

**TESINA PER L'ESAME DI STATO
A.S. 2016/2017**

Dispositivi Ottici per l'ICT

di *Giovanni Malizia*

Il presente contributo, elaborato dallo **studente Giovanni Malizia** del Liceo Scientifico e Linguistico di Ceccano (FR), è connesso alle attività scientifiche e laboratoriali svolte durante lo **"Stage a Tor Vergata"** - promosso dal Piano nazionale Lauree Scientifiche e tenuto presso i laboratori della Macroarea di Scienze MFN dell'**Università degli Studi di Roma Tor Vergata** in due fasi:

- Stage Estivo dal 13 al 17 Giugno 2016;
- Stage Invernale dal 6 al 10 Febbraio 2017.

Le attività didattiche previste nel Programma dello Stage sono state realizzate in cinque gruppi di ricerca, guidati da docenti dell'Università di Roma Tor Vergata.

Il responsabile scientifico del Modulo "Dispositivi Ottici per l'ICT"

Prof. Paolo Proposito



Il Direttore degli "Stage a Tor Vergata"

Prof. Nicola Vittorio

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Nicola Vittorio", written over a dotted line.



LICEO SCIENTIFICO STATALE DI CECCANO
ESAME DI STATO 2017

TESINA RIGUARDO SISTEMI ICT

-INFORMATION & COMMUNICATIONS TECHNOLOGY-

STUDENTE MALIZIA GIOVANNI

CLASSE VD

ANNO SCOLASTICO 2016/17

TESINA REALIZZATA IN SEGUITO A STAGE
SU SISTEMI ICT PRESSO LA FACOLTÀ DI
SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E
NATURALI DI TOR VERGATA





Da Fininvest nuova mossa anti Bolloré. Spende oltre 50 mln...



Banco Bpm e Telecom tengono a galla Milano (+0.43%), euro...

Enel, trimestre in crescita e obiettivi confermati



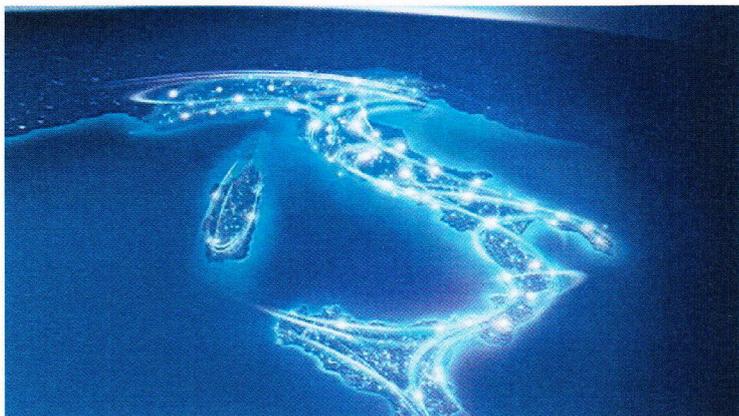
Atlantia-Abertis al via finale. Si tratta sulla governance

TLC

La banda ultra-larga di provincia muove il Pil: il caso Go Internet

di Simone Filippetti 12 maggio 2017

“Internet veloce, nell’anno domini 2017, è l’equivalente dell’acqua potabile o della corrente elettrica negli anni ’50: un bene di prima necessità.” (Il sole 24ore, 12 maggio 2017, di Simone Filippetti). Ebbene sì, in questi ultimi anni l’accesso a internet, e soprattutto a quello veloce, sembra essere diventato un bene di prima necessità, una sorta di linfa vitale sia per il comune cittadino sia, e soprattutto, per le imprese presenti in Italia che, in base alle ultime analisi della commissione europea, è risultata tra le peggiori del vecchio continente. Si può ben comprendere come internet, dal momento del suo avvento mondiale, costituisca un’importante risorsa capace di muovere i fragili fili dell’economia; è proprio per questo motivo che le varie compagnie telefoniche si stanno dando battaglia a colpi di Giga e internet veloce con l’idea che “La magnificenza del mondo si è arricchita di una bellezza nuova: la bellezza della velocità.” (Manifesto del Futurismo, 1909, di Filippo Tommaso Marinetti). Go Internet è una piccola start-up umbra che è riuscita, in poco tempo, a portare Internet veloce nelle zone più remote dell’Italia centro-settentrionale. Per fare ciò si è appoggiata a EOF (Enel Open Fiber), società pubblica che, nel giro di pochi anni, usufruendo dell’infrastruttura elettrica già preesistente sul territorio italiano, ha srotolato chilometri di cavi di fibra ottica permettendo, così, ad altre società di affittare questa nuova rete e di raggiungere milioni di cittadini con la modalità FTTX (Fiber To The x), dove la x sta ad indicare un termine nato come generalizzazione delle varie denominazioni possibili (“home”, “node”, “cabinet”, ect). Essa consiste in un’architettura di rete di telecomunicazioni di livello fisico a banda larga utilizzando la fibra ottica come mezzo trasmissivo per sostituire, parzialmente o completamente, la rete di accesso locale tradizionalmente in metallo. Lo stesso giornale “Il sole 24ore” asserisce “Dalle città di provincia, dalle zone rurali e più marginali del paese che parte la rivoluzione digitale. E’ l’Italia di Serie B, quella non servita dalla fibra ottica, mai cablata, lontana dalle grandi metropoli. E che però vuole lo stesso essere connessa al mondo moderno della società digitale”. È proprio dalle zone di provincia che il tasso produttivo di queste aziende cresce in modo esponenziale ed è lì che, in quest’ultimo periodo, si stanno indirizzando numerose risorse.



