

TESINA PER L'ESAME DI STATO A.S. 2011/12

ICT: INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY

Di: *Daide Campagnano*

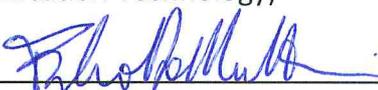
Il presente contributo, elaborato dallo studente **Daide CAMPAGNANO** dell'Istituto Superiore "Telesi@" di Telesse Terme (BN), è connesso alle attività scientifiche e laboratoriali svolte durante lo "Stage a Tor Vergata", promosso da MIUR (Direzione Generale per gli ordinamenti scolastici e per l'autonomia scolastica) e tenuto presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" in due fasi:

Stage Estivo dal 20 al 24 giugno 2011

Stage Invernale dal 7 al 9 febbraio 2012 (giornata conclusiva 19 marzo 2012).

Le attività didattiche previste dal Programma dello Stage sono state realizzate all'interno di tre gruppi di ricerca, guidati da docenti del Dipartimento di Fisica.

I responsabili delle attività laboratoriali del Modulo di scienza dei materiali per ICT
(Information and Communication Technology)

Prof. Fabio De Matteis 

Prof. Paolo Proposito 

Il Direttore degli Stage a Tor Vergata

Prof. Nicola Vittorio 



Materiali per ICT **(Information Communication Technology)**

Guide d'onda: elementi di base per la trasmissione di segnali ottici

Negli ultimi decenni si è assistito ad uno sviluppo impressionante dei mezzi di comunicazione: l'utilizzo del calcolatore, di Internet e delle reti di telefonia mobile ha avuto una spinta impensabile anche solo un ventennio fa. **L'Information & Communication Technologies**, ovvero **Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione**, sono l'insieme di queste tecnologie che consentono il trattamento e lo scambio delle informazioni, siano esse numeriche, testuali, visive, sonore. Rientrano in quest'ambito lo studio, la progettazione, lo sviluppo, la realizzazione, il supporto e la gestione dei sistemi informativi e di telecomunicazione computerizzati. Il fine ultimo dell'ICT è la manipolazione dei dati informativi tramite conversione, immagazzinamento, protezione, trasmissione e recupero sicuro delle informazioni. Tale manipolazione è stata aiutata da nuove tecnologie di comunicazione ottica che presentano dei vantaggi rilevanti rispetto alle tecniche elettroniche di tipo più tradizionale:

- avere delle frequenze portanti di tipo ottico permette di avere una banda passante molto elevata, estremamente maggiore di quella permessa da un normale sistema elettronico, velocizzando in tal modo la trasmissione di informazioni;
- la possibilità di costruire delle fibre ottiche in silice a bassa attenuazione permette di creare con relativa facilità collegamenti a lunga distanza;
- l'utilizzazione di frequenze ottiche rende il segnale immune da interferenze a bassa frequenza quali scariche elettrostatiche nonché facilmente schermabile, riducendo problemi di cross-talk, ovvero il rumore o l'interferenza elettromagnetica che si può generare tra due cavi vicini di un circuito o di un apparato elettronico.

Lo sviluppo e il conseguente interesse che si è sviluppato intorno alle comunicazioni ottiche ha fatto sì che diventasse economicamente conveniente lo studio e la messa a punto di reti di piccole e medie dimensioni, oltre ai collegamenti punto a punto a lunga distanza. Dunque, rilevante importanza occupa, in questo sviluppo tecnologico, l'ottica integrata. Essa è finalizzata allo studio di rivelatori, modulatori, filtri, sorgenti che hanno una migliore resa se applicati su uno stesso substrato che prende il nome di chip. Ciò porta alla costruzione di circuiti ottici integrati.

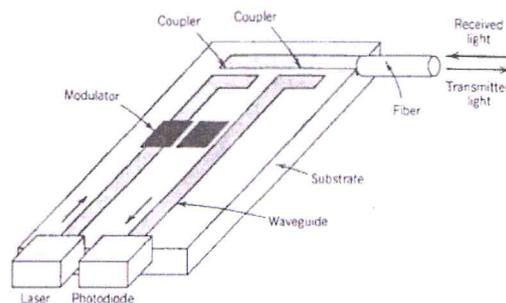
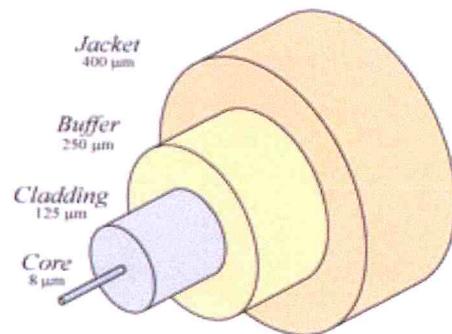


Figure 7.0-2 An example of an integrated-optic device used as an optical receiver/transmitter. Received light is coupled into a waveguide and directed to a photodiode where it is detected. Light from a laser is guided, modulated, and coupled into a fiber.

