

B. CATANIA (*)

Comunicazioni ottiche (**)

Nella cornice di questa giornata commemorativa della scomparsa del grande Guglielmo Marconi, le comunicazioni ottiche si collocano a buon diritto, per il semplice motivo che esse appartengono alla famiglia delle comunicazioni con onde elettromagnetiche.

La naturalezza ed il fascino delle comunicazioni ottiche non sono soltanto dovuti al fatto che la luce è l'origine e la fonte di vita del nostro universo, ma soprattutto al fatto che il migliore ricevitore esistente in assoluto, capace di rivelare un bit con un singolo fotone — l'occhio — è parte integrante del nostro corpo. Mi sia consentito di ricordare, in questa occasione, come la funzione di questo specialissimo e gratuito ricevitore, che è l'occhio umano, sia stata fondamentale nelle telecomunicazioni per molti millenni della storia dell'umanità.

« E' stato (fig. 1) il Dio del fuoco, bruciando sull'Ida;
e dietro a lui tutta una catena luminosa
si è accesa a poco a poco, quaggiù, fino a noi... »

Sono le parole che Eschilo, nell'Agamennone (ved. Appendice 1), mette in bocca a Clitemnestra, che in Argo ricevette, in una notte del 1184 a.C., la notizia della caduta di Troia, per mezzo, mi si passi il termine, di un « ponte radio » di 7 tratte in visibilità, la più lunga delle quali (dal M. Atos, 2033 m, al Maciste, 1743 m) superava una distanza di 180 km. Credo che se, oggi, chiedessimo a un esperto di Ponti Radio di tracciare un collegamento fra Troia e Argo non saprebbe trovare un percorso migliore. Il trasmettitore? « Un rogo di eriche secche ». Il ricevitore? L'occhio umano dei guardiani. Il rapporto segnale/rumore? « Fuoco che fai giorno della notte », le limpide notti del Mediterraneo. Il codice? Lo dice il guardiano: « E sono sempre qui: ad aspettare il segno della lampada.

(*) Direttore Generale CSELT, Via Reiss-Romoli 274, Torino.

(**) Relazione presentata in occasione della commemorazione del cinquantesimo anniversario della morte di Guglielmo Marconi a Villa Griffone, Pontecchio Marconi, il 20 luglio 1987.

la fiammata che porti notizie da Troia, *la parola vittoria*». Dunque un bit; la capacità trasmissiva: un bit per notte.

Ed è ancora dei Greci (fig. 2) il primo PCM della storia [1], utilizzato dal generale Polibio nel 300 a.C. per trasmettere testi comunque complessi mediante gruppi da uno a cinque torce posti su due muretti ad altezza d'uomo. Qui la parola era di 10 bit — largamente ridondante rispetto al minimo di 5 bit richiesti per l'alfabeto greco — ma, ovviamente, meno affetta da errori, tenuto conto che la decodificazione a distanza era operata, ancora una volta, da operatori umani.

E' sorprendente constatare come, in aggiunta alle segnalazioni tra navi, ancora in uso, l'occhio umano fosse ancora il ricevitore più usato nelle telecomunicazioni terrestri per molti decenni a partire dalla fine del '700, con il famoso semaforo Chappe [1]. La sua prima realizzazione (la Parigi-Lilla) risale al 1794, ma esso fu poi usato estensivamente nelle maggiori nazioni europee, coprendo distanze di oltre 1500 km con tratte, fra due torri consecutive, di 50-70 km. Stavolta, anziché roghi o fiaccole, era usato il sole come sorgente primaria in trasmissione e l'informazione era trasportata dalla luce riflessa dai bracci del semaforo: il primo esempio di modulazione esterna, se si vuole, il modulatore essendo ovviamente rappresentato dall'operatore che azionava i bracci del semaforo. Queste reti di telecomunicazioni semaforiche precedettero di circa 50 anni i primi timidi tentativi di telegrafia elettrica (prima elettrostatica, poi elettrochimica e poi ancora elettromagnetica), cioè le comunicazioni elettriche in senso stretto, che sono imperniate sulla presenza di un supporto materiale nel quale possano muoversi gli elettroni che trasportano l'informazione.

La prima utilizzazione di un fotorecettore costruito dall'uomo, che sostituiva l'occhio umano nelle comunicazioni ottiche, è del 1880; esso fu impiegato nel famoso « fotofono » di Alexander Graham Bell [2], il quale sfruttò a tale scopo la variazione di resistenza elettrica del selenio quando questo veniva colpito da un raggio luminoso di intensità variabile. In trasmissione (concettualmente in modo simile al semaforo Chappe) era utilizzata come sorgente primaria la luce del sole, riflessa in modo variabile da un meccanismo che vibrava per effetto della voce. « Ho udito un raggio di sole ridere, tossire e cantare », scrisse Bell a suo padre nel febbraio di quell'anno, descrivendo quella che considerava la sua più grande invenzione, cioè ancora un telefono, ma senza fili.

