentato da TIM al Commissario di Governo della Regione Lombardia e al Dipartimento Affari Regionali della Presidenza del Consiglio dei Ministri. Il Consiglio dei Ministri ha



rilevato l'illegittimità delle disposizioni della legge emananda che stabiliscono «obiettivi di qualità e misure di cautele più restrittive rispetto a quelli fissati dal Decreto Interministeriale 381/98 ed in contrasto quindi con l'articolo 4, commi 2 e 3 del Decreto Interministeriale citato», ricomprendendovi esplicitamente anche quella relativa all'introduzione del criterio della distanza lineare per la localizzazione degli impianti.

Sempre a questo proposito, il Consiglio dei Ministri il 22 ottobre 1999 sulla base di motivazioni analoghe a quelle sopra esposte ha rinviato anche la legge regionale Liguria n. 35 relativa alla *Integrazione della legge regionale 21 giugno 1999 n. 18. Inserimento del Capo VI BIS - Tutela dall'inquinamento elettromagnetico*.

La legge in esame prevedeva all'articolo 71 ter la prescrizione di obiettivi di qualità e all'articolo 71 septies il divieto di installazione di impianti di telecomunicazioni a distanze inferiori a 50 m dalle abitazioni civili, edifici pubblici e relative pertinenze.

Con il provvedimento di rinvio, con cui sono state accolte le osservazioni presentate da TIM al Commissario del Governo della Regione Liguria, è stata rilevata l'illegittimità di tali disposizioni.

Occorre sottolineare ancora una volta che la normativa italiana si pone all'avanguardia delle misure di cautela nel panorama internazionale e stabilisce limiti alle emissioni elettromagnetiche particolarmente restrittivi, che garantiscono un livello di tutela al di sotto del quale si opera in condizioni sanitarie di massima sicurezza. Inoltre l'articolo 4, comma 3 dello stesso Decreto assegna alle Regioni e alle Province autonome la competenza a disciplinare l'installazione e la modifica di impianti di radiocomunicazione.

In sostanza, ferme restando tutte le riserve sulla norma in parola, in relazione alla quale TIM ha presentato formale ricorso giurisdizionale al TAR del Lazio - stante la competenza statale in materia - la ratio del decreto citato è che alle Regioni, nell'ambito dei poteri di programmazione, indirizzo e coordinamento di cui istituzionalmente godono, è demandato il compito di individuare principi e criteri direttivi, in conformità ai quali gli Enti locali organizzano il corretto e razionale utilizzo del territorio.

A conferma di questa impostazione il Gruppo di Lavoro Interministeriale, di cui al Decreto del Ministero dell'Ambiente 2 giugno 1997, per favorire un'uniforme applicazione del Decreto Interministeriale 381/98 ha di recente elaborato un documento contenente le Linee Guida Applicative dello stesso. In particolare, l'intervento in esame ha chiarito la portata dell'articolo 4, comma 3 del Decreto, precisando che la competenza in materia attribuita a Regioni ed a Province autonome è limitata alla definizione di tempi e modalità per il raggiungimento degli obiettivi di qualità individuati a livello centrale. È stata quindi definitivamente esclusa la possibilità per le Regioni di stabilire ulteriori prescrizioni oltre quelle previste dal Decreto Interministeriale 381/98, quali l'imposizione di distanze o ulteriori riduzioni di livelli di emissione.

È evidente quindi che la disposizione in parola esclude ogni competenza alle Amministrazioni comunali che, lungi dal poter assumere autonome disposizioni di natura regolamentare, hanno unicamente il compito di dare attuazione sul territorio alla vigente normativa statale e, se del caso, di richiedere alle competenti Autorità sanitarie la verifica del rispetto delle disposizioni normative da parte del gestore.

4. Conclusioni

La legislazione più recente stabilisce le modalità per la realizzazione e l'esercizio degli impianti di telecomunicazioni.

A tal riguardo il Decreto Interministeriale 381/98 definisce univocamente i valori limite per i livelli di campo elettrico e magnetico e della densità di potenza, senza minimamente imporre agli operatori del settore una distanza minima tra impianti ed edifici abitati. Tali limiti risultano di gran lunga più restrittivi rispetto agli standard internazionali noti, costituendo una forma di cautela ulteriore che garantisce la massima sicurezza sanitaria della popolazione.

Il Decreto scinde le competenze legislative dell'Amministrazione centrale e quindi l'autorità nella scelta dei parametri e dei limiti e delega alle Autonomie locali il compito della verifica e rispetto della normativa in essere.

L'attuale regolamentazione tende a un utilizzo consapevole e ragionato delle risorse spettrali finalizzato sia alla tutela della popolazione, sia all'ottimizzazione del servizio.

Abbreviazioni

ANPA	Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
ANSI	American National Standards Institute
CENELEC	Comité Européen de Normalisation ELECTrotechnique
DIN/VDE	Deutsches Institut für Normung/ Verband Deutscher Elektrotechniker
ICNIRP	International Commission on Non Ionizing Radiation Protection
IRPA	International Radiation Protection Association
NRPB	National Radiological Protection Board

Aldo Ancora. Ha conseguito la laurea in Giurisprudenza presso l'Università di Roma La Sapienza con una votazione di 110 e lode. Ancora oggi collabora regolarmente alla cattedra di Diritto Commerciale. Dal maggio 1983 ha cominciato ad operare presso il servizio affari legali del gruppo ITALSTAT, prima in SVEI (dal 1983 al 1986) e poi, nel 1987, nella Società Autostrada Tirrenica. Successivamente (1988) è stato assunto dalla RAV (Autostrada Aosta - Monte Bianco) per operare come responsabile dell'Ufficio gare e contratti nell'ambito della Direzione per gli affari generali, societari e legali. Nel 1990 è stato nominato dirigente con l'incarico di attendere alla trattazione delle problematiche giuridiche connesse all'esperienza delle procedure di appalto e alla gestione dei rapporti contrattuali con le imprese esecutrici dei lavori di costruzione dell'Autostrada suddetta. Nel settembre 1994 è entrato in Telecom Italia e ha operato nella divisione servizi mobili svolgendo le funzioni di responsabile legale della divisione. In questa veste nel 1995 ha seguito, sia in sede ministeriale sia nei confronti dell'Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato, le problematiche giuridico-regolamentari connesse all'avvio del servizio GSM e alla negoziazione e alla sottoscrizione dei contratti di interconnessione con Omnitel. Dall'agosto 1995 - a seguito della scissione dei servizi mobili da Telecom Italia - è passato in TIM dove ha assunto la responsabilità della Linea Diritto Amministrativo e Concessioni, facente parte dell'Area Affari Legali e Rapporti con le Authorities. Successivamente la propria struttura ha assunto la denominazione di "Diritto Pubblico" con la "mission" di assicurare e garantire la tutela dei diritti della Società nell'ambito dell'intera area del Diritto Amministrativo, Penale e delle Telecomunicazioni, sia a livello di Direzione generale sia a livello operativo locale, tramite il coordinamento delle strutture di TIM operanti sul territorio. Nel 1988 ha sostenuto l'esame di Procuratore legale, maturando in seguito il titolo di Avvocato.

DAI BIT ALLA CONOSCENZA

Roberto Saracco

BORGES, IN UN RACCONTO BREVE PUBBLICATO NEL 1956[1], PROPONEVA ALLA NOSTRA IMMAGINAZIONE UNA BIBLIOTECA MOLTO PARTICOLARE: LA BIBLIOTECA DI BABEL. ERA PARTICOLARE SOTTO IL PROFILO ARCHITETTONICO, COMPOSTA DA SALE ESAGONALI COLLEGATE L'UNA ALL'ALTRA ORIZZONTALMENTE E SOVRAPPOSTE A FORMARE I PIANI DI UN EDIFICIO CHE POTREMMO CONSIDERARE RAPPRESENTANTE L'INTERO UNIVERSO. QUESTA BIBLIOTECA CONTENEVA TUTTI I LIBRI CHE ERANO STATI SCRITTI, IN TUTTE LE LINGUE CHE AVESSE UN ALFABETO COMPOSTO DAI CARATTERI CUI SIAMO ABI-

TUATI COMPRESI LO SPAZIO, LA VIRGOLA ED IL PUNTO.

MA, ANCORA PIÙ INTERESSANTE, QUESTA BIBLIOTECA CONTENEVA TUTTI I LIBRI CHE SONO IN FASE DI SCRITTURA E, MERAVIGLIA, TUTTI QUELLI CHE SARANNO SCRITTI. QUESTA MAGIA ERA REALIZZATA AVENDO STAMPATO TUTTI I LIBRI POSSIBILI - CIASCUNO DI 410 PAGINE - UTILIZZANDO IL MECCANISMO CONCETTUALMENTE SEMPLICE DI COMBINARE TRA LORO, IN TUTTI I MODI POSSIBILI, TUTTI I CARATTERI, TUTTE LE RIGHE, TUTTE LE PAGINE.

Quanti sarebbero i libri in questa biblioteca? Il calcolo è semplice, 25 caratteri elevato a 40 caratteri per riga elevato a 40 righe per pagina elevato a 410 pagine:

$1,397940008672037609 * 10^{650000}$

Questo numero è molto grande; per paragone si può considerare

che il numero di atomi che gli scienziati stimano esser presenti nell'universo sia nell'ordine dei 10^{75} ! In pratica se riuscissimo a scrivere un libro utilizzando un solo atomo avremmo solo una quantità infinitesima dei libri contenuti in questa biblioteca. Il racconto di Borges pone molte sfide intellettuali e spunti di riflessione. Tra questi: quale sarebbe il valore pratico dell'esistenza di una simile biblioteca, visto il numero di libri presenti. Come potrei trovare il libro che cerco? Anche il catalogo dei libri, essendo un libro, sarebbe in questa biblioteca e sarebbe composto da un numero enorme di libri....

1. Internet: l'odierna biblioteca di Babele

Partiamo da questa riflessione per iniziare a fare alcune considerazioni sul rapporto tra infor-



Su concessione del Ministero per i Beni e le Attività Culturali. Biblioteca Medicea Laurenziana, Firenze.

Firenze, Biblioteca Medicea Laurenziana. Giuseppe Zocchi, Veduta del Salone della Libreria di Michelangelo (XVIII secolo).

Osservatorio

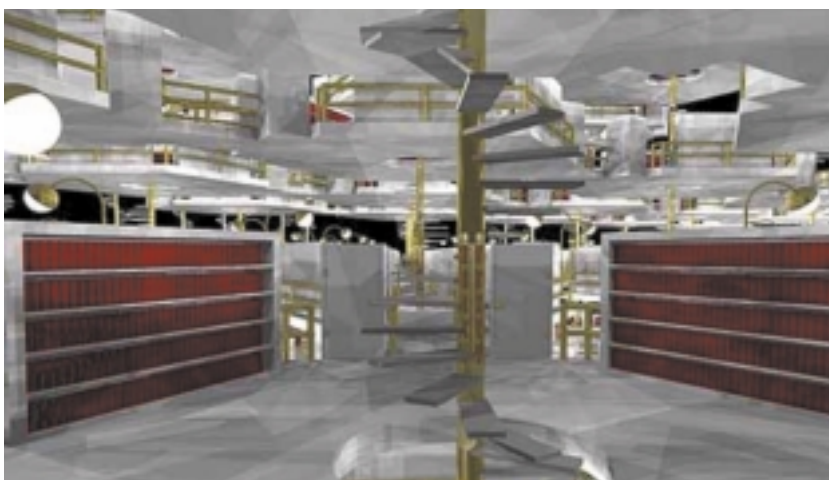
mazione e sapere. Oggi Internet ci porta vicini, in senso figurato e sotto il profilo dei problemi che pone e le possibilità che offre, alla biblioteca di Babele. In Internet abbiamo una quantità

scienza e la Società che in questa vive la società della conoscenza (*Knowledge Age*). È stato prima ricordato che le informazioni in rete si stimano nell'ordine dei miliardi di

(<http://www.completeplanet.com/Tutorials/DeepWeb/index.asp>), anche il miglior motore di ricerca è in grado di "indicizzare" (cioè sapere dell'esistenza e quindi localizzare) soltanto un 16 per cento delle informazioni pubbliche.

Una prima domanda è quindi: cosa accade a quell'84 per cento di informazioni che non sono rese visibili? È come se non esistessero!

Abbiamo sostituito polverosi scaffali di biblioteca con un buco nero che fa scomparire l'informazione? Il problema non è stato causato da Internet ma in generale dalla facilità di produzione dell'informazione: in Italia secondo alcune stime si pubblicano oltre 40 mila libri all'anno², e moltissime sono le riviste registrate con una finalità tecnico-scientifica. Ebbene, la stragrande maggioranza dei libri pubblicati non vende neppure una copia³, la maggior parte delle riviste non ha neppure un acquirente: abbiamo forse invertito il paradigma nato con la scrittura stessa in cui pochi erano gli scrittori e molti (relativamente) i lettori? Leggendo qua e là spesso questo dubbio si sposa con testi che sembrano scritti per soddisfare l'autore più che per trasferire



Una biblioteca virtuale.

molto grande di informazioni: infinitesima rispetto a quella immaginata da Borges, ma pur sempre assai grande. Si stima che alla fine dello scorso anno fossero presenti su Internet oltre 1 miliardo e mezzo di pagine¹ e che queste crescano al ritmo di 1 milione di pagine al giorno. Se poi si considera che le informazioni accessibili potenzialmente a tutti rappresentano solo una parte di quelle che le Aziende giornalmente utilizzano (e producono), si vede quanto sia appropriato il nome di società dell'informazione, da molti utilizzato per segnare il distacco dalla società industriale. Dove ferro, carbone e capacità di trasformazione delle materie prime in prodotti rappresentavano il metro su cui misurare la ricchezza oggi stiamo sostituendo dati, accesso e capacità di elaborazione.

Tuttavia da alcuni mesi, e con sempre maggiore insistenza, si sente definire l'era che sta iniziando come quella della cono-

scienza. Ma quante di queste informazioni sono effettivamente raggiungibili? Il mezzo principe per arrivare a una informazione di cui non si conosca a priori l'esistenza (e la localizzazione) è il motore di ricerca. Sono oggi disponibili molti motori di ricerca - sempre più sofisticati - ma, stando ad analisi effettuate da alcuni ricercatori

⁽¹⁾ Secondo un censimento, http://censorware.org/web_size/, a fine '99 erano presenti in rete 1,56 miliardi di pagine e oltre 330 milioni di immagini. Per avere una idea di cosa significhi 1,56 miliardi si pensi che supponendo di accedere ogni secondo ad una pagina se non smettesse mai neanche per mangiare o dormire impiegheremmo oltre 50 anni per vederle - si fa per dire - tutte! Il solo motore di ricerca Google l'8 agosto indicava di avere recensito 1.060.000.000 di pagine (la home page www.google.com viene costantemente aggiornata con il numero di pagine recensite), ma questo non è nulla se si guarda il recente studio della BrightPlanet, <http://www.brightplanet.com/>, secondo cui le pagine esistenti supererebbero i 500 miliardi (vedi <http://www.completeplanet.com/Tutorials/DeepWeb/index.asp>).

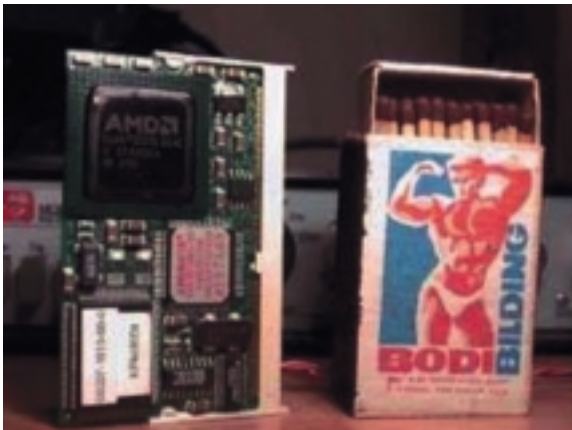
⁽²⁾ Secondo le statistiche rilasciate il 4 aprile 2000 dalla IPA (International Publishers Association), in Italia nel 1997 sono stati stampati 45844 libri contro i 51134 del 1996 e i 49080 del 1995. Un numero in discesa quindi, ma sempre piuttosto elevato! (www.ipa-ue.org/statistics/annual_book_prod.html)

⁽³⁾ Secondo quanto emerso nel corso di una tavola rotonda al Salone del Libro di Torino (11-15 maggio 2000).

informazione e conoscenza a un lettore (spero non sia la sorte di questo articolo!).

Internet ha moltiplicato la capacità di rendere accessibili le informazioni che sono create dai singoli.

I centri che contengono le informazioni e che le distribuiscono a chi ne fa richiesta sono in genere chiamati server: questi sono dei computer, a volte molto potenti ma altre volte identici al PC che abbiamo sulla scrivania. In effetti molte persone hanno iniziato a trasformare i loro PC in punti di distribuzione di informazioni. E la tecnologia sta facendo ulteriormente scendere il costo di questi server.



Un micro server realizzato dall'Università di Stanford.

L'Università di Stanford ha annunciato un micro server, mostrato qui sopra, che sta in una scatola di fiammiferi [9] e che potrebbe avere un costo inferiore alle 3 mila lire! Server di questo tipo potrebbero essere collegati a una varietà di apparati che diverrebbero a quel punto fornitori di informazioni.

E una crescita del numero di informazioni significa aumentare la difficoltà di identificarne una in particolare tra le tante.

Oggi si vede che i fornitori di informazioni stanno ricorrendo a molti "trucchi" per assicurarsi da

un lato di essere compresi tra le informazioni conosciute dai principali motori di ricerca e dall'altro di garantirsi che le domande di informazione dei potenziali visitatori portino "a casa loro".

Una trucco curioso, machiavellico - nel senso che il fine giustifica i mezzi - è quello di inserire un errore di battitura nel testo. Visto che una delle parole più cercate su Internet è "sex" perché non sbagliare a scrivere "sei" e farlo diventare "sex"?

Ma questo vale per altre parole come MP3, oggi seconda parola di ricerca su Internet per arrivare a brani musicali: e allora un produttore di apparecchi HiFi potrebbe sbagliando scrivere

nella sua pagina proprio "mp3". Anzi si vedono - si fa per dire - dei siti in cui su un sfondo azzurro viene ripetuta più volte la sigla MP3, in azzurro in modo da risultare invisibile ai nostri occhi ma visibilissima al motore di ricerca che si accorge di un sito che contiene moltissimi riferimenti a MP3, e quindi che deve essere il punto giusto a cui indirizzare chi cerca MP3!

