



POLITECNICO
MILANO 1863

SCUOLA DI INGEGNERIA
INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE

Ingegneria Fisica

Progetto Didattica Laboratoriale

14 Aprile 2021

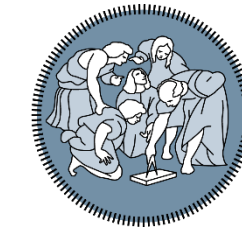
www.ccs-fisica.polimi.it



Obiettivi per Ingegneria Fisica

- ① Potenziamento delle attività laboratoriali, sia di tipo **sperimentale** che **informatico**
- ② **Azione rivolta alla totalità degli studenti** e si propone di consolidare alcune competenze di rilevanza strategica per la formazione dell'Ingegnere Fisico
 - (i) capacità di **simulare problemi fisici realistici** attraverso l'impiego di strumenti di calcolo numerico specializzati
 - (ii) sviluppo di una **sensibilità sperimentale** evoluta attraverso un'esperienza sul campo nell'utilizzo di apparati di misura complessi
- ③ Intervento focalizzato sulla LM, ma prevede anche un potenziamento delle attività laboratoriali propedeutiche al 3° anno della LT

Progetto didattica laboratoriale

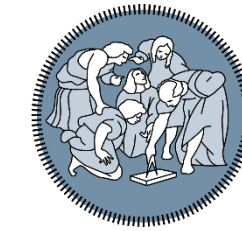


POLITECNICO
MILANO 1863

a.a. 2020/2021

- ✳ ***Advanced micro- and nanofabrication technologies*** (5 CFU) Sem. 1
Potenziamento del **lab. sperimentale** (da 2 h di visita del precedente a.a. a 10 h)
- ✳ ***Electron and scanning probe microscopy*** (5 CFU) Sem. 1
Introduzione di un **lab. informatico** (6 h) e di un **lab. sperimentale** (4 h)
- ✳ ***Computer-assisted optical system design*** (5 CFU) Sem. 2
Potenziamento **lab. informatico** (30 h)
- ✳ ***Nanomagnetism and spintronics*** (5 CFU) Sem. 1
Introduzione di un **lab. informatico** (6 h) e di un **lab. sperimentale** (4 h)

Progetto didattica laboratoriale



POLITECNICO
MILANO 1863

a.a. 2021/2022

- ✳ **Nano-optics** (5 CFU) Sem. 2
Introduzione di un **lab. informatico** (10 h)
- ✳ **Micro-optics** (5 CFU) Sem. 2
Introduzione di un **lab. sperimentale** (8 h)
- ✳ **Optical Microscopy** (5 CFU) Sem. 1
Consolidamento attività **lab. sperimentale** presso Biosciences Imaging Facility (IBIS).
Introduzione di un **lab. di microscopia** ottica

Advanced micro- and nanofabrication technologies



POLITECNICO
MILANO 1863

Obiettivo: fabbricazione e test di un **sensore planare a effetto Hall** per la misura di campi magnetici