Sfortunatamente le trasmissioni ottiche attraverso l'atmosfera non ebbero fortuna, soprattutto perché le condizioni di propagazione sono mediamente ben peggiori di quelle delle notti mediterranee del ponte ottico Troia-Argo, per cui, se si eccettuano applicazioni a corta e cortissima distanza ed i futuri collegamenti intersatellite, volti a risparmiare il cosiddetto doppio salto fra due satelliti geostazionari, le comunicazioni ottiche avrebbero avuto un modesto sviluppo, senza la grande rivoluzione della propagazione ottica guidata.

Anche i ricercatori dello CSELT che (fig. 3) nel 1966, a M. Maddalena (5 km da Torino) ricevettero, per la prima volta in Italia, la luce laser emessa dalla torre dello CSELT, modulata con 24 canali PCM (circa 1.5 Mb/s), dovettero arrendersi di fronte alle evidenti condizioni negative di propagazione, pur rivi-



Fig. 1. La prima comunicazione ottica della storia.

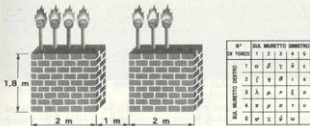


Fig. 2. Il primo PCM (ottico) della storia.

vendo in una certa misura l'emozione dei guardiani dei monti dell'antica Grecia, che aspettavano il « segno di fuoco » della caduta di Troia.

Occorreva dunque mettere una « corazza » (il prof. Corazza direbbe « un ombrello ») alle comunicazioni ottiche, per impedire che l'attenuazione passasse da 0,2 dB/km del ciclo chiaro al quasi totale oscuramento provocato dalle perturbazioni e dalla turbolenza atmosferiche.

Occorre dire che, a parte la divertente dimostrazione dello zampillo luminoso di John Tyndall, che sfruttava la guida di un fascio di luce per effetto della rifrazione con l'aria circostante (1870), e a parte la doverosa citazione di Charles Vernon Boys che, nel 1887, tirava sottilissime fibre di quarzo fuso (il diametro era di circa 2,5 μm) con l'intento di utilizzarle in strumenti a torsione, occorre attendere fino al 1910, (fig. 4), quando fu formulata la teoria della propagazione di un'onda elettromagnetica nelle guide dielettriche, per registrare il primo evento fondamentale per il successivo sviluppo dei moderni sistemi in fibra ottica. Tale teoria fu sviluppata da due fisici olandesi, Hondros e Debye, 15 anni più tardi della formulazione della teoria della propagazione in guida d'onda ed oltre mezzo secolo dopo la famosa equazione dei telegrafisti di Lord Kelvin, che diede il via allo sviluppo della trasmissione con onde elettromagnetiche su linee fisiche, ed in particolare su cavi coassiali [3]. Ciò avveniva, peraltro, ben nove anni dopo che Guglielmo Marconi inviò i primi segnali radio attraverso l'Atlantico, dando il via allo sviluppo delle comunicazioni con onde elettromagnetiche propagantesi in spazio libero.

Alcune decine di anni dopo, e nella totale ignoranza della teoria di Hondros e Debye, comparvero i primissimi e rudimentali antesignani delle comunicazioni ottiche guidate e cioè l'endoscopio — la cui prima apparizione (con fasci di fibre senza mantello) può farsi risalire al 1929 — ed il telefono ottico di Norman R. French della AT&T, brevettato nel 1934, il quale, a differenza del fotofono di Bell, utilizzava luce guidata in un mezzo da lui denominato « light cable », che poteva essere o un tubo cavo con pareti interne speculari o una barra di quarzo senza mantello, che guidava in forza della riflessione con l'aria circostante. E' altresì dovuta allo stesso French l'idea di convogliare nello stesso cavo ottico diverse lunghezze d'onda, precorrendo i moderni moltiplicatori a divisione di lunghezza d'onda.

Vorrei, infine, per terminare questa breve rassegna di quella che potremmo definire la « preistoria » delle comunicazioni ottiche, menzionare la prima comparsa di fibre con mantello, avvenuta nel 1952 secondo quanto citato in un brevetto per endoscopio, quindi ancora con l'obiettivo di trasmettere immagini, piuttosto che informazioni codificate.

Le comunicazioni guidate in fibra ottica, come le conosciamo oggi, (e qui finisce la preistoria e comincia la vera storia) furono rese possibili da tre scoperte fondamentali (ved. Appendice 2), avvenute parecchi decenni dopo la formulazione delle leggi di propagazione nelle guide dielettriche, e precisamente:

1) la realizzazione del primo laser a semiconduttore raffreddato a 77 °K, dimostrata quasi simultaneamente nei laboratori della General Electric, della IBM

e del MIT verso la fine del 1962, seguita, otto anni più tardi, da quella del primo laser a semiconduttore con funzionamento continuo a temperatura ambiente, ad opera dei Laboratori Bell.

2) Il primo studio sistemistico completo basato sull'uso delle fibre ottiche per telecomunicazioni, pubblicato da Kao e Hockam dei Laboratori STL in Gran Bretagna nel luglio 1966.