Se da un lato ci si potrebbe preoccupare di questo 84 per cento di informazioni che ci sono ma che restano invisibili e praticamente inaccessibili, d'altra parte - dopo aver fatto una ricerca su Internet - ci confrontiamo con un problema pratico assai più complesso: come posso utilizzare l'informazione secondo cui vi sono 6.596.735⁴ riferimenti (ad un click di distanza) in cui si

tratta di MP3? Può essere ricordato il detto che il posto migliore per nascondere un filo di paglia è in un pagliaio, in mezzo a migliaia di fili simili (per inciso, un pagliaio medio contiene circa 100 mila fili di paglia - non tantissimi se li confrontiamo con le centinaia di milioni di informazioni accessibili su Internet - il nostro click spera di arrivare a trovare un filo di paglia nascosto in uno tra il migliaio di pagliai esistenti).

2. Dai dati alle informazioni

Su Internet sono presenti dati e non informazioni: il valore di un motore di ricerca è legato alla capacità di trasformare i dati presenti in informazioni.

Ma quale è la differenza tra un dato e una informazione? Il dato è una entità oggettiva esistente indipendentemente da noi, l'informazione è un elemento che ha un valore per noi, in quel preciso istante e in quella data situazione. Un orario ferroviario è un insieme di dati ma se devo prendere un treno i dati relativi a quella percorrenza e al giorno che mi interessa diventano, per me, informazioni.

La capacità di filtro intelligente svolge una funzione molto importante. Un recente motore di ricerca, [2], ascolta le nostre richieste, comunicate in linguaggio naturale (inglese) tramite domande del tipo "Dove trovo informazioni sulla montagna più alta del mondo?", e ci fornisce un'unica risposta complementata da una spiegazione del tipo "ho assunto che tu voglia sapere in quale Paese si trovi la montagna più alta. Tuttavia se vuoi conoscere chi è stato il primo a scalarla clicca qui, se vuoi sapere se

⁽⁴⁾ Numero di riferimenti trovati da Altavista sulla Query mp3 il 10 agosto 2000.

esistono dei viaggi organizzati per andarla a vedere clicca qui...”.

Certamente si perde in visibilità su un insieme assai esteso di siti in cui si tratta l'argomento di

di 126 bit al secondo)⁷.

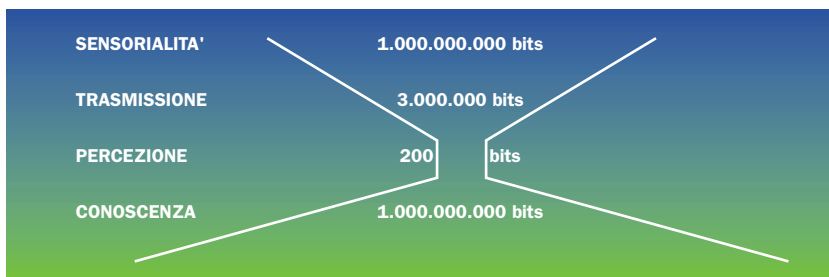
La distanza tra dati rilevati (1 miliardo), informazioni ricevute (3 milioni) e percezione cosciente (126 bit) è enorme. Una recente disciplina (data

maniera analoga con queste tecnologie per arrivare a dare indicazioni ai motori di ricerca in modo da focalizzare le risposte ottenute.

3. Dalle informazioni alla conoscenza

Ritornando alla disparità numerica tra dati, informazioni e conoscenza occorre però fare una precisazione: la nostra percezione è sì “risvegliata” da pochi bit ma assume un valore (conoscenza) in quanto essa è posta in relazione con un numero assai elevato di dati e di informazioni codificate nel nostro cervello, un numero che in termini di cellule vale molti miliardi (il nostro cervello è formato da circa 100 miliardi di neuroni ciascuno collegato con varie migliaia di altri neuroni formando così una rete di un milione di miliardi di interconnessioni [3]).

Questo coinvolgimento di svariate informazioni a livello cerebrale determina a tutti gli effetti un contesto nell'ambito del quale l'informazione percepita assume il valore di conoscenza. Non solo; quest'informazione diventa anche parte integrale del contesto e lo cambia: in un certo senso possiamo dire che il contesto, così inteso, è la conoscenza. Se, ad esempio, i dati percepiti dalla retina sono portati alla mia percezione in termini di un'immagine in movimento e se i sen-



Disponibilità numerica tra dati, informazione e conoscenza.

interesse ma in cambio si ottiene una sola risposta.

Questa condensazione dei dati in poche informazioni è un qualcosa che capita in ogni istante nei nostri rapporti con il mondo. L'insieme di dati in cui ci troviamo immersi, quello che vediamo, sentiamo con le orecchie o con il tatto, percepiamo come calore, posizione, rapporto con l'ambiente è stato stimato in circa 1 miliardo di dati al secondo: le nostre cellule sensoriali diffuse su tutto il corpo raccolgono ogni secondo 1 miliardo di bit di ciò che al livello di ciascuna di esse è informazione⁵. Tuttavia i nostri canali di comunicazione, i nervi, che collegano queste cellule al cervello sono complessivamente in grado di trasportare (solo) 3 milioni di informazioni al secondo.

Si ha quindi una compressione del segnale (e probabilmente anche una perdita di informazione) di oltre 300 volte.

Se poi si misura quante sono le informazioni che arrivano a livello della corteccia cerebrale⁶, quindi quelle percepite a livello cosciente, si scopre che il loro numero equivale a qualche centinaio di bit al secondo (alcune stime parlano di un equivalente

mining [13]) cerca di creare questa capacità di sintesi anche a livello dei calcolatori. Il data mining utilizza tecniche di intelligenza artificiale, statistica, accesso a banche dati e visualizzazione grafica per estrarre da un'enorme mole di dati delle informazioni “utili”. In CSELT ad esempio sono state sviluppate applicazioni che consentono di rilevare anomalie tra i milioni di telefonate in corso per facilitare l'individuazione di telefonate fraudolente.

Un'altra applicazione è l'analisi delle propensioni di acquisto di centinaia di migliaia di clienti per preparare offerte commerciali mirate.

L'analisi del comportamento nell'accesso a pagine su Internet potrebbe essere effettuata in

⁽⁵⁾ A livello di una terminazione cellulare la presenza di una certa sostanza chimica è “una informazione” in quanto questa ha significato per la terminazione e provoca l'emissione di un segnale chimico elettrico che si propaga nel nervo.

⁽⁶⁾ Questa misura è possibile con tecniche tipo la PET (Positron Emission Tomography) che riescono ad identificare il consumo di zucchero da parte delle cellule del cervello e quindi ad inferire quali aree del cervello stanno “lavorando”.

⁽⁷⁾ Per un approfondimento su questa “catena della percezione” si veda *Climbing Mount Improbable*, Richard Dawkins, ISBN: 0393316823.

sori di posizione sparsi nel mio corpo mi avvertono di un'assenza di movimento del corpo, la deduzione - conoscenza - è che quanto sto percependo dipende dal moto di qualcosa esterno a me.

Tipico l'inganno che proviamo quando il nostro treno parte da una stazione in modo molto dolce: i nostri sensori di posizione non rilevano uno spostamento e il nostro cervello deduce perciò che, in effetti, è il treno di fianco al nostro che si muove. Se però, pur nella stessa situazione sensoriale non vi è un treno di fianco al nostro ma solo il marciapiede e la stazione, il nostro cervello - anche in assenza di sensazioni di movimento - deduce correttamente che è il nostro treno che si muove (in quanto una stazione non può certo muoversi!).

La percezione del treno che si muove può generare un contesto in cui proviamo una sensazione di sollievo (abbiamo un appuntamento e dopo una lunga sosta finalmente si riparte) determinata dal sapere che il tempo di viaggio restante è di solo mezz'ora, che la persona che ci attende alla stazione sarà ancora lì...

Il contesto ha quindi un'importanza fondamentale sia in termini di trasformazione della informazione in conoscenza sia in quanto conoscenza esso stesso.

Si può ritrovare il contesto in varie forme, e costruito in modi diversi, nella realizzazione di servizi informativi. Il riconoscimento della voce da parte di una macchina si avvale, ad esempio, fortemente della conoscenza del contesto per arrivare alla comprensione. Questo contesto può essere pre-costruito (un riconoscente in grado di capire domande relativamente a viaggi) oppure può venirsi a formare man mano che si sviluppa l'interazione.

Un altro esempio è quello dell'u-

tilizzo del profilo che caratterizza un utilizzatore. Il profilo descrive in pratica gli interessi della persona che sta interagendo, dall'informazione banale, ma importante, di quali sono le lingue conosciute in modo da potere presentare le informazioni in una di tali lingue, alle informazioni già acquisite (in modo da non ripeterle).

Quando si accede a Internet alcuni siti hanno in memoria l'informazione che siamo già stati a visitarli e cercano di adeguare le informazioni e il modo di presentarle sulla base dell'interesse mostrato in occasioni precedenti. Alcune tecnologie permettono di tenere sotto osservazione quello che facciamo inviando degli agenti sul nostro PC (i cookies o biscottini) per poi intervenire nel momento in cui ci si ricollega a Internet.

Un sistema recente, Goovey [5], offre la possibilità di conoscere chi sta guardando una certa pagina di Internet che abbiamo richiesto. Volendo è possibile entrare in comunicazione con quelle persone, cosa che può essere interessante visto che probabilmente hanno lo stesso nostro interesse relativamente a quell'informazione. Questo servizio, gratuito, dà al fornitore la possibilità di scrutare le nostre "peregrinazioni" su Internet, creare il nostro profilo, e quindi sottoporci a una pubblicità mirata (e con questo, ovviamente, fare soldi).

Possiamo creare noi stessi il nostro profilo ad esempio per informare un sito Internet di un giornale su quali sono i temi di interesse e da quel momento in poi ogni volta che ci colleghiamo il sito ci invierà "il nostro giornale" quello composto dagli articoli che ci interessano [4].

Nella Società dell'Informazione uno degli elementi che avrà maggiore sviluppo e darà origine a un gran numero di servizi sarà

proprio la possibilità di mantenere un contesto: in parte esso sarà costituito dal nostro profilo, in parte sarà formato dai profili delle persone con cui ci troviamo ad interagire e in parte ancora dai profili degli oggetti e delle risorse che sono disponibili.

4. Il colpo d'occhio

Può ora essere preso in esame un elemento ulteriore. Per quanto strano possa apparire a prima vista, la conoscenza non deriva da una serie di fatti oggettivi ma da un'interpretazione di somiglianze che in termini probabilistici ci portano a determinate conclusioni. Quando scorgiamo una persona la riconosciamo a dispetto del fatto che sia vestita in modo diverso, che abbia i capelli più corti e grigi, che abbia un braccio ingessato...

Il nostro cervello opera per similitudini e ha una grande difficoltà a trovare differenze. In un certo senso è una macchina progettata per astrarre e concettualizzare. I calcolatori, invece, operano per uguaglianze, sono rigorosi nelle operazioni che fanno: per loro 1,9999 è un elemento completamente diverso da 2, mentre per il nostro cervello è la stessa cosa. Riconoscere una faccia è un'operazione molto semplice per noi, estremamente complessa per un calcolatore, ma contare i granelli di sabbia in una spiaggia è un giochetto per un PC, una impresa disperata (e soprattutto noiosa) per noi.

Inoltre per noi conoscenza non è tanto un singolo dato, o una singola informazione, ma piuttosto un insieme di associazioni. La conoscenza di un medico ci è utile non in quanto conosce il nome del bacillo che ci ha infettato ma in quanto conosce il tipo di evoluzione che tale infezione può avere su di noi, altri medici che hanno una esperienza su casi

simili, quali medicine sono efficaci e le controindicazioni che alcune di esse potrebbero avere nel nostro contesto. E, non ultimo, il costo di una certa cura. Somiglianza e associazione hanno un marcato valore nella condensazione delle informazioni: quando guardiamo una rivista ci basta sfogliarla velocemente per arrivare a identificare la parte che ci interessa. Questo pezzo può essere un trafiletto agganciato a una immagine, un titolo che ci colpisce per il tipo di carattere, la posizione nella pagina, la struttura della frase. Questa cattura di informazioni a "colpo d'occhio" è il Sacro Graal dei pubblicitari ed è la barriera che si sta cercando di superare su Internet.

Un approccio alla ricerca di informazioni che sfrutta gli elementi di associazione (e in parte di somiglianza) è studiato dall'iniziativa Clever [6]: con questo approccio si cerca di identificare quali sono le connessioni tra le diverse pagine presenti su Internet. Se una pagina è "puntata" da molte altre pagine probabilmente essa ha un valore riconosciuto; se esistono quindi molte pagine che contengono un termine che stiamo cercando e gran parte di queste ha un link

verso una pagina che contiene questo termine, conviene allora andare direttamente su quella pagina. Nell'immagine a fianco è indicato in modo grafico l'insieme delle relazioni risultanti da una analisi fatta da Clever su migliaia di siti. Ogni punto rappresenta una pagina e i vari "fili" rappresentano le connessioni. L'analisi di tali connessioni converge verso un unico punto, quello rappresentato centralmente.

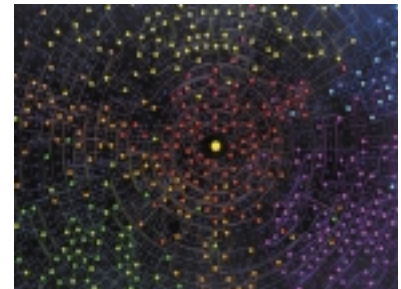
Un'altra tecnologia in fase di studio è quella legata al riconoscimento delle immagini, ambito in cui CSELT continua a giocare un ruolo di assoluto rilievo a livello della ricerca mondiale⁸.

Gran parte delle informazioni presenti in Internet (a differenza della biblioteca di Babele) non sono testuali ma sono basate su immagini, suoni e, sempre più spesso, su videoclip.

La codifica di informazioni che rappresentano immagini o suoni in bit ha posto inizialmente il problema della quantità di bit da trattare e quindi da trasmettere. Ad esempio, la codifica in bit di un secondo di televisione richiede 166 milioni di bit⁹.

Trattare questi bit richiede un'elevata potenza elaborativa ma poiché essa ha continuato a cre-

scere¹⁰, non solo è stato superato questo problema ma è stato possibile utilizzare la crescente potenza elaborativa per effettuare codifiche sempre più efficaci.



Analisi di Clever su migliaia di siti.

A partire dall'inizio degli anni Novanta è diventato possibile codificare il segnale televisivo comprimendo i 166 milioni di bit al secondo in soli 1,5 milioni con una qualità simile a quella fornita da un videoregistratore. In anni più vicini sono stati individuati sistemi di codifica che permettono di utilizzare una compressione variabile anche in funzione della qualità desiderata. La compressione ha reso possibile memorizzare questo tipo di informazioni e il loro accesso tramite Internet.

Va anche ricordato che è attesa un'esplosione nel numero di immagini anche a seguito del passaggio dall'uso della pellicola a quello di macchine fotografiche digitali. Un nuovo business è dunque in partenza: quello degli album elettronici che alcune Aziende¹¹ si apprestano a offrire (gratuitamente) per consentire a chiunque di mettere in rete immagini (con varie possibilità di restringere l'accessibilità agli album; il mio album ad esempio può essere visionato solo da me e dalla mia famiglia).

Tuttavia, a differenza delle stringhe di caratteri che un motore di ricerca è in grado di localizzare, non esistono ancora sistemi che

⁽⁸⁾ CSELT ha contribuito all'ideazione e alla successiva standardizzazione di MPEG (Motion Picture Expert Group), un insieme di standard oggi utilizzati per codificare segnali video su CD-ROM, trasmetterli da satellite e di recente anche nelle telecamere digitali (<http://www.csel.it/ufc/leonardo/mpeg/index.htm> , <http://www.csel.it/ufc/mp4/index.htm>). Inoltre una parte dello standard MPEG, MP3, a partire dal 1998 ha avuto un successo assai sensibile nella codifica della musica per distribuirla poi su Internet [10].

⁽⁹⁾ Un secondo di televisione richiede la presentazione di 25 schermate, ciascuna composta da 576 righe con 720 punti elementari. Per ciascun punto occorre dare informazioni su colore, brillantezza e luminosità e questo comporta l'utilizzo di 16 bit. Facendo la moltiplicazione si ottiene 165.880.000 bit al secondo. A questi bit occorre poi aggiungerne circa 1 milione e mezzo per la codifica del sonoro.

⁽¹⁰⁾ L'incremento di potenza elaborativa segue una previsione fatta da Moore, a metà degli anni Settanta, cioè di un raddoppio ogni 18 mesi. Data l'accuratezza nei fatti di questa previsione, essa oggi viene assunta a livello di legge, indicata comunemente per l'appunto come legge di Moore.

permettano, in modo automatico, di catalogare e riconoscere immagini e suoni. Non è ad esempio possibile avere una risposta ad una domanda del tipo "Vorrei la foto di un bambino che dà la mano a un vecchio", o "vorrei quel motivetto che fa ta, tatata, ta". Tramite alcuni motori di ricerca¹² è possibile cercare immagini ma all'interno di un "album" in cui ogni immagine è stata classificata manualmente. La classificazione automatica è un'area di ricerca che ha portato più a rilevare i problemi che si debbono affrontare che a pervenire a una reale soluzione.

Lo stesso Gruppo, che ha studiato i sistemi per comprimere il segnale video, ha oggi in corso di studio i meccanismi per codificare i diversi elementi di una immagine (o di un suono) a cui è associata un'informazione che ne spiega il significato (ad esempio:

questo è un cane). Tenere separate le diverse informazioni che costituiscono un'immagine permette di elaborare l'immagine separando i diversi componenti e riposizionandoli nello spazio di visualizzazione. Ad esempio se abbiamo due televisori in salotto potremmo ricevere un filmato e deviare parte delle immagini su uno schermo, magari quelle testuali relative alla spiegazione di alcuni elementi che appaiono sul televisore principale. O magari potremmo "giocare" con le immagini per trasferire la protagonista all'interno di un nostro filmato!

Dal punto di vista di ricerca delle informazioni è naturalmente ancora più interessante l'idea di associare il significato a ogni elemento di un'immagine (in forma testuale e quindi facilmente accessibile ad un motore di ricerca).

Quest'associazione sarà resa pos-

sibile dalla conclusione degli studi in corso anche se la strada da percorrere sembra ancora piuttosto lunga¹³.

