

# Dalle fontane di Colladon alla telecomunicazione in fibra ottica

di Andrea Addobbati

<http://www.unipi.it/athenet1-14/08/articoli/Addobbati.htm>

*Questa storia ha inizio nel 1841 in un'aula dell'Università di Ginevra. Un giovane professore di fisica, Daniel Colladon, doveva tenervi una conferenza di idraulica e aveva portato con sé un recipiente bucato per mostrare il defluire di un liquido e la dispersione di un getto d'acqua.*



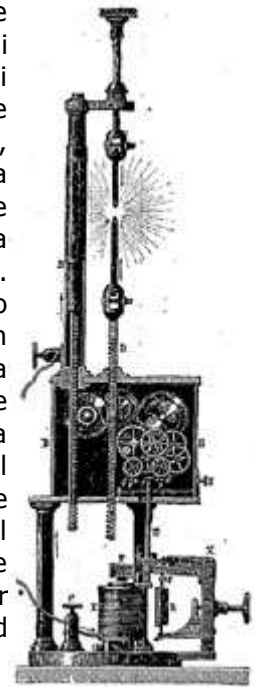
L'aula era buia, perciò **Colladon** si era procurato un attrezzo particolare, una specie di "imbuto" di metallo riflettente, per raccogliere la luce del sole dalla finestra e convogliarla sul banco delle esperienze, in modo che il pubblico potesse vedere. Nel corso della conferenza, mentre il giovane fisico cercava di illuminare l'interno del recipiente col suo "imbuto", il fascio di luce andò incidentalmente a colpire con angolo obliquo il foro da cui fuoriusciva il getto dell'acqua. Il pubblico sgranò gli occhi: cos'era quella magia? **La**

**luce**, invece di continuare il suo percorso in linea retta, **seguiva la caduta del getto d'acqua, come se vi fosse intrappolata dentro.**

Era la prima volta che la comunità scientifica sbatteva il naso sul fenomeno della **riflessione totale interna**. La spiegazione di questa strana magia, su cui è basato il funzionamento delle odierne telecomunicazioni in fibra ottica, è piuttosto semplice. Un raggio di luce che incide sulla superficie di interfaccia tra due mezzi trasparenti con un indice di rifrazione diverso, come appunto l'aria e l'acqua, viene in parte rifratto e in parte riflesso secondo un rapporto scoperto nel 1621 da Willebrord **Snell** ( $n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta$ , dove  $n_1$  e  $n_2$  sono gli indici di rifrazione dei due mezzi e  $\alpha$  e  $\beta$  l'angolo del raggio incidente e di quello rifratto rispetto alla normale). Quando l'indice del secondo mezzo è minore, l'angolo del raggio rifratto è maggiore e viceversa (è per questa ragione, ad esempio, che un cucchiaino immerso in un bicchiere d'acqua sembra piegato). Di conseguenza, se aumentiamo l'angolo del raggio incidente, anche l'angolo del rifratto andrà aumentando, finché non arriveremo alla situazione limite in cui l'angolo di  $90^\circ$  estinguerà la rifrazione: non c'è più il passaggio da un mezzo all'altro perché tutta la luce viene riflessa. Per questo principio è anche possibile che un raggio si propaghi per riflessione totale all'interno di un getto d'acqua o di una fibra ottica.

Daniel Colladon ripeté l'esperienza a Parigi, e l'amico Auguste de La Rive, un altro fisico ginevrino, ne rese ancor più evidenti gli effetti usando la luce dell'arco voltaico. La cattura della luce da parte di un getto d'acqua aveva senza dubbio un certo fascino: è "uno dei più belli e più curiosi esperimenti che si possano fare in un corso di ottica", scrisse Colladon; ma a parte questo, di applicazioni pratiche al momento non se ne scorsero. Dopo aver ricevuto un resoconto dell'esperimento per pubblicarlo sulla rivista dell'Accademia delle Scienze, François Arago si rammentò che anche Jacques Babinet, un fisico francese, aveva riprodotto questo strano fenomeno illuminando con una candela il fondo di una bottiglia mentre ne versava lentamente il contenuto. Invitato a pubblicare i risultati della sua esperienza, Babinet rispose che non ne vedeva l'utilità e si limitò ad osservare che il fenomeno era probabilmente riproducibile anche con delle barrette di vetro curve e che, forse, se ne poteva trarre uno strumento per illuminare il cavo orale: un'applicazione che poteva tornar utile ai dentisti. Sul finire del secolo due medici viennesi, Roth e Reuss, e un americano, David Smith, ripresero l'idea di Babinet e brevettarono degli *strumenti chirurgici e odontoiatrici*, ma non trovarono finanziatori interessati ai loro progetti.