Fonte dell’immagine: La Stampa, articolo del 11 aprile 2016



È quindi importante, oggi più che mai, agganciarsi alla navetta del progresso, usufruire al meglio delle infinite risorse che lo sviluppo tecnologico continua a offrire giorno dopo giorno; è fondamentale per evitare che l'economia, specialmente la nostra, ne rimanga danneggiata. Emblematico è il caso della sede Amazon, il colosso di Seattle, leader nel mercato Online: l'azienda aveva necessità di costruire un nuovo hub nel centro-Italia; da un'analisi territoriale che vedeva coinvolte le aree industriali di Frosinone e Rieti, è risultata idonea quella reatina sottraendo a Frosinone 1200 posti di lavoro e investimenti per 150milioni. Così come asserisce Alessio Porcu nel suo blog, i motivi di rifiuto a Frosinone sono da attribuirsi alla mancanza delle adeguate infrastrutture, in primis quella di fibra ottica che, per una azienda che punta tutto sul mercato online, è di vitale importanza.

Perché Rieti si e Frosinone no? Perché Rieti ha un'area industriale attrezzata, moderna, dotata di infrastrutture e di fibra ottica, perché ha progettato una serie di svincoli stradali ed informatici adatti per ospitare un polo della logistica che potesse essere la valvola di sfogo per il colosso che sorge ad Orte. A Frosinone, invece, l'Interporto non è stato realizzato. Ognuno avrà una giustificazione, tutti ora tireranno fuori il motivo che li assolve da ogni responsabilità.

Responsabilità che non sono di oggi. Ma che vanno avanti da ieri. E che ci condanneranno pure il domani se qualcuno non si rimbecca le maniche ed inverte la rotta.

Alessioporcu.it -Gruppo Grandi Comunicatori & Associati-

La ricerca nel campo dei dispositivi ottici per ICT (Information & Communication Technology) si propone proprio l'obiettivo di rendere sempre più efficienti e veloci i sistemi di informazione e comunicazione cosicché "l'energia umana centuplicata dalla velocità dominerà il Tempo e lo Spazio". Da una curiosità iniziale e grazie al mio liceo, ho avuto la possibilità di prendere parte a uno stage dell'università di Tor Vergata, precisamente al modulo di ICT. Ciò mi ha permesso di approfondire le mie conoscenze di base, di applicare alla realtà concetti che, fino a quel momento, avevo analizzato in forma puramente teorica. Dopo 10 giorni di stage trascorsi tra ore in aula e attività di laboratorio, mi appresto, in questo elaborato, a illustrare il mio percorso sperando di suscitare, nei lettori, lo stesso interesse che mi ha accompagnato in questa esperienza.

*"Comunicare l'un l'altro, scambiarsi informazioni è natura;
tener conto delle informazioni che ci vengono date è cultura."*

- Johann Wolfgang von Goethe-



OBIETTIVI DEL CORSO

All'inizio dello stage ci siamo proposti degli obiettivi essenziali:

- I. Studio dei principi dell'ottica guidata
- II. Studio delle proprietà di propagazione e interazione della luce con la materia
- III. Realizzazione di guide planari e canali
- IV. Caratterizzazione di tali guide
- V. Accoppiamento della luce in guida d'onda

VANTAGGI DEI DISPOSITIVI OTTICI

VELOCITA': Maggiore velocità nella trasmissione delle informazioni. Ad esempio la fibra ottica può arrivare nelle reti domestiche ad una velocità di 1Gb/s che, se confrontata con la velocità di circa 20 Mb/s delle più comuni reti ADSL, risulta essere circa 50 volte maggiore.

BASSO CONSUMO DI ENERGIA: C'è un minore consumo di energia in quanto non c'è corrente che fluisce, ma solamente luce.

IMMUNITÀ AL CROSS-TALK: Assenza del fenomeno del cross-talk, ovvero del fenomeno secondo cui un filo attraversato da corrente variabile genera un campo magnetico variabile che può indurre, in un cavo vicino, una differenza di potenziale e quindi una corrente indotta. In questo modo viene eliminata quella che, comunemente, si definisce interferenza del segnale.

COSTI RIDOTTI: La bassa attenuazione (dispersione) del segnale rende possibile la trasmissione su lunga distanza senza ripetitori e elimina, di conseguenza, i costi legati all'acquisto, installazione e manutenzione di quest'ultimi. Inoltre si utilizzano, per la costruzione delle guide, materiali vetrosi a base di Silicio, elemento molto abbondante in natura (secondo solo all'ossigeno) e quindi meno costoso del rame.

PESI ED INGOMBRI RIDOTTI: I pesi e gli ingombri minori sono di grande vantaggio per settori come l'avionica e per i satelliti

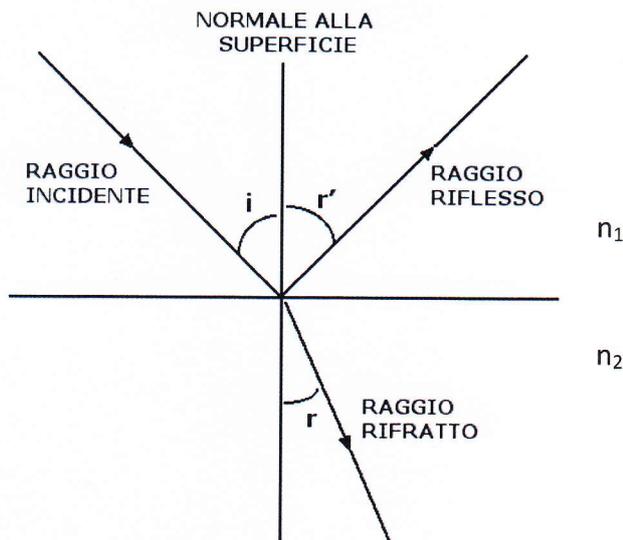
MAGGIORE SICUREZZA: Il confinamento del segnale all'interno della fibra rende impossibile l'intercettazione dall'esterno, garantendo quindi una sicurezza della trasmissione. L'assenza di corrente elettrica elimina il problema della messa a terra, rischi di scariche e cortocircuiti. Maggiore resistenza a molteplici condizioni meteorologiche. Possibilità di contatto con fluidi senza rischio.

