

TESINA PER L'ESAME DI STATO
A.S. 2013/2014

ICT
(Information and Communication Technology)

di *Serena Ferracci*

FIBRE OTTICHE E GUIDE D'ONDA

Il presente contributo, elaborato dalla **studentessa Serena Ferracci** del Liceo Scientifico e Linguistico di Ceccano(FR), è connesso alle attività scientifiche e laboratoriali svolte durante lo **"Stage a Tor Vergata"** - promosso dal 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 24 al 28 Giugno 2013;

Stage Invernale dal 4 al 7 febbraio 2014

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

I responsabili delle attività laboratoriali del Modulo "Materiali per l'ICT (Information and Communication Technology)"

Dott. Paolo Proposito

Dott. Fabio De Matteis



Il Direttore degli "Stage a Tor Vergata"

Prof. Nicola Vittorio



FIBRE OTTICHE E GUIDE D'ONDA

Prerequisiti fondamentali:

1. riflessione totale
2. derivata
3. formula di Bragg ($n\lambda=2d \sin\theta$)
4. energia potenziale (relazione con il raggio)
5. processo Sol-Gel
6. lampada a mercurio-xenon e resist

Una delle esigenze fondamentale, per gli uomini di tutti i periodi storici, è la comunicazione. Si cerca di migliorare continuamente i mezzi di comunicazione per offrire più collegamenti e di qualità migliore ma con costi e tempi molto ridotti.

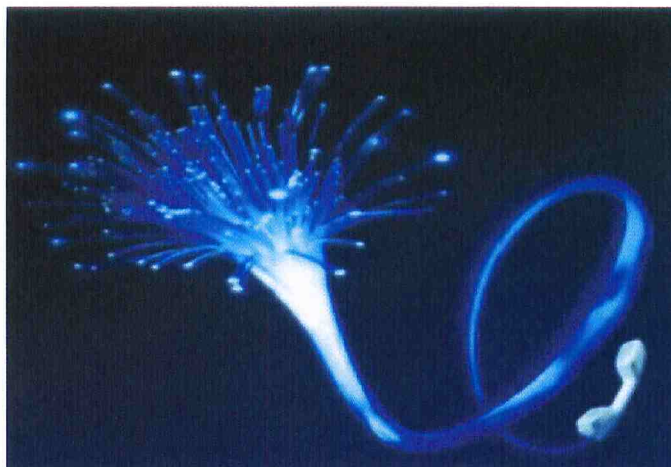
I mezzi di comunicazione hanno una storia molto lunga, sono nati appena l'uomo ha sentito il bisogno di comunicare non solo con coloro che lo circondano ma anche con gli uomini di tutto il mondo.



I mezzi di comunicazione che si sono susseguiti nel tempo sono:

- i GESTI sono il primo mezzo di comunicazione dell'uomo preistorico.
- la PAROLA, la trasmissione orale.
- La SCRITTURA, l'invenzione della carta e in seguito della stampa hanno permesso di registrare in modo preciso e inequivocabile la conoscenza. Grazie alla scrittura nascono anche i LIBRI.
- Il PICCIONE VIAGGIATORE in assenza di tecnologie alternative venivano usati per mandare i messaggi, erano gli SMS di oggi.
- Il TELEGRAFO è un apparecchio che permette la trasmissione dei messaggi a distanze tramite la corrente elettrica.

Usando tecnologie via via più avanzate fino ad arrivare ad utilizzare le onde elettromagnetiche come le onde radio, le microonde e le onde luminose. Queste onde non possono essere disperse nell'atmosfera ma abbiamo bisogno di strumenti più adatti: i cavi di rame o le fibre ottiche.