Nel frattempo la riflessione totale interna si era conquistata un posto nella storia della *scenografia teatrale* e in quella della *progettazione di fontane*. La luce catturata in un getto d'acqua forse non serviva proprio a niente, ma di certo era molto bella a vedersi. Nel 1849 l'Opera di Parigi stava cominciando a prendere in considerazione le lampade ad arco voltaico per illuminare il teatro e per ottenere speciali effetti scenici. Invitato a collaborare alla messa in scena del Faust di Gounod, Colladon usò il "trucco" della luce intrappolata in una scena che allora fece molto scalpore. Mefistofele versava una botte di vino facendone uscire un fiotto rosso fiammeggiante. La platea rimaneva a bocca aperta tutte le sere, non appena l'arco voltaico illuminava il getto d'acqua fatto passare per un tubo di vetro rosso. Duboscq, un assistente di Colladon, si specializzò invece nella progettazione di spettacolari fontane luminose, i cui segreti furono svelati in un catalogo pubblicato nel 1877. Di queste meravigliose "Colladon fontains" negli ultimi decenni del secolo ne furono realizzate molte, ma fra tutte, la più memorabile è forse quella che accolse i visitatori dell'Esposizione Universale di Parigi del 1889. Bechmann, l'ingegnere che la progettò, aveva fatto in modo che la luce danzasse sui giochi d'acqua, seguendo gli zampilli che uscivano dalla bocca di alcuni delfini. La Grande Guerra travolse lo spensierato ottimismo della belle époque e venne meno anche la voglia di abbandonarsi a quel sentimento di meraviglia che aveva fatto la fortuna delle fontane di Colladon. Nessuno si interessò più alle fontane di luce o alla riflessione totale interna. Il nome stesso di Daniel Colladon fu sommerso dall'oblio. Solamente negli anni '50, quando la ricerca scientifica si accorse che il plexiglass (una scoperta fatta da Dupont negli anni '30) poteva effettivamente schiudere le porte a nuove e meravigliose tecnologie in campo ottico, ci si ricordò della luce catturata in un getto d'acqua, un fenomeno strano e sino ad allora poco interessante. A qualcuno venne anche la curiosità di sapere chi ne fosse stato lo scopritore e scartabellando nelle biblioteche si imbatté nel nome di John Tyndall. Allora la tecnologia delle fibre ottiche era appena agli esordi, ma sembrava avere grandi potenzialità. Erano già state brevettate alcune applicazioni in campo medico e si erano formati i primi gruppi di ricerca. La comunità scientifica, insomma, stava nuovamente interessandosi al fenomeno della riflessione totale interna e non appena gli fu detto che Tyndall ne era stato lo scopritore gli tributò senza indugi tutti gli onori del caso. L'Optical Society of America (OSA) intitolò a Tyndall il premio annuale per il miglior studio sulle fibre ottiche e ancor oggi, nonostante gli sforzi per ristabilire la verità, in molti testi di divulgazione scientifica [si continua](#) ad accreditare questo falso. Ma chi era John Tyndall?



Ai suoi tempi **Tyndall** era un personaggio piuttosto celebre. Era membro della londinese Royal Institution e teneva settimanalmente, tutti i venerdì sera, delle conferenze scientifiche per un pubblico di appassionati. Venerdì 19 maggio 1854 Tyndall era in ansia perché non sapeva cosa proporre alla conferenza serale. Confidò le sue preoccupazioni al grande Michael **Faraday**, suo mentore alla Royal Institution, il quale gli suggerì un'esperienza semplice, ma di grande effetto: la cattura della luce in un getto d'acqua. Non sappiamo se Faraday comunicasse a Tyndall il nome del fisico ginevrino che aveva fatto quella scoperta. All'epoca Colladon era piuttosto conosciuto negli ambienti accademici ed è improbabile che Faraday non ne avesse mai sentito parlare, anche perché nell'estate del 1841 era stato ospite a Ginevra di Auguste de La Rive, l'amico di Colladon che proprio in quel periodo ripeté l'esperienza con l'aiuto dell'arco voltaico. Ad ogni modo è certo che Tyndall non fece menzione di Colladon durante la conferenza, né lo menzionò in seguito in *Light and Electricity*, un libro del 1871 in cui descrisse il fenomeno della luce intrappolata. È difficile credere tuttavia che John Tyndall tacesse il nome del ginevrino per usurpargli la paternità della scoperta. Neppure Tyndall avrebbe mai potuto immaginare che il suo nome un giorno sarebbe stato associato a questo strano fenomeno ottico, di cui si era incidentalmente occupato e che considerava alla stregua di una curiosa bizzarria. L'equivoco nasce dalla diversa collocazione dei due personaggi nell'ambito della comunità scientifica dell'epoca. Colladon era un professore svizzero in una piccola università francofona, mentre Tyndall faceva parte di una prestigiosa istituzione della capitale dell'Impero britannico. Inoltre, più che uno scienziato, Tyndall era un grande divulgatore: una specie di Piero Angela dell'età vittoriana. I suoi libri rimasero in catalogo per molti e molti anni,

continuando ad essere letti dal grande pubblico, mentre gli articoli scientifici di Colladon furono ben presto dimenticati sugli scaffali polverosi delle biblioteche universitarie.

\* \* \*



Chiusa questa istruttiva parentesi sulle vicissitudini della fama, riprendiamo il filo della narrazione. Come dicevo, **tra gli anni '30 e gli anni '50** del secolo scorso la comunità scientifica tornò a interessarsi al principio di Colladon. Tuttavia, prima di arrivare a capire che la riflessione totale interna poteva essere utilmente impiegata nelle telecomunicazioni bisognava che tutta una serie di acquisizioni scientifiche e di condizioni tecniche giungesse a maturazione. In primo luogo era necessario disporre di fibre di vetro con sufficienti standard ottici.

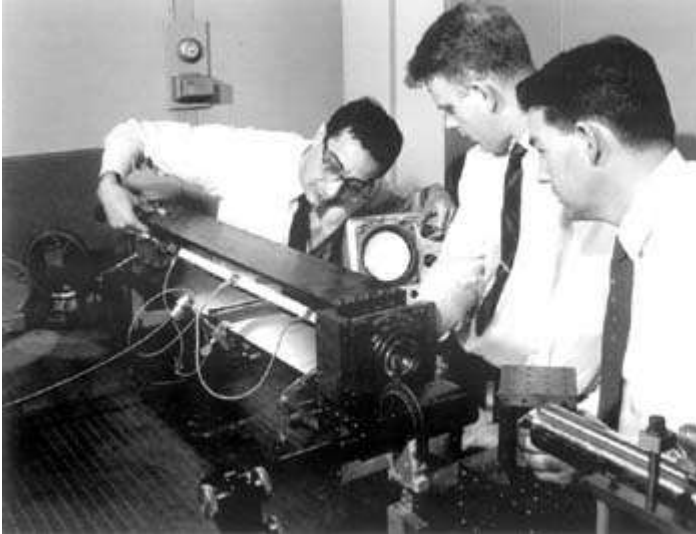
La *fibra di vetro*, contrariamente a ciò che si potrebbe credere, non è un prodotto tecnologico moderno. Si son trovati esemplari di fibra in tombe egizie del 1600 a.C. ed è risaputo che nel Rinascimento i vetrai veneziani erano dei maestri nella produzione di fibre ad uso decorativo. Le tecniche furono poi affinate nel corso dell'800. In particolare, Charles Vernon Boys, un giovane assistente di fisica del Royal College di Londra inventò nel 1887 un procedimento piuttosto ingegnoso per ottenere delle fibre sottili, ma robuste, da impiegarsi nella fabbricazione di bilance e altri strumenti di precisione. La fibra di vetro o quarzo fu usata anche come isolante termico, come filtro per i liquidi e persino per confezionare abiti costosissimi destinati alle gran dame dell'alta società. Nessuno però prima di Clarence W.

