

Storia della Fibra Ottica

CORSO DI STORIA DELL'INFORMATICA
E DEL CALCOLO AUTOMATICO

Roberto De Martino

Matr. 809/000351 Classe A042

Prof. Aniello Murano

VIII CICLO SICSI - ANNO ACCADEMICO 2007-2008

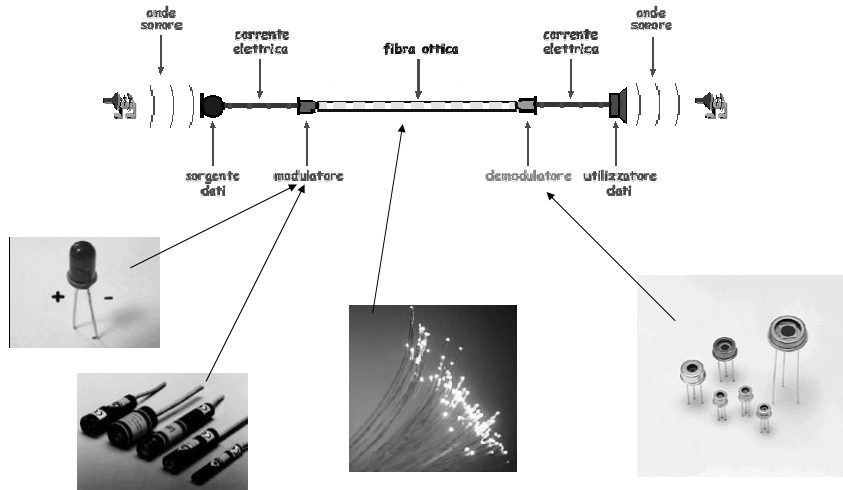
INTRODUZIONE

- La fibra ottica è attualmente il mezzo di comunicazione più usato per il cablaggio in **larga banda** di reti di elaboratori elettronici e infrastrutture di rete. Ha costruito la principale risposta alle necessità di banda trasmissiva, sorte a partire dagli **anni '80** in seguito alla diffusione di Internet.
- La storia della fibra ottica, in senso stretto, è piuttosto recente, infatti tale tecnologia si è sviluppata a partire dalla **fine del 1800** (con applicazioni diverse da quelle odierne) mentre le proprietà ottiche e i principi di funzionamento alla base di questa tecnologia hanno origine ben più antica e si sono sviluppate nel tempo lungo gran parte della storia dell'uomo.



Rete italiana long distance in fibra ottica

TRASMISSIONE SU FIBRA



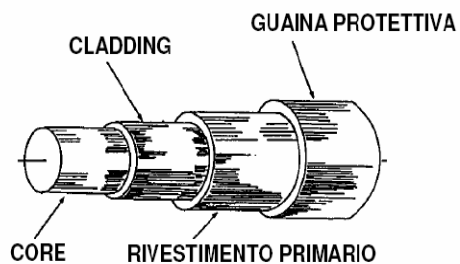
STRUTTURA DELLA FIBRA OTTICA

Le fibre ottiche sono **filamenti di materiali vetrosi o polimerici**, realizzati in modo da poter condurre la luce. Sono normalmente disponibili sotto forma di cavi.

Hanno la funzione di **guide d'onda dielettriche** (ovvero isolanti) che permettono di convogliare al suo interno un campo elettromagnetico di frequenza sufficientemente alta (frequenza simile all' infrarosso) con perdite estremamente limitate. Impiegate nelle telecomunicazioni su grandi distanze

Struttura:

- una parte interna detta nucleo (**core**)
- una parte esterna detta mantello (**cladding**)
- il rivestimento primario serve ridurre la **dispersione** e a separare tra loro le fibre ottiche
- core e cladding hanno indici di rifrazione diversi per confinare la luce all'interno del core grazie al al fenomeno della **riflessione totale**.



PARAMETRI CARATTERISTICI

Caratteristiche fisiche della fibra ottica

- **CORE** - diametro da 2 a 125 millesimi di millimetro (vetro o plastica con particolari caratteristiche ottiche di trasparenza)
- **CLADDING** - circa il doppio del core (vetro o plastica con diverse caratteristiche ottiche)
- **JACKET** - protezione esterna

Modalità della trasmissione con fibra ottica

- Il segnale viaggia a frequenze da 100 a 1000 THz (campo visivo e parte dei raggi infrarossi).
- La fibra funge da guida per le onde luminose.
- La luce viene generata e modulata da LED o Laser, che producono fasci luminosi ricevendo corrente elettrica.
- Il segnale luminoso viene riconvertito in segnale elettrico da un fotodiodo.
- Modulazione di ampiezza (intensità) per identificare e codificare il segnale digitale.