La FIBRA OTTICA rispetto ai cavi di rame possiede evidenti vantaggi:

- costi ridotti
- ridotti pesi ed ingombri
- aumenta la velocità delle comunicazione
- basso consumo di energia
- immunità rispetto ai disturbi elettrici

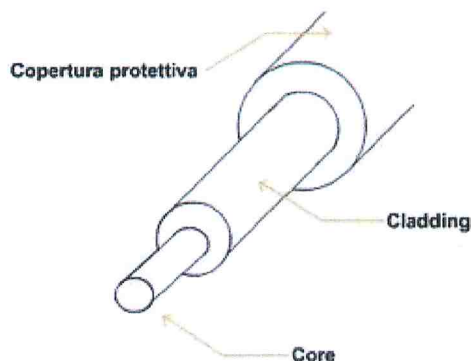
Le fibre ottiche sono delle guide all'interno delle quali avviene il passaggio di luce o di informazioni.

Le fibre ottiche sono costituite da tre strati fondamentali.

La parte più interna è chiamata *Core*, questa presenta un diametro molto piccolo di circa $10\text{ }\mu\text{m}$ e ha un indice di rifrazione maggiore rispetto al cladding.

Il core è rivestito da *Cladding*, ha uno spessore maggiore del core, circa $25\text{ }\mu\text{m}$, e deve avere uno spessore maggiore della lunghezza di smorzamento dell'onda evanescente.

Lo strato più esterno, il *Coating*, è una copertura protettiva ed è quello che si può toccare di una fibra ottica.



Durante lo stage a Tor Vergata abbiamo costruito e compreso il funzionamento delle guide d'onda, definite come *una struttura lineare che permette di condurre fasci di luce sfruttando alcune proprietà delle onde tra cui la riflessione totale*.

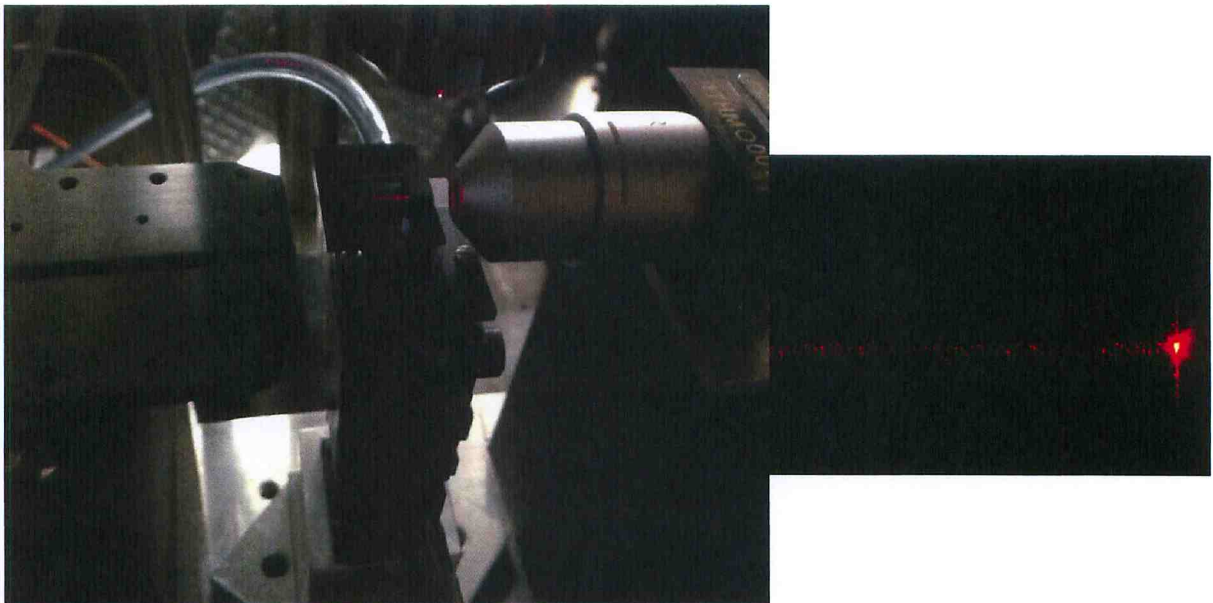
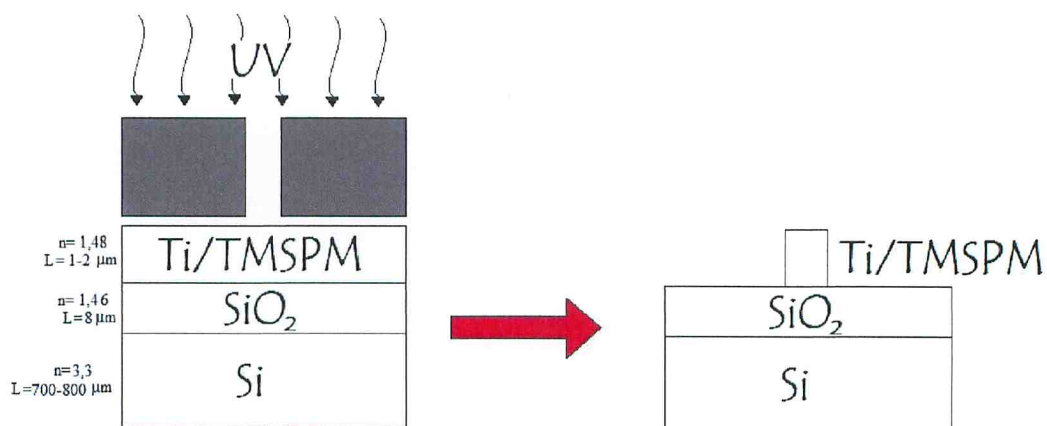
Abbiamo costruito due tipi di guide d'onda partendo dal medesimo substrato composto da uno strato di Si (Silicio, con indice di rifrazione pari a 3.3 e spessore $700\text{ }\mu\text{m}$) e di SiO_2 (Ossido di Silicio, con indice di rifrazione pari a 1.46 e spessore pari a $8\text{ }\mu\text{m}$).