Hansell pensò di sfruttarne le proprietà ottiche. Nei **primi anni Venti**, sia John Logie Baird che Francis Jenkins, i due ingegneri a cui dobbiamo la televisione, crearono dei prototipi in cui l'immagine era trasmessa attraverso delle barre di quarzo ricurve. Fu però **Hansell** ad indicare la fibra come mezzo di trasmissione delle immagini.

Hansell era un cervello vulcanico, capace di spaziare nei più diversi campi della tecnica. Nel corso della vita riuscì a collezionare più di 300 brevetti. La neocostituita RCA nel 1925 poté assicurarsene i servizi e gli affidò la direzione del Radio Transmission Laboratory di Rocky Point, Long Island. L'anno seguente Hansell fece domanda all'ufficio brevetti per un "Method for transferring a dial reading to a distance". Il progetto consisteva in un cavo di fibre di quarzo poste in parallelo e tagliate ai due capi in modo da ottenere due superfici piane. L'immagine luminosa, indirizzata ad un capo da uno strumento, sarebbe stata trasmessa dalla fibra all'altro capo per riflessione totale interna. Hansell immaginò che da un simile fascio di fibre si potesse ricavare un buon endoscopio per chirurghi o anche un periscopio flessibile. L'immagine inoltre, restando scomposta nel fascio, poteva essere *criptata* ripartendola alla rinfusa tra le fibre. Il progetto tuttavia rimase sulla carta. Hansell era un ricercatore inquieto: spentosi l'entusiasmo iniziale, rinunciò ad esplorare le potenzialità della fibra. Nel **1930**, quando finalmente gli fu rilasciato il brevetto, aveva ormai abbandonato lo studio delle trasmissioni ottiche per un progetto più promettente e redditizio. L'amico Edwin Land gli aveva mostrato un nuovo materiale plastico polarizzante fabbricato dalla Polaroid. Hansell pensò che sarebbe stato carino farci degli occhiali che si scurivano al sole.

Mentre Hansell abbandonava lo studio della fibra, a Monaco Heinrich **Lamm**, uno studente al terzo anno di medicina, giungeva alle sue stesse conclusioni. Lamm era allievo di Rudolf Schindler, un gastroenterologo che stava cercando da anni un sistema per scrutare lo stomaco dei suoi pazienti. Come accade a molti supponenti luminari, Schindler non dette alcun peso ai suggerimenti dell'allievo, il quale però non si lasciò scoraggiare e chiese aiuto a Walther Gerlach, un amico, studente di fisica che in seguito lavorerà con Heisenberg al fallimentare programma atomico nazista. I due giovani si procurarono delle fibre di vetro e costruirono un fascio flessibile, riuscendo nel 1930 a trasmettere l'immagine della lettera "V" prodotta dal filamento incandescente di una lampadina. Contrariamente alle attese, l'immagine era poco

nitida, ma si trattava sempre della **prima trasmissione su fibra ottica della storia**. Quando Lamm richiese il brevetto apprese con rammarico di esser stato preceduto da Hansell. In seguito, a causa delle sue origini ebraiche, dovette fuggire con la moglie in America, e abbandonare i suoi progetti di ricerca per dedicarsi interamente alla professione. Le prime pionieristiche ricerche di Hansell e Lamm non potevano ancora risvegliare l'interesse dell'industria. La sperimentazione aveva dato risultati poco soddisfacenti e non si era capito che per aumentare l'efficienza della fibra occorreva ridurre la *dispersione*. In un fascio di fibre "nude" infatti la luce passa da una fibra all'altra sfuocando l'immagine. Il passo successivo perciò doveva essere quello di rivestire la fibra con un "mantello" a più basso indice di rifrazione. Questa semplice soluzione fu individuata per la prima volta nel **1951** da un ingegnere danese, Holger **Møller Hansen**, il quale però non comprese a pieno la portata innovativa della sua scoperta. Pur essendo un ingegnere di genio, Møller Hansen non era legato ad alcuna istituzione scientifica; lavorava in maniera indipendente e artigianale in un



laboratorio che si era fatto in casa. Come Lamm, anche il danese immaginò che fosse possibile trasmettere delle immagini attraverso un fascio di fibre flessibili di vetro o di plastica trasparente.

L'ispirazione gli venne osservando l'occhio segmentato della mosca; e a questo proposito vale la pena notare che certe strutture, chiamate *ommatidi*, presenti nell'apparato visivo di alcuni insetti sono in effetti considerate dai biologi odierni come una specie di fibra ottica naturale.