Utilizzo della fibra ottica

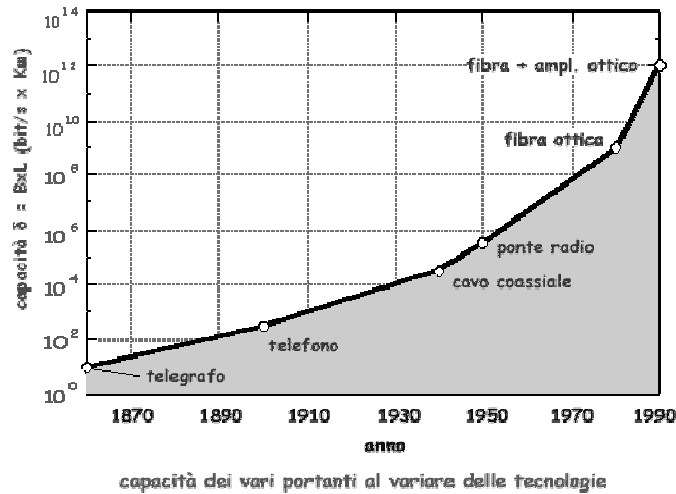
- Telefono (collegamenti a lunga distanza).
- Local loop telefonico (futuro).
- Linee ISDN.
- Dati (collegamenti metropolitani e a lunga distanza).
- Reti locali.
- Trasferimento video TV su lunga distanza fino al distributore locale (poi cavo coassiale fino all'utente).

VANTAGGI DELLA FIBRA OTTICA

I principali vantaggi delle fibre rispetto ai cavi in rame nelle telecomunicazioni sono:

- bassa attenuazione (0.2 - 2 dB/km), che rende possibile la trasmissione su lunga distanza senza ripetitori;
- grande capacità di trasporto di informazioni [frequenze altissime (100 THz), larghezza di banda (2 GHz), altissima velocità (2 Gbps)];
- immunità da interferenze elettromagnetiche, inclusi gli impulsi elettromagnetici nucleari (ma possono essere danneggiate da radiazioni alfa e beta);
- alta resistenza elettrica, quindi è possibile usare fibre vicino ad equipaggiamenti ad alto potenziale, o tra siti a potenziale diverso;
- peso e ingombro modesto;
- bassa potenza contenuta nei segnali;
- assenza di diafonia;
- ottima resistenza alle condizioni climatiche avverse;
- bassi valori di BER (Bit Error Ratio);
- Maggiore sicurezza da wire tapping.

EVOLUZIONE MEZZI COMUNICAZIONE



CRONOLOGIA DELLA FIBRA OTTICA



Archimede di Siracusa (287 a.C. – 212 a.C.) è stato un matematico, astronomo, fisico e ingegnere greco. È stato uno dei massimi scienziati della storia. Scoperta della legge della riflessione.



Abū Sa'd al-'Alā' ibn Sahl (940 -1000) matematico ed ottico arabo vissuto nel X secolo alla corte di Samsam al-Dawla a Baghdad. Lenti asferiche. Scoperta della legge della rifrazione.



Willebrord Snel van Royen (1580 - 1626) matematico, astronomo e fisico olandese, noto per la legge della rifrazione detta anche legge di Snell. Triangolazione geodetica. Metodo per la determinazione del raggio Terrestre.



Pierre de Fermat (1601 – 1665) matematico francese che ha dato importanti contributi allo sviluppo della matematica moderna. Calcolo differenziale. Geometria analitica. Teoria dei numeri. Ottica: Principio di Fermat

CRONOLOGIA DELLA FIBRA OTTICA



Augustin - Jean Fresnel (1788 – 1827) è stato un fisico francese che eseguì importanti ricerche in campo ottico. Teoria della Polarizzazione. Lente di Fresnel.



Jean-Daniel Colladon (1802 -1893 Ginevra) Fisico svizzero. Studiò legge ma poi lavorò nei laboratori di Ampère e Fourier. Misura la velocità del suono in acqua nel lago di Ginevra. Ha organizzato l'illuminazione a gas delle città di Ginevra e Napoli nel 1839.