3) La prima realizzazione di fibre ottiche monomodali in silice con attenuazione di 20 dB/km da parte della Corning Glass Works nell'ottobre del 1970. Ciò richiese un miglioramento di due ordini di grandezza della purezza dei vetri in silice (tabella 1) [4], rispetto allo stato dell'arte dei migliori vetri d'ottica, le cui impurità erano dell'ordine di 10^{-4} .

Si può dire che gli anni '70, seguiti a questi eventi, videro la più intensa e forse la più vertiginosa (per quanto attiene ai risultati conseguiti) attività di ricerca che si fosse mai osservata nel settore dell'elettronica. Questa portò, nel successivo decennio, cioè negli anni '80 in cui viviamo, ad applicazioni nella rete pubblica di telecomunicazioni tali da cancellare gradualmente tutti i portanti fisici fino allora utilizzati.

Le primissime applicazioni (fig. 5) furono attuate nella rete di giunzione, da tempo sofferente per la congestione dei condotti urbani, in cui la drastica riduzione d'ingombro offerta dai cavi in fibra da sola giustificava la sostituzione del rame installato. Nel giro di pochi anni fu poi dimostrata la convenienza economica dei sistemi in fibra ottica nella rete a lunga distanza (costi dimezzati rispetto ai sistemi in cavo coassiale) [5] così che quasi tutti i Gestori di tali reti cessarono gli ordini di cavi coassiali per quelle applicazioni, investendo progressivamente, a partire dagli anni '80, in sistemi con fibra ottica (ricordo, tra gli altri, il « Progetto 80 » del nostro Ministero P.T.).

La terza sfida [6], sulla quale sono oggi impegnati i maggiori laboratori

Tab. 1 - *Requisiti di purezza dei materiali per componenti per telecomunicazioni su fibra ottica.*

TECNOLOGIA DELLE FIBRE: *	Ni, Fe, Co, Mn	< 10^{-9}
	Ossidril	< 10^{-7}
	Ce, V	< 10^{-10}
	Rame	< 10^{-4}
TECNOLOGIA LASER E RIVELATORI:		10^{-7} - 10^{-4}
	• Migliori vetri d'ottica	10^{-4} - 10^{-5}
	• Attenuazione endoscopi	3 dB/m
	• Attenuazione cielo chiaro a livello del mare	0.2 - 0.3 dB/km

* Per incrementi di attenuazione < 0.1 dB/km

di ricerca in campo internazionale, è quella della sostituzione del rame nella rete di distribuzione, fino alla terminazione d'utente, cosa che dovrebbe aprire, ai sistemi in fibra ottica, un mercato di almeno un ordine di grandezza superiore a quello corrispondente alle reti a lunga distanza.

Alla fine di questa decade (fig. 6) si prevede che negli Stati Uniti (i dati si riferiscono alla Southern Bell) l'intera rete di giunzione e quasi tutta la rete a lunga distanza con linee fisiche utilizzerà esclusivamente fibre ottiche. La penetrazione nella rete di distribuzione, partendo, nel 1970, da una previsione di circa 0,3% (valore, peraltro, non trascurabile, se si tiene conto che, su circa 350 milioni di km complessivi della rete di distribuzione in USA, ciò equivale a circa 1 milione di km fibra installati) è tale da fare prevedere la sostituzione quasi totale del rame entro la prossima decade, cioè entro il duemila. Tutto ciò (a detta degli Americani) anche nell'ipotesi che siano forniti agli utenti soltanto servizi in voce.

Fra le realizzazioni di collegamenti a lunga distanza merita una particolare menzione (fig. 7) il cavo sottomarino TAT-8 — la cui entrata in funzione è prevista entro l'anno venturo — che collega le due sponde dell'Atlantico, superando una distanza di oltre 6500 km, con una capacità di circa 280 Mb/s per ognuna delle 6 fibre in esso contenute e con passo di rigenerazione di circa 40 km [7]. Imponenti, a questo proposito, anche i programmi dell'ASST e dell'Italcable per i collegamenti sottomarini nel Mediterraneo.

Per quanto sorprendenti, le attuali prestazioni dei sistemi in fibra ottica sono destinate ad essere superate nei prossimi anni soprattutto in relazione ad ulteriori riduzioni dell'attenuazione delle fibre ed all'avvento delle tecniche di trasmissione coerente.