PRINCIPI FISICI ALLA BASE DELLE FIBRE OTTICHE

Prima di costruire una fibra ottica è necessario avere chiari i principi che stanno alla base della guida d'onda, in particolare il fenomeno che permette la trasmissione di dati su lunga distanza: la riflessione totale interna.

La riflessione totale interna, che si basa sulla legge di Snell, permette, a determinate condizioni, di avere solamente raggi di luce riflessi eliminando quelli rifratti che, in una fibra ottica, rappresentano perdita di luce e, quindi, di dati.





Legenda:

i = Raggio incidente

r' = Raggio riflesso (indichiamo con r)

r = Raggio rifratto (indichiamo con t)

n = Normale alla superficie

1 = Superficie superiore

2 = Superficie inferiore

LEGGE DI SNELL

Si considerino due superfici, a contatto tra di loro, con indici di rifrazione n_1 e n_2 . Quando un raggio di luce, che viaggia nella superficie 1, incontra l'interfaccia andrà incontro a due fenomeni: da un lato vi è la sua riflessione alla superficie 1 formando un angolo α_r , rispetto alla normale, coincidente con α_i ; dall'altra avremo un raggio rifratto nella superficie 2 che formerà, rispetto alla normale, un angolo α_t con ampiezza dipendente dagli indici di rifrazione dei mezzi. Quindi quando la luce passa da un materiale trasparente ad un altro subisce, attraverso la sua interfaccia, un fenomeno noto come rifrazione, ovvero la direzione di propagazione cambia. Questo fenomeno è regolato dalla **Legge di Snell** $n_1 \sin(\alpha_i) = n_2 \sin(\alpha_t)$ dove n , l'indice di rifrazione, è uguale al rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e nel mezzo in cui viaggia, pertanto sarà sempre maggiore di 1 (Infatti in un mezzo materiale la velocità della luce diminuisce di un fattore n tipico del materiale).

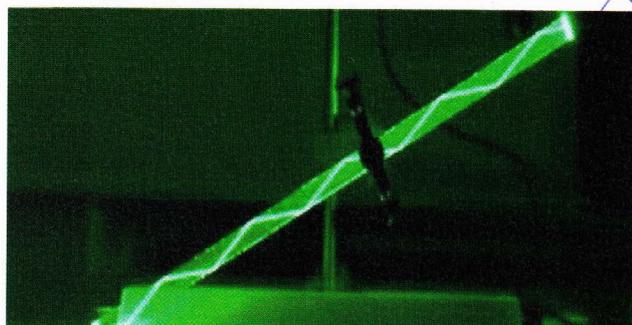
RIFLESSIONE TOTALE INTERNA

Nel caso delle fibre ottiche la Legge di Snell viene utilizzata nell'ambito del fenomeno della riflessione totale interna: infatti, per determinati angoli che hanno una ampiezza maggiore di un angolo definito critico, si avrà la scomparsa del raggio rifratto e una completa riflessione della luce all'interno del mezzo. Ciò è funzionale affinché vi sia una ridottissima perdita di luce, e quindi di dati, durante la trasmissione del segnale. La riflessione totale interna avviene quando un raggio di luce, proveniente da un mezzo con indice di rifrazione n_1 , attraversa l'interfaccia con un altro mezzo che avrà indice di rifrazione $n_2 < n_1$: infatti, in questo caso, l'angolo del raggio rifratto sarà maggiore dell'angolo d'incidenza (o di riflessione essendo uguali) e, raggiunta l'ampiezza di 90° , il raggio rifratto scomparirà facendo così avvenire il fenomeno della riflessione totale interna. Per calcolare l'angolo d'incidenza critico sopra al quale, nel caso delle fibre ottiche, inserire la luce in guida d'onda basta applicare la Legge di Snell e si avrà