James Clerk Maxwell (Edimburgo 1831 – Cambridge 1879) è stato un fisico scozzese. Elaborò la prima teoria moderna dell'elettromagnetismo, compendiando in poche equazioni tutte le nozioni di tale branca della fisica.



Clarence Weston Hansell (1898 -1967 Indiana) ricercatore e ingegnere americano pioniere della ricerca sugli effetti biologici dell'aria ionizzata. Fondò la RCA Radio Transmission Laboratory. Ricerca nel settore delle onde radio e della fibra ottica. Ha ideato gli occhiali da sole polarizzati. Ha ottenuto più di 300 brevetti e inventato la prima stampante a getto di inchiostro.

CRONOLOGIA DELLA FIBRA OTTICA



Abraham C.S. van Heel (Deft 1899 – 1966) Olandese, professore di Ottica alla Deft University. La sua ricerca era incentrata sulla progettazione di sistemi ottici. Sono famosi i suoi metodi di allineamento a grande distanza nell'era pre-laser.



Basil Isaac Hirschowitz (1925 South Africa) professore, medico e ricercatore in medicina di base. Fu del suo gruppo di ricerca il primo endoscopio in fibra ottica.



Theodor Maiman (1927 Los Angeles) Fisico americano, ha fatto parte dei Hughes Research Laboratories, in 1955. Egli progettò nel 1960 il primo laser funzionante che dava luce visibile coerente. Negli anni '60 ha fondato aziende per lo sviluppo dei dispositivi laser e nel 1977 è entrato nella TRW Electronics (California).



Charles Kuen Kao, Ph.D (1933 Shanghai) e' uno dei pionieri dell'uso della fibra ottica per le telecomunicazioni. Ha lavorato come ingegnere per Standard Telephones and Cables (STC) e il loro centro di ricerca Standard Telecommunications Laboratories in Harlow, England (ora Nortel Networks). Ha collaborato con George Hockham.

CRONOLOGIA DELLA FIBRA OTTICA



Donald B. Keck, Robert D. Maurer and Peter C. Schultz Gruppo di ricerca della Corning Glass Works (oggi Corning Incorporated). L'azienda si occupa produzione basata su vetro, ceramica ed affini di prodotti per l'industria e per applicazioni scientifiche. Fondata nel 1851 era molto nota per la sua linea di tavoli in ceramica e cucina, essa si è trasformata negli anni in un'industria per l'alta tecnologia investendo molte risorse in ricerca e sviluppo.



David Payne (1944) Egli è capo dell'ORC (struttura con oltre 60 laboratori e 150 ricercatori), guidò il team di ricerca, che negli anni 70, inventò la fibra dopata con **Erbio**, tecnologia permise l'utilizzo della fibra per lunghe distanze. È membro della Royal Society and Academy of Engineering. nel 1997 fondò la SPI (Southampton Photonics Inc.)



Nippon Sheet Glass Co Ltd compagnia giapponese quotata nel TYO (Tokyo Stock Exchange), è tra le 4 più importanti aziende produttrici di vetro per fibra ottica dopo l'acquisto della britannica Pilkington (nel 2006). Azienda produttrice della prima fibra **multimodale**.



Nippon Telegraph and Telephone Corporation: compagnia leader delle Telecomunicazioni giapponesi inizialmente a carattere statale, poi privatizzata. **Masataka Nakawawa** apparteneva al gruppo di ricerca della NTT quando scoprì nel 1993 la trasmissione solitonica.

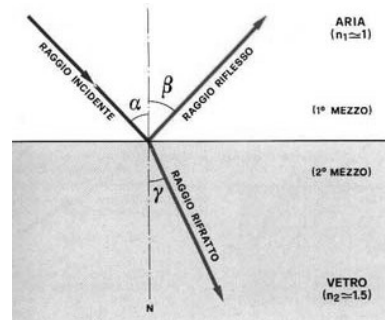
OTTICA GEOMETRICA

- **L'ottica geometrica** studia le leggi dei raggi luminosi, schematizzandoli in rette geometriche
 - Tutti i fenomeni luminosi trovano rigorosa spiegazione nella **teoria elettromagnetica della luce**. Tuttavia lo studio della propagazione della luce, considerata come fenomeno elettromagnetico, presenta notevoli difficoltà analitiche.
 - Fra i metodi approssimati capaci di prevedere l'andamento di quasi tutti i fenomeni che si presentano nella pratica con sufficiente previsione rientra l'**ottica geometrica**, la quale studia il comportamento di fenomeni semplici descritti mediante leggi di carattere geometrico.
 - L'ottica geometrica può essere interpretata come una semplice rappresentazione dell'ottica elettromagnetica: è il caso limite dell'ottica ondulatoria per una lunghezza d'onda infinitesima