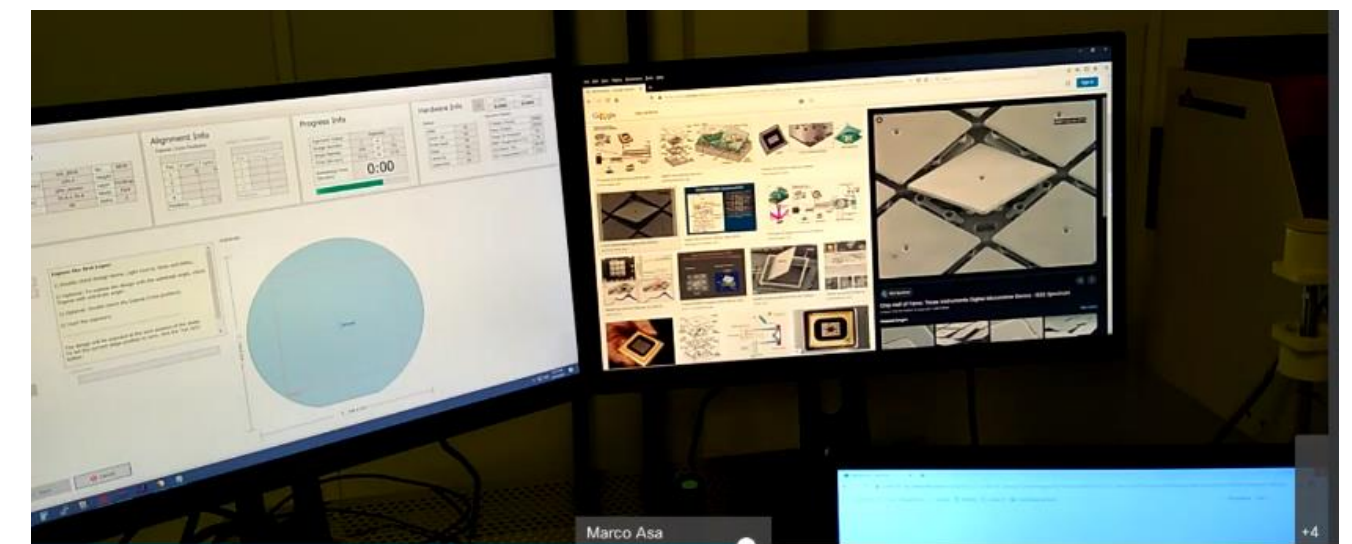
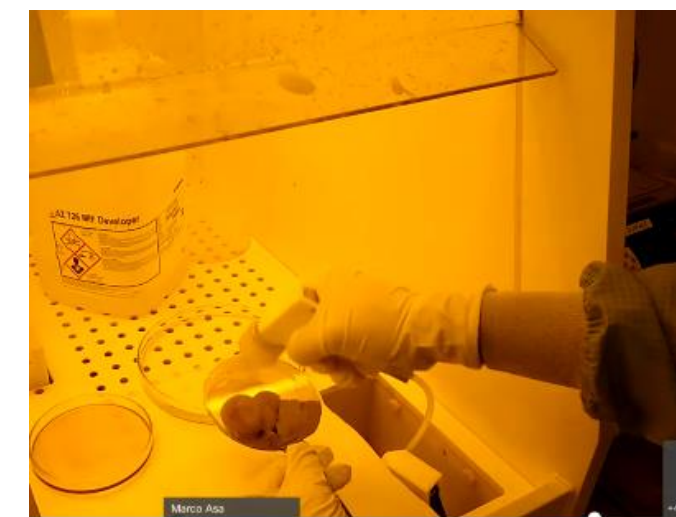
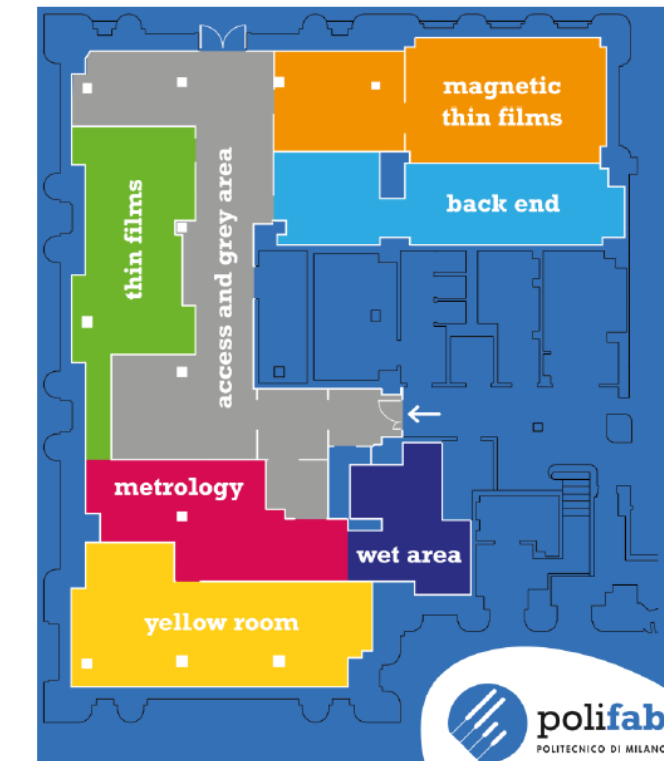
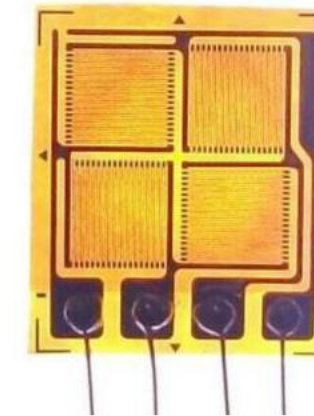
Laboratorio sperimentale: **Cleanroom@PoliFab** con partecipazione diretta degli studenti nel processo di fabbricazione e test finale

A causa delle restrizioni Covid, il processo è stato eseguito dal tutor in cleanroom e ripreso in tempo reale, in contatto live con gli studenti tramite Webex.