$$n_1 \sin(\alpha_c) = n_2 \sin(90^\circ)$$

$$\sin(\alpha_c) = n_2 / n_1$$

$$\alpha_c = \arcsin(n_2 / n_1) \quad \text{Angolo Critico}$$



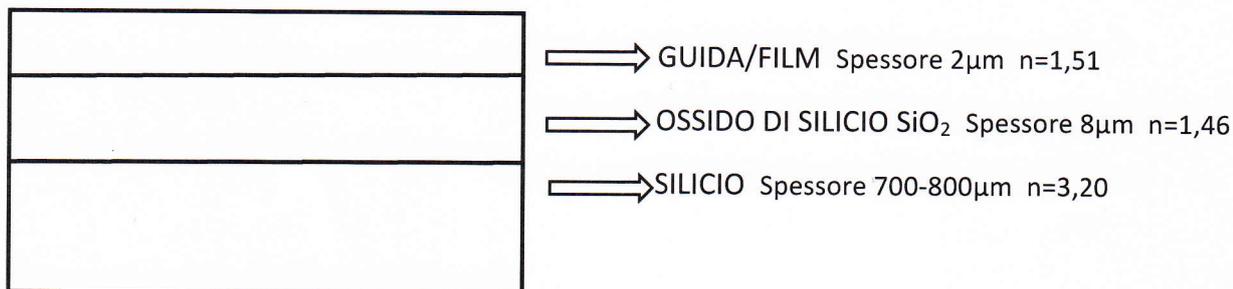
DIFFRAZIONE

La diffrazione è quel principio fisico che, nel nostro caso, sta alla base dell'accoppiamento della luce nella guida d'onda planare. Questo fenomeno si manifesta tutte le volte che un'onda incontra un ostacolo (per es. un foro, una fenditura, un bordo) e per il quale tutti i punti dell'ostacolo diventano sorgenti di altre onde; al di là dell'ostacolo opaco le onde riescono a raggiungere anche punti che resterebbero in ombra se la propagazione fosse semplicemente rettilinea. Quindi la costruzione di un reticolo di diffrazione al di sopra della guida planare permette, con più facilità, trovare l'angolo critico per il quale si avrà la riflessione totale interna.

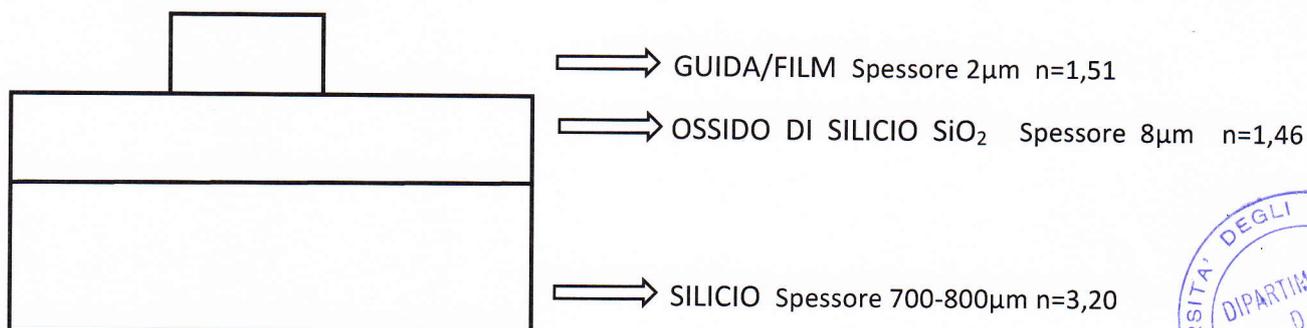
GUIDE OTTICHE: PLANARE E CANALE

In fisica, ottica e telecomunicazioni, una guida d'onda è una struttura lineare che convoglia e confina onde elettromagnetiche all'interno di un percorso compreso fra le due estremità consentendone cioè una propagazione guidata. Essa dunque è un mezzo di trasmissione di un segnale su un canale di comunicazione. Nell'ambito dello stage a Tor Vergata sono state realizzate e studiate due tipi di guida: planare e canale. Queste guide si differenziano, in primo luogo, per la loro diversa geometria: infatti una guida ottica planare limita la trasmissione del segnale luminoso alla sola altezza del *core* (è la parte della guida in cui passa il segnale), mentre una guida ottica canale confina l'onda elettromagnetica che trasporta il segnale sia in altezza che in larghezza. Analizziamo nel dettaglio i due tipi di guida.

GUIDA OTTICA PLANARE



GUIDA OTTICA CANALE



FASI DI LABORATORIO

Dopo aver indicato in modo esemplificativo la forma e le caratteristiche delle guide ottiche, si procede con la loro realizzazione in laboratorio.

PROCESSO SOL-GEL

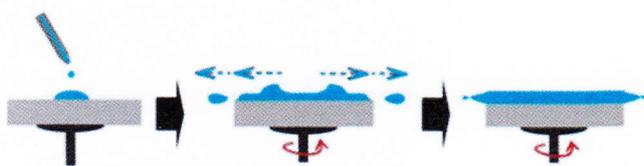
La realizzazione delle guide d'onda avviene mediante il processo Sol-Gel che si articola in tre fasi. Tramite questo processo è possibile, con semplici reazioni a temperatura ambiente e partendo da composizioni controllate, ottenere materiali ceramici e vetrosi composti da una parte organica e una inorganica; ciò al fine di conferirgli maggiore resistenza meccanica (questi materiali si definiscono ibridi).

Il processo si divide in tre fasi:

- Idrolisi: Formazione di una sospensione colloidale di particelle solide nel liquido (Sol).
- Condensazione: Le particelle polimerizzano per policondensazione, creando un materiale elastico e resistente. Al fine di realizzare la geometria della guida d'onda, la condensazione viene stimolata da luce UV attraverso un processo definito fotolitografia ottica (illustrato successivamente).
- Essiccamento: Trattamento termico per condensare la struttura ed eliminare, eventualmente, solventi in eccesso.

PROCESSO DI SPIN-COATING E CAMERA PULITA

La camera pulita è il luogo dove avvengono i procedimenti più delicati e che richiedono un ambiente pulito per evitare che il campione si rovini; essa consiste, appunto, in una camera in cui il numero di microparticelle di polvere in sospensione è inferiore a una classe data (nel nostro caso era di classe 10000). Il processo di spin-coating, che avviene in camera pulita e serve per le deposizioni, consiste nel porre il liquido da depositare sul substrato e, tramite un apposito macchinario (spinner), farlo girare su se stesso al fine di distribuirlo omogeneamente sulla superficie; a maggiori velocità (aumenta la forza centrifuga) diminuisce lo spessore.



Schematizzazione del processo di spin-coating.