Infatti è possibile in linea teorica (fig. 8), con l'uso di vetri fluorozirconati, ottenere fino a tre ordini di grandezza di riduzione dell'attenuazione rispetto alle attuali fibre in silice; ciò consentirebbe di fare l'intero giro della terra senza interporre alcun ripetitore, o perlomeno di attraversare gli oceani senza ripetitori sommersi. Se un giorno le tariffe dei servizi di telecomunicazioni diventassero veramente, come si spera, indipendenti dalla distanza, credo si dovrà riconoscere gran parte del merito a questi progressi delle fibre ottiche, forse più ancora che non ai satelliti per telecomunicazioni, se si tiene conto della enorme capacità trasmissiva delle prime. Anche se molti laboratori, tra cui lo CSELT, stanno lavorando per sviluppare questi nuovi materiali (fig. 9), le difficoltà che si frappongono al raggiungimento del limite teorico di attenuazione sono notevolissime, specie per la estrema sensibilità dei vetri fluorozirconati alle intrusioni di acqua e per i maggiori pericoli di cristallizzazione nel processo di filatura. D'altra parte, sia per la bassa dispersione presentata da tali materiali, sia perché essi si prestano alla realizzazione di fibre attive, gli sforzi di ricerca sono tuttora intensi e motivati.

Quanto alle tecniche di trasmissione coerente (fig. 10), si vede chiaramente come ormai le convenzionali tecniche basate sulla rivelazione diretta — che pure hanno consentito di migliorare di tre ordini di grandezza le prestazioni dei sistemi

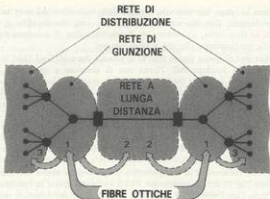


Fig. 5. Le tre aree di penetrazione delle fibre ottiche.

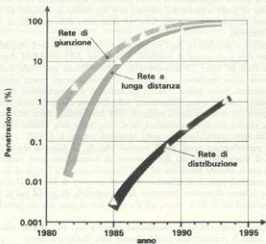


Fig. 6. Penetrazione delle fibre ottiche nella rete pubblica di telecomunicazioni.



Fig. 7. Cavo transatlantico in fibra ottica TAT-8 (1988).

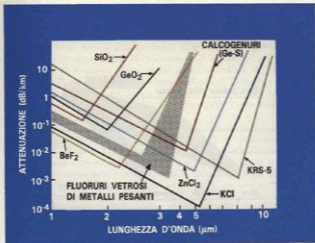


Fig. 8. Attenuazione teorica delle fibre ottiche nel medio infrarosso (MIR).

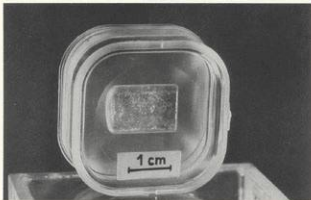


Fig. 9. Campione di vetro fluorozirconato realizzato in CSELT.

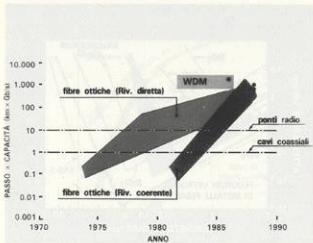


Fig. 10. Evoluzione dei sistemi ottici.

in fibra ottica rispetto ai sistemi in cavo coassiale — sono progredite fino quasi al limite massimo consentito dai migliori componenti (fibre, laser e rivelatori) ipotizzabili. Le tecniche di rivelazione coerente, sia per il guadagno di 15-20 dB rispetto a quelle di rivelazione diretta, sia per la possibilità che offrono di trasmettere più portanti ottiche a piccola distanza di lunghezza d'onda, promettono un ulteriore guadagno nel prodotto « passo di ripetizione \times capacità trasmissiva » di oltre due ordini di grandezza.

Si vede dunque come le immense potenzialità delle portanti ottiche di trasportare grandissime quantità di informazione a grandissima distanza vengano dischiuse a poco a poco dai rubinetti tecnologici dei materiali e dei componenti ottici ed optoelettronici, che costituiscono oggi il grosso del « valore aggiunto » dei moderni sistemi di telecomunicazione su portanti fisici, rispetto alla circuiteria elettronica.

Condizione indispensabile per la realizzazione di sistemi coerenti è la disponibilità di sorgenti laser ad alta purezza spettrale [8] e dotati di elevate precisioni e stabilità della lunghezza d'onda emessa. Gli attuali laser a singolo modo longitudinale SLM (fig. 11) costituiscono già un discreto passo avanti, potendo garantire una purezza spettrale di 10^6 , cioè una larghezza di riga intorno a 0.13 nm su 1300 nm, contro i circa 2 nm dei laser multimodali di precedente generazione (MLM). Un ulteriore balzo in avanti, che sta già dando buoni risultati, sarà consentito dai laser a reazione distribuita (DFB), la cui purezza spettrale raggiunge valori intorno a 10^7 - 10^8 , ancora migliorabile mediante cavità esterne, il cui impiego è oggi limitato a dimostrazioni di laboratorio. La stabilità termica è dell'ordine di 0.1 nm/°C sia per i laser DFB che per i vari tipi di laser a singolo modo longitudinale, per cui sono ipotizzabili schiere di laser di questo tipo con distanze di 10-20 nm, in ordine alla realizzazione di sistemi coerenti multicanali.

La figura 12 mostra un laser a singolo modo longitudinale di tipo « ridge », realizzato in CSELT, e operante alla lunghezza d'onda di 1300 nm con una corrente di soglia di circa 40 mA, capace di iniettare 1 mW in fibra monomodale.