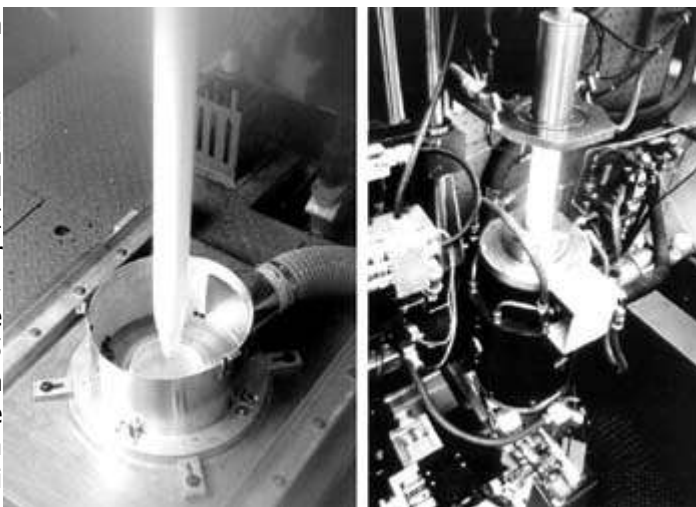
L'aspetto veramente innovativo del progetto risiedeva comunque nel mantello. Møller pensò infatti che per aumentare le

prestazioni della fibra bisognasse rivestirla con una sostanza avente un indice di rifrazione prossimo ad 1 e scoprì anche che l'olio di balsamo del Canada poteva servire efficacemente alla bisogna. Anche Møller però si scontrò con il brevetto di Hansell ed abbandonò la ricerca. Senza pensare che avrebbe potuto aggirare l'ostacolo rivendicando la priorità sulla scoperta del "mantello", l'ingegnere danese cominciò a lavorare ad un'altra invenzione più alla portata dei suoi poveri mezzi: involucri di bolle di plastica antiurto per la spedizione dei pacchi postali.

Era la seconda volta che la ricerca indipendente veniva ostacolata dal regime dei brevetti. Per poter vincere questa impasse era necessario che scendessero in campo dei finanziatori pubblici. Proprio negli anni in cui Møller lavorava intorno al problema della trasmissione ottica, un gruppo di ricerca al Politecnico di Delft, guidato da Abraham **Van Heel**, cominciava a prendere in considerazione le proprietà della fibra nell'ambito di una ricerca commissionata dal governo olandese, il quale era interessato a nuovi e *più efficienti periscopi* da montare sui sommergibili. La ricerca però fece pochi progressi. Van Heel aveva pensato di migliorare la trasmissione rivestendo le fibre con l'argento, ma i risultati erano stati deludenti. Allora il governo olandese invitò gli alleati americani a partecipare al progetto ed in breve fu organizzato un incontro tra Van Heel e Brian O'Brian, presidente dell'OSA e direttore dell'istituto di ottica dell'Università di Rochester. A pochi mesi dalla scoperta di Møller anche l'americano arrivò a capire che bisognava rivestire la fibra, ma non con l'argento, che avrebbe assorbito una parte della luce incidente, bensì con un qualche materiale trasparente a più basso indice di rifrazione. Van Heel non riusciva a capire come potesse essergli sfuggita una soluzione così semplice. Prima di tornare in Olanda promise a O'Brian di comunicargli i risultati sperimentali e comunque di contattarlo in caso di pubblicazione. Trovata la soluzione, la ricerca procedette spedita. Van Heel rivestì la fibra immergendola in una plastica liquida e realizzò un fascio in grado di inviare immagini alla distanza di mezzo metro. Nella primavera del 1952, tuttavia, Van Heel apprese da un collega, Fritz Zerbicke, che anche il fisico inglese Harold Hopkins stava lavorando con buoni risultati ad un progetto del genere, perciò si affrettò a scrivere ad O'Brian. Non ricevendo risposta, Van Heel decise di inviare senz'altro un resoconto

del suo lavoro ad una rivista olandese e al prestigioso «Nature» britannico, il quale però lo pubblicò soltanto nel 1953, assieme ad un articolo di Hopkins. Van Heel fu molto contrariato da questo ritardo. Accusò «Nature» di aver bloccato la pubblicazione per dar tempo ad Hopkins di scrivere un resoconto. Occorre dire però che l'inglese non aveva fatto grandi progressi. Aveva realizzato un fascio con un maggior numero di fibre, ma non aveva pensato a rivestirle.

La ricerca sulle fibre valse comunque ad Hopkins un premio della Royal Society di 1500 sterline e il finanziamento di una borsa per un assistente, che egli offrì al giovane ottico indiano Narinder Kapany. I due costruirono una nuova macchina per avvolgere le fibre e alcuni prototipi di fasci, riuscendo da ultimo a trasmettere l'immagine delle lettere "GLAS". Nel 1955 Kapany vinse una borsa di dottorato, la prima dedicata alla ricerca sulle fibre ottiche. Il sodalizio tuttavia non poteva durare. Il giovane ottico indiano pensava di sprecare il suo tempo con Hopkins e dopo



un burrascoso litigio decise che negli Stati Uniti avrebbe avuto maggiori opportunità. Alla fine accettò un posto alla Rochester University e divenne famoso scrivendo decine e decine di articoli sul problema delle fibre. Tra l'altro, fu Kapany a coniare il nome "fibre ottiche" e fu sempre Kapany ad attribuire la scoperta della riflessione totale interna a Tyndall. A parte questo, il giovane ottico indiano ebbe senza dubbio il grande merito di richiamare l'attenzione sul problema. Il contributo più significativo in termini di avanzamento delle conoscenze non venne però da Kapany, ma da Lawrence **Curtis**, un brillante studente di fisica a cui fu offerto un posto di ricercatore nel gruppo di Marvin Pollard, Basil Hirschowitz e C. Wilbur Peter all'Università del Michigan. Il gruppo di ricerca, formato da fisici e gastroenterologi, stava cercando di realizzare un *gastroscopio flessibile*. Pur disponendo di pochi mezzi Curtis nel 1956 riuscì ad ottenere delle buone fibre rivestite fondendo una barra vetro entro un tubo a più bassa rifrazione e stendendo la fibra con un sistema innovativo capace di produrne 15 metri l'ora. Nel 1957 Basil Hirschowitz poté sperimentare su sé stesso il primo gastroscopio in fibra di vetro. Sulla cima da inserire nello stomaco del paziente era stata posta una piccola lampada e uno strumento ottico per focalizzare la luce sul fascio.