Al problema del riconoscimento di una forma e quindi di una caratteristica dell'immagine (un cane) occorre anche aggiungere la comprensione su quanto si è riconosciuto: è un cane vero? O è di pezza? È uno schizzo che rappresenta un cane? È un cane per un cieco? È un cane bravo?

Come si vede facilmente la complessità legata alla comprensione è maggiore di quella legata al riconoscimento (anche se richiede il riconoscimento). Si è tornati al problema che si è indicato in precedenza e che lega il transito dall'informazione alla conoscenza.

Al crescere delle informazioni i motori di ricerca accrescono la loro sofisticazione imitando, in un certo senso, gli approcci che il nostro cervello segue per passare dai dati alla conoscenza [7].

Tuttavia il panorama è così complesso che sembra opportuno affrontare anche in modo completamente diverso il rapporto con le informazioni.

5. Se Maometto non va alla montagna...

A partire dal 1997 - in un certo senso da quando Internet ha iniziato a muovere i primi passi nel mercato di massa - è stata avviata la sperimentazione di approcci in cui, sulla base di un profilo di interesse dichiarato dal singolo, veniva preparato un pacchetto di informazioni e quindi inviato direttamente alla persona interessata. In alcuni casi questo processo appariva come un canale informativo personalizzato che accumulava informazioni per riversarle nel momento in cui la persona si collegava¹⁴.

Più recenti (anche se concettualmente più semplici) sono le sot-

⁽¹¹⁾ La Zing, www.zing.com, a partire dal luglio '99, offre uno spazio illimitato in rete in cui ciascuno può creare un proprio album. Il business deriva dalla pubblicità che il grande numero di "contatti" stimola (nei primi tre mesi il sito è stato visitato da più di 1,7 milioni di persone diverse) e dalla vendita delle stampe delle foto. Infatti dopo aver inserito la foto nell'album può esserne chiesta una stampa (in qualunque momento). Questa riproduzione sarà inviata a casa e si potrà averla non solo su carta (banale) ma anche su magliette, tappetini del mouse o, perché no!, sulla "glassa di una torta". Il 4 aprile 2000 Zing ha annunciato di avere raggiunto un milione di membri (ciascun membro può avere uno o più album). Un'altra società che ha fatto la sua comparsa a dicembre '99 è Shutterfly (www.shutterfly.com), fondata da Jim Clark, il fondatore di Silicon Graphics. Se una persona non avesse una macchina fotografica digitale? Ememories, www.ememories.com, offre di sviluppare il rullino mettendo il risultato in rete. Possiamo vedere le foto, gratuitamente, sul nostro album e decidere quali vogliamo farci stampare (a pagamento).

⁽¹²⁾ Ad esempio Altavista (www.altavista.com) ha un album che cataloga 25 milioni di immagini. Come si può facilmente verificare accedendo ad Altavista, le immagini ottenute a seguito di una domanda sono in molti casi non soddisfacenti.

⁽¹³⁾ Lo standard MPEG7, in via di definizione, permette sia di associare il significato all'immagine sia - almeno parzialmente - di dedurne in maniera automatica il significato: non solo definisce un posto in cui scrivere "questa è l'immagine di un cane" ma riesce ad accorgersi nel momento della codifica che quella è l'immagine di un cane (<http://www.cselt.it/ufc/leonardo/mpeg/standards/mpeg-7/mpeg-7.htm>).

⁽¹⁴⁾ Un esempio è Pointcast (www.pointcast.com) anche se in questo caso l'offerta era relativa a canali tematici più alcuni canali specifici il cui palinsesto era creato da altri soggetti con funzionalità variabili da caso a caso.

toscrizioni a gruppi di interesse che consentono di ricevere automaticamente informazioni via via che queste si rendono disponibili. Inizialmente le notizie venivano inviate sotto forma di posta elettronica per cui ci si accorgeva della disponibilità di esse quando ci si collegava alla propria casella di e-mail. Più di recente sono cominciate ad arrivare sotto forma di messaggi sul telefonino (a volte solo un messaggio generico che avverte della disponibilità di un certo tipo di informazioni). Alcuni giornali hanno iniziato a offrire sottoscrizioni in cui il singolo può indicare i propri interessi e ogni mattina il giornale viene recapitato alla casella di e-mail con le notizie di interesse¹⁵. Tuttavia questi sistemi di portare le informazioni "a casa" dell'interessato sono ancora abbastanza primitivi: infatti sono trasmesse solo le informazioni che l'interessato, in precedenza, ha esplicitamente dichiarato di volere; non vi è quindi da parte "della rete" una capacità di determinare quanto potrebbe essere di interesse della singola persona. Cominciano comunque a vedersi primi esempi di applicazioni in questa direzione. Se si consulta un sito che vende libri o musica non è infrequente scoprire che la domanda di informazioni su un certo prodotto viene soddisfatta in modo puntuale e allo stesso tempo viene comunicato che chi ha precedentemente acquistato quel certo "titolo" ha anche acquistato un certo numero di altri titoli. Il sistema cerca dunque di proporre alcune informazioni che ritiene di interesse del cliente sulla base del suo comportamento e del comportamento di altri che associa ad esso. Non solo, quando esce un nuovo libro o una nuova registrazione musicale di un particolare autore a cui il cliente sembrava essere interessato, gli arriva

un'e-mail per informarlo. Ancora più interessante, a volte l'informazione riguarda l'uscita di un libro o di un brano musicale che potrebbe piacergli in quanto tratta temi simili o ha una struttura melodica analoga a quelle che sembrano soddisfare l'interesse della particolare persona. Con questo processo ci stiamo quindi muovendo verso la conoscenza; la strada però è ancora lunga: quali sono gli elementi che mi fanno gradire un certo libro? In quale situazione di vita mi piace un libro che abbia certe caratteristiche?

Questa seconda domanda, "in quale situazione.." fa emergere un altro elemento importante, la volatilità del valore delle informazioni da un lato e allo stesso tempo il valore che queste assumono in specifici momenti. Si può subito osservare che la volatilità è una caratteristica delle informazioni, non della conoscenza. Questa per sua natura ha infatti tempi di valore più lunghi: saper andare in bicicletta può non essermi utile oggi ma dopodomani sì e non importa se è passato più o meno tempo dall'ultima volta che ho inforcato una bici¹⁶; continuerò a saperci

andare.

Invece l'informazione relativa all'orario di un treno da Torino a Roma non ha alcun valore per me se non nel momento in cui devo programmare, o fare, un viaggio su quella direttrice. Se l'informazione è vecchia di un anno probabilmente non vale più nulla in quanto l'orario potrebbe essere stato modificato.

6. Se proprio devi fare una cosa, falla fare ad un altro

Sia che cerchiamo un'informazione sia che questa ci sia recapitata al momento opportuno, i sistemi odierni richiedono un certo impegno da parte nostra. Non stupisce quindi che si stia operando per trovare dei sistemi che facciano le ricerche o le richieste per conto nostro visto che il tempo per ciascuno di noi è diventato estremamente prezioso¹⁷. Quanto più la quantità di dati e di informazioni cresce, tanto più apprezzeremo l'utilità di sistemi in grado di selezionare per conto nostro l'informazione. La risposta della ricerca è stata chiamata *agenti intelligenti*: sono

⁽¹⁵⁾ In genere viene inviato tramite e-mail un breve riassunto di ciascuna notizia insieme ad un indirizzo Internet in cui si può leggere la notizia completa. Un esempio è www.wired.com.

⁽¹⁶⁾ Può essere interessante notare che gli studi sulla memoria umana, su come cioè ciascuno di noi immagazzina conoscenza e la riutilizza "si ricorda", sembrano indicare che la nostra memoria si è sviluppata per permetterci di operare in un contesto dinamico e in particolare nel rapportarci con questo contesto: siamo più capaci a memorizzare e ricordare azioni, ad esempio andare in bicicletta, che non dati, quali ad esempio quelli relativi alla data di nascita di Napoleone, che utilizziamo solo nel pensiero (e nella sua espressione scritta e verbale). Mentre dimentichiamo facilmente la data di nascita di Napoleone, una volta che abbiamo imparato ad andare in bicicletta non lo dimentichiamo più. È per questo motivo che si impara meglio "facendo" le cose piuttosto che "leggendo" [11].

⁽¹⁷⁾ Sembra che una volta si dedicasse tempo per poter risparmiare soldi; oggi invece si spendono soldi per poter risparmiare tempo.

⁽¹⁸⁾ In alcuni casi gli agenti proattivi sono anche chiamati funzionali. L'agente funzionale ha un comportamento fortemente condizionato dal contesto in cui opera. Un esempio di agente proattivo per la ricerca di informazioni è http://www.artificial-life.com/default_2.asp.

dei “pacchetti” software caratterizzati dalla capacità di operare in modo autonomo sulla base di informazioni che abbiamo fornito ad essi in modo esplicito o implicito (queste indicazioni sono forse le più interessanti e derivano dalla capacità - presunta - di un agente di osservare il nostro comportamento e di adeguarsi ad esso).

La parola *agente* sta proprio ad indicare una capacità di operare per conto nostro.

Il termine *intelligente* caratterizza invece l'autonomia dell'agente e una flessibilità di azione sulla base del contesto e delle esperienze che gradualmente acquisisce.

Il *livello minimo di intelligenza* richiesto a un agente è quello di raccogliere informazioni. Si noti come questo non solo richieda la capacità che oggi hanno i motori di ricerca ma anche la capacità di gestire la ricerca. L'agente ad esempio dovrebbe essere in grado di dirmi dove posso trovare una certa informazione, in quella particolare forma (un'immagine piuttosto che un testo o un videoclip) al prezzo migliore (il che può includere sia il prezzo di acquisto sia quello di arrivare all'informazione, sia eventualmente anche quello collegato all'impiego di tale informazione) ed anche l'affidabilità che quell'informazione può avere (è “l'ultimo grido” o è in parte già superata?).

Il *secondo livello di intelligenza* è costituito dalla capacità di filtrare le informazioni che arrivano. Di nuovo questo modo di operare non comporta solo l'esclusione di certe informazioni (questa capacità sta diventando comune nei sistemi di gestione della posta elettronica che riescono a bloccare certi tipi di messaggi che non hanno alcuna rilevanza per noi) ma anche organizzare le informazioni che arrivano per priorità, collegandole

tra loro e al contesto in cui opero. Capita frequentemente a chi usa la posta elettronica di rispondere ad una mail per poi scoprire che ne era arrivata una successiva che corregge le informazioni della prima e che quindi invalida la risposta. La priorità dei messaggi che ricevo dovrebbe essere stabilita sulla base di ciò di cui mi occupo in quel momento oltre che su un contesto più ampio. Ad esempio una mail del capo non ha necessariamente una priorità maggiore di quella dei propri collaboratori. Magari leggendo prima queste sono in grado di rispondere in modo appropriato alla richiesta contenuta nella mail del capo...

Il *terzo livello di intelligenza* è quello dell'apprendimento. Osservando il mio comportamento l'agente è in grado di adattare ricerca e presentazione delle informazioni raccolte. Ad esempio se sto lavorando a un articolo come questo e faccio una ricerca in rete per sapere quante sono le pagine web esistenti, un agente intelligente “di grado 3!” dovrebbe effettuare una ricerca in numerosi posti in cui sono forniti dati relativi alla mia domanda valutandone il livello di aggiornamento e la possibile autorevolezza (grado 1!), filtrare le risposte che non hanno senso in questo caso - ad esempio quante pagine web sono disponibili in Italia (grado 2!) - e magari organizzare le risposte in un grafico che possa essere facilmente incluso nell'articolo visto che questo genere di informazioni preferisco presentarle con alcuni istogrammi (grado 3!).

Il *quarto livello di intelligenza* è costituito dalla proattività, cioè dall'iniziativa dell'agente di richiedere informazioni per averle disponibili al momento opportuno. Un agente proattivo¹⁸ è un agente che presenta anche le caratteristiche (di intelligenza) degli agenti precedenti

temente mostrati. Ad esempio, nel momento in cui l'agente filtra alcune informazioni può accorgersi che alcune di esse sono irrilevanti rispetto alle esigenze attuali ma che possono tornar utili nella preparazione di un documento che probabilmente redigerò la prossima settimana. Informazioni relative al numero di pagine web in Italia non sono rilevanti in questo articolo ma potrebbero essere utili quando dovrò preparare, ad esempio tra una settimana, un intervento sullo stato di Internet in Italia. E' chiaro che per poter fare questa previsione l'agente deve conoscere il contesto in cui opero. Se mi sono segnato in agenda “preparare l'intervento per il Congresso nazionale su Internet il 15 settembre” il mio agente proattivo comincerà a raccogliere informazioni e quando avrò preparato l'articolo continuerà a verificare se queste sono ancora valide in modo da avvertirmi il giorno prima della presentazione di cambiare il materiale e informare la platea che sono accadute alcune evoluzioni rispetto a quanto scritto nell'articolo.

Questo agente è particolarmente utile quando inserito nel contesto di un progetto aziendale in quanto esso si preoccuperà di portare le informazioni di rilievo per le attività in corso non solo a me ma anche a tutte le persone che operano nel progetto, curando di avvertire tutti di eventuali cambiamenti o di progressi avvenuti mano mano che essi si presentano. (Chi dovesse ritenere scarsamente utile una prestazione di questo genere, presumibilmente non ha mai operato in un gruppo di lavoro aziendale).

Il *quinto livello di intelligenza* trasforma un agente proattivo in un consulente. Ad esempio accorgendosi di aver trovato informazioni relative al numero di

pagine Web in Italia potrebbe far apparire una finestra sul mio PC con una frase del tipo "perché non utilizzi quest'informazione in una nota visto che l'articolo è diretto a un pubblico italiano che potrebbe essere interessato a conoscere qual è la situazione nel nostro Paese, o magari potresti inserire un grafico che metta a confronto la crescita delle pagine Web nel mondo, in Europa e in Italia inserendo qualche commento sulla diminuzione del gap nei prossimi anni nel caso in cui questa tendenza dovesse proseguire". Sono disponibili oggi molti pacchetti software specializzati per fornire consulenza in segmenti come investimenti finanziari, sviluppo vendite, diagnosi e medicinali; ma questi pacchetti in genere non hanno quelle caratteristiche di delega che caratterizzano un agente. *Un ulteriore - e diverso - livello di intelligenza è quello di tipo affettivo.* Un agente di questo tipo sarebbe in grado di effettuare una ricerca in rete per rispondere alla domanda "trovami una barzioletta che mi faccia ridere, oggi mi sento giù di morale". È disponibile al riguardo un insieme molto interessante di studi che cercano di fornire a un computer la capacità di interagire sotto il profilo delle sensazioni umane [8]. Questi computer devono essere in grado di capire, da come guardiamo, dal tono e dal modo con cui parliamo, dall'emozione espressa dal nostro volto, l'effetto che ha su di noi una certa informazione, o il modo in cui essa viene presentata. L'informazione stessa potrebbe variare sulla base delle reazioni emotive di chi la riceve. Quest'area è d'interesse in molti settori e in particolare in quello dell'intrattenimento (produzione di film interattivi) ma è anche osservata con attenzione da specialisti in publi-

cità, marketing e rapporto con la clientela.

7. La conoscenza come valore nel processo produttivo

Gli agenti intelligenti, come qualunque altra tecnologia che consenta di ottenere informazioni sulla base del contesto d'interesse, troveranno un grande interesse nelle Aziende. Sempre più infatti si fa strada la consapevolezza che il valore di un'Azienda è legato alla conoscenza che quest'Azienda possiede.

La forte dinamica del mondo del lavoro che oggi pervade il sistema produttivo degli Stati Uniti - e che inizia a farsi sentire in Italia - pone il problema di passare dalla conoscenza della singola persona (che oggi abbiamo e che domani può passare a un concorrente) a quella della conoscenza dell'Azienda e più in particolare di legare la conoscenza ai processi aziendali. Continuano a essere pubblicati numerosi testi su questo tema, spesso identificato come *knowledge management* [12], per cui non ha senso addentrarsi in questa tematica se non per sottolineare da un lato che, al di là dell'enfasi che ad essa viene data, oggi è in uno stadio di prima infanzia e non è ancora chiaro quali sono le domande da porre prima di cercare le risposte. È possibile però fare alcune riflessioni sulla presumibile evoluzione basata su quanto è stato indicato in precedenza. Sulla base delle tecnologie disponibili non è difficile portare le informazioni aziendali da uno stato cartaceo a uno "elettronico". Che questo continuamente avvenga è un fatto ormai acquisito. In CSELT, ad esempio, si è passati da 19 milioni di fotocopie del '97 a 14 nel '98 e a

meno di 10 nel '99 (le previsioni per il 2000 confermano la tendenza ad una riduzione). Nello stesso periodo le pagine prodotte in elettronico sono passate da alcune migliaia del '97 ad oltre 250 mila nei primi 9 mesi del '99. Le pagine accessibili sul Web aziendale a settembre del '99 erano circa 700 mila. Anche gli accessi al sito aziendale sono cresciuti: dai circa 11 mila a settimana d'inizio '97, ai 28 mila all'inizio del '98, 55 mila all'inizio del '99, oltre 70 mila a settimana all'inizio del 2000. E anche gli accessi dall'esterno al sito aziendale (nella parte pubblica) sono passati da poco più di 10 mila all'inizio del '97 a oltre 180 mila dell'ultima settimana di settembre '99.

Se si ha un riscontro nella transizione da cartaceo a elettronico e nella corrispondente crescita dell'accesso all'informazione elettronica rimane però il dubbio: un'informazione elettronica ha la stessa probabilità di essere raccolta rispetto alla stessa informazione disponibile in forma cartacea? Se è vero che solo una minima parte delle fotocopie che facciamo e che inviamo in giro sono effettivamente lette quando l'informazione è in elettronico diventa invisibile almeno che non sia ricercata esplicitamente o si abbia un sistema in cui essa è spinta ed è posta sotto gli occhi del potenziale interessato¹⁹.

In CSELT questo problema è stato affrontato creando dei profili sugli interessi delle persone. Sulla base di questi profili le informazioni che possono risultare di interesse sono segnalate tramite e-mail. Se la persona ritiene l'informazione d'interesse con un click può recuperarla. Non solo: il sistema di posta elettronica dà la possibilità di archiviare in modo strutturato notevoli quantità di informazioni o di puntatori tramite i quali cia-

scuno, secondo le proprie necessità, può costruire il proprio spazio informativo.