Gli strumenti su cui si basa l'ottica integrata sono le fibre ottiche e le guide d'onda.

La fibra ottica è costituita da un sottile filo di vetro a base di silice, con un nucleo denominato "core" avente un diametro che va da 10 a poche decine di μm , ricoperto da un rivestimento concentrico, anch'esso di vetro, trasparente alla luce ed alla radiazione infrarossa, denominato "mantello" (cladding), con un diametro di circa $125 \mu\text{m}$. Il mantello ha un indice di rifrazione n_2 di poco inferiore a quello del core n_1 . Il core e il cladding, a loro volta, sono ricoperti da un rivestimento primario di materiale plastico (guaina) per la protezione della fibra dalle abrasioni meccaniche (il suo diametro di $250 \mu\text{m}$).



La guida d'onda è una struttura lineare, costituita da tubi metallici a sezione principalmente rettangolare o circolare, che convoglia e confina onde elettromagnetiche. Internamente sono lucidate e spesso argentate per migliorare la conduzione delle correnti che si muovono sulla superficie interna.

GUIDA D'ONDA RETTANGOLARE

GUIDA D'ONDA CIRCOLARE

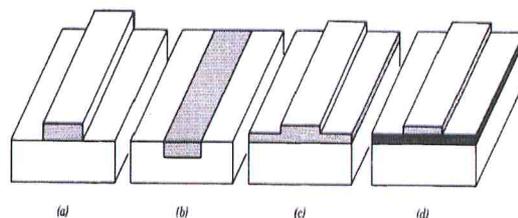
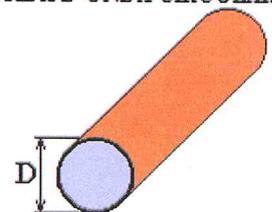
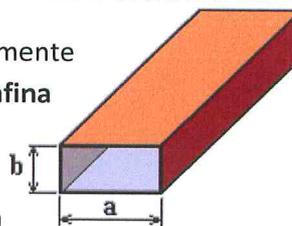
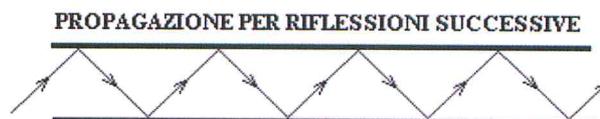
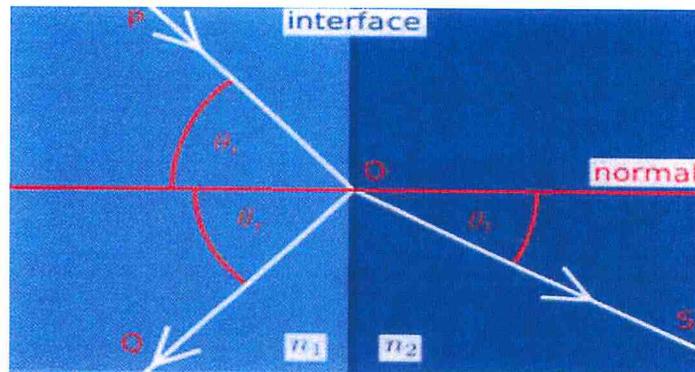


Figure 7.3-3 Various types of waveguide geometries: (a) strip; (b) embedded strip; (c) rib or ridge; (d) strip loaded. The darker the shading, the higher the refractive index.

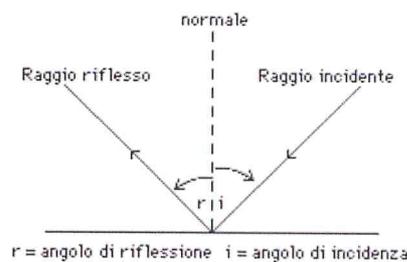
Il concetto fondamentale su cui si basa l'ottica integrata è la riflessione totale. Infatti, le onde elettromagnetiche, immesse nella guida, si propagano dentro le guide d'onda per riflessioni successive lungo le pareti interne fino ad arrivare a destinazione.