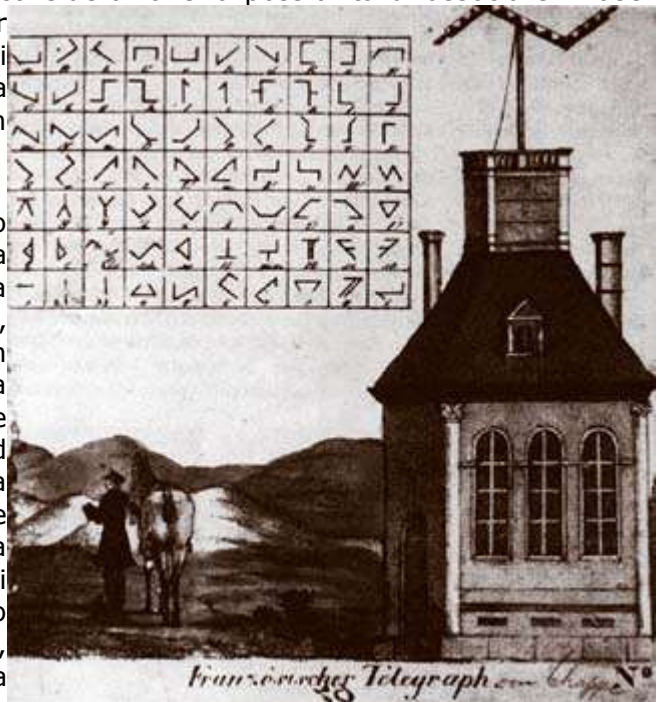
\* \* \*



Nei **primi anni '60** le tecnologie mediche in fibra ottica erano ormai una realtà. Il primo gastroscopio commerciale fu testato nel 1960 all'ospedale dell'Università dell'Alabama da Basil Hirschowitz. Alla fine del decennio la nuova tecnologia aveva completamente soppiantato i vecchi endoscopi con lenti in tutti gli studi medici. Nel frattempo, gruppi universitari e laboratori di grandi compagnie svilupparono nuove applicazioni: apparecchi in grado di intensificare o combinare le immagini, periscopi, lettori ottici per schede perforate ecc. L'idea che si potesse comunicare a distanza con la fibra, invece, si fece strada con grande difficoltà. Le fibre allora disponibili avevano perdite e dispersioni tali da attenuare il segnale di un decibel ogni metro. Un'attenuazione del genere non recava alcun problema alle applicazioni in campo medico, ma la comunicazione a distanza

richiedeva ben altri standard d'efficienza. D'altra parte, proprio in quegli anni, iniziavano a farsi sentire i limiti tecnici delle frequenze radio e delle microfrequenze, incapaci di sopportare la crescita continua del traffico televisivo e telefonico che tutti gli esperti si attendevano, perciò l'ingegneria delle telecomunicazioni aveva cominciato a cercare bande di trasmissione più larghe. L'alternativa principale era costituita dalle onde millimetriche, grazie alle quali si sperava di poter effettuare trasmissioni atmosferiche in appositi tubi, o waveguides, dell'ordine di decine di gigahertz. Nel 1960, tuttavia, si aprirono nuove prospettive: Theodor Maiman realizzò il primo laser a rubino, in grado di emettere impulsi di luce coerente, e da lì a pochi mesi Ali Javan, William R. Bennet e Donald R. Herriot dei laboratori della Bell poterono presentare al pubblico il primo laser ad elio-neon. Potendo ora disporre di un fascio continuo di luce coerente alla lunghezza d'onda di 1,15 mm, anche la possibilità di estendere i canali utili alla comunicazione dello spettro elettromagnetico alle frequenze ottiche cominciò ad essere presa in seria considerazione. In realtà non c'è niente di moderno nell'idea di **comunicare a distanza con la luce**. Gli uomini, da quando hanno imparato a padroneggiare il fuoco, si sono sempre scambiati segnali luminosi. Si dice, ad esempio, che la notizia della caduta di Troia giungesse ad Argo attraverso una lunga catena di fuochi di segnalazione. Questa stessa tecnica, normalmente usata nel XVI-XVII secolo dalle torri di avvistamento e difesa costiera, fu poi perfezionata da Claude Chappe, un ingegnere francese che nel 1793 progettò delle speciali "torri semaforo" con bracci azionabili da un manovratore. Il telegrafo ottico di Chappe assicurò alla Repubblica un vantaggio tecnico importante nel corso delle guerre rivoluzionarie, ma non ebbe in realtà un grande futuro; entro pochi decenni fu soppiantato dal telegrafo elettrico. Ancora nel 1880 Graham A. Bell provò a rilanciare la comunicazione ottica col photophone, un sistema in grado di trasmettere la voce attraverso le onde luminose, ma incapace di eguagliare l'efficienza delle trasmissioni elettriche ed elettromagnetiche. Di fronte al telefono, e poi alla radio, la comunicazione ottica sembrò una linea di ricerca superata. Con la scoperta del laser lo sviluppo di sistemi di telecomunicazione ottica entrò di nuovo a far parte dell'agenda scientifica, ma nessuno inizialmente prese in considerazione la possibilità di associare il laser alla fibra. Le prime sperimentazioni col laser miravano a sviluppare sistemi di comunicazione atmosferici nella falsa convinzione che non esistesse un solido con livelli di trasparenza paragonabili all'aria.