Impegno temporale: 10 h

Schema del laboratorio:

- ❁ **Introduzione al sensore di Hall e al processo di fabbricazione:** progettazione, definizione delle operazioni necessarie, realizzazione, validazione finale (1 h)
- ❁ **Visita alla cleanroom:** visita generale alla cleanroom, descrizione delle modalità di uso, funzionamento e accesso, presentazione generale della strumentazione disponibile e particolare delle macchine che verranno utilizzate nel seguito (1 h)
- ❁ **Deposizione dei materiali:** film sottili di NiFe e CrAu tramite Plasma Vapor Deposition (2 h)
- ❁ **Fabbricazione del sensore tramite litografia ottica:** spinner, mask aligner, etching chimico, ion milling (2 h)
- ❁ **Prototipazione del sensore e test di funzionamento:** misure di effetto Hall sul sensore tramite sistema di misure a 4 punte e integrazione in un chip (2 h)



Laboratorio di simulazione:

✳ Introduzione alle simulazioni di interazione dei fasci elettronici con la materia:

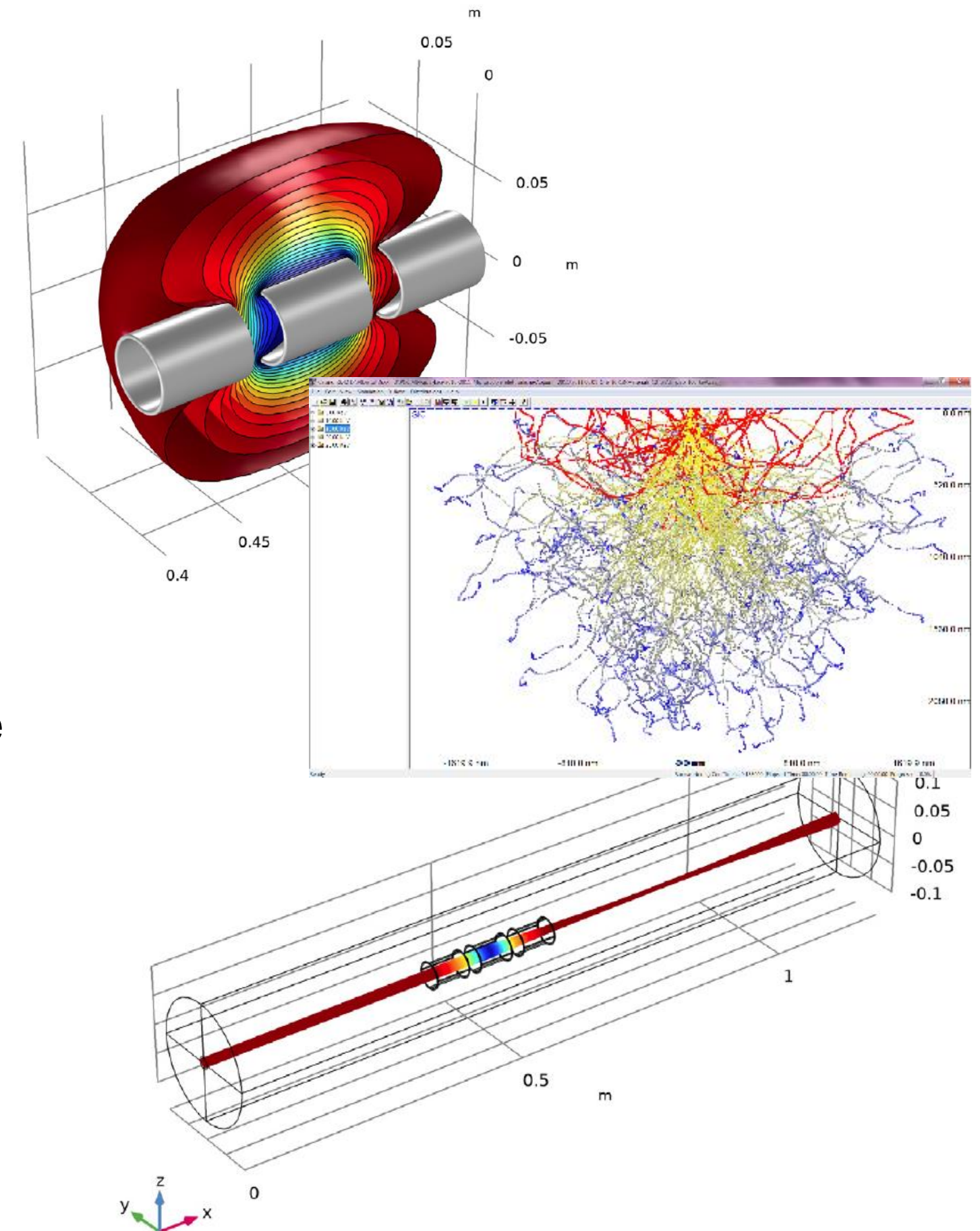
viene introdotta la simulazione numerica nell'ambiente Monte Carlo Simulation of electron trajectory in sOlid (CASINO, accesso libero) e mostrati alcuni esempi di applicazione per sistemi solidi amorfi uniformi e eterogenei. Agli studenti sono proposti alcuni casi da sviluppare autonomamente