La riflessione totale è un particolare caso della rifrazione. Entrambi si possono spiegare utilmente supponendo che la luce si propaghi sotto forma di raggi rettilinei (ottica geometrica). Quando un raggio di luce che viaggia in un mezzo materiale trasparente - come, per esempio, l'aria - incontra una superficie di separazione con un altro mezzo trasparente - per esempio, l'acqua - si divide normalmente in due raggi: uno viene riflesso dalla superficie e l'altro entra nel secondo mezzo variando la sua direzione di propagazione, cioè viene rifratto.



Quando si ha l'angolo di incidenza maggiore dell'angolo limite, non si ottiene un angolo rifratto. La luce non passa quindi nel secondo mezzo, ma viene totalmente riflessa dalla superficie che separa i due mezzi. Quando manca del tutto la rifrazione, si parla allora di riflessione totale. L'energia del raggio incidente si trova nel raggio riflesso. **Si ha la riflessione totale solo se la luce si propaga da un mezzo più rifrangente a un mezzo meno rifrangente.** La riflessione avviene quando un raggio luminoso incide sulla superficie di separazione tra due mezzi omogenei, una parte della luce viene riflessa e si dice raggio riflesso, l'altra parte cioè quella rifratta penetra nel secondo mezzo dove può essere assorbita oppure può continuare la propagazione. La frazione di luce riflessa dipende dal rapporto tra gli indici di rifrazione dei due mezzi.



Leggi della riflessione

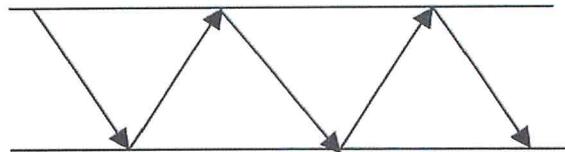
Gli angoli che si formeranno con la retta e il raggio riflesso e quello incidente vengono detti rispettivamente angolo di incidenza e angolo di riflessione. Le leggi riguardanti la riflessione stabiliscono che gli angoli di incidenza e di riflessione sono uguali e che il raggio riflesso giace nel piano di incidenza: $\sin \vartheta_i = \sin \vartheta_r$. Attraverso la legge di Snell, che descrive le modalità di

[Scrittura manoscritta]

[Scrittura manoscritta]

rifrazione di un raggio luminoso nella transizione in due mezzi con indice di rifrazione "n" diversi, possiamo trovare l'angolo di incidenza oltre il quale avviene la riflessione totale. Se $n_2 > n_1$, tale angolo, detto angolo critico, è dato dalla relazione:

$$\sin \theta_c = \frac{n_1}{n_2}$$



Per la costruzione della nostra guida d'onda procediamo alla costruzione dello strato guidante, deposto su un corpo basale di silicio, tramite tecnica **sol-gel**. Tale tecnica viene utilizzata affinché si possa costruire un ossido ceramico, partendo da una soluzione, avente un indice di rifrazione maggiore di quello posseduto dall'ossido di silicio, parametro che permetterà la riflessione totale. Tale processo avviene in 3 fasi:

Idrolisi:	Formazione di una sospensione colloidale di particelle solide nel liquido: il SOL
Condensazione:	Processo di evoluzione in un GEL
Essiccamento:	Trattamenti termici di trasformazione in un OSSIDO CERAMICO

Per la costruzione finale del substrato importantissimo è il **processo fotolitografico**, tramite il quale le configurazioni geometriche tracciate su di una maschera sono trasferite su un sottile strato di materiale organico. Fotolitografia significa disegnare con la luce, e sono indispensabili per questo processo una maschera e lo strato sensibile alla luce (in questo caso lo strato sol-gel). Si pone il campione sotto una maschera al quarzo che verrà poi posizionato sotto una lampada UV. Quest'ultima ha il potere di solidificare/rendere solubile il substrato.

Il substrato prende il nome di resist e può essere di due tipi:

- positivo, dove le zone esposte alla luce UV vengono eliminate con lo sviluppo;
- negativo, dove le zone esposte alla luce solidificano, mentre le rimanenti verranno eliminate con lo sviluppo.