La validità dell'ottica geometrica ha per limite i fenomeni di **diffrazione**: le esperienze di fasci di luce che attraversano fenditure molto piccole si possono spiegare solo supponendo che la luce abbia natura ondulatoria.

PRINCIPIO DI FERMAT

la luce, per giungere da un punto all'altro dello spazio, segue un cammino ottico stazionario, cioè *Il percorso fra due punti preso da un raggio di luce è quello che permette la minimizzazione del tempo di percorrenza.*



Cammino Ottico (CO) = indice di rifrazione · Percorso

OTTICA GEOMETRICA

L'**indice di rifrazione** di un materiale è un parametro macroscopico, indicato col simbolo **n**, che rappresenta il fattore numerico per cui la velocità di propagazione di una radiazione elettromagnetica viene rallentata, rispetto alla sua velocità nel vuoto, quando questa attraversa un materiale. (densità elettro-ottica) L'indice di rifrazione dipende dalla frequenza.

$$c = \frac{c_0}{n}$$

$$c_0 \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

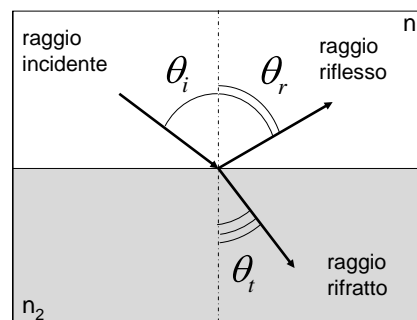
Complanarità dei raggi e della normale

Legge della riflessione

$$\theta_i = \theta_r$$

Legge di Snell o della rifrazione

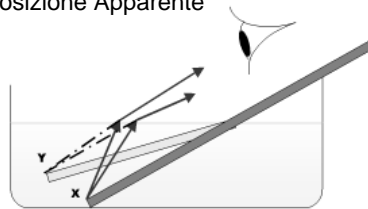
$$n_1 \sin(\theta_i) = n_2 \sin(\theta_t)$$



EFFETTI OTTICI



Posizione Apparente



Un raggio che attraversa una lastra *non è deviato dalla sua direzione*.

Esso è **spostato parallelamente a se stesso**: lo spostamento è proporzionale allo spessore della lastra e all'angolo d'incidenza.

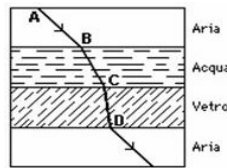
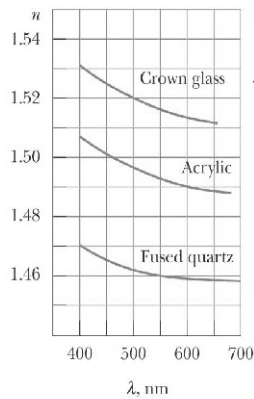


Figura 4

Rifrazione di un raggio di luce attraverso tre mezzi diversi

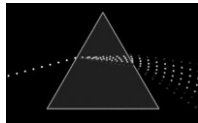
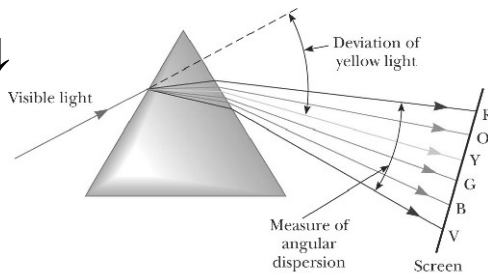
INDICE DI RIFRAZIONE