FOTOLITOGRAFIA OTTICA

- Processo usato per la rimozione selettiva di parti di un film sottile o parti di substrato su cui è stato depositato il film.
- Necessita di una maschera (Quarzo e Cromo) su cui è stato realizzato il disegno che si vuole trasferire sul campione.
- Necessità di uno strato di materiale sensibile alla luce (Resist).
- Fase di sviluppo e successivo trasferimento al film o al substrato con tecniche fisiche o chimiche.
- Si possono utilizzare sia resist positivi (viene eliminata la parte esposta alla luce) che negativi.

MATERIALI USATI

Per la realizzazione dei film (parte della guida dove scorre effettivamente la luce) si utilizzano composti ibridi quali lo Zr/GLY (Zirconia ZrO_2 - Glymo) per quanto riguarda la guida planare e, per la guida canale, Ti/TMSPM (Titania TiO_2 - TMSPM). Il Ti/TMSPM è costituito da un precursore inorganico e uno organico; Il precursore inorganico conferisce al film una struttura vetrosa, quindi con elevata trasparenza che permette il passaggio della luce al suo interno, ma è caratterizzato da una bassa elasticità, viene usato il Titanio (IV) propossido. Il precursore organico conferisce al film proprietà plastiche, quali una maggiore elasticità e malleabilità, che diminuiscono le probabilità di fratture nelle guide. Il precursore usato è il TMSPM caratterizzato dal gruppo metacrilato che sotto opportune condizioni di illuminazione, con radiazione elettromagnetica ultravioletta, apre il doppio legame ossigeno-carbonio inducendo la fotopolimerizzazione del materiale, la quale migliora il processo di condensazione della struttura ibrida finale; Il TMSPM viene unito all'alcool isopropilico (con funzione di diluente) e acido cloridrico (HCl) diluito in acqua (catalizzatore per l'idrolisi) così da innescare la reazione di idrolisi. Successivamente le due soluzioni vengono unite (con l'aggiunta di Irgacure 184 che fungerà poi da fotoiniziatore della reazione di polimerizzazione) per creare il film ibrido. Lo strato guidante quindi è costituito da un polimero ibrido, vale a dire composto da una parte organica e una inorganica che offrono, così, le loro caratteristiche meccaniche alla guida d'onda. Inoltre come substrati, sono stati impiegati Silicio e Ossido di Silicio: infatti il primo è un elemento abbondante in natura e quindi economico, il secondo, a contatto con il *core* (strato guidante), è essenziale poiché presenta un indice di rifrazione minore rispetto al Zr/GLY o al Ti/TMSPM; questa caratteristica è importante poiché permette il fenomeno della riflessione totale interna.

PREPARAZIONE GUIDA PLANARE

- I substrati di Silicio e Ossido di Silicio vengono accuratamente puliti e tagliati tramite una punta di diamante in rettangoli più o meno simili.
- Nel frattempo viene preparato il film di Zr/GLY
- Successivamente, in camera pulita e tramite il processo di spin-coating, avviene la deposizione del film sul substrato.
- Deposizione, tramite spinning, del Ti/TMSPM per la realizzazione del reticolo di diffrazione; tramite il PDMS (maschera che imprime, in negativo, il reticolo), sostanza a base di colla e silicone, e attraverso il processo di Soft Litography con tecnica UV imprinting, viene realizzato il reticolo sulla base di Ti/TMSPM. Un successivo bagno di sviluppo rimuove le parti non fotopolimerizzate (coperte con un pezzo di silicio).

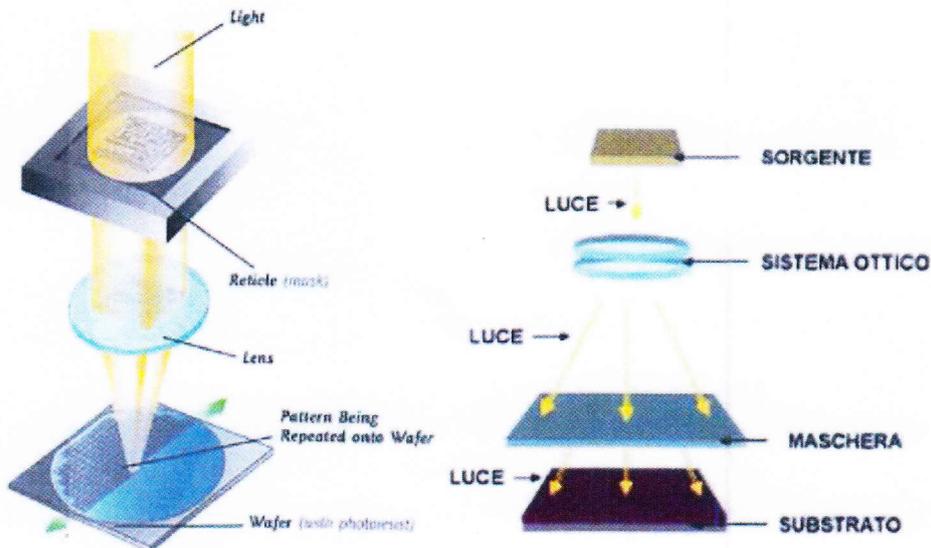


Si nota, in ordine, il reticolo di diffrazione di Ti/TMSPM, il film di Zr/GLY e il substrato costituito da Ossido di Silicio e Silicio.