Ben presto però i ricercatori si resero conto che il laser, pur andando esente da interferenze di tipo elettromagnetico, era d'altro canto fin troppo sensibile alla pioggia, alle nuvole e alle turbolenze atmosferiche in genere. La maggior parte dei gruppi di ricerca lasciò perdere e tornò a occuparsi di onde millimetriche. Alcuni ricercatori degli Standard Telecommunications Laboratories di Londra guidati da Antoni Karbowski, nonostante le prime deludenti prove, continuò invece a credere nel laser e nella possibilità di sviluppare le comunicazioni ottiche. Del gruppo faceva parte un giovane ingegnere di Shanghai, Charles K. **Kao**, il quale si convinse che la soluzione doveva essere cercata nella fibra e che le perdite potevano essere ridotte. Insieme a George Hockman, un altro giovane ingegnere degli STL, Kao progettò un sistema di comunicazioni su lunga distanza basato su fibre *monomodali* e nel **1966** presentò un ottimistico rapporto all'Institution of Electrical Engineers. Kao sostenne che le fibre monomodali costruite dagli STL, con un nucleo di 3-4 micron e un mantello avente indice di rifrazione più basso di circa l'1%, avrebbero potuto sopportare nelle brevi distanze un traffico di circa un gygaciclo, corrispondente a 200 canali televisivi e a più di 200.000 canali telefonici. Poiché il vetro ha una bassa attenuazione intrinseca, era plausibile pensare che le perdite e dispersioni delle fibre allora disponibili fossero imputabili alla presenza di impurità: ioni metallici ed acqua. Data per buona questa ipotesi, doveva essere possibile,





secondo Kao e Hockman, depurare il vetro e abbattere l'attenuazione dai 1000 db/km ad appena 10-20 db/km. Le prospettive indicate erano affascinanti, ma per molti aspetti ancora campate in aria. Anni dopo Kao confesserà di aver giocato d'azzardo nella sua relazione all'IEE: "se ci pensi bene - dirà il ricercatore cinese in una intervista - stavo cercando di vendere un sogno... di concreto avevo ben poco da mostrare a quella gente per convincerla che si trattava di cose reali". La sfida comunque fu raccolta dal British Post Office, che allora gestiva la rete telefonica britannica e che stanziò 12 milioni di sterline per studiare il problema. Altri

gruppi di ricerca iniziarono a elaborare nuove metodologie di purificazione del composto vetroso usato nella fabbricazione delle fibre. Il traguardo indicato da Kao (un'attenuazione inferiore ai 20 db/m) fu infine raggiunto nel **1970** nei laboratori della Corning Glass Work. Robert Maurer, Donald Keck e Peter Schultz ottennero delle fibre monomodali (di 10  $\mu\text{m}$  di diametro nel nucleo e 125 nel mantello) da barre di silice inserite in tubi di quarzo purificate per decantazione da una fase di vapore, cui furono aggiunti in modo controllato dei livelli dopanti di titanio per accrescere, secondo un rapporto voluto, l'indice di rifrazione del nucleo. Nello stesso anno Zhores Alferov dell'Istituto Ioffe di Fisica di Leningrado e, subito dopo, i ricercatori dei Bell Labs costruirono il primo laser funzionante a temperatura ambiente in grado di emettere un fascio continuo.

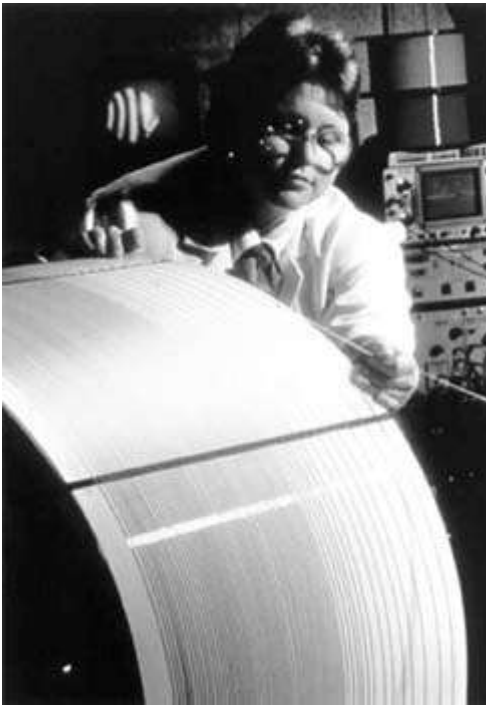
Nel giro di pochi anni i progressi nella fabbricazione delle fibre e l'impiego di onde extralunghe consentirono di ridurre enormemente l'attenuazione.



I ricercatori tuttavia nei **primi anni '70** ebbero qualche dubbio sull'adattabilità delle fibre monomodali ai sistemi integrati di telecomunicazione. Per il loro diametro esiguo (nella scala dei micron) questo genere di fibre, per non dire dei giunti e dei connettori, sembrava poco efficiente. I laboratori di ricerca optarono allora per delle fibre ottenibili con una tecnologia messa a punto nel 1968 dalla Nippon Sheet Glass: le fibre *multimodo*, che oltre ad avere un diametro di circa 50  $\mu\text{m}$  nel nucleo e di 125-150 nel mantello, sono costruite in modo da avere un indice di rifrazione gradualmente decrescente a mano a mano che si passa dal centro del nucleo al mantello. Dopo qualche anno di sperimentazione la fibra multimodo fu però abbandonata. La monomodale, infatti, avendo un diametro molto piccolo, presenta il vantaggio di obbligare i raggi a propagarsi per l'appunto in un unico modo, quasi parallelamente all'asse della fibra, mentre nella multimodale il raggio, pur conservando la velocità iniziale, è lasciato libero di seguire percorsi di diversa lunghezza, con il risultato che i segnali emessi giungono zig-zagando a destinazione in tempi diversi e sfalsati.