In figura 13 è mostrato il reticolo di un laser DFB, il cui completamento è previsto in CSELT entro l'anno in corso.

E' da notare che la naturale evoluzione delle tecnologie optoelettroniche, inizialmente utilizzate per lo sviluppo di sorgenti laser e di fotorivelatori, è orientata alla realizzazione di circuiti ottici integrati sempre più complessi. Realizzazioni in questa direzione sono (fig. 14) il laser con fotorivelatore integrato per il controllo automatico della potenza di uscita (si tratta di un laser a singolo modo longitudinale operante a 1300 nm del tipo « a fungo », con corrente di soglia di 20 mA e potenza iniettata in fibra di 1 mW) e (fig. 15) un fotorivelatore integrato con guida ottica in fosfoarseniuro di gallio e indio, la cui attenuazione (2.2 dB/cm) rappresenta il miglior valore in assoluto raggiunto oggi in campo internazionale.

La strada verso l'acquisizione, da parte dei circuiti ottici integrati, delle funzioni di amplificazione, rigenerazione, moltiplicazione, commutazione ed elaborazione, sin qui proprie dei circuiti elettronici integrati su silicio, è dunque aperta

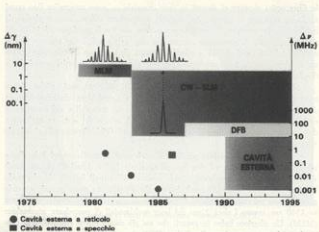


Fig. 11. Larghezza spettrale di diodi laser per 1.3-1.55 μm .

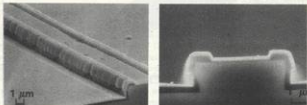
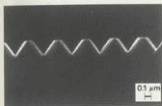


Fig. 12. Laser ridges per 1.5 μm .

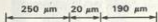


RETICOLO INCISO CHIMICAMENTE



RICRESCITA EPITASSIALE SU RETICOLO

Fig. 13. Reticolo di un laser DFB.



MONITOR
DETECTOR

LASER

Fig. 14. Laser con monitor integrato.

e già si intravede, nel lontano futuro, l'avvento della fotonica pura [9], cioè del « tutto ottico », quindi senza le attuali limitazioni delle applicazioni delle tecnologie ottiche alle funzioni di trasporto dell'informazione e di conversione ottico-elettrica o elettro-ottica, queste ultime necessarie al fine di trarre partito dalle eccezionali (e ancora non completamente sfruttate) potenzialità dell'elettronica dei fotoni.

Inoltre, il fatto che il fotone, a differenza dell'elettrone, possiede massa e carica elettrica nulle, dischiude tutta una serie di nuove applicazioni, inimmaginabili per l'elettronica, basate sulla elevatissima velocità e sulla non-interferibilità dei fotoni. Anche se le prospettive della superconduttività fanno intravedere progressi nella velocità operativa dei circuiti elettronici, fino a sfiorare il limite del femtosecondo (10^{-15} s) di cui sono capaci i circuiti ottici, rimane pur sempre, per gli elettroni, la limitazione inerente alla loro carica elettrica; questa infatti impedisce realizzazioni ad alto parallelismo e con elevatissimo numero di interconnessioni rapidamente riconfigurabili, quali quelle consentite dai fotoni.

Mentre sono in corso ricerche per sfruttare tali proprietà, ad esempio nel campo delle telecomunicazioni a microonde, come nella distribuzione dei segnali nelle schiere fasate dei radar e nelle reti formatrici di fasci per antenne [10], sono in vista, nel campo della elaborazione delle informazioni, realizzazioni di reti ottiche di tipo neuronale, caratterizzate da elevatissimi livelli di interconnessione e di riconfigurabilità, a somiglianza di quanto avviene nel cervello umano [11].

Forse a più breve termine, l'impatto delle comunicazioni ottiche — e più in generale della fotonica — si manifesterà in concomitanza con l'avvento della cosiddetta « società dell'informazione », di una società, cioè, in cui la forza lavoro abbandoni progressivamente gli impieghi manuali in industria e in agricoltura (ambidue largamente robotizzate) per svolgere mansioni con sempre più elevato contenuto intellettuale e creativo, in un contesto umano altamente interconnesso su dimensioni geografiche sempre più estese, dove l'informazione e la conoscenza costituiranno il bene — immateriale — più prezioso, a confronto di altri beni di tipo materiale.

La Comunicazione Integrata a Larga Banda (fig. 16) o « IBC - Integrated Broadband Communication », come è stata battezzata dalla Comunità Europea [12], costituirà il sistema nervoso della preconizzata società dell'informazione. La sua struttura è pertanto concepita in modo unitario, poiché interconnette ogni tipo di utente (affari o residenziale) con qualsivoglia fornitore di servizi, convogliando tali servizi nei tipi e nei formati più svariati attraverso una intelligente cooperazione di reti pubbliche e private sfocianti nell'infodotto d'utente, che sarà costituito da una sola fibra ottica monomodale.