Le guide d'onda realizzate sono la *guida canale* (a cui accennerò solamente) e la *guida planare*.

La guida canale

La guida prevede uno strato di Ti/TMSPM (Titanio che costituisce la componente inorganica e TMSPM che costituisce la componente organica) che rappresenta la vera guida. Una volta deposto lo strato, viene posta sul campione una maschera. La maschera è composta da quarzo (biossido di silicio) e da cromo, la parte composta dal quarzo fa filtrare la luce, nel nostro caso la luce UV del laser, e la parte composta dal cromo, invece, che si deve trovare a contatto col campione per evitare le ombre, non fa filtrare la luce. Il campione e la maschera vengono quindi esposti alla luce del laser e in seguito avviene lo sviluppo del resist in alcol isopropilico per rimuovere le parti non fotopolimerizzate, ovvero quelle non esposte alla luce UV. Si formano così dei canali composti da Ti/TMSPM in cui verrà inserito un fascio di luce attraverso una fibra ottica. La procedura di inserimento della luce è effettuata nel piano focale di un microscopio per poter allineare con precisione i diversi componenti ed osservare contemporaneamente la propagazione.

GUIDA CANALE



La guida planare

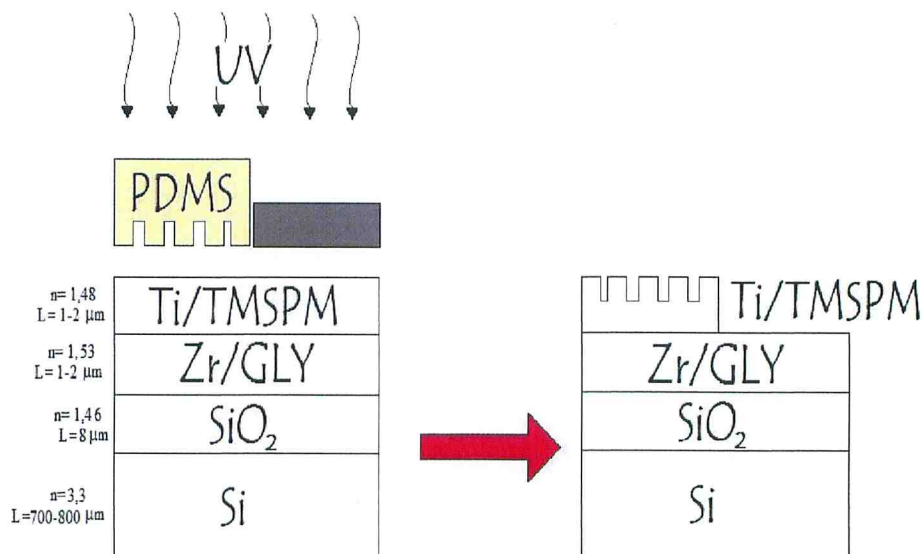
Nel caso delle guide planari, invece, sul substrato di Si/SiO₂ sono stati depositati, mediante la tecnica di *spinning*, lo strato di Zr/GLYMO (Zirconio che costituisce la parte inorganica e GLYMO che costituisce la parte organica) e lo strato di Ti/TMSPM (Titanio che costituisce la parte inorganica e TMSPM che costituisce la parte organica) entrambi formati attraverso il processo di *Sol-Gel*.