A parte alcune incertezze nella scelta degli standard tecnologici, bisogna dire che negli ultimi vent'anni i progressi delle telecomunicazioni ottiche sono stati enormi. Già nel 1976 l'attenuazione della fibra poté scendere sugli 0,5 db/km grazie alle fibre a basso contenuto di ioni acqua prodotte dalla NTT. Una nuova generazione di laser detti InGaAsP, con emissioni a 1300 nm, ha poi migliorato ulteriormente la prestazione della fibra. Potendo contare su questi

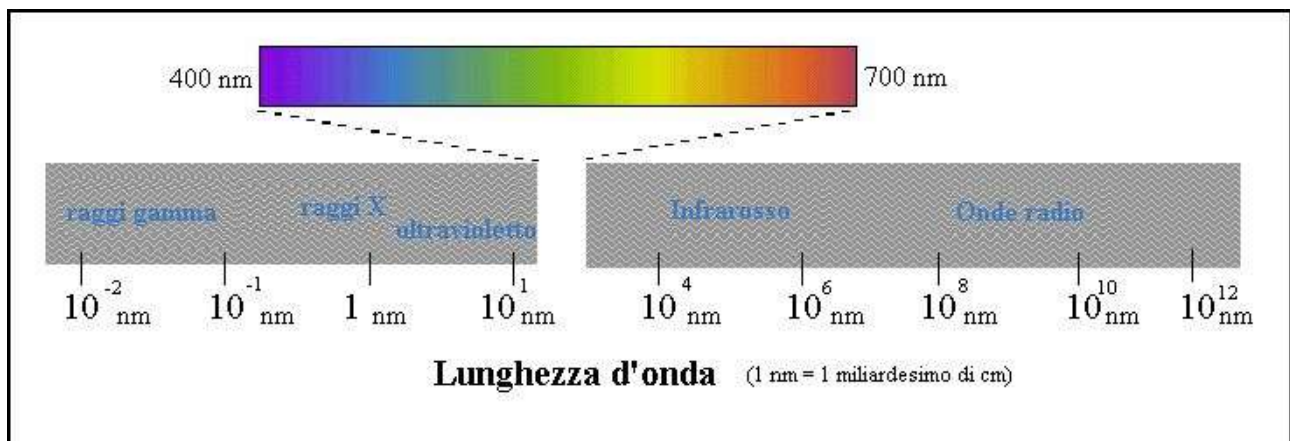
standard, nel **1980** le grandi compagnie telefoniche hanno iniziato a progettare le prime connessioni transcontinentali in fibra monomodale, entrate finalmente in funzione tra il 1988 e il 1993, e seguite poi dalle prime reti urbane. Un passo avanti importante è stata inoltre la realizzazione nel **1987**, all'Università di Southampton, delle **fibre dopate con erbio**, che alla lunghezza d'onda di 1,55 micrometri funzionano come degli amplificatori, riducendo perciò l'attenuazione a 0,2-0,3 db/km, permettendo di ampliare l'intervallo tra i ripetitori di segnale, e per quanto riguarda la distribuzione in rete, compensando le perdite che si hanno nella divisione del segnale tra diversi terminali. **Negli ultimi anni**, infine, grazie alla tecnologia **DWDM** (Dense Wavelength Division Multiplexing), che permette di scomporre la luce in decine e decine di lunghezze d'onda, ciascuna configurabile come un vero e proprio canale di trasmissione di 10 gigabit/sec, si è arrivati a capacità di trasmissione per fibra di oltre 1 terabit (1000 gigabit/sec.).



Uno dei prossimi traguardi è quello della trasmissione di segnali solitonici. Nel **1993** Masataka Nakawawa dei laboratori NTT dopo aver trasmesso un *solitone* per 180 milioni di chilometri di fibra annuncia che "non esistono più distanze" e che l'attenuazione può essere portata a zero. Linn Mollenauer dei Bell Labs lo stesso anno, usando un sistema solitonico, riesce ad inviare 10 miliardi di bit/sec lungo 20.000 km di fibra. Controllare il solitone significa infatti poter disporre del moto perpetuo. Col solitone, *l'onda anomala che si propaga indefinitamente senza decadere*, entriamo nell'era dell'ottica non lineare. Il solitone è un fenomeno ancor più bizzarro della riflessione totale interna, ed è stato osservato per la prima volta in Inghilterra nel lontano 1834. Anche qui tutto ha inizio da un moto di meraviglia e dalla volontà di sapere. Era una bella giornata e John Scott Russel decise di andare a fare una passeggiata a cavallo lungo un canale, quando ad un tratto una chiatta...

Ma questa storia, magari, la raccontiamo un'altra volta.


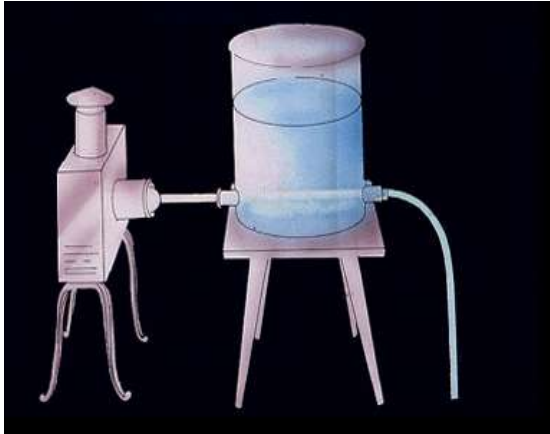
## Spettro elettromagnetico





# **Telecomunicazioni**

## **Tavola 2 - Dal 1851 al 1900**

<p><b>1854</b> <b>(Gran Bretagna)</b></p>	<p><i>L'ingegnere e filosofo naturale irlandese, John Tyndall, collaboratore di Faraday, dimostra la guida della luce mediante uno zampillo luminoso che fuoriesce da un cilindro pieno d'acqua. Il fenomeno, noto da anni e utilizzato anche per effetti scenici, è interpretato da Tyndall come effetto della riflessione totale della luce alla superficie di separazione fra acqua e aria</i></p>	 <p><b>John Tyndall,</b> <b>(BBC Hulton Picture Library)</b></p>	
	 <p><b>L'esperimento è descritto in "The Notices of the Proceedings or Philosophical Transactions of the Royal Institution of Great Britain" Vol. 6, 1851 - 1854, p. 448</b></p> <p><b>(Courtesy of The Royal Institution, London)</b></p>		<p><i>Il fenomeno della guida della luce lungo percorsi curvi (probabilmente noto da tempo anche ai soffiatori di vetro veneziani) sarà alla base degli studi che, dopo oltre un secolo, apriranno la strada all'uso delle fibre ottiche negli endoscopi e, successivamente, nelle telecomunicazioni</i></p>

## Curiosità

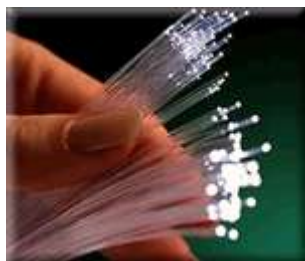
## La storia della Fibra Ottica

Il mondo intero è destinato ad essere fasciato da un'immensa ragnatela di sottili filamenti di vetro: milioni di chilometri di cavi destinati a fare della Terra un gigantesco gomitolo. Tutto ciò ha origini lontane, che portano fino al 1870, quando il fisico inglese **John Tyndall** dimostrò ad un gruppo di membri della Royal Society di Londra un fenomeno che sembrava contraddire la legge della propagazione della luce in linea retta.