L'utilizzo di strumenti base, quali il word processor o i sistemi di archiviazione con modalità cooperativa, permette di annotare proprie idee sulle informazioni generali e decidere volta a volta il livello di condivisione di queste note. Diventa quindi possibile tracciare l'evoluzione di una certa informazione e le ragioni che hanno portato a tale evoluzione: ed è proprio questo tracciamento dei motivi dell'evoluzione che costituisce la conoscenza a livello aziendale trasformando le competenze individuali e la somma delle competenze di molti in una conoscenza dell'Azienda fruibile in tempi differiti da parte di qualunque persona.

“Dietro l'angolo” abbiamo la promessa di passare dall'associazione tra informazione e profilo d'interesse di una persona realizzato dalla stessa persona, a quello tra informazione e profilo di interesse in parte creato dalla persona e in parte generato automaticamente per riflettere quanto la persona ha già fatto e quanto sta facendo o farà. L'adeguamento del profilo all'esperienza (quello che la persona ha fatto) è ottenibile dal tracciamento - svolto ad esempio da un agente intelligente - del comportamento della persona nella ricerca delle informazioni e nel loro utilizzo. La ricerca di ciò che la persona sta facendo può essere costruita sulla base di un'associazione con il profilo delle attività del progetto su cui la persona opera e del ruolo che essa gioca nello specifico progetto. Inoltre agenti intelligenti in grado di analizzare le azioni in corso - ad esempio il testo che sto scrivendo in questo momento - possono far apparire sullo schermo una segnalazione sulla presenza d'informazioni collegate. Se, ad

esempio, mentre leggo un testo ho un dubbio, magari scrivo un'annotazione a margine (del tipo “perché mai si dovrebbe fare così”?) e l'agente intelligente intercetta la domanda e la trasforma in una ricerca autonoma di informazioni segnalandomi un documento in cui è sviluppato quel punto. Questo tipo di supporto può diventare molto utile per permettere una decisione distribuita. Le informazioni che permettono di prendere la decisione non necessariamente devono essere distribuite ma è creato un contesto, in continua evoluzione per riflettere lo stato del sistema Azienda, in cui tale decisione diventa possibile²⁰.

L'adeguamento del profilo sulla base di ciò che una persona farà è di notevole interesse dal punto di vista della crescita delle competenze dell'Azienda. Sulla base delle strategie di posizionamento e di mix di risorse esistenti i profili dei singoli possono essere adattati a ciò che si presume che le persone dovranno fare in futuro, e, sulla base della loro reazione all'esposizione ad un contesto progressivamente diverso, può essere valutato come procedere ulteriormente. La gestione delle risorse umane

potrebbe così acquisire uno strumento importante per l'evoluzione delle risorse.

L'informazione aziendale potrebbe evolvere stratificandosi per permettere a persone che operano in ruoli diversi di accedere alle parti di rilievo per lo specifico ruolo da esse svolto. Ogni informazione è caratterizzata da una storia (come è stata creata, in quale contesto, come è stata già utilizzata e quali sono i contesti di utilizzo) e da un insieme di relazioni con altre informazioni e con le azioni in cui essa trova impiego: questo processo permette di costruire un contesto di significato e rende possibile passare da una ricerca di tipo sintattico (trova il documento con la parola “applicazione”) a una di tipo semantico (trova documenti o riferimenti che mi dicano se “esistono strumenti per lavoro cooperativo” utilizzabili nel mio contesto aziendale).

8. Saremo in grado di sopravvivere al diluvio di informazioni?

In quest'articolo sono stati affrontati diversi temi, non per dare soluzioni ma per stimolare

⁽¹⁹⁾ Secondo una ricerca effettuata negli Stati Uniti (citata da Hammer nel suo libro *Reengineering the Corporation*) nella migliore situazione in un'Azienda di medie dimensioni viene letto un massimo dell'8 per cento delle fotocopie fatte. Tuttavia è anche interessante notare che una piccola percentuale delle fotocopie lette viene letta “per sbaglio” solo perché l'occhio di una persona è “casualmente” caduto sul documento che qualcuno ha posato sulla scrivania (o sul tavolo di riunione). Questo non capita per un'informazione elettronica, sotterrata alla vista casuale in un'enorme banca dati.

⁽²⁰⁾ Esistono alcuni sistemi in natura che operano con criteri di decisione distribuita, ad esempio le api e le formiche: se un'ape ad esempio scopre una zona ricca di polline il sistema globale delle api di quell'alveare in poco tempo diventa informato della scoperta e le api iniziano a dirigersi verso quella zona, anche quelle (e sono la maggioranza) che non hanno avuto alcuna comunicazione con l'ape che ha effettuato la scoperta né con quelle che hanno interagito con essa. Si produce un cambio di configurazione nel sistema alveare e nel comportamento che rapidamente influisce sul comportamento delle singole api. In questo senso un'ape può esemplificare il concetto di agente funzionale.

una più ampia riflessione. In chiusura sembra appropriato stimolare un'ulteriore riflessione sulla capacità che ha l'uomo, ciascuno di noi, di vivere con successo in un ambiente in così forte evoluzione.

Un lord inglese osservava che la velocità con cui arrivano le informazioni ci sta "rubando" il tempo per pensare. Molti probabilmente sono pronti a sottoscrivere questa sensazione. È interessante notare che questo lord pronunciava quella frase alla fine del diciannovesimo secolo e si riferiva alla rapidità con cui la posta veniva distribuita visto che si era passati da un trasporto fatto da carrozze trainate da cavalli alla ferrovia.

Oggi quella velocità di distribuzione appare ormai lenta rispetto ad una e-mail, ed è cresciuta nel contempo la quantità dell'informazione che passa da una lettera a settimana, a qualche decina di messaggi ogni giorno.

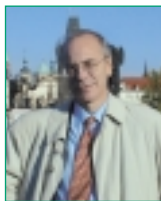
La riflessione che questo piccolo aneddoto stimola porta ad un (moderato) ottimismo: l'uomo nella storia ha mostrato di essere capace sempre di adattarsi a un ambiente in costante evoluzione sia questa naturale sia provocata da lui stesso.

E se molti sono stati i cambiamenti di forma e di valore, la conoscenza - che per i filosofi greci era motivo di dibattere e ragione di vivere - rimane un valore essenziale.

È cambiata però la facilità di condividere la conoscenza con centinaia di milioni di persone in modo quasi istantaneo. Domani la condivisione dovrebbe coinvolgere miliardi di persone e, forse, in futuro dovremo imparare a dividerla anche con le macchine.

Bibliografia

- [1] Borges, J.L.: *La biblioteca di Babele*. www.analitica.com/biblioteca/jjborges/library_babel.asp, www.pretext.com/oct97/features/story1.htm.
- [2] www.askjeeves.com.
- [3] *Reti bioartificiali di neuroni*. «Le Scienze», n. 375, novembre 1999.
- [4] Ad esempio, www.repubblica.it.
- [5] Gooley, <http://www.hypernix.com/cmp/about.html>.
- [6] Cornell University, Berkely UC e Laboratorio di ricerca IBM di Almaden, www.almaden.ibm.com/cs/k53/clever.html, <http://www.almaden.ibm.com/cs/k53/clever.html>.
- [7] www.searchenginewatch.com.
- [8] Si veda la ricerca sugli affective computer www.media.mit.edu/affect.
- [9] Micro Web Server http://www.compaq.com/rcfoc/19991108.html#_Toc466335096.
- [10] Chiariglione, L.: *Lo standard MPEG-4*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 8, n. 3, dicembre 1999, pp. 86-97.
Chiariglione, L.: *Gli standard MPEG-1 ed MPEG-2*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 8, n. 3, dicembre 1999, pp. 75-85.
Chiariglione, L.: *MPEG, dalla concezione di un'idea ai suoi effetti*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 8, n. 3, dicembre 1999, pp. 68-74.
- [11] Per approfondimenti sul tema dell'apprendimento e della memoria si suggerisce: *Apprendimento e Memoria*. Quaderni di «Le Scienze», n. 82.
- [12] Dutrenit, G.: *Learning and knowledge management in the firm; from knowledge accumulation to strategic capabilities*. Edward Elgar Pub. Co., 2000.
- [13] Malabocchia, F.; Buriano L.; Mollo M.J.; Richeldi, M.; Rossotto, M.: *Mining Telecommunications Data Bases: an approach to support the Business Management*. Proceedings IEEE/IFIP NOMS '98, New Orleans.



Roberto Saracco, entrato in CSELT dopo il diploma in Scienze dell'Informazione, si è laureato in Matematica ed ha partecipato alla realizzazione della prima centrale elettronica a programma registrato in Italia. Nella ormai lunga evoluzione professionale ha maturato esperienze nei settori di progettazione software, gestione della rete, architetture di telecomunicazione. Negli ultimi anni svolge attività di comunicazione e marketing della ricerca e un'intensa attività a livello internazionale, dai gruppi di standardizzazione ai progetti cooperativi europei. È autore di numerosi articoli e di alcuni libri. A livello IEEE è Member of the Board e Direttore Marketing della Comsoc. È attualmente responsabile dell'area Promozione e Comunicazione in CSELT.

L'evoluzione ICT e la net-economy

CNT 2000
Convegno Nazionale delle Telecomunicazioni

Milano, 26-27 ottobre 2000

Claudio Carrelli



1. Introduzione

Nel 2003 il volume delle transazioni in rete sarà di circa 105 mila miliardi di lire, il che equivale al fatturato dell'industria ICT in Italia per l'anno in corso. È quanto è stato affermato nel corso dell'appuntamento biennale che fa il punto

sull'evoluzione ICT, e che per questa edizione si è svolto a Milano il 26 e 27 ottobre scorsi alla presenza di oltre 250 congressisti.

Il Convegno Nazionale delle Telecomunicazioni, organizzato dall'AEI, l'AIIT, l'ANIE e l'IIC¹, ha scelto questa volta come tema *L'evoluzione ICT e la net-economy*. Il programma, assai articolato, comprendeva

dodici relazioni - su temi legati alla net-economy, all'evoluzione dei servizi di rete, a quella dei servizi applicativi e alle prospettive future del settore - e cinque tavole rotonde alle quali hanno preso parte trentadue relatori.

Gli interventi legati alle tecnologie dell'accesso, allo sviluppo di nuovi modelli di business e all'evoluzione dei servizi applicativi hanno tenuto vivo l'interesse dei partecipanti: grande attenzione hanno destato alcune previsioni relative allo sviluppo del settore e al suo effetto di volano per altri settori collegati.



Apertura del Convegno: da sinistra Umberto de Julio (Presidente AEI), Franco Grimaldi (Wind), Renato D'Onofrio (R&R), Alessandro Luciano (Autorità per le Garanzie nelle Telecomunicazioni) e Alessandro De Maio (Politecnico di Milano).

Nel Convegno è stata anche sottolineata la potenzialità di sviluppo del commercio elettronico (*e-commerce*), prima e più diffusamente per la parte legata al business-to-business (B2B) ma poi anche di quella porzione orientata ai consumer (B2C) che si estenderà di pari passo con la capillare diffusione dell'accesso alla rete di telecomunicazione ad alta velocità e con costi contenuti.

Qui di seguito sono riportati alcuni punti di maggior interesse emersi nel Convegno.

2. La net-economy

2.1 La transizione dalla new-economy alla net-economy

Il termine *net-economy* è apparso più adeguato e genericamente più condiviso rispetto al termine più comune *new-economy*, di impiego oggi forse più generale.

Le motivazioni di questa variante lessicale sono legate alla maggiore sottolineatura data all'effetto della "rete", piuttosto che all'enfasi sulla nascita di una nuova economia;

restano valide in pratica le vecchie leggi dell'economia.

2.2 Il volume di affari

I numeri legati al giro d'affari del commercio elettronico - sia come turnover che come frazione del totale o del PIL - sono assai elevati e in grande crescita. Ma al di là dell'effetto emotivo che suscitano i grandi numeri (che fanno sempre impres-

sione), le reali ripercussioni sulla rete o sulle applicazioni dipendono da altri fattori.

Infatti, per il settore ICT è il numero delle transazioni, e non il fatturato, l'elemento che

⁽¹⁾ AEI (Associazione Elettrotecnica ed Elettronica Italiana); AIIT (Associazione Italiana Ingegneri delle Telecomunicazioni); ANIE (Associazione Nazionale Industrie Elettriche - Sezione TLC e Informatica); IIC (Istituto Internazionale delle Comunicazioni).

Conferenze

ha una maggiore incidenza come fonte di ricavi per il gestore o per il fornitore di servizi (*service provider*).

Sembra poi opportuno notare che mentre il *browsing di cataloghi* - che di per sé implica tempo e banda - è di norma gratuito, solo la *transazione legata all'acquisto* - per la quale è sufficiente anche una banda stretta - rappresenta il vero business.

2.3 Il nuovo mercato in Italia

L'onda delle start-up è stata particolarmente vigorosa in Italia, anche se in questi ultimi tempi cominciano ad accusarsi segni di rallentamento. In parte questi indizi cominciano a notarsi anche in California, dove la corsa a lasciare le aziende per mettersi in proprio pare si stia arrestando.

La Borsa di Milano vanta il secondo o terzo posto in Europa per quanto riguarda il nuovo mercato (anche se con un certo distacco da quella tedesca che è al primo posto). Oltre trenta Società sono presenti con una capitalizzazione complessiva cresciuta di oltre il 500 per cento nel 1999 e di circa l'8 per cento quest'anno.

La finanza andrebbe tuttavia vista come fattore che esercita un effetto leva per l'industria, e non come elemento guida. Il ruolo della ricerca resta invece centrale, e al momento esso appare inadeguato. Allo stesso tempo il nuovo mercato è visto come elemento facilitatore e acceleratore della crescita; ma il basso grado di penetrazione tecnologica e la scarsità di tecnologia propria sono percepiti come fattori critici e frenanti.

Il recente interesse per il mercato finanziario ha dato un sensibile impulso ad applicazioni sia sulla rete fissa che su quella mobile, e oggi l'uso del *trading on-line* è particolarmente sviluppato: per ogni cliente

utilizzatore si hanno infatti in media 2,5 tentativi di transazioni al giorno in Italia, a fronte di 4 transazioni medie al mese effettuate negli Stati Uniti.

2.4 Venture capital e start-up

La situazione italiana è stata illustrata da uno dei principali protagonisti del settore, che ha messo in luce le opportunità delle nuove iniziative, ribadendo per altro i rischi di voler inseguire "treni già in corsa"

La net-economy si espande come "una grande foresta che divora a gran velocità la superficie dove passa, ma non è tutta verde come sembra. Al di sotto si vedono già rami rotti e tronchi bruciati, che non possono essere ignorati".

I treni fermi sono tuttavia ancora numerosi, ed è verso questi "convogli" che occorre dirigersi per avere successo.

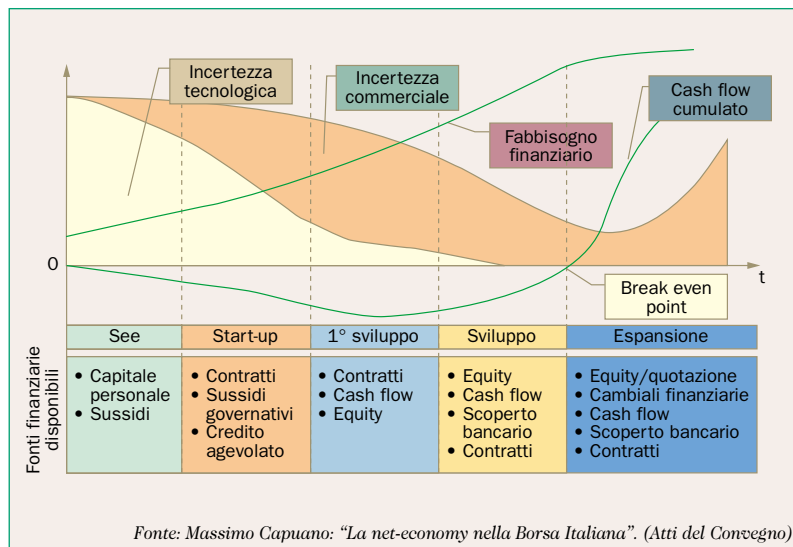
3. Università e Ricerca e Sviluppo

3.1 Education

L'istruzione resta un punto centrale con le debolezze del Sistema Italia già ben note. La net-economy non semplifica la situazione nella quale oggi operiamo ma aggiunge un'ulteriore criticità, dovuta alla forte interdisciplinarietà richiesta: infatti le tre discipline fondamentali: *ICT, legge, economia*, non possono essere più considerate separatamente.

Interessante al riguardo sembra il caso, indicato nel Convegno, di una Università privata, recentemente costituita

in Israele, che non offre lauree separatamente in nessuna delle tre discipline suddette, ma che richiede di studiare e approfondirne almeno due.



Fonte: Massimo Capuano: "La net-economy nella Borsa Italiana". (Atti del Convegno).

Il fabbisogno finanziario delle high tech start-up.

Conferenze

3.2 La ricerca e sviluppo

La criticità del settore è stata rilevata in apertura del Convegno da Massimo Capuano, Amministratore Delegato della Borsa Italiana. Il preoccupante calo degli investimenti in questo settore è stato poi ribadito nelle sessioni seguenti, quando sono stati rimarcati i rischi di un impoverimento dell'offerta del Sistema Italia (sia come apparati che come servizi). L'attuale tendenza rivolta verso un'eccessiva *cost reduction*, unita a una dilagante *short-term policy*, rischia di perpetrare un atteggiamento difensivo, con una scarsa propensione all'innovazione e quindi al successo per il futuro.

A tal proposito è stato notato come alcuni gestori - ad esempio Telenor in Norvegia e Sonera in Finlandia - hanno già in corso una revisione delle *policy* ora seguite, con la quale riconoscono l'opportunità di ricostituire una forte *corporate research*, con il compito di *strategic vision*, piuttosto che preoccuparsi di distribuire le risorse pregiate in forma di *body rental* verso le *business units*.

4. Il ruolo dell'Authority

L'Authority, nonostante l'entusiasmo manifestato nella presentazione, sconta certamente ancora la sua giovane età, con il conseguente sottodimensionamento dell'organico (a fronte, ad esempio, dei circa duemila addetti dell'FCC) e il ritardo conseguente nelle azioni già intraprese o in quelle da intraprendere.

Sono apparsi chiari gli indirizzi principali, rivolti a sostegno della concorrenza, della sicurezza e di adeguate strategie di supporto (incentivi, formazione, ...), ma hanno destato non poche preoccupazioni le incertezze su diversi aspetti critici e, in particolare, sui tempi e sui costi per le licenze necessarie per gestire sistemi di *wireless local loop*, ampiamente sollecitate dalla platea.