In questo caso lo strato di Zr/GLYMO è la guida di luce, mentre il Ti/TMSPM costituisce lo strato che verrà utilizzato per permettere alla luce di entrare nella guida planare sottostante.

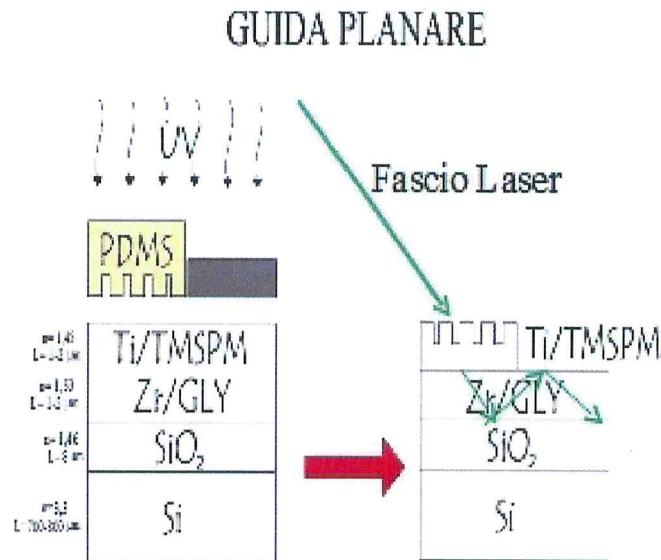
In accordo con le leggi della rifrazione, si può dimostrare che non è possibile riuscire a fare entrare la luce dall'esterno in modo da farla propagare nella guida. Bisogna ricorrere allora ad. un reticolo di diffrazione che viene impresso nello strato di Ti/TMSPM.

Il reticolo è impresso nel PDMS (un tipo di silicone), con una certa periodicità del passo reticolare. Per imprimere questa struttura nello strato di Ti/TMSPM, viene poggiato il reticolo sulla film di Sol-Gel deposto in precedenza e viene fatto aderire bene allo strato appena deposto e ancora non completamente consolidato. Sulla parte del campione sui cui non è poggiato il reticolo viene posta una schermatura. Successivamente il campione viene esposto a luce ultravioletta usando una lampada a mercurio-xenon per sfruttare le proprietà di fotopolimerizzazione del Ti/TMSPM. Questo è un materiale detto resist negativo in cui si solidificherà la parte esposta ai raggi ultravioletti (e quindi la parte coperta dal reticolo che permette il passaggio dei raggi UV), mentre rimarrà morbida, e potrà essere successivamente rimossa, la parte non esposta (la parte su cui era poggiata la copertura). Per rimuovere le parti non irrigidite il campione viene immerso in un bagno di alcool isopropilico.

GUIDA PLANARE



Una volta completati questi processi avremo un reticolo attraverso il quale è possibile trovare un angolo adatto che permette la trasmissione di luce attraverso la guida d'onda.