Indice di rifrazione dipende dalla frequenza e quindi dalla lunghezza d'onda



$$\lambda \uparrow \Rightarrow n \downarrow$$

$$\lambda v = c$$



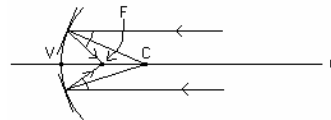
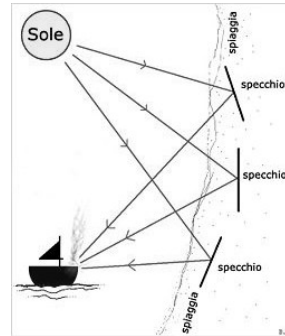
LA RIFLESSIONE: SPECCHI USTORI

Uno specchio ustore può essere realizzato con uno specchio parabolico. Naturalmente è proprio da questa antica applicazione che ebbe origine il termine **fuoco** ancora usato nella teoria delle coniche. La più antica opera conservata che dimostra la proprietà focale della parabola e la applica alla realizzazione di specchi ustori è quella di Diocle, intitolata appunto *Sugli specchi ustori*. Nell'introduzione Diocle riferisce che studi precedenti sull'argomento erano stati compiuti da Dositeo. Diocle non accenna ad Archimede, ma secondo la testimonianza fornita da Apuleio nell'*Apologia* Archimede aveva trattato l'argomento nel suo trattato perduto di *Ottica*.

L'argomento degli specchi ustori fu ripreso da scienziati bizantini (Antemio di Tralle) e arabi (Ibn Sahl).

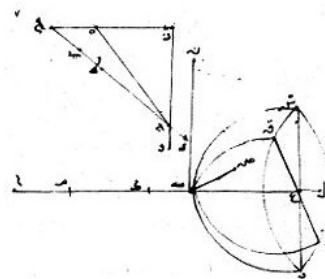
Naturalmente la funzione degli specchi ustori può essere svolta con buona approssimazione anche usando un gran numero di specchi piani che riflettano la luce in un unico punto. Si è ipotizzato che questa seconda soluzione (ottenuta magari con specchi indipendenti, ciascuno manovrato da una persona) sia stata quella utilizzata in pratica.

Nell'immaginario collettivo gli specchi ustori sono indissolubilmente legati all'**assedio di Siracusa(212 a.C.)**, durante il quale Archimede li avrebbe usati per bruciare le navi romane.



LEGGE DI SNELL

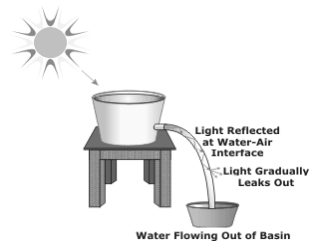
Il nome della legge di Snell rispetta la legge dell'eponimia di Stigler. La legge è documentata per la prima volta in un manoscritto scritto intorno al 984 del matematico arabo **Ibn Sahl**, che la usò per ottenere i profili delle **lenti asferiche** (lenti che fuocheggiano la luce senza indurre aberrazioni geometriche). Fu poi scoperta di nuovo da Thomas Harriot nel 1602, che però non pubblicò il suo lavoro. Nel 1621, fu scoperta ancora una volta da **Willebrord Snell**, in una forma matematicamente equivalente, ma rimase inedita fino alla sua morte. **René Descartes** derivò indipendentemente la legge in termini di funzioni sinusoidali nel suo trattato *Discorso sul metodo* del 1637 e la usò per risolvere diversi problemi di ottica. In francese la legge di Snell è chiamata "di Descartes" o "di Snell-Descartes".



سأله ان ماتة عليها سطح مستوي وغيره فلاذ هذا السطح يتقطع على مركز
 على نقطة سبب تلازمه من ان السطح احد خطي سبب من غير ان يكون
 الخط مستوي والنسب الشكر بين هذا السطح وبين سطح قطع قوس
 خلاصه غير فلاذ هذا السطح ما من سطح مستوي على نقطة سبب تحفظ
 سبب سطح قطع قوس سبب على نقطة سبب وكذا خط مستوي وقطع السطح
 فلاذ ما سبب على نقطة سبب سطح مستوي غير سطح سبب سبب