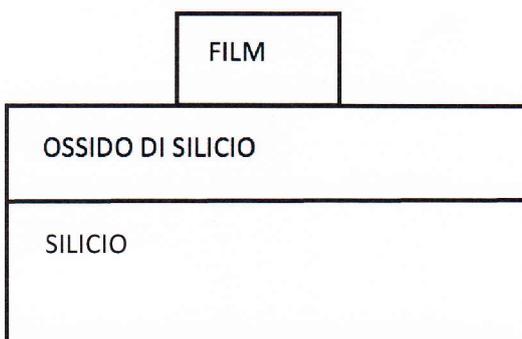
PREPARAZIONE GUIDA CANALE

- I substrati di Silicio e Ossido di Silicio vengono accuratamente puliti e tagliati tramite una punta di diamante in rettangoli più o meno simili.
- Preparazione del film di Ti/TMSPM (resist) e deposizione dello stesso sui substrati tramite spin-coating in camera pulita.
- Riscaldamento (Pre-Baking) a 85° per 30-40min; serve a irrigidire la matrice per evitare che si attacchi
- Esposizione alla luce UV tramite maschera (Processo di fotolitografia ottica). In questo caso il campione viene illuminato con una radiazione UV in modo da iniziare la fotopolimerizzazione; sopra il campione viene posta a contatto la maschera di Quarzo (trasparente alla luce UV) e Cromo nel quale sono incisi i disegni (mancanza di copertura di Cromo). La luce polimerizza solo le parti aperte della maschera mentre le altre no (quelle coperte di Cromo); un successivo bagno di sviluppo eliminerà quest'ultime lasciando solo il disegno.



Rappresentazioni del funzionamento del processo fotolitografico

- Riscaldamento (Post-Baking) a 110° per 45 min



Si nota, in ordine, il film di Ti/TMSPM, che costituisce il canale in cui viaggia la luce, e lo strato di Ossido di Silicio sul substrato di Silicio.

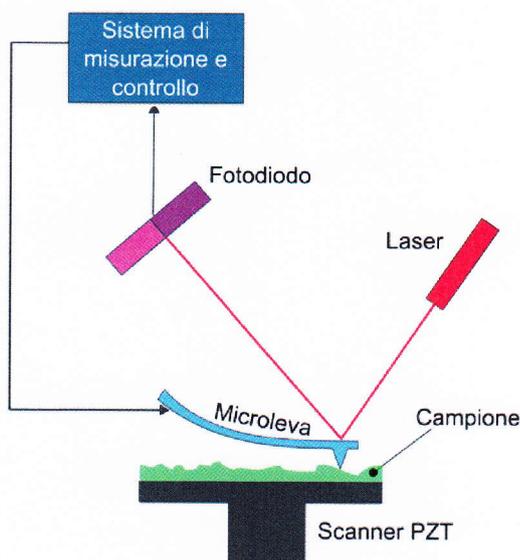


CARATTERIZZAZIONE DELLE GUIDE

TIPOLOGIE DI MICROSCOPI

Prima di illustrare i risultati della caratterizzazione delle guide planari e canali, è bene fare un *excursus* sull'evoluzione dei microscopi, da quelli ottici fino a quelli atomici.

- **Microscopio ottico** è un tipo di microscopio che utilizza la luce visibile e un sistema di lenti per ingrandire le immagini di piccoli campioni. Furono inventati da Galileo Galilei nel XVII secolo e rappresentano la prima forma di microscopio inventato.
- **Microscopia a scansione di sonda (SPM, Scanning Probe Microscopy)** è un ramo della microscopia che forma le immagini di superfici usando una sonda fisica; quest'ultima esegue la scansione del campione. Un'immagine della superficie è ottenuta meccanicamente spostando la sonda in un raster di scansione (raster scan) del campione, riga per riga e registrando l'interazione sonda-superficie in funzione della posizione. La SPM è stata introdotta nel 1981 con l'invenzione del microscopio a scansione a effetto tunnel. I microscopi SPM hanno tre principali *modus operandi*:
 1. **CONTACT MODE**: la punta del microscopio tocca la superficie; la risoluzione è ottima, ma il contatto può danneggiare la punta.
 2. **NO-CONTACT MODE**: la punta del microscopio non tocca la superficie; la risoluzione è peggiore, ma la punta rimane illesa.
 3. **TAPPING MODE**: la punta oscilla sulla superficie; la risoluzione è alta ma il tempo di acquisizione dell'immagine è lento. Il *Tapping Mode* funziona in due modi: uno a corrente costante e, l'altro, a distanza costante. Nel primo caso si fissa una differenza di potenziale tra la superficie e la punta, in questo modo la punta del microscopio oscilla al fine di mantenere la differenza di potenziale costante e il fotodiodo, rilevando questi spostamenti, determina l'andamento del campione. In quello a distanza costante viene posta, appunto, una distanza fissa tra la punta e la superficie, in questo modo il microscopio è costretto a far variare la differenza di potenziale e, rilevando questi cambiamenti, si determina l'andamento del campione.



Tra i più importanti microscopi SPM si annoverano:

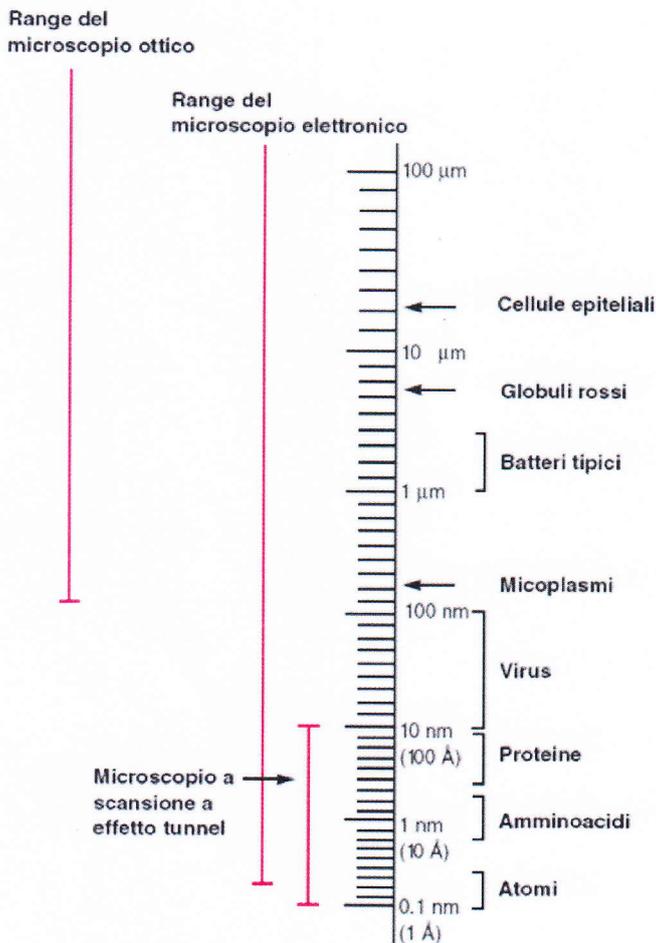
- **STM (Scanning Tunneling Microscopy)** è uno strumento per la determinazione di superfici a livello atomico, è stato inventato nel 1981 da Gerd Binnig e Heinrich Rohrer. La STM si basa sul concetto di tunneling quantico: quando una punta conduttiva viene portata molto vicino alla superficie da esaminare, una differenza di tensione tra i due può permettere agli elettroni di attraversare il tunnel vuoto tra di loro.
- **AFM (Atomic Force Microscopy)** è un microscopio a scansione di sonda (SPM) inventato da Gerd Binnig, Calvin Quate e Christoph Gerber nel 1986.



LEGGE DI HOOKE E LEGGE DI ABBÈ

La scansione delle superfici avviene, specialmente per l'AFM, in accordo con la **legge di Hooke**: infatti la punta dell'AFM, avendo una costante elastica minore di quella degli atomi, riesce a scannerizzare la superficie senza rovinarla.

Per quanto riguarda la risoluzione è regolata dalla **legge di Abbè** che definisce la risoluzione $D = \lambda / 2n \sin \alpha$. La risoluzione laterale di un microscopio è quella minima distanza tra due punti, che permette ancora di distinguerli; se la distanza tra i due punti è minore, essi si confondono in uno solo. Nel caso che lo strumento si basi sull'utilizzo di radiazione con una propria lunghezza d'onda associata, come i tradizionali microscopi ottici, risoluzione e lunghezza d'onda utilizzata sono parametri tra loro strettamente correlati. I range di risoluzione variano, ovviamente, in base al tipo di microscopio; di seguito viene riportata una tabella esemplificativa delle varie risoluzioni.



GUIDE PLANARI

Per la caratterizzazione delle guide planari si misura, prima teoricamente e poi sperimentalmente, il passo del reticolo di diffrazione. Per via teorica si utilizza la legge secondo la quale il passo reticolare è $d = m\lambda / \sin\theta$ (Formula di Bragg), dove m è l'ordine di diffrazione e θ l'ampiezza del rispettivo angolo. Gli ordini di diffrazione e, quindi, i rispettivi angoli si ottengono facendo incidere perpendicolarmente un raggio laser sulla superficie dove è presente il reticolo di diffrazione; in questo modo la luce viene riflessa e, tramite un apposito macchinario direttamente collegato al laser, si riescono a determinare le ampiezze degli angoli di diffrazione che, con una buona approssimazione, sono uguali, per ogni ordine, a destra e a sinistra. Per via sperimentale si osserva al microscopio ottico il reticolo di diffrazione e si calcola, in una data lunghezza, il numero di creste presenti.

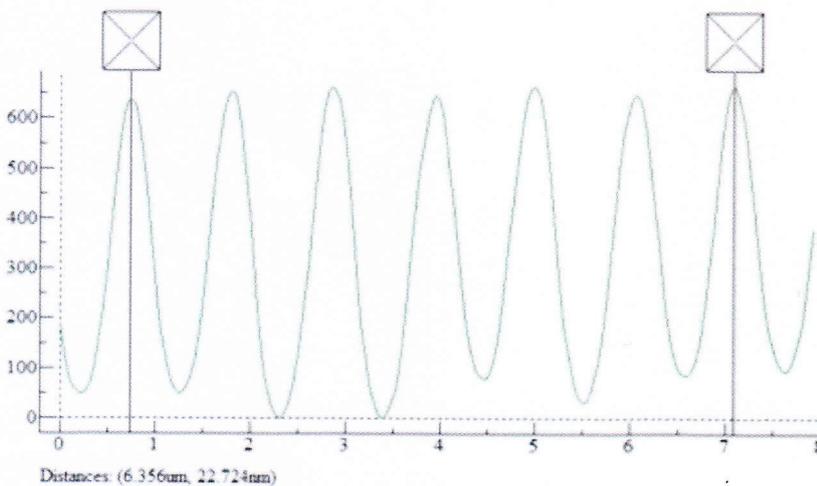
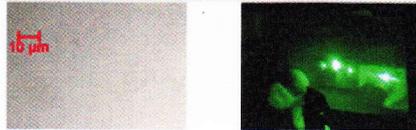
ANGLE OF DIFFRACTION				LEGEND
ORDERS	θ^+	$-\theta^+$	AVERAGE	
m=1/-1	15	16	15,5	1,99 μm
m=2/-2	31	32	31,5	2,04 μm
m=3/-3	49	51	50	2,08 μm
m=4/-4	86	91	88,5	2,13 μm

Di fianco sono riportati sia i valori calcolati in modo teorico che pratico.