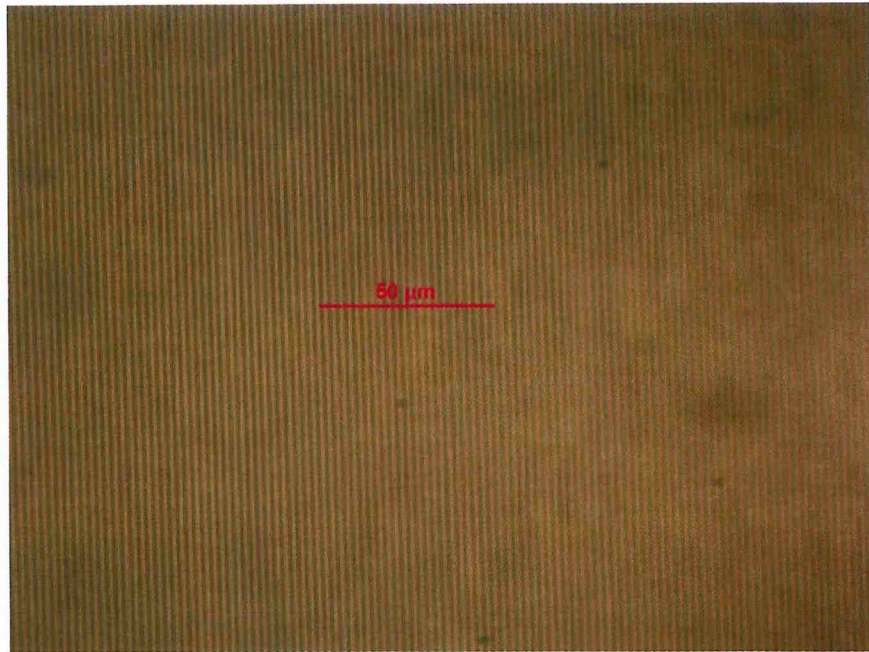
Il reticolo ottenuto ha un passo reticolare ben preciso e per misurarlo abbiamo adottato diversi metodi.

- Puntando un fascio di luce di colore verde (532nm) sul reticolo, si produrranno per effetto della diffrazione vari spot di luce a differenti angoli (vedi figura). La formula di Bragg mette in relazione la distanza angolare (il seno dell'angolo che si viene a formare tra la perpendicolare al campione e il fascio di luce) dei vari spot con il passo reticolare e la



lunghezza d'onda della luce utilizzata. Il risultato per il passo del reticolo è pari a $2,4 \mu\text{m}$.

- Utilizzando un microscopio ottico, dopo aver ingrandito e messo a fuoco una delle parti meglio riuscite del campione, sono state contate le creste presenti in $50\text{ }\mu\text{m}$. Il risultato ottenuto con questo metodo è leggermente diverso: $2,2\text{ }\mu\text{m}$



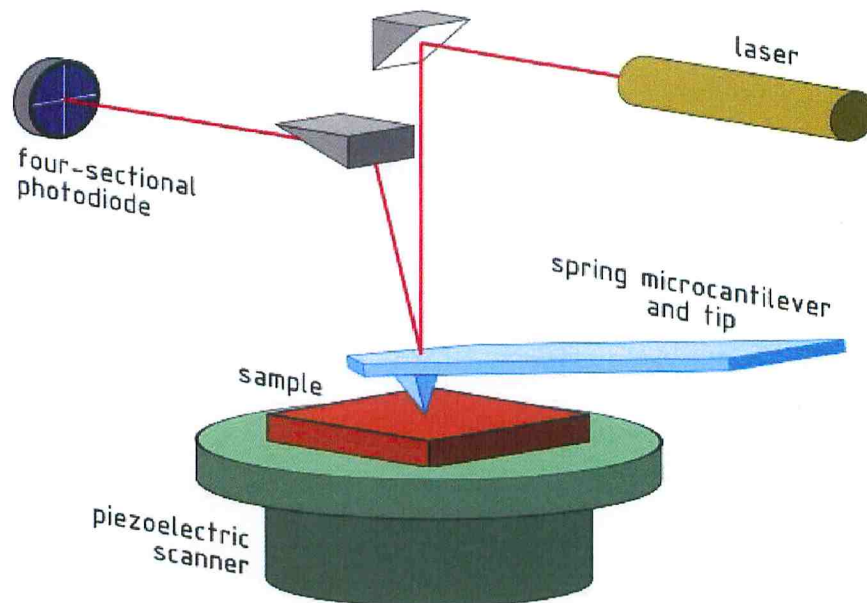
L'ultimo metodo utilizzato, quello più preciso, è stato ottenuto attraverso il microscopio AFM. Il microscopio AFM (atomic force microscopy), insieme al microscopio STM (scanning tunneling microscopy), ha una risoluzione anche minore di $1\text{ }\text{\AA}$ (Angstrom).