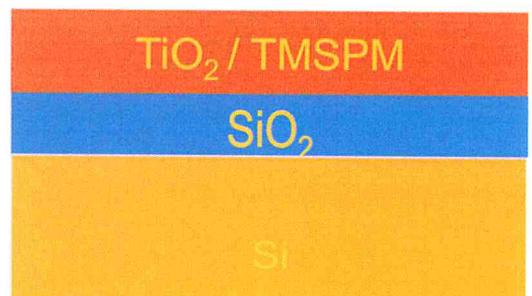
Il processo fotolitografico avviene attraverso fasi prestabilite:

- Pulizia e preparazione substrato
- Deposizione resist tramite spin-coating
- Riscaldamento (pre-baking)
- Esposizione luce UV attraverso maschera (mask aligner)
- Sviluppo del resist (developer)
- Riscaldamento (post-baking)

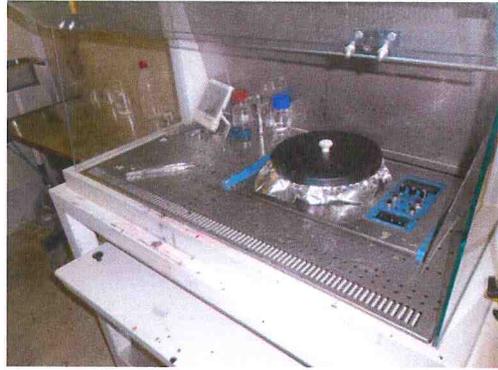
Per la costruzione della nostra **guida canale**, dunque, è necessario ricorrere prima alla deposizione di un film di sol-gel che sia foto polimerizzabile e di sottoporlo alla tecnica di fotolitografia ottica.

Si procede con la realizzazione della soluzione che verrà sottoposta a tecnica sol-gel. Questa soluzione è formata da una **parte inorganica di un metallo ossidato (TiO_2)** e da una **parte organica (TMSPM)**. Queste due andranno a reagire grazie all'unione di una prima soluzione composta dal Silicio - metacrilato TMSPM con l'**alcol isopropilico** per diluire la soluzione e l'**acido HCl diluito**(0,001 molare) che funge da catalizzatore per innescare la soluzione ed aumentare la

velocità di reazione, e una seconda soluzione composta da Titanio e acido acetico glaciale puro con funzione di agente chelante, fungendo da involucro per il titanio affinché esso venga isolato dall'aria per evitare che reagisca troppo velocemente. All'unione delle due soluzioni si inserisce un foto iniziatore, più precisamente l'**irgacure 184**, che rende la nostra soluzione fotosensibile. Una volta preparata la soluzione sol-gel si procede con la deposizione di quest'ultimo sulla base di silicio ed ossido di silicio.



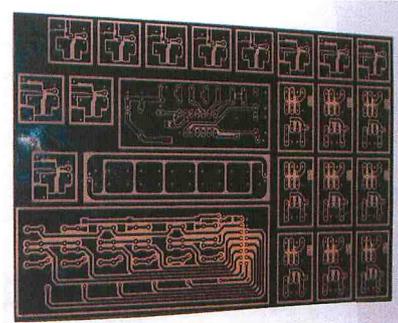
Questo processo avviene tramite **spin coating**, un macchinario che ruotando velocemente (in questo caso 6000 giri al minuto per 30 secondi), crea una specie di centrifuga permettendo di deporre uno spessore ridottissimo di soluzione sulla base.



Al termine della deposizione segue una fase di riscaldamento chiamata **pre – baking**, la cottura del campione in un forno alla temperatura di 82/83 gradi per circa 80 minuti. Questo si effettua per eliminare i solventi in eccesso.

Dopo la fase di cottura segue una delle fasi più importanti del processo fotolitografico, ossia