L'entusiasmo mostrato verso le attività di regolamentazione di Internet in senso generale è apparso forse un po' troppo ottimistico, sia per l'eccessiva complessità della materia, (in particolare con riferimento ai media e quindi ai contenuti) sia per l'atteggiamento negativo mostrato in proposito chiaramente da parte del versante americano.

L'Authority ha anche dichiarato che la propria funzione potrebbe in teoria essere conclusa, ad

esempio a seguito dello stabilirsi di libero mercato e della concorrenza nel settore, ma che tuttavia l'esempio americano insegna come il continuo flusso dell'evoluzione porti sempre a nuovi e complessi problemi da affrontare e risolvere (la stessa FCC che opera negli Stati Uniti è stata istituita nel 1934).

Interessante, e accolta dal plauso dei presenti, la dichiarazione che nel novembre di quest'anno sarebbe stato presentato il libro bianco sulla televisione digitale terrestre.

5. Reti e servizi

5.1 L'industria manifatturiera

Il comparto delle aziende "tradizionali" ha lasciato trapelare un certo disagio, maturato nella presente situazione di incertezza, caratterizzata dalle nuove tendenze tecnologiche. L'avvento della liberalizzazione non è perciò percepito come una grossa opportunità e sembra destare preoccupazione per una possibile riduzione dei margini globali delle singole aziende, sentita come più probabile, piuttosto che essere recepita come una significativa opportunità di crescita del mercato. Resta infatti la speranza che la riduzione degli investimenti del gestore tradizionale possano essere bilanciati dalle "ambizioni" dei nuovi operatori. Il posizionamento verso il futuro è apparso tuttavia velato di incertezza, sia per gli orientamenti non completamente chiari dei gestori, sia per la difficoltà di prevedere i desideri del cliente finale: *convergenza, multimedia e mobilità* sono considerate come elementi di *visione comune*.

Interessante anche la condivisione dell'idea che il PC che oggi impieghiamo sia già superato, anche se è stato osservato che nel primo semestre dell'anno la diffusione dei personal è in crescita decisa in Italia. Sembra tuttavia che il *leit-motiv* sia l'attesa per una o più *killer applications* ancora non ben identificate.

Le considerazioni sull'importanza della ricerca per un'efficace strategia di innovazione hanno messo in luce posizioni in parte contrastanti, ben rappresentando le difficoltà del momento, in cui la tendenza a ridurre i costi penalizza significativamente gli investimenti sul futuro.

All'estremo opposto si colloca il posizionamento delle nuove aziende manifatturiere, che

Massimo Capuano, Amministratore Delegato della Borsa Italiana, nel corso della presentazione.



Conferenze

beneficiano della nuova onda e che appaiono aggressive e determinate. Ma per queste industrie la vision è abbastanza differenziata in quanto convivono e si sviluppano due tendenze distinte: da un lato tutto wireless e mobilità, dall'altro sistemi in fibra impiegata dappertutto.

Va notato al riguardo che, anche se è vero che la banda del mobile cresce significativamente (fino a 2 Mbit/s per UMTS), la banda offerta dalla fibra cresce in modo ancor più rilevante (10-100 Mbit/s). Il rapporto tra i due valori non tende

quindi a diminuire, ma ad aumentare progressivamente; in altri termini l'offerta sulla rete fissa, in termini di banda, non solo sarà maggiore di quella del mobile, ma lo sarà ancora di più di quanto non lo sia già oggi.

5.2 Gli operatori

Il confronto tra gli operatori non ha celato la tensione che si è ormai stabilita in Italia con la nascente competition.

Un primo elemento è apparso con chiarezza: la leva competitiva dei nuovi entranti (*new comers*) rispetto all'ex-monopolista è stata finora basata fondamentalmente su due fattori: sbilanciamento tariffario e assenza di *legacy networks*. La competizione fra i *new comers* - che usufruiscono delle stesse risorse - si è invece essenzialmente basata sulla fantasia di marketing di ciascuno di essi.

L'incertezza sui nuovi parametri in gioco (ad esempio *l' unbundling*, le licenze *wireless local loop*) rende oggi difficile ai *new comers* l'individuazione di chiare opportunità e quindi una pianificazione del futuro.

Telecom Italia vive ormai la competizione come un elemento assai stimolante e la tecnologia non è vista come l'elemento fondamentale per ottenere un vantaggio competitivo:

essa infatti è rapidamente disponibile per tutti. La vera competizione è sui servizi; è lì che si gioca la grande sfida, e per quanto riguarda

l'accesso, un'offerta articolata, dal rame alla fibra, permette di soddisfare tutte le esigenze, con un vantaggio ottimale tra prezzo e prestazioni offerte. Diverso è apparso l'approccio rappresentato da e-Biscom, nuovo operatore di Milano, che ha presentato una policy non più di "attacco conservativo"

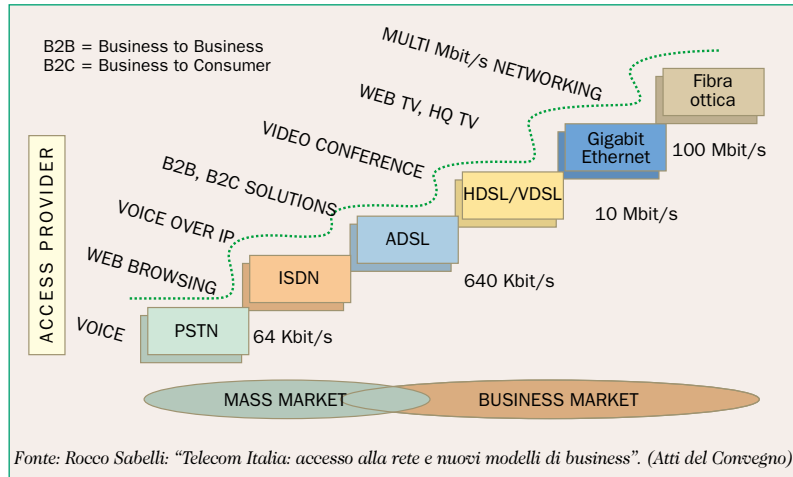
(basata sui due fattori precedentemente considerati), bensì fondata su concetti e architetture innovativi: ad esempio l'offerta indifferenziata di banda larga e tariffa costante (*flat rate*).

Tuttavia il dibattito sull'utilità di rendere disponibile in maniera generalizzata anche ai clienti residenziali una banda molto larga (superiore ai 10 Mbit/s), anche se a volte colorito nelle argomentazioni, non ha portato in quest'occasione elementi di novità al di là delle considerazioni note con, in aggiunta, i soliti riferimenti e commenti sulla mancanza della televisione via cavo (*cable TV*) in Italia.

5.3 La piccola e media impresa

La net-economy e la liberalizzazione non appaiono ancora il motore trainante per le piccole e medie imprese. Il comparto ha in particolare espresso una posizione di disagio, indicando, tra l'altro, non poche difficoltà sia nel

l'accesso al mercato finanziario, sia nel conseguire il necessario adeguamento alla nuova cultura. Il cambio di mentalità richiesto, così come il mantenersi al passo con la ricerca necessaria per l'innovazione, costituiscono ancora un elemento critico per lo sviluppo del settore.



Il nuovo mercato dell'accesso.



Rocco Sabelli presenta il punto di vista di Telecom Italia su "Il nuovo mercato dell'accesso".

Conferenze

È stata anche espressa una percezione di scarso supporto da parte delle Istituzioni, soprattutto nel periodo attuale di transizione dal vecchio al nuovo scenario. A tal riguardo non è stato celato l'imbarazzo, a seguito della liberalizzazione, caratterizzato da una difficoltà generalizzata di accedere ai mercati esteri (la protezione nazionalista in diversi Paesi costituisce un ostacolo pressoché insormontabile), sbilanciata, per contro, dall'eccessiva facilità con cui le imprese straniere possono già da tempo operare in Italia.

5.4 L'industria dell'Information Technology

Il comparto dell'IT ha manifestato chiaramente la soddisfazione derivante dal positivo posizionamento che oggi esso occupa nello scenario industriale. Le previsioni per il futuro sono state presentate in chiave ottimistica, e la tendenza manifestata è stata più orientata a mostrare ed a offrire nuove tecnologie, che a soffermarsi su futuri nuovi servizi (per i quali si ritiene necessario un certo riserbo) che vengono considerati come la vera leva competitiva. Una scarsa attenzione è stata dedicata alle prossime applicazioni di domotica e di infomobilità, specialmente se si considera che nei Paesi nordici è presente una sensibile spinta verso i servizi di localizzazione e che già oggi in Giappone la NTT DoCoMo ha collegamenti mobili attivi per *non human devices* nel rapporto di due a uno rispetto ai propri clienti di telefonia mobile.

6. Nuovi servizi e catena del valore

Si è assistito solo in misura marginale a presentazioni di nuove applicazioni, anche se è stata più volte riconosciuta dai partecipanti l'opportunità di stimolarne la nascita e la disponibilità. È stato tuttavia ribadito che il cliente del futuro desidera

parlare, muoversi, effettuare transazioni e ricevere informazioni di vario tipo, indipendentemente dal tipo di tecnologia o dai terminali.

Per quanto riguarda la convergenza tra Internet e televisione, è stato ipotizzato che quest'obiettivo sarà raggiunto nell'arco di cinque anni, anche se su quest'obiettivo temporale non vi è un'uniformità di giudizio. È infatti abbastanza verosimile che - dato il successo dello standard MP3 per la musica, e l'avvento di quello MP4 per il video - l'orizzonte temporale vada visto ben più vicino di cinque anni.

Dalle testimonianze di applicazioni già realizzate sono emersi interessanti elementi di riflessione sulle più ampie modalità di fruizione che l'impiego della multimedialità può offrire.

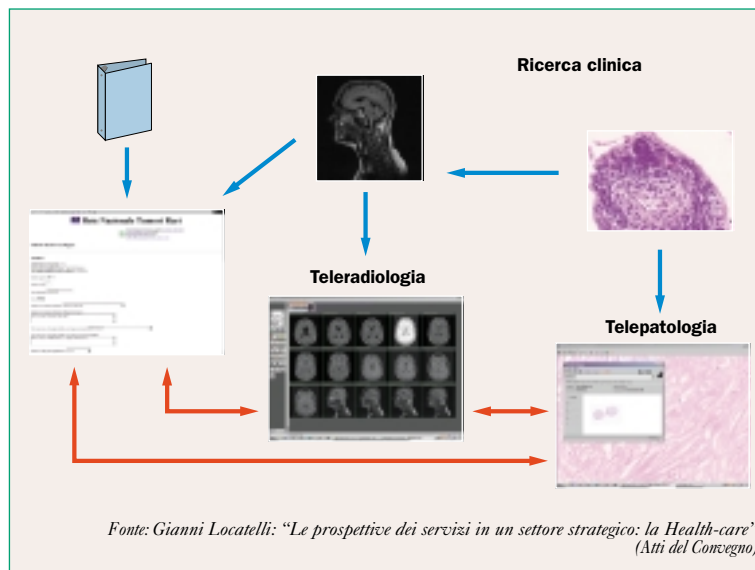
Molto interessante la testimonianza del dottor Gianni Locatelli dell'Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura dei Tumori di Milano con obiettivi di miglioramento dei servizi di assistenza domiciliare attraverso uno strumento di contatto

con i pazienti, di miglioramento della comunicazione, di un maggior coinvolgimento dei familiari.

Per soddisfare queste esigenze è stata allestita una rete multiservizio in grado di integrare voce, dati e video su un'unica infrastruttura a pacchetto utilizzando il protocollo IP. In questo caso sono offerti servizi quali: rete nazionale per i tumori rari, collegamento a banda larga di quattro centri di eccellenza per l'assistenza e la ricerca clinica sui

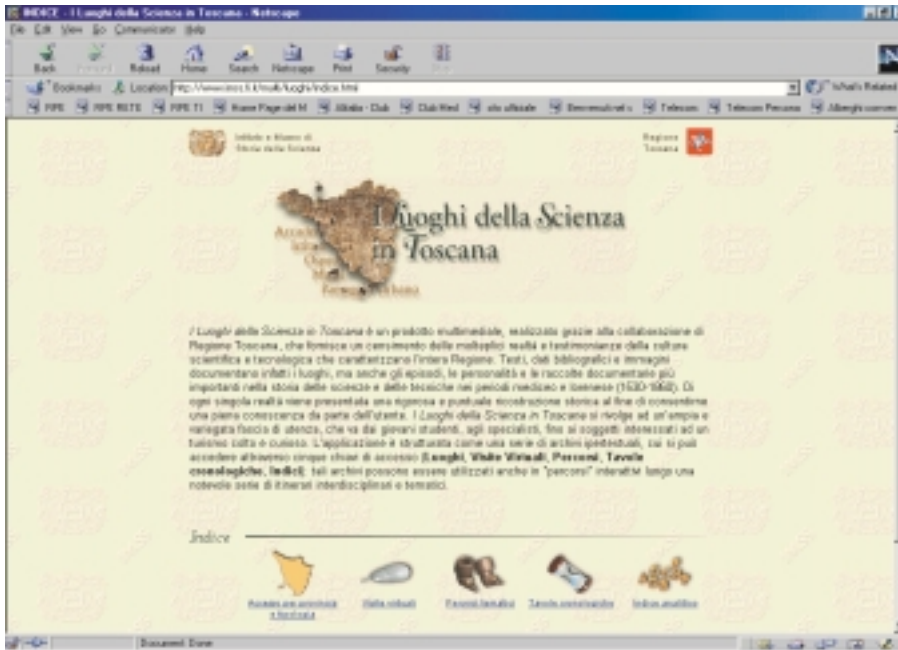
sarcomi, e-learning, ricerca clinica basata su data base multimediali che comprendono ambiti di teleradiologia e telepatologia, supporto logistico, video assistenza domiciliare. Lo scambio di conoscenze e collaborazioni nel campo della ricerca di qualità tra vari centri di eccellenza è un altro degli obiettivi delle sperimentazioni condotte da questo Istituto.

Significativo poi il caso dell'Istituto e museo di Storia della Scienza di Firenze presentato dal



Condivisione immagini e forniture di expertise.

Conferenze



“I luoghi della scienza in Toscana” (www.imss.fi.it).

professor Paolo Galluzzi direttore dell'Istituto. Con questa applicazione - proprio grazie alla multimedialità - è possibile vedere allo stesso tempo macchine, esperimenti, scritti d'epoca e riferimenti storici (vedi foto affianco).

Il valore aggiunto rispetto ai musei tradizionali consiste proprio in questa “promiscuità”, che è ormai dall'inizio del secolo scomparsa in quasi tutti i musei del mondo.

Gli attuali musei sono infatti “caratterizzati”, ossia omogenei, per motivi di conservazione delle opere in essi custodite: ad esempio libri, quadri, oggetti o altro. La multimedialità consente di superare quest'ostacolo e quindi - al di là della pura visione di un oggetto - apre la via a un'offerta ben più ricca, e permette di accostare tutti gli elementi relativi alla comprensione e all'apprezzamento di un'opera.

Un momento del Convegno.



rieri grandi e piccoli, ai gestori, agli informatici, ha presentato un quadro completo dello scenario presente nel nostro Paese dopo quasi tre anni di liberalizzazione di reti e servizi di telecomunicazioni. La partecipazione, numerosa e qualificata, è da ritenersi certamente un successo della manifestazione. Le risposte al questionario di valutazione del Convegno distribuito a tutti i partecipanti hanno confermato un gradimento assai alto per il tema trattato (circa l'85 per cento ha espresso una valutazione alta) e per la maniera con la quale sono stati presentati i successivi interventi dai relatori. La presenza dell'Authority ha notevolmente arricchito il dibattito, che altrimenti sarebbe parso essenzialmente monoculturale; questa presenza fa tuttavia nascere la domanda se sia opportuno in futuro, in occasioni come queste, arricchire ulteriormente lo scenario, con la partecipazione della voce dei clienti finali e delle Istituzioni. In questo modo si potrebbe avere un confronto più diretto tra domanda e offerta e si potrebbe stabilire al tempo stesso, un dibattito più

aperto tra Governo e Industria, evitando così la tendenza generale a risolvere le discussioni sugli argomenti più scabrosi addossando le colpe agli “assenti”.

Le osservazioni qui sopra riportate, unite alla richiesta espressa attraverso i questionari di prevedere un tempo maggiore da dedicare alle domande, saranno tenute presenti sicuramente nell'organizzazione della prossima edizione del CNT che sarà svolta nel 2002.

edizione del CNT che sarà svolta nel 2002.

7. Conclusioni

Il programma è stato ricco e ben articolato. L'industria nel suo complesso, dai manufattu-

Claudio Carrelli - Direttore EURESCOM.

Conferenze

Telecommunications in the third Millennium New Dimensions, New Challenges

39^e Giornate Europee delle Telecomunicazioni

Limerick, 23-26 agosto 2000

Antonino Calantoni, Francangelo Bo

LIMERICK, QUARTA CITTÀ DELL'IRLANDA QUANTO A POPOLAZIONE, È CERTAMENTE PIÙ NOTA AL MONDO PER IL QUADRO AMBIENTALE CHE NE ESCE DAL ROMANZO, POI DIVENUTO FILM, DI FRANK MC COURT "ANGELA'S ASHES" O, NELL'AMBITO DELLA POPOLAZIONE DI LINGUA INGLESE, PER IL FATTO CHE IL SUO NOME VENGA USATO METAFORICAMENTE PER RIFERIRSI ALLE COMPOSIZIONI IN RIMA DA NOI CHIAMATE VERSETTI SATIRICI, PIUTTOSTO CHE NON PER I MONUMENTI O PER LA FAMA CHE LE È DERIVATA DALL'AVERTATO I NATALI A PERSONAGGI IMPORTANTI O PER QUANT'ALTRO POSSA ESSERE IMMAGINATO PER POTER OTTENERE LA CELEBRITÀ.

Ineccepibile ed invidiabile invece la sede dell'Università in cui ha avuto luogo il Congresso: di recente costruzione, con uno stile assolutamente moderno e conforme alla più classica tradizione delle Università anglosassoni: il classico campus degli studenti con ampi spazi e con edifici immersi nel verde dei parchi che li circondano. Proprio in questa cittadina si sono tenute dal 23 al 26 agosto le 39^e Giornate Europee delle Telecomunicazioni, organizzate dall'Associazione Nazionale irlandese della FITCE sul tema *Telecommunications in the third Millennium New Dimensions, New Challenges*. La partecipazione alle Giornate è stata abbastanza nutrita: circa 350



Limerick.
Vista del King
John's Castle.



delegati e 140 accompagnatori; la delegazione più numerosa, escludendo quella irlandese, è stata quella tedesca, costituita da 65 persone. La delegazione italiana era composta da quattro delegati e da tre accompagnatori. Il Congresso si è svolto in quattro giorni, secondo la più recente tradizione dal mercoledì mattina al sabato sera.