RIFLESSIONE TOTALE

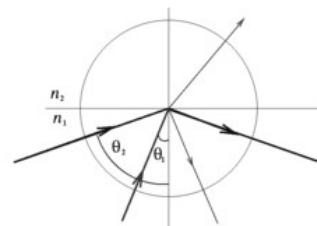
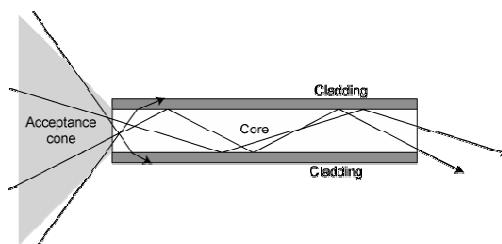
- Nel 1841 in un'aula dell'Università di Ginevra. Un giovane professore di fisica, **Daniel Colladon**, doveva tenervi una conferenza di idraulica e aveva portato con sé un recipiente bucato per mostrare il defluire di un liquido e la dispersione di un getto d'acqua.
- L'aula era buia, perciò Colladon 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 riflessione totale interna si conquistò un posto nella storia della **scenografia teatrale** e in quella della **progettazione di fontane**.
- 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.



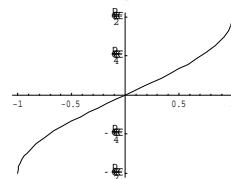
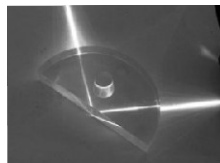
RIFLESSIONE TOTALE

L'angolo di incidenza del raggio blu (θ_2) è maggiore dell'angolo critico (θ_c): il raggio di luce viene interamente riflesso

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad \text{ipotesi } n_1 > n_2$$



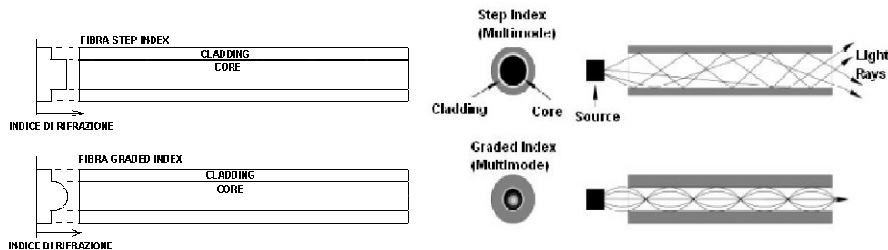
Valori tipici per le fibre ottiche:
 $n_2 = 1.475$
 $n_1 = 1.5$
 $\theta_c = 79.5$ gradi



STEP INDEX E GRADED INDEX

Le fibre Multimodali possono essere divise ulteriormente in fibre step-index e graded-index:

- Nelle fibre step-index l'indice di rifrazione è costante lungo tutta la sezione del core e cambia improvvisamente allor quando si incontra il cladding.
- Nelle fibre graded-index l'indice di rifrazione cambia gradualmente dal core al cladding, permettendo l'uso di luce multicromatica.

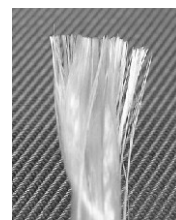


LA FIBRA DI VETRO

•La fibra di vetro non è un prodotto tecnologico moderno. Si sono 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**.

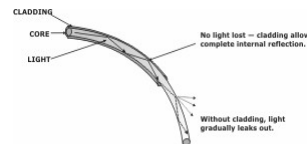
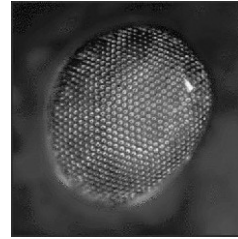
•Le tecniche furono poi affinate nel corso dell'800. In particolare, **Charles Vernon Boys**, un giovane assistente di fisica del Royal College di Londra inventò nel 1887 un procedimento piuttosto ingegnoso per ottenere delle **fibre sottili, ma robuste**, da impiegarsi nella **fabbricazione di bilance** 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**.



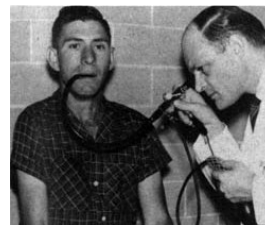
PRIME APPLICAZIONI

- 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 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.**
- 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 scrivano al sole**. Le prime pionieristiche ricerche di Hansell 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. Tale passo fu compiuto da **Holger Møller Hansen**, il quale apprese l'idea dall'osservazione dell'occhio della mosca, egli però non comprese a pieno la portata innovativa della sua scoperta.