Proiettò un fascio di luce su un contenitore d'acqua, nella cui parete aveva praticato un forellino. Un piccolo getto d'acqua cadeva quindi sul pavimento, e la luce seguiva la traiettoria curva dello zampillo.

Quindi, affermava Tyndall, la luce si incurvava. In realtà, non faceva altro che rimbalzare, in brevi linee rette, da un lato all'altro del piccolo zampillo, riflettendosi al suo interno.

Per passare da questo principio fisico ad una sua applicazione pratica si dovette attendere fino al 1955; fu in quell'anno, infatti, che un ricercatore inglese, **Narinder S. Kapany**, lavorando all'Imperial College di Londra, realizzò un nuovo elemento per "guidare" la luce, formato da sottili filamenti di vetro raccolti in un fascio chiamato fibra ottica.



Nell'esperimento di Kapany ogni fibra ottica, del diametro di un capello umano, era formata da due tipi di vetro. Le loro differenze facevano sì che la luce, entrando da un capo del filo, lo percorresse tutto, "rimbalzando" con una serie di riflessioni al suo interno, anche se il filo era annodato.

Nessuna radiazione luminosa sfuggiva dal tunnel costituito dalle pareti del filo, finché usciva dall'altro capo.

*Da "IMQ Notizie , trimestrale  
d'informazione sui problemi  
della sicurezza e della  
certificazione",  
n°80, giugno 2004.*

<http://www.epsdatacom.it/Curiosita.html>

## 1987 LE FIBRE OTTICHE E LA NUOVA ERA DELLE COMUNICAZIONE

I primi cavi in fibra di vetro sono stati inventati dall'inglese Narinder S. Kapany, nel 1955, che aveva proseguito gli esperimenti effettuati dal fisico [John Tyndall](#) sulla trasmissione della luce nell'acqua, applicandoli a cavi di vetro.

Tuttavia, la moderna tecnica della trasmissione di informazioni attraverso cavi in fibra di vetro viene inaugurata nel 1966 dallo scienziato americano Charles Kao. Kao non trasmette impulsi luminosi attraverso i suoi cavi in fibra di vetro, ma onde elettromagnetiche. L'effetto è quello di aumentare notevolmente il numero di telefonate che possono essere trasmesse contemporaneamente attraverso lo stesso cavo. Nel 1977, in California, viene messo in funzione il primo cavo in fibra ottica per la telefonia, lungo 9 km. Da allora in poi, questa tecnologia si diffonde rapidamente in tutto il mondo.

<http://www.sapere.it/tca/minisite/scienza/secoloscienza/id16.html>

# Ai Pirelli Labs centro di ricerca fra i più avanzati del mondo

di  
Luciano Clerico

.....

## ALCUNI CENNI STORICI SU COME GUIDARE LA LUCE

E' interessante riportare, seppur per sommi capi, alcuni cenni storici della ricerca scientifica in questo settore. Anche perché dalla scoperta del vetro (che possiamo far risalire agli Egizi) ad oggi sono passati circa cinquemila anni ma il silicio continua ad essere elemento proiettato nel futuro.

Dopo gli Egizi, furono i Veneziani intorno all'anno Mille a capire come il vetro poteva essere ulteriormente raffinato e reso più trasparente. Vennero poi i primi studi sulla rifrazione: nell'**Ottocento** gli studiosi inglesi Daniel **Colladon** e John **Tyndall**<sup>1</sup> riuscirono a mostrare come la luce potesse essere guidata con riflessioni successive all'interno di uno zampillo d'acqua circondato da aria. Nel **1910**, poi, altri due studiosi, Hondros e Deybe, misero a punto la teoria secondo cui si può trasmettere una radiazione luminosa utilizzando una guida costituita da diversi strati di materiale trasparente, ciascuno con un differente indice di rifrazione. A questo scopo si cominciò a pensare al vetro.

Il primo laser a semiconduttore è stato realizzato dai ricercatori della General Electric e della IBM nel 1962. Nel 1966 escono i primi studi sui vetri a basse perdite: gli studiosi Kao e Hockam dimostrano che i valori intrinseci della silice pura (cioè il composto che sta alla base del comune vetro) hanno una capacità di attenuazione bassissima della luce. Sono così stati avviati programmi di ricerca per la produzione di vetri altamente puri, che hanno portato alla fabbricazione delle fibre ottiche attuali. Il vetro con cui sono fabbricate ha una caratteristica su tutte: attenuazione (della luce) bassissima. E' un vetro perfettamente trasparente.

Negli ultimi vent'anni si è realizzata un'attenuazione tale da raggiungere in pratica il limite teorico del materiale puro (al di sotto del quale non si può ovviamente andare). Le fibre ottiche di ultima generazione presentano attenuazioni prossime al limite teorico della silice vetrosa su volumi dell'ordine di parecchi milioni di chilometri l'anno.

<http://www.privacy.it/clerico200303.html>

---

<sup>1</sup> [Progetto Polymath - Infinito](#)

... per altri, come il pittore Vasilij Kandinskij o il fisico **John Tyndall** o il musicista Gustav Mahler, l'infinito è associato al silenzio, eterno e vuoto, ...