Attraverso tale infodotto potranno fluire volumi enormi di informazioni bidirezionali modulate su schiere di portanti ottiche, atti a soddisfare le esigenze degli attori-operatori della società dell'informazione. Ciò consentirà, in particolare, un accesso immediato, agevole ed economico ad ogni opportuna sorgente o destinazione dell'informazione necessaria a svolgere efficacemente ogni tipo di attività.

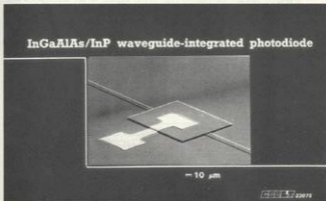


Fig. 15. Fotodivelatore in GaAlAs/InP con guida ottica integrata.

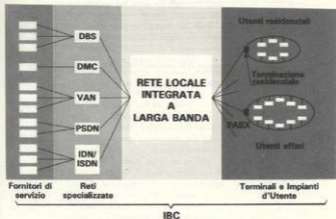


Fig. 16. Struttura della rete IBC.

L'apporto intellettuale creativo (fig. 17) di ognuno di tali attori potrà dunque assimilarsi ad una sorta di « trasformazione della conoscenza » [13] attuata sempre più in tempo reale, così da rendere praticamente indistinguibili le fasi di acquisizione o di apprendimento da quelle di trasformazione o creative.

Ancora una volta, dunque, sarà la luce, nella sua variegata gamma di attributi e di potenzialità, il veicolo della conoscenza, il bene più prezioso dell'umanità.



Fig. 17. La trasformazione della conoscenza nell'era dell'informazione.

APPENDICE 1

Da: ESCILLO, *Orestide* (traduzione di P.P. Pasolini). Ed. Giulio Einaudi, 1960.

Guardiano

. . .

. . . E sono

sempre qui: ad aspettare il segno
della lampada, la fiammata che porti
notizie da Troia, la parola vittoria!

. . .

Un fuoco riverbera lontano.

Evviva! Fuoco, che fai giorno della notte,
un giorno di festa, nella città di Argo!

. . .

Troia è vinta, lo dice quel segnale di fuoco

. . .

Capo coro

E chi ha potuto avvertirti, tanto presto?

Clitemoestra

E' stato il Dio del fuoco, bruciando sull'Ida,

Dietro a lui tutta una catena luminosa

si è accesa a poco a poco, quaggiù, fino a noi ...

L'Ida ha campeggiato verso i burroni di Lemno,

e il segno incandescente ch'è volato da Lemno

si è riflesso sull'Atos, sul regno di Zeus.

E' la terza tappa: da qui, con un guizzo

che brucia vitale la barriera del mare,

si getta gioiosamente il raggio che porta

il messaggio, di tappa in tappa, finché arde

sole della notte, sopra il massiccio

Maciste. Non aspetta, la grande montagna:

no, guardia vinta dal sonno, non lascia

passare il suo turno! La sua luce

palpebra verso l'Euripio, a farsi

captare dai guardiani di Messapo.

Anche questi subito appiccano il fuoco

alla loro risposta, proiettando più giù

la nuova: è un rogo di eriche secche.

Impetuoso il fuoco, senza un pallore,

valica la pianura di Asopo, come una luna,

fino alle montagne di Citera, e vi ridesta

il luminoso corriere che l'aspetta.

Occorre una luce ancora più forte,

capace di superare più grandi distanze:

è fatta, spazia oltre il lago Gorgopide,

arriva fino all'Egipianto, sospinge
il nuovo fuoco a non tardare un istante.
Avvampa un bracede d'un ardore folle,
un fascio di fiamme tale che il suo lume
salta il promontorio, tocca il monte Aracne,
vicino ad Argo, ormai, e cade
sopra questo tetto degli Atridi, l'ultimo
anello della catena che comincia a Troia.
Era questo il dovere dei miei corridori.
Per compierlo si sono passati la torcia
di mano in mano: e la vittoria è di tutti.
Questa è la prova. Il mio stesso sposo
mi ha trasmesso il segnale, da Troia.

APPENDICE 2

Note storiche riguardanti lo sviluppo delle comunicazioni in fibra ottica

- 1910 Lavoro teorico fondamentale di Hondros e Debye sulla propagazione in guide d'onda dielettriche.
D. Hondros, P. Debye: « Elektromagnetische wellen an dielektrischen drahten », *Ann. Physik*, vol. 32, 1910, pp. 465-470.
N.B.: I Laboratori Bell rivendicano che l'idea di usare la luce per le telecomunicazioni risale al 1870 (ved. R. Kompfner: « Optics at Bell Laboratories. Optical communications », *Applied Optics*, vol. 11, Nov. 1972, pp. 2412-2425).
- 1929 Trasmissione di immagini per mezzo di fasci coerenti di fibre di vetro.
C.W. Hansell: « Improvements in or relating to means for transmitting radiant energy such as light, and to apparatus for use therewith », *Brit. Pat.* 295601 del 21 Febbraio 1929.
- 1930 H. Lamm: « Flexible optical instruments », *Z. Instrum Kde* 50, n. 10, p. 579 (1930).
- 1952 R. Schranz: « Improvements in oesophagoscopes and similar endoscopic instruments », *Brit. Pat.* 684492 del 17 Dicembre 1952.
J. Vulmière: « The universal bronchoscope of Messrs. Fourestier, Gladu, Vulmière », *Rev. Opt. Théor. Instr.* 31, n. 7, p. 353 (1952).