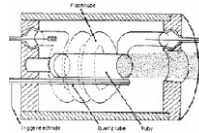
PRIME APPLICAZIONI

- Tra gli anni '30 e gli anni '50, 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. 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. 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.**
- Il contributo più significativo in termini di avanzamento delle conoscenze venne 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.



COMUNICAZIONE IN FIBRA

- L'idea che si potesse comunicare a distanza con la fibra, si fece strada con grande difficoltà. Le fibre degli anni '50 - '60 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.
- 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.



Theodor Maiman Laser a rubino



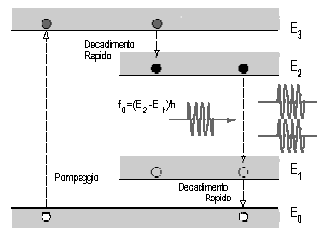
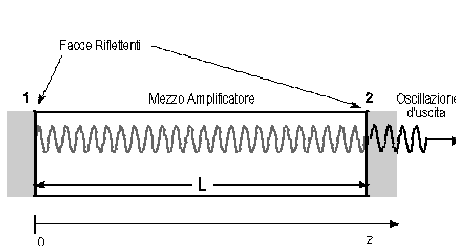
Ali Javan, William R. Bennet e Donald R. Herriot

PRINCIPIO DEL LASER

LASER (Light - Amplification - by Stimulated - Emission - of Radiation)

Il **LASER** è un dispositivo in grado di emettere radiazioni luminose di tipo **coerente**, cioè con tutti i raggi in fase, e **monocromatico**, cioè composte da un solo colore e quindi da una sola frequenza. Il fenomeno fisico sul quale si basa il suo funzionamento è quello dell'**emissione stimolata**, enunciato da **A. Einstein** nel **1917**.

Il LASER nasce come amplificatore ottico ma è prevalentemente usato come sorgente luminosa (**oscillatore ottico**). Per ottenere un oscillatore da un amplificatore si **retroaziona positivamente** e ciò viene fatto nel LASER confinando il segnale ottico amplificato per emissione stimolata in una porzione definita del materiale amplificatore, soddisfacendo opportune condizioni di coerenza temporale. Un modo per ottenere quanto detto è l'uso di una "**cavità ottica**", cioè dotare di facce riflettenti i lati contrapposti del mezzo amplificatore. Il segnale all'interno della cavità subisce riflessioni multiple e viene contestualmente amplificato in modo da autosostenere una oscillazione (onda stazionaria). Se una faccia è parzialmente riflettente è possibile estrarre una parte dell'emissione interna per accoppiarla esternamente. Quando il guadagno ottico, all'interno del materiale, bilancia esattamente le perdite interne per assorbimento e la parte di segnale trasmesso all'esterno, si ottiene la condizione di **stabilità dell'oscillazione** e, quindi, quando il pompaggio è sufficiente a ottenere l'inversione della popolazione, la cavità comincia ad oscillare spontaneamente ed ad autosostenersi.



COMUNICAZIONE IN 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.
- Nel 1965 **Charles K. Kao** (STL: Standard Telecommunication Laboratories) e **George A. Hockham** del British Post Office furono i primi a riconoscere che **l'attenuazione delle fibre contemporanee era causata dalle impurità** (ioni metallici ed acqua), che potevano essere rimosse, piuttosto che dall'attenuazione intrinseca del vetro (scattering). Dimostrarono che le fibre ottiche possono essere un mezzo pratico per la comunicazione, nel caso l'attenuazione sia ridotta al di sotto dei **20 dB per kilometro**. 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.
- In questa misura, la prima fibra ottica per le comunicazioni fu inventata nel 1970 dai ricercatori **Robert D. Maurer, Donald Keck, Peter Schultz e Frank Zimar** impiegati presso la **Corning**, azienda statunitense produttrice di vetro. Costruirono una fibra (10 µm di diametro nel nucleo e 125 nel mantello) con **17 dB di attenuazione** ottica per kilometro drogando il silicio del vetro con il titanio.