1. New Dimensions, New Challenges

I relatori sono stati invitati ad affrontare i temi citati nel CFP, riportato nella tabella 1, discutendo cambiamenti, rischi e opportunità nelle telecomunicazioni e nelle industrie del settore.

La scienza e le tecnologie dell'informazione e comunicazione costituiscono le forze trainanti all'interno delle Organizzazioni e nel rapporto tra imprese e consumatori. In questo contesto, il Congresso ha avuto il merito di non trascurare nessuno dei temi principali che caratterizzano l'attuale scenario delle telecomunicazioni e così sono state trattate da diversi punti di vista:

- *le comunicazioni mobili*, tra le protagoniste di quest'anno oltre che per la pervasività dei cellulari, anche per le implicazioni economiche e politiche legate alle gare per l'assegnazione delle licenze dei telefonini di terza generazione. Non è stata naturalmente trascurata la recente apertura dei servizi WAP che hanno dato impulso ai servizi di trasmissione dati nelle comunicazioni mobili. Un ulteriore impulso si avrà con il GPRS, in attesa dell'UMTS le cui reti cominceranno ad operare a partire dal 2002;
- *le telecomunicazioni fisse*, in cui l'argomento di maggiore interesse e attualità - che quindi ha trovato maggiore spazio nelle memorie che hanno trattato il tema - è costituito dalla recente accelerazione sul fronte della completa liberalizzazione del settore impresso dall'Unione europea con le direttive sull'*Unbundling del Local Loop* e con le licenze che stanno per essere concesse per i sistemi *LMDS (Local Multipoint Distribution*

Conferenze

Aspetti tecnologici	Nuove soluzioni e loro effetti; evoluzione verso rivoluzione nella pianificazione strategica della tecnologia
Aspetti industriali	Nuove relazioni nei mercati dei dispositivi, delle reti e dei servizi; privatizzazioni, alleanze e avvicendamenti; crescente sovrapposizione con le industrie di IT, dei media ed altro
Aspetti legati agli utenti	Evoluzione delle necessità e delle aspettative degli utenti finali. Sforzi compiuti dall'industria per assecondarli. Caratteristiche di utilizzo che stanno emergendo dai nuovi metodi di fornitura del servizio
Aspetti regolatori	Regolamentazione e impatto sugli altri aspetti. Organismi di normativa internazionale che hanno ancora motivo di essere
Aspetti politici	Validità di una visione di un'unica infrastruttura globale. Necessità per l'Europa di competere per mantenere il suo ruolo
Aspetti professionali	Implicazioni sulla carriera per i membri FITCE, e iniziative da intraprendere assieme ai datori di lavoro
Aspetti relativi alla FITCE	Sviluppo della FITCE per mantenere la propria utilità per i membri in un contesto completamente mutato
Nuovi aspetti	Aspetti nuovi che emergeranno nel terzo millennio

Tabella 1 Temi contenuti nel "call for papers".

Service) e *MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Systems)*, che consentono di fornire servizi a larga banda bidirezionale come quelli Video, Internet veloce, fonia, video-conferenza, interactive gaming e di rendere disponibili altre applicazioni che richiedono la trasmissione di dati ad alta velocità;

- *le applicazioni delle Comunicazioni e della Tecnologia delle Informazioni*, focalizzate sui temi legati alle reti a commutazione di pacchetto e sui problemi e le prospettive legate alla migrazione delle reti a commutazione di circuito verso questa tecnologia. Alcune memorie hanno in particolare affrontato il problema di impiegare l'enorme flessibilità dei protocolli IP senza dover rinunciare al controllo della qualità del servizio, fino a fornire servizi IP con caratteristiche diversificate e con qualità del servizio garantita, partendo dalla trasmissione dati del tipo *best effort* per arrivare ai servizi interattivi e multimediali per i quali sono essenziali il controllo e la costanza delle correlazioni temporali tra i pacchetti di dati. Sono state illustrate in proposito diverse soluzioni che vanno dal *MPLS (Multi Protocol Label Switching)* alla separazione sempre più netta tra le infrastrutture di rete e il controllo e la gestione ad essa relativa;

Apertura del Congresso.



- *la regolamentazione e il fattore umano nei servizi di telecomunicazioni*: nonostante la liberalizzazione del mercato è presente ancora una grande necessità di regolamentazione per numerosi motivi - molto ben presentati in diverse memorie - che vanno dalla necessità di favorire i nuovi gestori entranti nei confronti di quelli tradizionali (che ancora dominano il mercato della maggior parte dei Paesi europei), alla necessità presente nei singoli Paesi di garantire che i servizi di comunicazione minimi siano garantiti per tutti i cittadini e, infine, per regolamentare l'accesso a risorse scarse come il piano di numerazione o l'assegnazione delle frequenze dello spettro radio. Il fattore umano è stato tenuto ben presente negli articoli che hanno trattato il tema della qualità del servizio: *Quality, like beauty, is in the eye of the beholder and depends on the viewer's perspective* ricorda l'intervento di apertura di una delle memorie che hanno trattato il tema delle reali aspettative di un utilizzatore della rete di telecomunicazioni.

Nel rimandare gli interessati al sito web dell'AIIT (www.aiit.org), dove fra breve dovrebbero essere inseriti per i soci dell'Associazione i testi presentati nel Congresso, si riportano di seguito alcuni elementi di rilievo messi in luce in due interventi scelti tra quelli che hanno

Conferenze

suscitato maggiormente l'interesse e il dibattito tra i partecipanti al Congresso.

Nel lavoro *Meeting Consumer Needs on the Internet: Successful Business Models* gli autori Francis Pereira e Elizabeth Fife, entrambi della University of Southern California, hanno esaminato le ragioni del successo di tre *Web Companies*: America on line (AOL), Yahoo e Amazon. Le tre imprese seguono modelli per generare i profitti tra loro diversi: AOL è il proprietario di un sistema che dipende dagli abbonamenti sottoscritti dai propri clienti; Yahoo trae i propri utili dai proventi della pubblicità e infine Amazon è legata alla vendita di prodotti.

Ogni modello presenta alcuni vantaggi e alcuni limiti. AOL ha a disposizione una larga massa di informazioni sui propri clienti che, invece, non possiede Yahoo che, d'altra parte, vende informazioni pagate dalla pubblicità. L'informazione è un prodotto che si vende sul Web a costi contenuti. Al contrario Amazon, pur operando in uno spazio virtuale, vende prodotti "materiali" e non può comunque prescindere dalla distribuzione, dall'immagazzinamento e dalla spedizione dei singoli beni e quindi dai relativi costi.

L'elemento che invece accomuna i tre modelli di business sta nella capacità delle tre aziende di adattarsi continuamente e con una velocità

legata agli scenari che mutano. A questo proposito è interessante la classificazione dei modelli di business per il commercio elettronico riportato nella tabella 2. Il successo di una net company risiede quindi nella capacità di adattarsi, mutuando e integrando i modelli di business, in una sorta di competizione darwiniana in cui a prevalere non è sempre il più intelligente o il più forte, ovvero l'azienda che per prima ha avuto l'idea vincente, ma quella che più rapidamente sa adattarsi, creando combinazioni inedite ed efficaci di diversi modelli di business.

È stata seguita nel Congresso con molto interesse anche la presentazione di Michele Morganti (Siemens) sul tema *Liberalisation and the Carrier Supply Industry: New Context, New Customers, New Strategies* che solo per un voto non

è stata premiata come il miglior testo approntato per il Congresso. Il lavoro mette in luce in modo chiaro e sintetico i complessi cambiamenti che hanno caratterizzato il rapporto tra i gestori e i fornitori dagli anni del monopolio, nei quali entrambi gli attori potevano contare sul reciproco supporto in un contesto in cui il rischio industriale del fornitore era minimo e allo stesso tempo il gestore poteva contare su una pesante "personalizzazione" dei prodotti; nel tempo della liberaliz-



Gli atti del congresso.

Negozio elettronico (E-Shop)	Promozione della Società, dei prodotti e dei servizi
Reperimento elettronico (E-Procurement)	Ricerca e reperimento elettronico di prodotti e servizi
Asta elettronica (E-Auction)	Offerte elettroniche che possono integrare la contrattazione, i pagamenti e la fornitura
Centro commerciale elettronico (E-Mall)	Raggruppamento virtuale di negozi
Commercio per conto terzi (Third party marketplace)	Interfaccia commerciale comune e supporto per transazioni di varie imprese commerciali
Comunità virtuale (Virtual community)	Valore aggiunto di comunicazioni e scambio di informazioni tra membri o soci
Fornitore di servizi elettronici di affari (E-business service provider)	Aspetti di supporto della catena del valore del commercio elettronico quali il pagamento elettronico o la logistica
Integratore della catena dal valore (Value chain integrator)	Integrazione di vari passi della catena del valore
Piattaforma di collaborazione (Collaboration platform)	Collaborazione tra imprese per funzioni quali la progettazione o l'ingegnerizzazione
"Distributore" di informazioni (Information broker)	Valore aggiunto nella ricerca, nella fornitura e nel confezionamento di informazioni e consulenze

Fonte: Francis Pereira ed Elizabeth Fife: "Meeting Consumer Needs on the Internet: Successful Business Models" pp. 141-147. (Atti del congresso).

Tabella 2 Modello di business per il commercio elettronico.

Conferenze

Caratteristiche di gestione del traffico	
Instradamento esplicito	Il nodo di ingresso assegna ogni pacchetto ad un percorso pre-configurato; questo tipo di instradamento aumenta la flessibilità e il controllo della selezione del percorso
Scalatura per aggregazione	I singoli flussi sono aggregati nelle giunzioni, che possono essere ulteriormente aggregate impilando le etichette
Prenotazione di risorse	Quando viene instaurato un percorso possono essere prenotate delle risorse
Instradamento basato su vincoli (Constraint Based Routing)	I percorsi possono essere instaurati individualmente ricercando un cammino che soddisfi dei vincoli o che minimizzi una metrica. Normalmente, questo avviene su richiesta di un nodo di ingresso, il che migliora la stabilità della rete e consente che il traffico misurato sia incluso nella metrica
Gestione fuori linea del traffico	Un nodo di ingresso può instaurare un percorso su un cammino prefissato usando informazioni provenienti da un server per la gestione fuori linea del traffico
Caratteristiche di Qualità di Servizio	
Segregazione delle classi di QoS	Diverse classi di QoS possono essere assegnate a giunzioni differenti
Instaurazione dei percorsi che tenga conto della QoS	I percorsi possono essere scelti usando vincoli e metriche adeguate alla classe di traffico
Priorità di pre-emption	Il traffico di valore superiore può avere un accesso privilegiato ad alcune risorse
Capacità di sopravvivenza selettiva	Possono essere pre-configurati percorsi alternativi per quelle giunzioni che richiedono una rapida riconfigurazione. Gli altri attendono di essere re-instradati a seguito di eventuali guasti
Caratteristiche di Rete Privata Virtuale	
Isolamento di reti	Ogni VPN è sicura e può usare i propri protocolli e schemi di indirizzamento interni
Certificazione	L'instradamento esplicito e la prenotazione di risorse permettono all'operatore di garantire e controllare il livello del servizio

Fonte: M. Ali Salman, Rod Webb e Terry Hodgkinson: "The Role of Multi-Protocol Label Switching in the New "Datawave" Network" pp. 119-121. (Atti del congresso).

Tabella 3 Caratteristiche dell'MPLS (Multi Protocol Label Switching).

zazione, quando i nuovi gestori non possono contare su profitti precedenti da reinvestire, la necessità di ricorrere a ingenti capitali li costringe a ricercare ritorni su periodi non confrontabili con il ciclo tipico di un investimento e del ritorno ad esso relativo, caratteristico di uno scenario monopolistico e protetto (si pensi ai circa venti anni trascorsi dai primi investimenti nell'ISDN all'effettivo impiego in rete).

Il gestore è perciò interessato a quanto già disponibile e si concentra sull'impiego immediato dei prodotti con minimi adattamenti.

Un altro aspetto sottolineato nella presentazione è il profondo cambiamento nel modo con cui vengono generati e forniti i nuovi sistemi di telecomunicazioni. Il fornitore, infatti, sviluppa i propri prodotti, sempre più spesso di propria iniziativa e - anticipando quello che può essere appetibile dal mercato - assume in proprio l'intero rischio industriale.

Altro fattore di cambiamento è dato dalle tecnologie basate su IP. I fornitori di tecnologia IP hanno impostato da lungo tempo la propria strategia su pochi prodotti per un mercato glo-

bale al contrario dell'industria tradizionale delle telecomunicazioni in cui l'attenzione si focalizzava su specifici mercati e su particolari clienti piuttosto che su determinati prodotti. Un ulteriore elemento di discontinuità può essere ricercato nel processo di standardizzazione, faticosamente ricercato, oggi sostituito da quella che Michele Morganti definisce la *leadership de facto* da parte di chi possiede una soluzione proprietaria che il mercato riconosce come la migliore.

Per sopravvivere, e soprattutto per cogliere le numerosissime opportunità offerte dalla liberalizzazione del mercato, i gestori e i fornitori devono quindi ripensare ai propri processi produttivi secondo una strategia che va consolidandosi attorno a tre elementi: focalizzazione sul core business, globalizzazione, e in particolare attenzione alla creazione di valore aggiunto che per un costruttore di apparati di telecomunicazioni significa aggiungere valore e interesse verso propri prodotti estendendo il proprio ruolo attraverso l'intera catena del valore e diventando di volta in volta partner, cliente e in qualche caso concorrente dei propri clienti tradizionali.

Conferenze

2. Premiazione degli autori

Seguendo una tradizione ormai ventennale anche quest'anno sono stati assegnati due premi: il primo al contributo di maggior rilievo, l'altro conferito alla migliore memoria tra i giovani relatori. I premi assegnati dalla FITCE hanno la particolarità di prestare attenzione non solo alla originalità dell'idea e all'interesse suscitato tra i congressisti ma anche alla efficacia con la quale sono illustrati i contenuti dei lavori, tenendo presente che l'obiettivo ultimo del Congresso è quello di informare i presenti da un punto di vista generale su quanto c'è di nuovo e di interessante nel settore dell'ICT. Sulla base di questi criteri le diverse delegazioni delle Associazioni nazionali che fanno parte della FITCE hanno conferito il premio di migliore presentazione a M. Ali Salman (BT) per la memoria *The Role of Multi Protocol Label Switching in the New Datawave Network*. Nel lavoro si analizzano le possibilità offerte dalla tecnica del *MPLS (Multi-Protocol Label Switching)* per realizzare una infrastruttura di rete in grado di gestire sia il traffico real-time delay-sensitive come quello voce e video, sia il *traffico best effort* tipico della navigazione nel World Wide Web. Si è voluto infatti mettere in luce nella memoria le modalità per combinare la velocità della commutazione di circuito alla flessibilità e efficienza dell'instadramento connectionless. In particolare Salman ha dimostrato, con l'aiuto di uno studio, la possibilità offerta dal MPLS di ricorrere agli strumenti tipici dell'ingegneria del traffico oltre a consentire alla rete un efficace grado di protezione (tabella 3).

Il premio per la presentazione migliore tra i giovani relatori è stato conferito a Marcel van Sambeek (KPN) per il testo *IP Telephony: Replacing the Old World ...or Creating the New One?* In esso

l'autore affronta le problematiche connesse alla sostituzione di un tradizionale PBX con un PBX basato su IP.

Per la seconda volta nelle diverse edizioni del Congresso è stato anche attribuito un riconoscimento alla "best written memory" cioè alla memoria ritenuta non solo interessante per il contenuto in relazione al tema trattato, ma anche riportata in un testo sufficientemente

chiaro ed esauritivo, a prescindere quindi dalla presentazione da parte dell'autore. Il premio è stato conferito direttamente dal Comitato Scientifico del Congresso, che ha il compito principale di selezionare tra le memorie pervenute quelle che saranno effettivamente presentate. Questo premio è stato assegnato a Spiros Louvros (Cosmote Mobile Communication) per la memoria *A Proposed UMTS Architecture Based on ATM Technology*.

3. Visite tecniche

È stata organizzata una sola visita tecnica a Ennis, cittadina nei pressi di Limerick, dove è in corso dal '97 un progetto di estesa e capillare informatizzazione della località, denominato *Ennis Information Age Town Project*.

Ai delegati, riuniti in una grande sala per conferenze, è stato descritto con ricchezza di particolari il progetto ed è stata fornita una nutrita messe di dati (contenuti nel sito www.ennis.ie).

4. Eventi sociali

Le Giornate Europee delle telecomunicazioni non hanno solo l'obiettivo di presentare e favorire il dibattito sui principali temi che nel

l'anno caratterizzano lo scenario attuale delle telecomunicazioni, ma si prefiggono anche di stimolare l'integrazione e la socialità tra i partecipanti al Congresso. Da questo punto di vista l'atmosfera in generale è stata vivace e calorosa, favorita in questo caso da eccellenti condizioni atmosferiche (quasi da Paese latino); un notevole sforzo è stato dedicato da parte degli organizzatori a cercare di favorire la conoscenza e l'amicizia dei partecipanti organizzando nel dopo congresso quotidiani cori, rigorosamente

multinazionali, mentre i delegati sono stati invitati a cantare canzoni tipiche irlandesi e, in una serata presso il pub dell'Università, a partecipare a un concorso in modo da premiare i migliori a seguito di una serie di "gustose" esibizioni.

Altrettanto vivace il Gala Dinner del sabato sera con cui sono terminate le 39^e Giornate FITCE. Ai delegati e agli accompagnatori è

Il Presidente della FITCE, Stefan Maruszczak (a destra) premia M. Ali Salman (BT).



Conferenze

stato offerto un pomeriggio per il turismo organizzato e ciascun autobus ha avuto destinazioni diverse.

Gli accompagnatori dei congressisti hanno poi goduto di un proprio programma di visite alla città e ai dintorni.