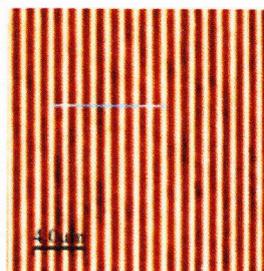
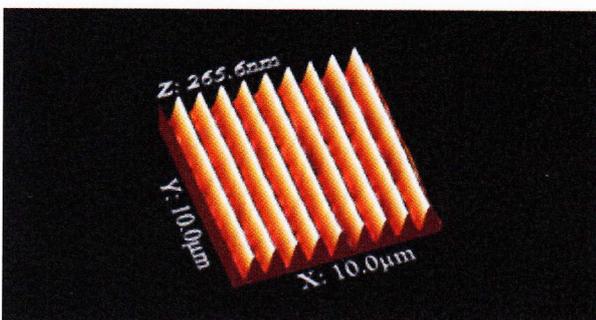
$d = 2,06 \pm 0,05 \mu\text{m}$

An estimated value of "d" was also obtained from microscopy picture

$d = 2,08 \mu\text{m}$

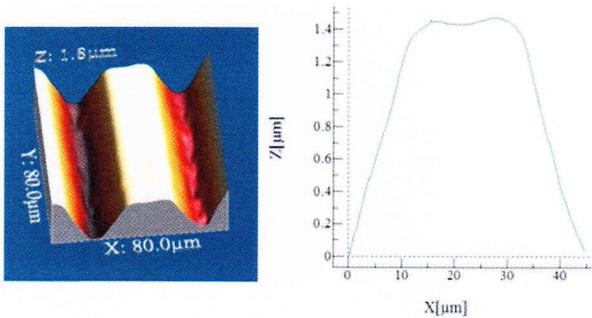


Inoltre si usa l'AFM per osservare il reticolo a livello atomico. Facendo ciò, possiamo misurare il passo e l'altezza del *grating*. Per analizzare i dati si utilizza un programma specifico, in grado di produrre immagini dei campioni in 2D, 3D e dei loro profili.



GUIDE CANALI

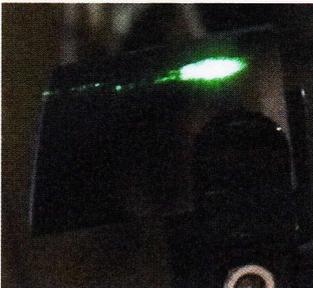
La caratterizzazione delle guide canali è avvenuta attraverso l'AFM con la modalità di contatto. Dopo la misura si analizzano le immagini con un software specifico (WSxM). Questo programma utilizza un linguaggio universale per elaborare le immagini acquisite da qualsiasi microscopio. In questo modo si possono visualizzare le guide realizzate con un'ottima risoluzione analizzando, così, anche il livello di accuratezza raggiunto durante la preparazione. Dal punto di vista industriale è fondamentale per poter ricercare eventuali imperfezioni evitando, in questo modo, di commercializzare prodotti non funzionanti.



ACCOPPIAMENTO DELLA LUCE IN GUIDA D'ONDA

GUIDE PLANARI

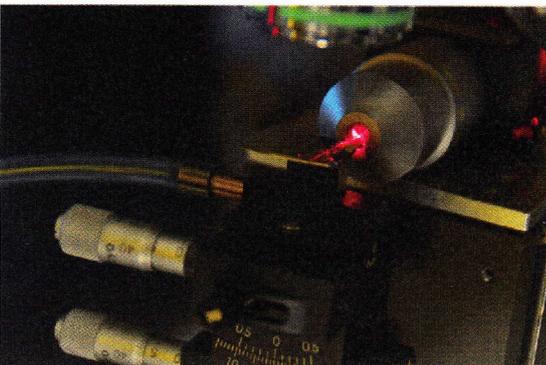
Nelle guide planari un fascio di luce laser viene focalizzato sul reticolo di diffrazione il quale permetterà di trovare l'angolo limite e, di conseguenza, far viaggiare la luce in guida.



Dalla foto si nota una zona più luminosa, che rappresenta il reticolo dove è stata focalizzata la luce, e, di fianco, una striscia di luce che corre nella guida fino al suo spot di uscita (estremo sinistro dell'immagine).

GUIDE CANALI

Nelle guide canali un fascio di luce laser investe completamente la parte laterale della guida canale e, di conseguenza, viaggerà all'interno della guida fino allo spot di uscita.



Dalla foto si nota il laser, che uscendo da un sistema di lenti (obiettivo da microscopio), viene focalizzato in "entrata" e, viaggiando nella guida, arriva fino alla parte finale della guida (spot di uscita).



CONCLUSIONI

A mio giudizio ritengo importanti esperienze di questo genere poiché, per quanto mi riguarda, lo Stage a Tor Vergata mi ha permesso di relazionarmi con il mondo universitario, ampliare le mie conoscenze e saperle applicare a qualcosa di concreto; inoltre ho avuto la possibilità di entrare in contatto con altri ragazzi, provenienti da altre scuole e diverse realtà con i quali condividere conoscenze e competenze. Da questo stage ho appreso, ancora meglio, l'importanza dello studio e della ricerca poiché, tramite ciò, si riesce a ideare, progettare e realizzare qualcosa che possa migliorare la vita di tutti i giorni.

Per tali motivi è necessario incentivare gli studenti a partecipare a esperienze del genere e permetterli di applicarsi al meglio durante il loro svolgimento. Da parte mia mi ritengo onorato di essere stato scelto per partecipare a questo stage e soddisfatto del lavoro fatto con il mio gruppo e i professori universitari che ci hanno seguito.

Giovanni Malizia