- 1953 Prime fibre con mantello plastico.
A.C. Van Heel: « The optical formation of images without lenses or imaging mirrors ». *Ing. Grav.* n. 24 [Olanda] (1953).
- 1958 Prima idea di applicare il principio del maser alla amplificazione e generazione di radiazione a frequenze ottiche.
A.L. Schawlow, C.H. Townes: « Infrared and optical masers ». *Phys. Rev.* vol. 112, Dec. 1958, pp. 1940-1948.
- 1960 Realizzazione del primo laser (a rubino) da parte di Maiman (Hughes Research Lab. USA).
T.H. Maiman: « Stimulated optical radiation in ruby ». *Nature*, 187, Aug. 1960, pp. 493-494.
- 1961 Realizzazione del primo laser a gas.
A. Javan, W.R. Bennett Jr., D.R. Herriott: « Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing a helium-neon mixture ». *Phys. Rev. Lett.*, vol. 6, Feb. 1961, pp. 106-110.
- 1962 Primi annunci di realizzazione di laser a semiconduttore (giunzione GaAs, raffreddata a 77°K).
R.N. Hall, G.E. Fenner, T.D. Kingsley, T.J. Soltyz, R.O. Carlson: « Coherent light emission from GaAs junctions ». *Phys. Rev. Lett.*, vol. 9, Nov. 1962, pp. 366-378 (General Electric).
M.I. Nathan, W.P. Dumbe, G. Burns, F.H. Dill, G.J. Lasher: « Stimulated emission of radiation from GaAs p-n junctions ». *Appl. Phys. Lett.*, vol. 1, Nov. 1962, pp. 62-64 (IBM).
T.M. Quist, R.H. Rediker, R.J. Keyes, W.E. Krag, B. Lax, A.L. McWhorter, H.J. Zeiger: « Semiconductor maser of GaAs ». *Appl. Phys. Lett.*, vol. 1, Dec. 1962, pp. 91-92 (M.I.T. Lincoln Laboratory).
- 1963 Prima dimostrazione di emissione di luce (incoerente) da una giunzione P-N ed accoppiamento con fotorelizzatore (contratto Air Force USA-Texas Instruments).
W.T. Matzen Ed.: « Semiconductor single-crystal circuit development ». Report no. ASD-TDR-63-281, Marzo 1963.
Ved. anche:
R.H. Rediker: « Infrared and visible light emission from forward biased P-N junctions ». *Solid State Design*, Aug. 1963, pp. 19-28.
- 1966 Kao e Hockam, degli STL, propongono l'uso di fibre ottiche come mezzo di trasmissione guidata di segnali puntualizzando il fatto che l'attenuazione intrinseca di dielettrici quali il vetro è molto bassa.
K.C. Kao, G.A. Hockam: « Dielectric fibre surface waveguides for optical frequencies ». *Proc. IEEE*, vol. 113, July 1966, pp. 1151-1158.
- 1968 Primo annuncio di laser a doppia eterostruttura (DHS).
W.F. Kosonocky, R. Cornely, I.J. Hegyi: « Multilayer GaAs injection laser ». *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. QE-4, Apr. 1968, pp. 176-179.