È stato scelto il microscopio AFM perché il più adatto ai nostri campioni, i quali non hanno una buona resistenza. Con il microscopio AFM il campione da analizzare non deve essere un conduttore perché interagisce meccanicamente con gli atomi del campione senza, però, danneggiarli.

Il microscopio AFM è costituito da:

- punta + cantilever
- laser + rilevatore laser (fotodiodo)
- tubo piezoelettrico
- isolamento delle vibrazioni
- sistema per la visualizzazione delle immagini digitali



PUNTA e CANTILEVER

È molto importante la qualità della punta, la quale non deve essere troppo sottile o troppo rozza. Per esempio, se la punta è troppo rozza quando andrà a misurare delle isole misurerà struttura in eccesso, al contrario quando andrà a misurare dei buchi questi saranno più piccoli di quanto lo siano in realtà, queste considerazioni sono da tener presente nella misurazione.

La punta è l'elemento che può entrare a contatto con il campione, questo dipende dal metodo di rilevazione che vogliamo usare. I principali modi di funzionamento sono:

- a contatto statico (*contact mode*)

distanza < 0,5 nm

- ad assenza di contatto dinamico (*non-contact mode* o *Tapping mode*)

0,1 nm < distanza < 10 nm

- a contatto dinamico (*dynamic mode*)

0,5 nm < distanza < 2 nm

Può avvenire ciò attraverso un cantilever, una microleva fatta di alluminio per garantirle una certa elasticità, alla cui estremità è posta la punta. La forza repulsiva tra gli atomi fa oscillare il cantilever permettendo così la scansione della superficie del campione.

LASER e FOTODIODO

Sul cantilever viene poi puntato un fascio laser che sarà poi riflesso su un fotodiodo. Il fotodiodo registra la deviazione del laser e invia i dati registrati a un computer man mano che il cantilever spazza tutto il campione. Da questi dati è possibile ricostruire la morfologia della superficie.

Si utilizza un fotodiodo a quattro quadranti se vogliamo vedere se la punta subisce anche una torsione.

TUBO PIEZOELETTRICO

Generalmente il campione è collocato su un tubo piezoelettrico, che può spostarlo in direzione perpendicolare (direzione z) per mantenere una forza costante e nel piano (direzioni x ed y) per analizzarne la superficie.

Sono dei cristalli ai quali si applica una differenza di potenziale, si deformano e possono essere riportati alla struttura originale.

ISOLAMENTO DALLE VIBRAZIONI

Per avere una misurazione più attendibile bisogna disaccoppiare il microscopio da ciò che lo circonda, cioè smorzare qualsiasi vibrazione anche quelle impercettibili all'uomo.