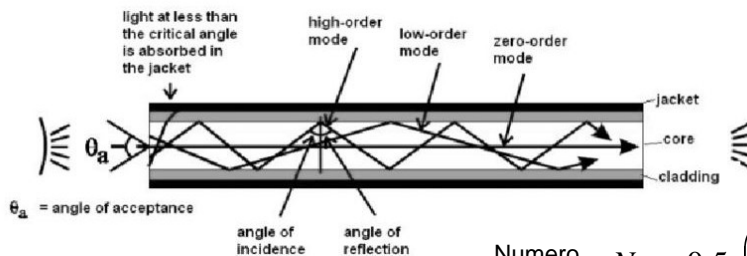
Dr Charles Kao di STL, ora Itortel



Donald B. Keck, Robert D. Maurer and Peter C. Schultz

COMUNICAZIONE IN FIBRA

- I ricercatori 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 µm 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 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**.

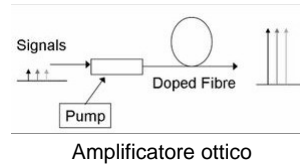
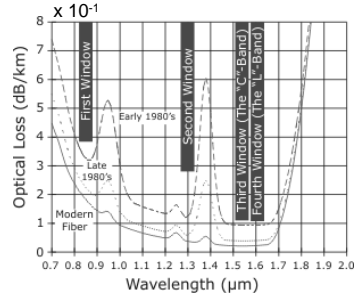


Numero Modi
$$N_m = 0.5 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d \cdot NA}{\lambda} \right)^2$$

COMUNICAZIONE IN FIBRA

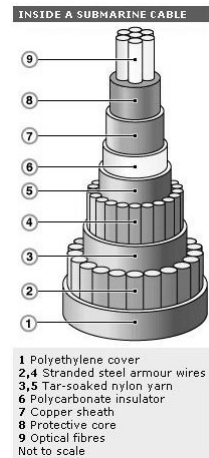
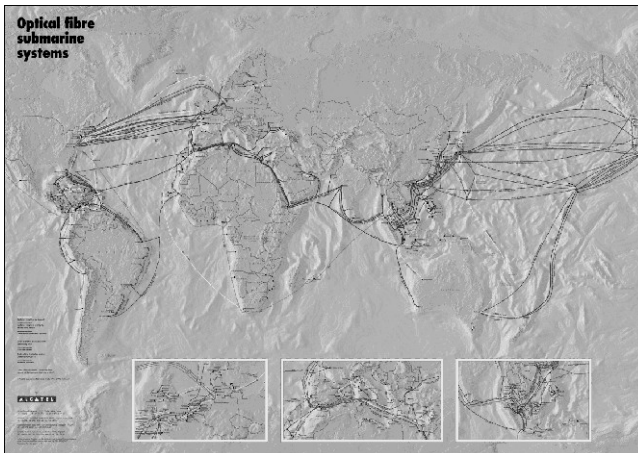
Nel 1976 l'attenuazione della fibra poté scendere sugli **0,5 db/km** grazie alle fibre a basso contenuto di **ioni acqua** prodotte dalla **NTT**. Una nuova generazione di laser detti **InGaAsP**, con emissioni a **1300 nm**, ha poi migliorato ulteriormente la prestazione della fibra. Potendo contare 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, ad opera di un gruppo di ricercatori tra cui **David Payne**, 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.



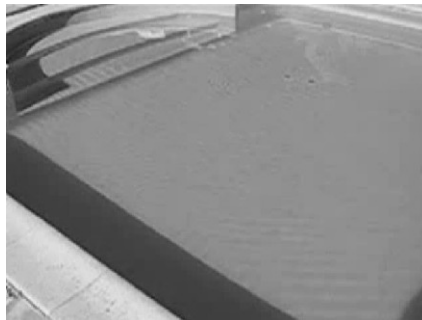
FIBRE OTTICHE SOTTOMARINE

Il primo cavo telefonico transatlantico ad usare la fibra ottica fu il TAT-8, che iniziò ad operare nel 1988. Ecco la situazione oggi:



FRONTIERA DELLA FIBRA

- 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 osservò un'onda solitaria risalire la corrente nell'Union Canal per chilometri senza perdere energia, riprodusse il fenomeno in un recipiente di onde, e la chiamò "**Onda di Traslazione**".
- Negli ultimi vent'anni i progressi relativi allo sviluppo della fibra ottica sono stati enormi. Al momento il collo di bottiglia che non sfrutta appieno la larghezza di banda che permette la fibra ottica rimane la **traduzione dal segnale elettrico al segnale luminoso**, ed è proprio questo il punto chiave sul quale si sta cercando di lavorare nell'industria della fibra ottica.



DOMANDE E RISPOSTE.....?



This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.