5. Conclusioni

La maggior parte dei relatori ha tenuto presente l'obiettivo del congresso della FITCE: informare con chiarezza e completezza tecnici e manager sui temi generali e attuali del panorama dell'Information & Telecommunication Technology, fornendo così una visione di insieme senza scendere in particolari che costituiscono il patrimonio degli esperti dei vari settori dell'ICT e che possono essere trattati in congressi specifici. Del resto, l'intento di dare una panoramica ad ampio spettro, ma non superficiale, emerge anche dai temi del "call for paper" (tabella 1) e dal programma tecnico. È importante, infatti, sottolineare ancora una volta come il congresso della FITCE non tratta un argomento limitato ma persegue l'obiettivo di dare spunti di riflessioni a quanti operano con titolo e responsabilità diverse nel



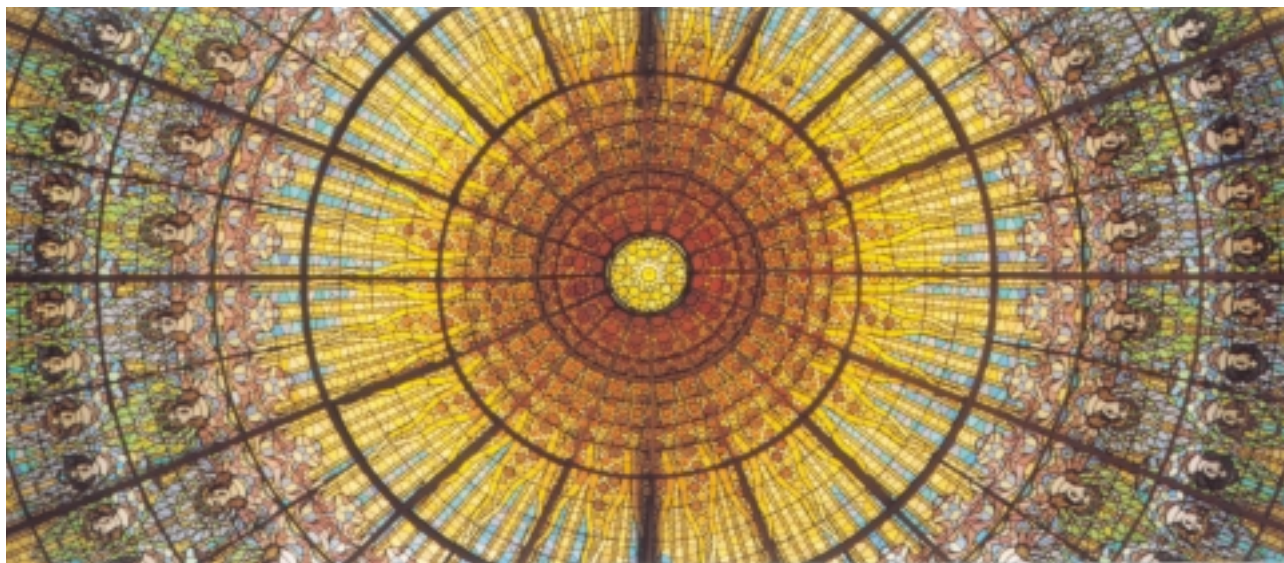
Stefan Maruszczak saluta i partecipanti alle 39^e Giornate Europee delle Telecomunicazioni di Limerick.

mondo delle telecomunicazioni su quanto c'è di nuovo e più interessante nel corso dell'anno che precede il congresso.

Le conferenze dei diversi relatori si sono rivelate per lo più di livello tecnico elevato, e molte sono state presentate da persone giovani impegnate tutte nello sforzo, in particolare da parte di quelli di lingua madre inglese, di rendere più agevole la comprensione della presentazione.

La prossima edizione del congresso FITCE del 2001 si terrà a Barcellona, in Spagna. Per ogni ulteriore informazione si rimanda ai siti Internet della FITCE (www.fitce.org) e della AIIT (www.aiit.org).

*Antonino Calantoni - Telecom Italia
Francangelo Bo - SIEMENS*



A Barcellona si svolgerà il prossimo congresso della FITCE. (Nella foto un particolare della cupola della sala del concerto del Palau de la Música Catalana, 1908).

EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA TECNICA NELLE TELECOMUNICAZIONI

LE SPECIFICHE TECNICHE DI INTERNET

LO SVILUPPO DI INTERNET, MASSICCIO QUANTO RAPIDO, HA TROVATO GLI ATTORI COINVOLTI IMPREPARATI A STABILIRE UNA NORMATIVA ADEGUATA PER IL FUNZIONAMENTO DI INTERNET IN MODO DA NON LIMITARNE IL PROGRESSO TECNOLOGICO E UN ULTERIORE SVILUPPO COMMERCIALE. IL PROBLEMA DELLA DEFINIZIONE DI SPECIFICHE TECNICHE PER INTERNET MANTIENE QUINDI FINORA UN CARATTERE DI PECULIARITÀ.

Due sono fondamentalmente gli aspetti che caratterizzano la standardizzazione di Internet:

- non esiste un unico titolare della normativa ma aspetti diversi della rete e dei servizi relativi ad Internet sono trattati in Organismi diversi;
- l'attività di specifica tecnica è sempre mantenuta in stretta relazione con gli sviluppi tecnologici e di mercato, diversamente da quanto accade per gli Organismi di standardizzazione tradizionali.

Sin dalle origini di Internet sono stati istituiti numerosi Organismi per trattare i diversi aspetti del suo sviluppo; col passare degli anni - e soprattutto con l'inizio dello sfruttamento commerciale della rete - si è reso necessario un processo di riorganizzazione di tali Organismi. A questo scopo, nel 1992 è stato istituito l'*ISOC (Internet SOCIety)*; quest'organizzazione internazionale assicura su un piano mondiale lo sviluppo aperto, l'evoluzione e l'uso di Internet a beneficio di tutti.

Sotto il patrocinio dell'*ISOC* sono stati ridefiniti ruoli e modalità operative degli Organismi che si occupano di Internet; tra questi riveste particolare importanza l'*IETF (Internet Engineering, Task Force)* che sviluppa le principali specifiche tecniche di Internet, in particolare gli Internet Standard.

L'*IETF* è un Ente basato sulla partecipazione volontaria di tutti i tecnici interessati alle problematiche di Internet; in tal modo l'*IETF* rappresenta il punto d'incontro di varie competenze provenienti da diverse realtà e l'attività di specifica tecnica è così affiancata da sperimentazioni significative. L'*IETF* è organizzato in gruppi di lavoro appartenenti a diverse aree che coprono un po' tutti gli aspetti di Internet, dal livello di trasporto a quello dei servizi innovativi.

Al momento le tematiche di attualità per l'*IETF* sono: la qualità dei servizi, la definizione di protocolli, la mobilità e gli accessi wireless, le funzioni di controllo, il routing, la telefonia su IP.

L'*IETF* si pone anche come l'ambiente migliore per affiancare all'attività di specifica tecnica il coordinamento di sperimentazioni significative. Esempi specifici sono la rete *Mbone*, realizzata per sperimentare il servizio IP multicast su area geografica, e la rete *6Bone* per soluzioni di reti (*networking*) basate sulla versione IPv6 del protocollo IP.



L'ATTIVITÀ DI STANDARDIZZAZIONE RELATIVA AL SISTEMA RADIOMOBILE FUTURO È INTENSA E VEDE COINVOLTI MOLTI ORGANISMI: QUESTO ALTO INTERESSE È GIUSTIFICATO DAL FATTO CHE QUESTI SISTEMI, DEFINITI "DI TERZA GENERAZIONE", RIGUARDANO LA CONVERGENZA TRA LE DUE TEMATICHE PRINCIPALI DELLE TELECOMUNICAZIONI ATTUALI: LA TELEFONIA MOBILE E INTERNET.

I due sistemi che domineranno lo scenario delle comunicazioni personali del prossimo futuro sono l'*IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000)*, standardizzato dall'*ITU* e la sua proposta europea *UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)*.

La pluralità di attori presenti nell'attività ha portato allo sviluppo di altre soluzioni, cosicché *IMT-2000* non potrà essere un sistema di terza generazione unico (come era nell'intenzione dell'*ITU*), ma integrerà una famiglia di sistemi con alto grado di compatibilità, tali da garantire il

LA NORMATIVA DEL SISTEMA UMTS/IMT2000

roaming mondiale. Avendo questa integrazione come obiettivo, sono stati costituiti consorzi all'interno degli Enti di standardizzazione, in particolare il 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) e il 3GPP2.

Il processo di definizione di una tecnologia radio per IMT-2000 iniziò nel 1996 e si è concluso recentemente con l'approvazione della raccomandazione IMT-RSPC (Radio Specification) che, non potendo definire un'unica interfaccia radio per la molteplicità di attori sul mercato, contiene cinque tecnologie che consentono di ottimizzare le prestazioni del sistema in differenti ambienti operativi.

Rientra nella famiglia IMT-2000 il sistema UMTS basato sull'evoluzione della rete GSM e sull'accesso radio UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*). La definizione delle specifiche tecniche comuni e applicabili a livello globale per questo sistema rappresenta l'obiettivo del 3GPP, costituito nel dicembre 1998 da alcuni SDO (*Standards Developing Organizations*) asiatici, europei e statunitensi.

Il 3GPP2 è stato invece creato da alcuni SDO nell'ottica di definire il sistema cdma2000, basato sull'evoluzione della core network ANSI-41 e sulla tecnica di accesso radio MC-CDMA (*Multi Carrier Code Division Multiple Access*).

Sono anche attivi nella definizione dei sistemi di terza generazione alcuni gruppi di interesse, del tipo market representative: di particolare rilevanza sono UMTS Forum e GSM Association; l'obiettivo perseguito da questi gruppi non riguarda la specifica del sistema, ma la definizione dei requisiti e delle prestazioni per rispondere alle esigenze del mercato.

In merito a future evoluzioni, si può affermare che le opportunità di mercato e la maturità delle tecnologie porteranno alla convergenza UMTS/Internet; molte iniziative sono già state avviate per risolvere le inevitabili problematiche. Tra queste, il 3G.IP (*Third Generation Internet Protocol*), JIMM (*Joint Initiative toward Mobile Multimedia*) e MWIF (*Mobile Wireless Internet Forum*).

Infine, anche gli enti regolamentari che si occupano di assegnazione delle frequenze e di rilascio delle licenze svolgono un ruolo determinante nello sviluppo dei sistemi di terza generazione.



EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA NEL MONDO DELLE SMART CARD

DALL'ANALISI DELL'UTILIZZO DELLE CARTE PLASTIFICATE IN QUESTI ULTIMI ANNI, SI NOTA CHE IL PASSAGGIO DALLA TRADIZIONALE BANDA MAGNETICA AL CIRCUITO INTEGRATO HA AMPLIATO IL CAMPO D'APPLICAZIONE DELLE STESSE CARTE.

La presenza del chip consente alle carte un'elaborazione dei dati scambiati con l'esterno; le carte possono perciò essere considerate parte attiva dell'applicazione in cui esse sono utilizzate.

Le carte possono essere distinte, in termini di tipo di chip utilizzato, in:

- carte a memoria;
 - carte a microprocessore (smart card);
- mentre, relativamente al tipo di interfaccia, sono definite come:
- carte a contatto;
 - carte contactless.

Le smart card stanno avendo una assai alta diffusione perché sono un mezzo semplice, economico e sicuro per la fruizione dei servizi, particolarmente per quelli che richiedono transazioni economiche; ne consegue l'esigenza di un livello di normativa che dia una vera interoperabilità tra i diversi servizi che si intende utilizzare e che, quindi, limiti il numero di carte in possesso dell'utente.

Dal punto di vista normativo, le smart card stanno tuttavia subendo un processo di standardizzazione molto lungo, rispetto alle carte magnetiche,

a causa della complessità tecnologica, della rapida penetrazione applicativa e, soprattutto, dei forti interessi economici delle varie Organizzazioni coinvolte. Finora sono stati perciò prodotti soprattutto standard "de facto" ad opera delle aziende leader del settore.

La normativa riguardante le smart card deve ricoprire quattro aspetti fondamentali: il livello fisico, il protocollo di trasmissione, il sistema operativo e le applicazioni.

Per quanto riguarda il livello fisico, i primi standard risalgono al 1987 e quindi sono ben consolidati; anche per il protocollo di trasmissione si può parlare di una base comune a livello mondiale che assicura una completa interoperabilità dei blocchi fisico ed elettrico. Questa standardizzazione è opera dell'attività svolta in ambito ISO e IEC.

Più difficile è l'attività di normativa per sistemi operativi ed applicazioni; in questo settore, il comitato *JTC1 (Joint Technical Committee 1)* dell'ISO/IEC si è occupato di standardizzare un'interfaccia tra la smart card e il mondo esterno per aumentare l'interoperabilità di norme preesistenti. A livello europeo, poi, il CEN ha realizzato una serie di schemi interoperabili per vari tipi di applicazioni (bancarie, telefoniche, sanitarie e dei trasporti) cercando di superare le molteplici problematiche di interoperabilità che nascono quando, definendo le applicazioni, ogni fornitore di servizi tende a rendere unico il suo sistema per cautelarsi dalle frodi.

L'attività normativa dei Gruppi di interesse, che opera parallelamente agli Enti di standardizzazione, riguarda soprattutto il campo dei sistemi operativi e delle applicazioni e si è sviluppata perché il proliferare di soluzioni proprietarie non interoperabili riduceva la penetrazione commerciale delle smart card.

La tendenza evolutiva riguarda ora le comunicazioni multimediali: le smart card sono state integrate di recente nell'architettura del *WAP (Wireless Application Protocol)* ed è nata la specifica *WIM (Wireless Identity Module)* dedicata sia alle funzionalità di sicurezza, autenticazione e crittografia, sia alla memorizzazione di dati utili per la personalizzazione dell'utente e dell'operatore. Inoltre, anche in ambito ETSI e 3GPP si sta lavorando nell'ottica di garantire nelle carte un substrato comune per l'interoperabilità tra la carta ed i terminali di terza generazione.

Raffaella Comino

S. Frova, G. Dossena,
A. Ordanini

INFOSTRUTTURE E SOCIETÀ DELL'INFORMAZIONE INVESTIMENTI, OCCUPAZIONE, SVILUPPO

Editore: FrancoAngeli
Milano, 2000
pp. 139, L. 34.000
ANIE

Il libro nasce da un'iniziativa dell'Associazione Nazionale Telecomunicazioni e Informatica dell'ANIE, che raggruppa le Aziende operanti in Italia nella ricerca, sviluppo, fornitura e installazione di apparecchiature e di sistemi di telecomunicazioni, di informatica e nella realizzazione di applicazioni e di soluzioni software.

La ricerca presentata da Sandro Frova, Giovanna Dossena e Andrea Ordanini è focalizzata sulle tecnologie della comunicazione e dell'informazione come motore dello sviluppo economico, il tema cui con crescente frequenza si allude nei media con il termine *new economy*. Gli autori chiariscono il quadro in cui nasce il loro lavoro e ne spiegano il titolo: "Il lavoro ... è connesso da un filo conduttore in cui crediamo fortemente e che riteniamo sia pericoloso perdere di vista: gli investimenti nelle infostrutture. L'*information society* crea formidabili opportunità di crescita, di sviluppo dell'occupazione e della ricchezza; ma, per quanto possa differenziarsi dal sistema tradizionale in termini di immaterialità, necessita comunque di una dotazione infrastrutturale per poter dispiegare le proprie potenzialità". Infatti, "poiché la spinta primaria viene dall'innovazione tecnologica e dagli investimenti, è indispensabile che anche su questi fronti il vecchio continente sia competitivo, certamente più competitivo di

quanto non sia oggi; ad esempio gli indicatori relativi agli investimenti in R&D mostrano inequivocabilmente valori medi europei inferiori a quelli americani, e valori medi italiani vergognosamente staccati ed ultimi nell'ambito europeo".

Il libro si propone come strumento documentato e ragionato per un'analisi qualitativa e quantitativa - quasi sempre aggiornata al 1999 - dei meccanismi che stanno alla base della new economy.

Gli autori esaminano anzitutto lo scenario attuale dell'ICT, secondo l'approccio della *technology chain*, che consente di analizzare tutte le componenti della catena del valore, dai fornitori di apparati e sistemi agli operatori di telecomunicazioni, e di apprezzarne ruolo e importanza, soprattutto ai fini della formulazione di piani e decisioni strategiche di medio o lungo periodo.

Proprio su questo tema si articolano le considerazioni tese a spiegare perché la scelta delle tecnologie e dell'architettura delle reti rappresenta il primo e fondamentale passo per chi vuole poi competere con successo nel mercato dei servizi.

L'analisi approfondita delle tecnologie fornisce poi una preziosa chiave di interpretazione anche ai mercati finanziari, allorché si trovano a dover valutare le possibilità di successo di nuovi entranti o di nuove iniziative nel settore.

Lo spazio dedicato alla tecnologia è completato dall'analisi sullo stato della convergenza tra telecomunicazioni, informatica e *broadcasting*.

Il libro affronta successivamente la questione delle dinamiche occupazionali nel mondo dell'ICT; sono analizzate le potenzialità del settore in termini di creazione di posti

di lavoro e di qualità delle risorse umane, con particolare attenzione al problema delle competenze richieste e della loro disponibilità.

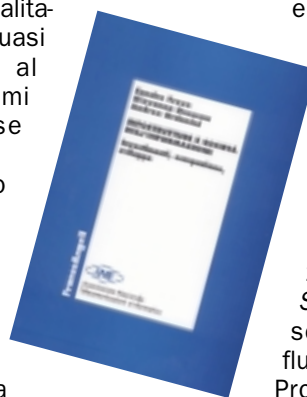
Gli ultimi tre capitoli del libro si concentrano sulle azioni da intraprendere per dotare il nostro Paese di un sistema dell'ICT in grado di costituire un fattore di competitività per le Aziende italiane e di essere esso stesso competitivo a livello globale.

La dinamica italiana, nel settore ICT, è confrontata con la situazione degli Stati Uniti, il Paese più all'avanguardia nella realizzazione di una *Information Society*, soprattutto allo scopo di mostrare l'influenza di fattori di *policy*. Proprio l'importanza della regolamentazione induce gli

autori a dedicare ad essa un capitolo; citando infatti le loro parole "...la regolamentazione, indiscussa protagonista di questi ultimi anni, rischia di divenire un fattore di freno nello sviluppo delle tecnologie e degli investimenti, perché caratterizzata da tempi decisionali inevitabilmente asincroni rispetto a quelli del business. Noi riteniamo che, dopo una prima fase in cui, in Italia così come negli altri Paesi, il compito assolto dai regolatori è stato quello di accompagnare i mercati verso la concorrenza, sia ora venuto il momento di alleggerire sostanzialmente la pressione regolatoria, pur mantenendo la necessaria tutela in termini di antitrust".