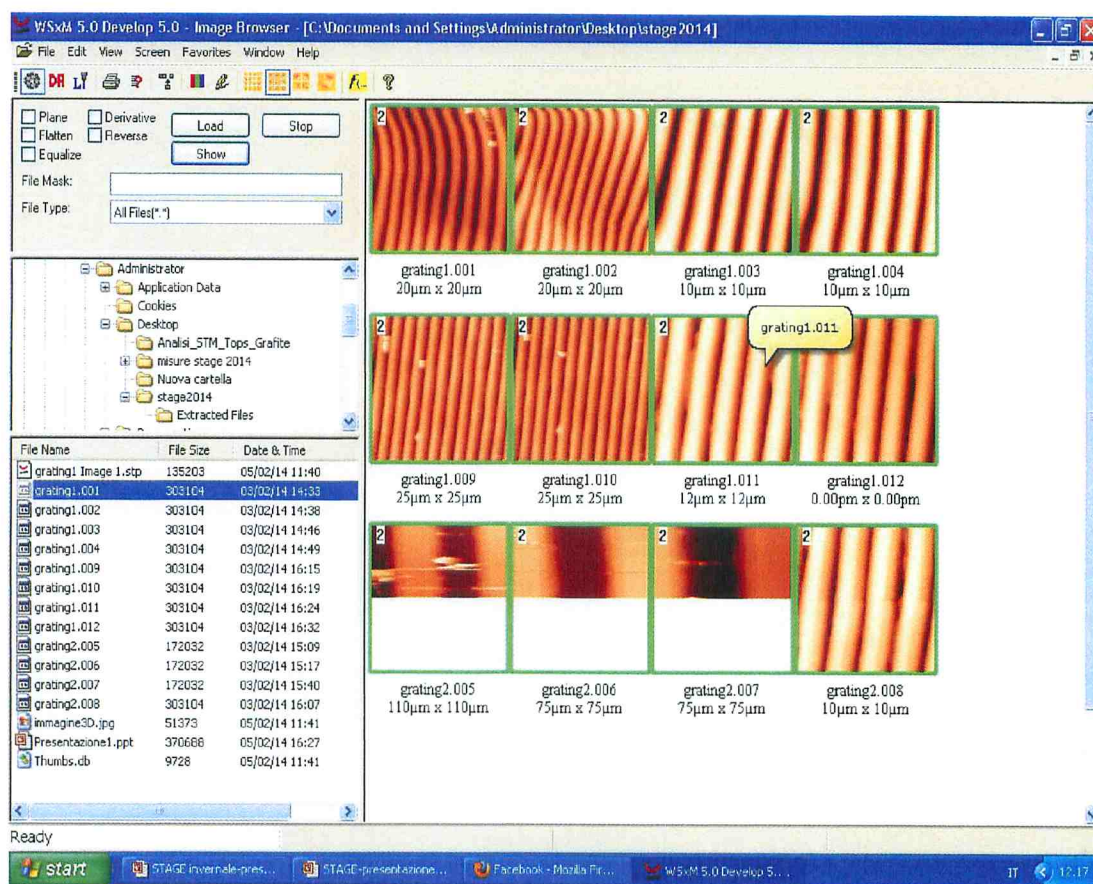
SISTEMA DI VISUALIZZAZIONE DELLE IMMAGINI DIGITALI

Una volta ricevuti i dati raccolti dal microscopio, possiamo visualizzare al computer il nostro campione. La visualizzazione può avvenire sia in 2D che in 3D.

Il programma da noi usato è **WsxM**, il quale è un programma universale e gratuito in grado di aprire i file di qualunque microscopio.

L'immagine ottenuta non è un'immagine perfetta, quindi deve essere ritoccata attraverso alcuni filtri:

- Flatten, Plane Global (sottrazione del fondo)
- Smooth, Low-pass, High-pass (diminuire il rumore, sostituire il valore con la media dei valori vicini)
- Remove Line (sostituire la linea con il salto con la media dei valori vicini)
- Derivata (evidenziare il cambio di pendenza)
- Profilo (analizzare altezza e periodicità)
- Zoom (eliminare parti soggette a drift termico)



Dopo aver visualizzato il campione al microscopio siamo riusciti anche a calcolare il passo reticolare e il dato ottenuto da questa misurazione è sicuramente il più affidabile.

Passo reticolare: $2.33\mu\text{m}$

Altezza reticolare: 353 nm