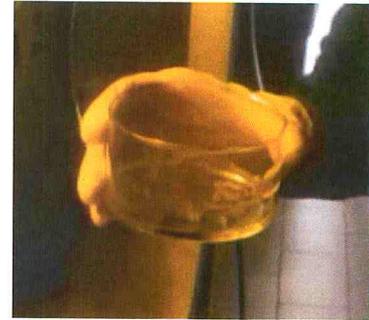
l'esposizione. Questa fase consiste nell'esporre il campione alla luce ultravioletta prodotta da una lampada mercurio – xenon, in modo da permettere l'eliminazione di parti del film (le parti non illuminate), resist negativo, al fine di disegnare la nostra guida canale mediante l'utilizzo di una maschera di quarzo/cromo. Solitamente la maschera è posizionata in maniera precisa sul campione attraverso degli strumenti chiamati Mask Aligner; nel nostro caso la posizionavamo a mano sul film. Le maschere sono lastre di quarzo (trasparenza nella regione spettrale di



interesse) su cui è deposto un sottile (decine di nanometri) strato metallico (Cromo). Su queste vengono realizzati i disegni che si vogliono trasferire sui wafer attraverso il processo fotolitografico. Tali disegni sulla maschera sono realizzati di solito con litografia a fascio elettronico. Le lampade mercurio – xenon, invece, sono lampade che producono spettri di radiazione ampi e si può usare un filtro per selezionare bande di energia più ristrette. Le lampade comunemente usate sono quelle a scarica di Mercurio.



Dopo la fase dell'esposizione segue un'altra fase molto importante, **lo Sviluppo**: con questa fase si elimina il resist indesiderato mediante una soluzione alcolica, nel nostro caso l'**isopropanolo**. Il film esposto a luce UV (attraverso le aperture della maschera) viene immerso in una soluzione di alcool isopropilico e in questa soluzione le parti del film non esposte alla luce UV vengono rimosse, mentre quelle esposte rimangono inalterate.

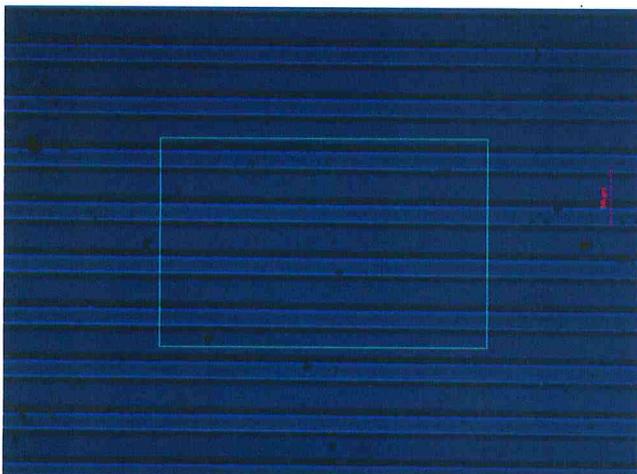


Per ultimo passaggio si mette nuovamente il campione nel forno per un'ora a 120°C per consolidare maggiormente il film. Questo è il processo di **post-backing**.

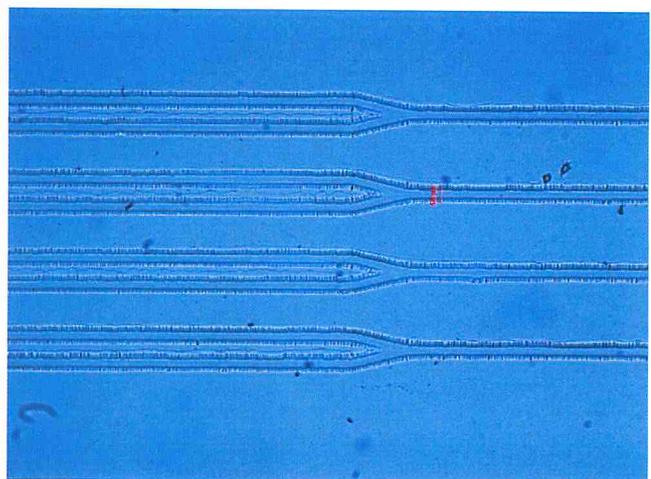
Osservazione e Commenti

Al termine di questo processo fotolitografico la nostra guida d'onda canale è pronta. Lo scopo della ricerca è quello di costruire una guida d'onda canale che permetta il passaggio della luce da una parte all'altra del campione. Oltre a creare una guida d'onda canale caratterizzata da uno spot entrante ed uno uscente, si è potuto ottenere anche la creazione di una guida d'onda particolare, caratterizzata da uno spot entrante e due uscenti, che prende il nome di beam-splitter.