Nella parte conclusiva del testo sono formulate alcune proposte che possono contribuire a migliorare la competitività e lo sviluppo del settore ICT nel nostro Paese.

Il testo è ampiamente corredato da tabelle e grafici, a sostegno delle argomentazioni esposte. Questo lavoro può essere utilmente consultato per trarne un quadro aggiornato, con un taglio di tipo econo-



mico, del mondo ICT a livello globale e, in particolare, a livello nazionale. La parte che sembra più originale è quella dedicata all'analisi del ruolo di due fattori chiave nello sviluppo del mercato ICT e degli attori che vi operano: l'innovazione tecnologica e le risorse umane. Il testo può essere quindi di interesse per quanti operano nel settore e abbiano in particolare responsabilità decisionali o operative che non possono prescindere dalle dinamiche di mercato.

Andrea Baiocchi

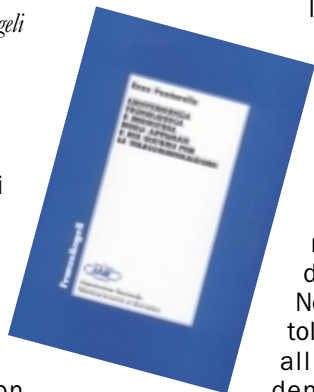


Enzo Pontarollo

CONVERGENZA TECNOLOGICA E INDUSTRIA DEGLI APPARATI E DEI SISTEMI PER LE TELECOMUNICAZIONI

*Editore: FrancoAngeli
Milano, 2000
pp. 142, L. 34.000
ANIE*

Il libro riporta i risultati di una ricerca sugli sviluppi tecnologici e di mercato più significativi che in questi ultimi tempi si sono presentati e che hanno caratterizzato il mercato dell'Information and Communication Technology. Esso nasce da un'iniziativa affidata a Enzo Pontarollo - professore ordinario di Economia Industriale presso l'Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano e grande esperto delle telecomunicazioni - dall'Osservatorio dell'Associazione Nazionale Telecomunicazione e Informatica, costituito nell'ambito dell'ANIE. Lo studio approfondisce un lavoro precedente dello stesso autore su



“L'industria degli apparati e dei sistemi per le telecomunicazioni in Italia” (ottobre 1998) già presentato su questa rivista (si veda il Notiziario Tecnico Telecom Italia, Anno 7, n. 3, dicembre 1998, pagine 117-118).

In questo testo Pontarollo parte dall'esame di un “settore in subbuglio”, causato dall'avvio del processo di liberalizzazione e dalla presenza di un mercato molto più concorrenziale sia sul piano delle tariffe sia mediante l'offerta di nuovi servizi sia anche per i nuovi fattori quali il “time-to-market” e la differenziazione e segmentazione dell'offerta che agiscono in un contesto tecnologico in grande evoluzione. Per l'irrompere prepotente di Internet nelle reti realizzate per le telecomunicazioni sia per i sistemi fissi sia per quelli mobili, si va diffondendo, in particolare, la commutazione di pacchetto in sostituzione di quella a circuito, con l'obiettivo primario del trasporto di dati. L'autore sottolinea in proposito che, per l'offerta di servizi, le reti IP consentono

ai gestori di effettuare investimenti più modesti rispetto a quelli una volta necessari per realizzare le reti tradizionali per il trasporto della fonia.

Nel testo è anche sottolineato che, rispetto all'indagine precedente, risultano aver assunto una fisionomia più precisa le tecnologie che assicurano il trasporto del segnale fonico su IP o la possibilità di trasferire dati sulle reti mobili. L'UMTS poi è ormai imminente e questa nuova rete consentirà la trasmissione wireless a larga banda.

L'autore analizza i diversi fattori che condizionano questo scenario e indica alcuni problemi oggi presenti: “la limitata fecondità

imprenditoriale che si riscontra nel settore in Italia, fa pensare che il sistema formativo del nostro Paese non riesca più a svolgere quella funzione che ... per molti decenni ... hanno saputo svolgere egregiamente i Politecnici, le Facoltà di Ingegneria e Fisica e quel reticolo di scuole tecniche e professionali che hanno formato il capitale umano che ci ha consentito di avere un'industria ... al passo con i tempi”. E più avanti osserva che “... si assiste al ridimensionamento o alla scomparsa di un certo numero di Aziende che hanno rappresentato degli straordinari incubatori di imprenditoria. Da Telettra o GTE per arrivare a Italtel ...” (pagine 88 e 89).

Pontarollo si addentra quindi su questi temi sintetizzando le attuali luci e ombre del settore e approfondendo i comparti sui quali occorre operare: “il sostegno alla ricerca e sviluppo così da favorire l'innovazione; l'incentivazione alla crescita delle medie e piccole imprese; interventi per attuare investimenti dall'estero e per sostenere l'esportazione; la necessità di promuovere la nascita della Società dell'Informazione e lo sviluppo di applicazioni per l'Information Communication Technology”.

Il libro è corredato da numerose tabelle e diagrammi che meglio chiariscono le osservazioni via via esposte e contiene un'appendice con i profili di Aziende del settore. Questo lavoro, ricco di spunti di riflessioni sugli elementi di forza e anche su alcune criticità che contraddistinguono oggi il settore in Italia, suggerisce al tempo stesso le linee di azioni prioritarie perché il sistema dell'ICT possa svolgere un ruolo trainante che porti alla crescita nel Paese di tutti i settori produttivi. Il libro può quindi essere utile per ricavare elementi generali per gli attuali approfondimenti o dibattiti che oggi si svolgono in numerose e differenti sedi.

Rocco Casale

I seguenti sommari sono ripresi dai "Rapporti Tecnici CSELT" di agosto 2000.

M. Berekovic, G. Ghigo, C. Heer, A. Lafage, C. Miro, T. Selinger, K. Wels

Progetto ed architettura del co-processore TANGRAM per applicazioni MPEG-4

TANGRAM è un co-processore per applicazioni MPEG-4. Implementando la composizione (costosa dal punto di vista computazionale) di oggetti video di forma arbitraria per la scena video finale, questo co-processore offre una soluzione per l'algoritmo più cruciale di backend del nuovo standard MPEG-4. Il co-processore TANGRAM consente la riproduzione di scena per il formato video CCIR601 con un numero arbitrario di oggetti video. La dimensione complessiva di tutti gli oggetti resi per una scena può raggiungere due volte quella del formato CCIR 601. Funzionando a una frequenza di orologio di 100 MHz, il co-processore raggiunge prestazioni di picco di circa 2 miliardi di operazioni multiply-accumulate. È stato progettato in tecnologia CMOS 0,35 micron. Il 60 per cento circa dell'area complessiva di 52 mm² è impiegato per la memoria statica "on chip" di 190 kbit. Il consumo di potenza stimato è di 1 W.

M. Paolini, M. Turolla

Una metodologia di progettazione di System-on-Chip per i prodotti ICT del terzo millennio

Si descrive una metodologia efficiente di progettazione basata sul software di co-progettazione POLIS HW/SW, sulla libreria di moduli CSELT VIPTM library e sulla metodologia di emulazione CSELT che si avvale dell'ambiente di prototipazione veloce della Aptix. Questa

metodologia consente di ottenere soluzioni progettuali efficaci in termini di prestazioni, flessibilità e costi, con una considerevole riduzione dei tempi di progetto. Metodologia e tool sono stati valutati mediante lo sviluppo di vari progetti industriali, il più importante dei quali - un server per nodi ATM - è descritto nel lavoro in dettaglio.

G. Cesana, P. Garino, M. Paolini, M. Turolla, S. Vercelli

Esperienze e problematiche nello sviluppo di soft core IP riutilizzabili per i prodotti ICT del nuovo millennio

La memoria illustra le tematiche affrontate nello sviluppo di moduli di Intellectual Property riutilizzabili in differenti applicazioni e contesti, che fanno riferimento alla libreria CSELT VIP libraryTM di moduli soft IP. Si prende lo spunto dallo sviluppo di due moduli della libreria: il primo effettua la trasformata DCT (usata in codificatori video MPEG), il secondo esegue la decodifica Viterbi (usato in sistemi di comunicazione); sono poi riportate alcune delle metodologie utilizzate per verificare e per validare la correttezza di progetto della descrizione realizzata. In particolare sono descritte le metodologie di verifica di compatibilità rispetto ad un dato standard, mediante un ambiente di simulazione e verifica software, e l'approccio di validazione mediante una piattaforma di emulazione hardware. Entrambi i moduli descritti sono stati sviluppati nell'ambito dell'attività finalizzata dello CSELT 529.1, di cui è committente la ST Microelectronics.

G. Bollano, S. Claretto, E. Filippi, A. Torielli, M. Turolla

Integrazione hardware e software: moduli di "Intellectual Property" per applicazioni Internet

La crescita continua di Internet e delle applicazioni ad essa correlate spinge ad adottare differenti architetture di instradamento dove flessibilità e riconfigurabilità sono essenziali. In questo scenario, sistemisti e progettisti cercano soluzioni adeguate e flessibili, utilizzabili sia per i prototipi che per prodotti avanzati. Il lavoro presenta moduli di IP (Intellectual Property), hardware e software (VIP LibraryTM), parametrici e programmabili riutilizzabili in progetti di unità di "address lookup" per veicolare flussi di pacchetti in Internet. La soft macro, denominata IPCAM, è una Intellectual Property innovativa che mediante una memoria del tipo a singola porta RAM consente di realizzare una memoria CAM ternaria (Content Addressable Memory). Essa si compone di un modulo hardware per la ricerca veloce e di un modulo software per la configurazione delle tabelle di instradamento. La hard macro è una CAM reale ternaria configurabile. Entrambi i moduli possono essere utilizzati per realizzare un'ampia gamma di "address look-up". L'efficienza dei core proposti è stata verificata sia su silicio che mediante emulazione hardware.

Chi desidera ricevere copia di questi articoli può rivolgersi direttamente a:
Laura CANTAMESSA
CSELT, Via Guglielmo Reiss Romoli, 274
10148 Torino
Tel: 011 - 2285366
Fax: 011 - 2285762
e-mail: laura.cantamessa@cselt.it

F. Ballezio, M. Giunta, L. Lavezzaro, G. Borio, M. Borsero, G. Lombardo, V. Pozzolo

Misure di disturbi irradiati: confronto tra siti diversi

Sono posti a confronto i risultati delle misure di emissioni irradiate effettuate in quattro siti diversi. I diversi siti (area di prova all'aperto, camera completamente anecoica, camera semi-anecoica) sono esaminati alla stessa distanza di misura (3 m) e, per una coppia di siti; il confronto è poi esteso a due distanze (3 m e 10 m). Come sorgente delle emissioni è scelto un generatore di riferimento con caratteristiche di emissione stabili e chiaramente definite. Sono considerate anche le incertezze di misura. I risultati ottenuti dalla sperimentazione sono confrontati anche con quelli ottenuti simulando le differenti configurazioni di misura con il codice NEC.

P. Castelli, G. Foddis, M. Molina

Realizzazione di modelli del traffico WWW sfruttando il clustering temporale delle connessioni TCP mediante lo strumento HTML - REDUCE

Nel lavoro è presentata una metodologia di analisi di misure che, partendo da tracce a livello di pacchetto, identifica alcune caratteristiche statistiche utili per caratterizzare il traffico Web, quali: la dimensione delle pagine, la frequenza di richiesta delle pagine e il "think time" dell'utente tra due richieste di pagine successive. La metodologia è sviluppata in un tool denominato HTML-REDUCE ed è stata applicata a

tracce raccolte sulla rete aziendale dello CSELIT. Per ogni caratteristica statistica identificata, è cercata l'espressione analitica che meglio approssima la distribuzione empirica. È poi presentato un modello semplificato per il dimensionamento della banda nella direzione server-client, modello che è validato mediante confronto con simulazioni dell'intera pila di protocolli. Il modello richiede solo la conoscenza della frequenza di richiesta delle pagine da parte di un aggregato di cliente e quella dei primi due momenti della distribuzione delle dimensioni delle pagine.

F. Bellifemine, A. Poggi, G. Rimassa, P. Turci

JADE - Software framework per la realizzazione di sistemi multi-agente

Nell'articolo è descritta la piattaforma per sistemi multi-agente JADE, sviluppata dallo CSELIT, e il conseguente modello logico e architetturale di agente realizzato. JADE (Java Agent Development Framework) è un framework software che semplifica lo sviluppo di applicazioni di agenti fornendo dei servizi di base conformi allo standard FIPA e interoperabili con altre piattaforme anch'esse conformi allo standard. Il design ha privilegiato l'efficienza di esecuzione e di riutilizzo del software a discapito di complessi modelli teorici; il modello di agente risultante è più basilare di altri descritti in letteratura, ma sicuramente più efficiente, ed è più idoneo per adattarsi alle più diverse scelte architetture applicative. JADE è stato interamente

realizzato in linguaggio JAVA, in particolare l'architettura del sottosistema di comunicazione sfrutta la moderna tecnologia a oggetti distribuiti di JAVA per comportarsi come un camaleonte, scegliendo al tempo di esecuzione, in modo trasparente all'applicazione, il miglior protocollo di trasporto per la singola situazione.

E. Bermiani, S. Caorsi, M. Raffetto, D. Roccatò

Metodologia di identificazione di oggetti cilindrici sepolti basata sull'utilizzo di reti neurali: risultati preliminari

Nell'articolo è presentato un metodo per l'identificazione di oggetti cilindrici sepolti, basato sull'utilizzo di reti neurali. Considerando come ingressi della rete neurale i valori del campo elettro-magnetico diffuso valutato in diversi punti, il bersaglio è dapprima identificato, e quindi classificato come dielettrico o come conduttore, confrontando i valori rilevati con un'opportuna soglia.

S. Quazza, P.L. Salza

La sintesi vocale, ovvero come dare voce al testo

L'articolo offre un quadro delle tecnologie del linguaggio sottolineando l'importanza della sintesi vocale e la peculiarità delle sue problematiche. Si presenta quindi una rassegna delle tecnologie per la sintesi di nuova generazione, basandosi sul sintetizzatore Actor, realizzato in CSELIT negli ultimi anni. Maggiore attenzione è

dedicata alle metodologie di sviluppo che stanno rivoluzionando la tecnologia della sintesi vocale per concatenazione di unità acustiche. Esse si basano sulla disponibilità di ampi lessici, grandi basi dati testuali e vocali e sull'impiego di algoritmi statistici e di analisi del testo e del segnale vocale. Tecniche di segmentazione automatica del segnale vocale permettono di realizzare ampi dizionari di unità acustiche contestuali e non uniformi con processi relativamente rapidi. L'algoritmo di selezione delle unità acustiche da concatenare si applica a qualunque base dati segmentata. Grazie alle tecniche descritte, si è quindi in grado di disporre nel breve periodo di ampi repertori di nuove voci e lingue, con caratteristiche di elevata qualità acustica e grande naturalezza.

P. Bertotto, P. Bielli, G. Richiardi, A. Schiavoni

Distribuzione di campo elettromagnetico generato da un modello di telefono cellulare, equipaggiato con un'antenna patch dual-band, all'interno di un modello anatomico di testa umana

Il lavoro si occupa della valutazione quantitativa della distribuzione di campo elettromagnetico generato da un modello di telefono cellulare, equipaggiato con un'antenna patch dual-band, all'interno di un modello anatomico di testa umana. Per ridurre il livello di campo elettromagnetico all'interno della testa di un utilizzatore di un telefono cellulare, sono state analizzate

antenne patch che irradiano nella direzione opposta rispetto alla testa, operanti nelle bande GSM 900 e 1800 MHz. Tra i differenti modelli di testa, proposti dalla letteratura nel corso degli anni, più efficace è risultato essere, nella rappresentazione geometrica ed anatomica, quello basato su acquisizioni di RMN (Risonanza Magnetica Nucleare). Il modello anatomico della testa umana usato in questo lavoro è stato ottenuto attraverso un'acquisizione di MR (Risonanza Magnetica) eseguita sulla testa di un volontario, utilizzando in seguito un programma di riconoscimento (basato su reti neurali) che ha consentito di identificare trentasei diversi tessuti sull'immagine originale in livelli di grigio. Il problema elettromagnetico (calcolo del campo elettromagnetico presente all'interno della testa umana irradiata da un telefono cellulare), è stato risolto utilizzando la tecnica FDTD (Finite Difference Time Domain) corredata di funzionalità che permettono di simulare fili sottili, cavi coassiali e antenne patch.

D. Albesano, R. Gemello, F. Mana

Studio dell'effetto dell'aggiunta di nuovi parametri alle traiettorie nello spazio acustico

Nel riconoscimento vocale, la tecnologia più diffusa, denominata HMM (Hidden Markov Models), è vincolata dalla condizione di indipendenza stocastica dei parametri di input. Questa caratteristica limita l'impiego simultaneo di parametri derivati dal segnale vocale con differenti algoritmi elaborativi.

Le Reti Neurali Artificiali ANN (Artificial Neuronal Networks) sono invece in grado di includere parametri di input multipli ed eterogenei, che non richiedono di essere trattati in modo indipendente, individuando la combinazione ottimale di questi parametri per la classificazione. Il lavoro ha l'obiettivo di definire lo sfruttamento di questa caratteristica delle ANN per migliorare l'accuratezza del riconoscimento vocale mediante l'uso combinato di parametri di input derivati da fonti diverse (differenti algoritmi di estrazione dei parametri di input). Nel presente articolo è descritta l'integrazione di due sorgenti di input: i coefficienti cepstrali mel, gli MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficient) derivati dalla FFT (Fast Fourier Transform) ed i coefficienti cepstrali RASTA-PLP. I risultati ottenuti provano che questa integrazione consente di ridurre gli errori del 26 per cento su un test-set vocale con qualità di tipo telefonico.

ACCESSO ALLA BIBLIOTECA CSELT

La biblioteca CSELT (biblioteca@cselt.it) ha stipulato un contratto con Elsevier per l'accesso via Web alle riviste in abbonamento a CSELT e Telecom Italia. L'accesso è regolato da password, ma l'accordo prevede per quest'anno ed in via sperimentale, la concessione di password anche a persone del Gruppo Telecom. Gli interessati potranno chiedere le modalità d'iscrizione a Marco Melloni (marco.melloni@cselt.it). È anche possibile consultare la biblioteca CSELT all'indirizzo <http://casper.cselt.it:8080/external/Accesso.html> e chiedere documenti o articoli usando la E-mail.

[N.d.R.]