- 1968 Invenzione della fibra Selfoc (antesignana della graded-index).
S. Kawakami, J. Nishizawa: « An optical waveguide with the optimum distribution of the refractive index with reference to waveform distortion ». IEEE Trans. MTT, vol. 16, Oct. 1968, p. 814.
- 1970 Primo laser a semiconduttore (DHS) funzionante a temperatura ambiente in CW (poché ore) con potenza di 5-10 mW.
I. Hayashi, M.B. Panish, P.W. Foy, S. Sumelay (Bell Labs): « Junction lasers which operate continuously at room temperature ». Appl. Phys. Lett., vol. 17, n. 3, Aug. 1970, pp. 109-111.
- 1970 Realizzazione da parte della Corning Glass di fibre ottiche monomodo in silice con attenuazione minima di 20 dB/km. Il procedimento per ottenerle è di tipo originale e consiste nel depositare entro un tubo di quarzo un film sottile di silice drogata con titanio (« soot deposition »). Risultato menzionato nel lavoro « Radiation losses in glass optical waveguides » presentato da F.P. Kapron, D.B. Keck, R.D. Maurer alla Conferenza « Trunk telecommunications by guided waves », 29 Sept.-2 Oct. 1970, Londra, e poi pubblicato su Appl. Phys. Lett., vol. 17, Nov. 1970, pp. 423-425.
- 1971 C.A. Burrus, dei Bell Telephone Labs, realizza dei diodi superluminescenti (SLD) a doppia eterostruttura con piccola area (50 μm dia) ed alta radianza, adatti come sorgenti per fibre ottiche (1.7 mW accoppiati in una fibra multimodo con apertura numerica pari a 0.66).
C.A. Burrus, B.I. Miller: « Small area, double-heterostructure aluminum gallium arsenide electroluminescent diode sources for optical fibre transmission lines ». Optics Comm., vol. 4, Dec. 1971, pp. 307-309.
- 1972 Realizzazione da parte della Corning di fibre multimodo in quarzo con attenuazione minima di 4 dB/km.
Annunciato al 1° Congresso Europeo sulla tecnologia ed il mercato dell'Elettrotecnica, Ginevra, 12-15 Settembre 1972.
- 1973 Annuncio della produzione regolare (lunghezza massima 100 m) di fibra Selfoc.
K. Kozumi, Y. Ikeda, I. Kitano, M. Furukawa, T. Sugimoto (NEC): « New light-focusing glass fibers made by a continuous process ». 1973 IEEE/OSA Conference on Laser Engin. and Appl. Digest of Tech. Papers, May 1973, p. 21.
- 1973 Annanci di miglioramenti di vita dei laser DHS.
R.L. Hartman, J.C. Dymont, C.J. Hwang, M. Kuhn: « Continuous operation of Ga,Al_xAs double heterostructure lasers with 30°C half-lives exceeding 1000 h ». Appl. Phys. Lett., vol. 23, Aug. 1973, pp. 181-183.
- 1974 La Nippon Electric annuncia che nei suoi Central Research Laboratories è stato sviluppato un tipo di laser a eterogiunzione con vita presunta di 10.000 ore (di cui 6.000 complessive già raggiunte, 3.000 nel 1973).

I. Hayashi: « GaAs lasers diodes will be ready for optical communication in the near future », NEC Research & Development, n. 33, April 1974, pp. 1-14.

Ved. anche:

« Semiconductor laser passes 3.000 hours of operation ». Electronics International, June 1973, p. 5E.

1974 Realizzazione presso i Bell Telephone Laboratories di fibre con metodo CVD con attenuazione minima 1.1 dB/km.

G. French, J.B. McChesney, P.B. O'Connor, G.W. Tasher: « Optical waveguides with very low losses ». B.S.T.J., vol. 53, n. 5, 1974, p. 951.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BENNETT W.R. e DAVEY J.R., *Data Transmission*. Mc Graw Hill, New York, 1965.
- [2] HECHE J., *Esperimenti dell'epoca vittoriana e comunicazioni ottiche*. «L'Elettrotecnica», vol. LXXIII, n. 2, Feb. 1986, p. 145.
- [3] CATANIA B., *Evolution of Communication Systems from Microwave to Optical Frequencies*. Proceedings of 6th European Microwave Conference, Roma, 14-17 Sept. 1976.
- [4] CATANIA B., *100 Km senza ripetizione con la nuova fibra ottica CSELT*. Conferenza Stampa, Milano, 30 Aprile 1982.
- [5] CATANIA B., COLAVITO C. e PELLEGRINI G., *Reliability and Cost Evaluation in View of the Introduction of Optical Fibres in Communication Networks*. EEOC '76, Paris, 27-30 Sept. 1976, Technical Digest pp. 389-397.
- [6] CATANIA B., *The Third Challenge of Optical Communications*. Keynote Address at the 11th Australian Conference on Optical Fibre Technology, published by IREE-MONITOR (Sydney), Jan.-Feb. 1987, p. 7.
- [7] BARBIANI A., DE BORTOLI M., MONCALVO A. e ODDONE M., *Sistema TAT-8: Il primo collegamento sottomarino transatlantico in fibra ottica*. «Elettronica e Telecomunicazioni», Anno XXXIII, n. 4, 1984, pagg. 162-168.
- [8] CARASSA F., *Attenuazione, dispersione e larghezza di riga nelle moderne comunicazioni ottiche*, presentato al X Incontro con le Consociate, Torino, 4 Giugno 1987.
- [9] TOSCO F., *Prospettive della fotonica*, presentato al XI Incontro con le Consociate, Torino, 26 Maggio 1987.
- [10] TAYLOR H.F., *Merging of Microwaves and Fiber Optics*. Microwaves and R.F., April 1987, p. 61.
- [11] ABU-MOSTAFA Y.S., PALALIS D., *Optical Neural Computers*. Scientific American, March 1987, n. 3, vol. 256, pag. 66.
- [12] CATANIA B., *La via dell'Europa verso le comunicazioni del futuro*. Media Docmilla, IV-10 Nov. 1986, pp. 14-23.
- [13] CATANIA B., *La trasformazione della coscienza nell'era dell'informazione*. XXXIII Congresso Nazionale dell'AIIB (Associazione Italiana Biblioteche), Sirmione, 8 Maggio 1986.