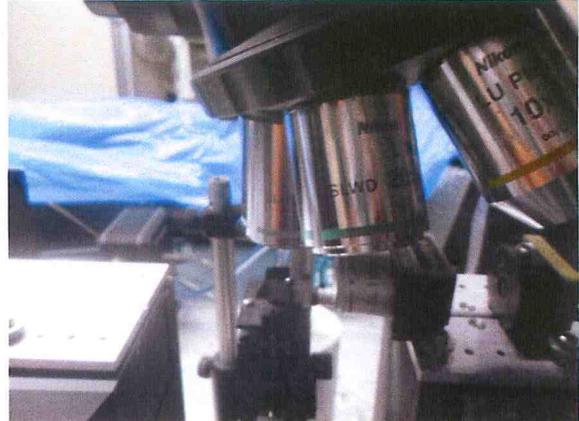
Guida canale



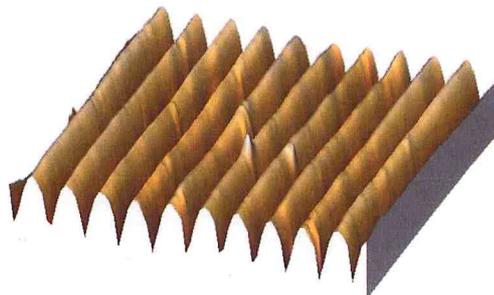
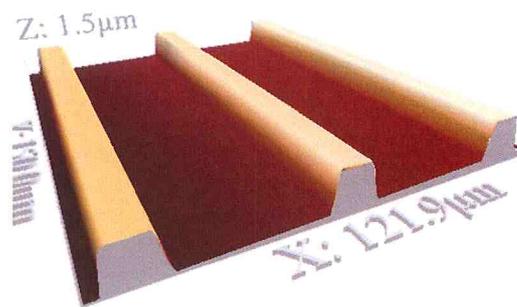
Beam-splitter



Per osservare la corretta struttura della guida si utilizza un accurato sistema di lenti, laser e fibre ottiche che sono collegati ad un **microscopio ottico**.



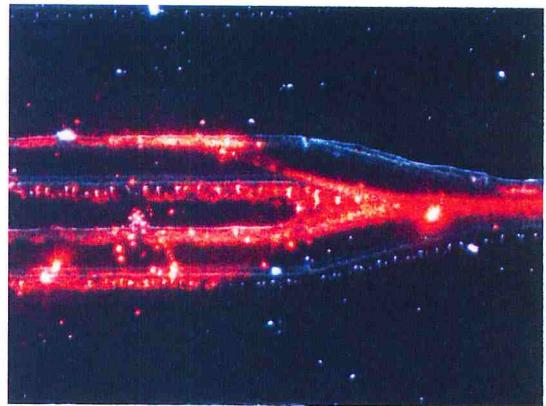
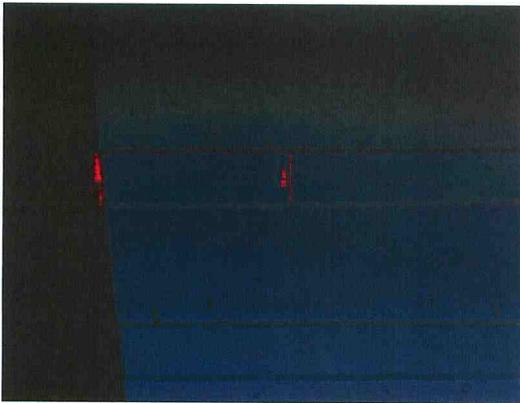
Per osservare la struttura e la grandezza delle guide si utilizza un potente microscopio ottico e un **microscopio a forza atomica (AFM)**.



A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive letter 'S'.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive letter 'E'.

Il microscopio ottico oltre a consentire di vedere le strutture realizzate, grazie a strumenti di posizionamento con precisione micrometrica ci consente di accoppiare (incanalare) la luce nella guida e di osservare come essa passi all'interno dei canali fabbricati.



Dall'osservazione si può notare che non tutta la luce riesce ad essere guidata nel suo percorso. Infatti troviamo delle dispersione. Questo fenomeno è chiamato **scattering**, causato dalla presenza di pareti della guida d'onda non perfettamente lisce. Ne consegue che parte del raggio incidente non viene completamente riflesso, provocando dispersione o rifrazione nella parte frastagliata.

Nonostante tutto si può dire che l'obiettivo è stato raggiunto, come si può osservare nella foto; notiamo appunto il fascio di laser e lo spot uscente della guida d'onda canale.