✳ Introduzione alle simulazioni di ottica elettronica a raggi:

viene introdotto l'ambiente di simulazione Comsol e il modulo «Ray tracing». Viene condotta una simulazione interattiva su ottiche di base (lente di Einzel o lente magnetostatica: calcolo delle distribuzioni di campo, ray tracing, determinazione dei parametri significativi e aberrazioni) e proposte variazioni sul tema che gli studenti possono sviluppare in autonomia e discutere facoltativamente all'esame

Impegno temporale: 6 ore

Contour: Electric potential (V) Isosurface: Electric potential (V) Surface: 1 (1)



Electron and scanning probe microscopy



POLITECNICO
MILANO 1863

Laboratori sperimentali:

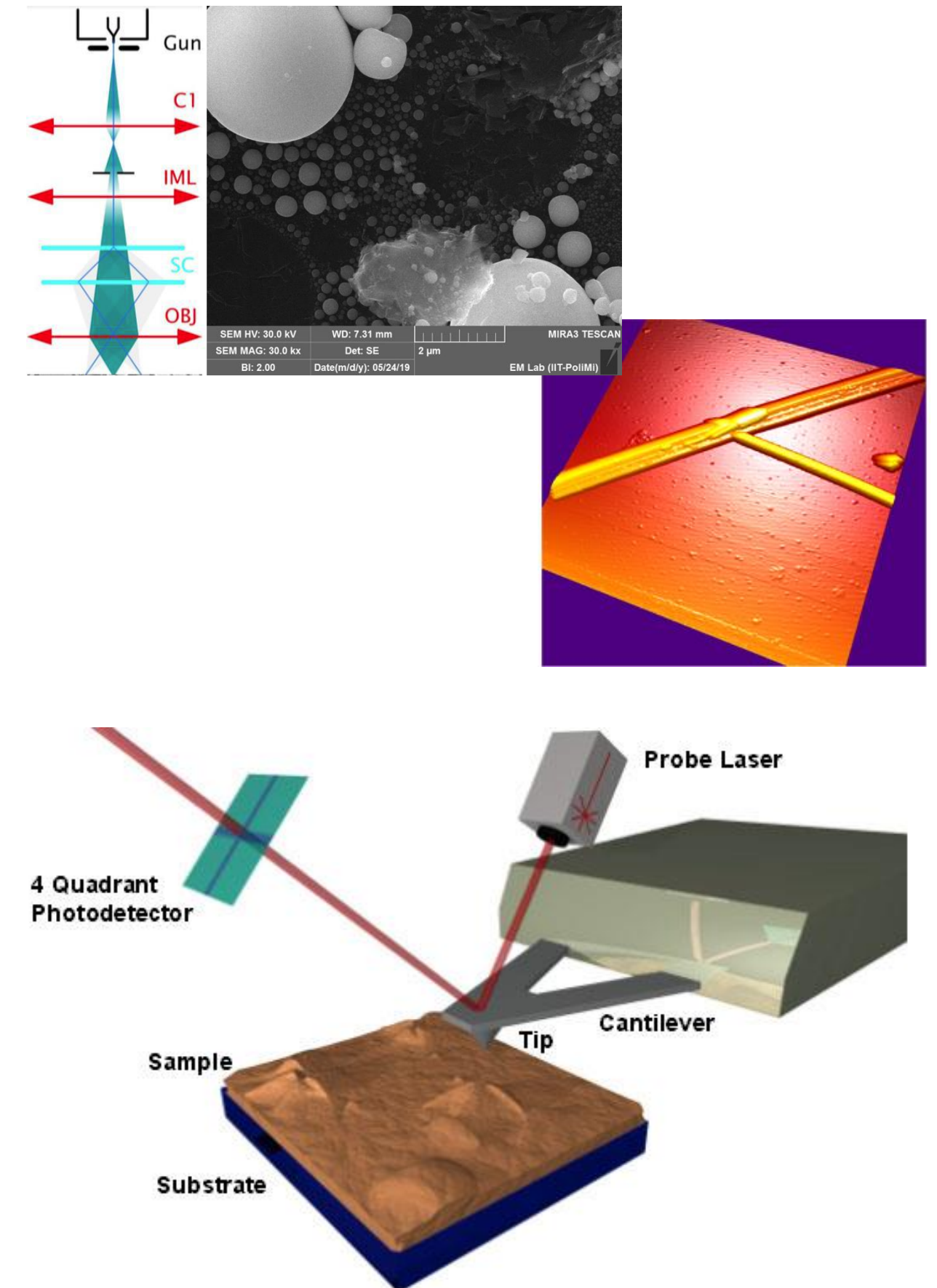
✿ Scanning Auger Electron Microscopy:

gli studenti vengono guidati alla presa di immagine tramite microscopio a scansione elettronica (SEM) (regolazione della sorgente elettronica e della colonna ottica, presa di immagine a differenti distanze di lavoro, contrasto da rivelazione di elettroni secondari, corrente assorbita e elettroni retrodiffusi) e analisi spettro-microscopica tramite rivelazione di elettroni Auger.

✿ Scanning Probe Microscopy:

gli studenti vengono guidati alla presa di immagini tramite microscopie a sonda ad effetto tunnel (STM) e a forza atomica (AFM). In particolare, viene effettuato l'approccio della sonda di scansione in modalità statica a contatto e dinamica tramite modulazione di ampiezza.

Impegno temporale: 4+4 ore



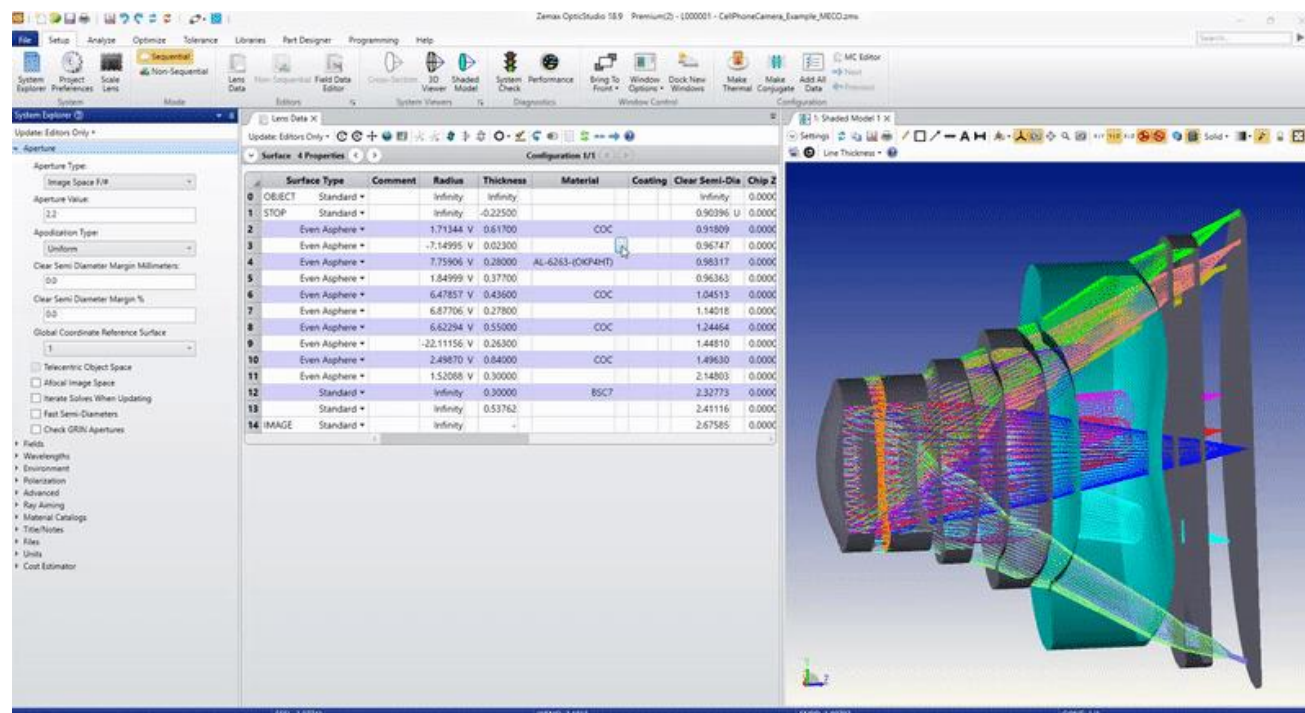
Computer assisted optical system design



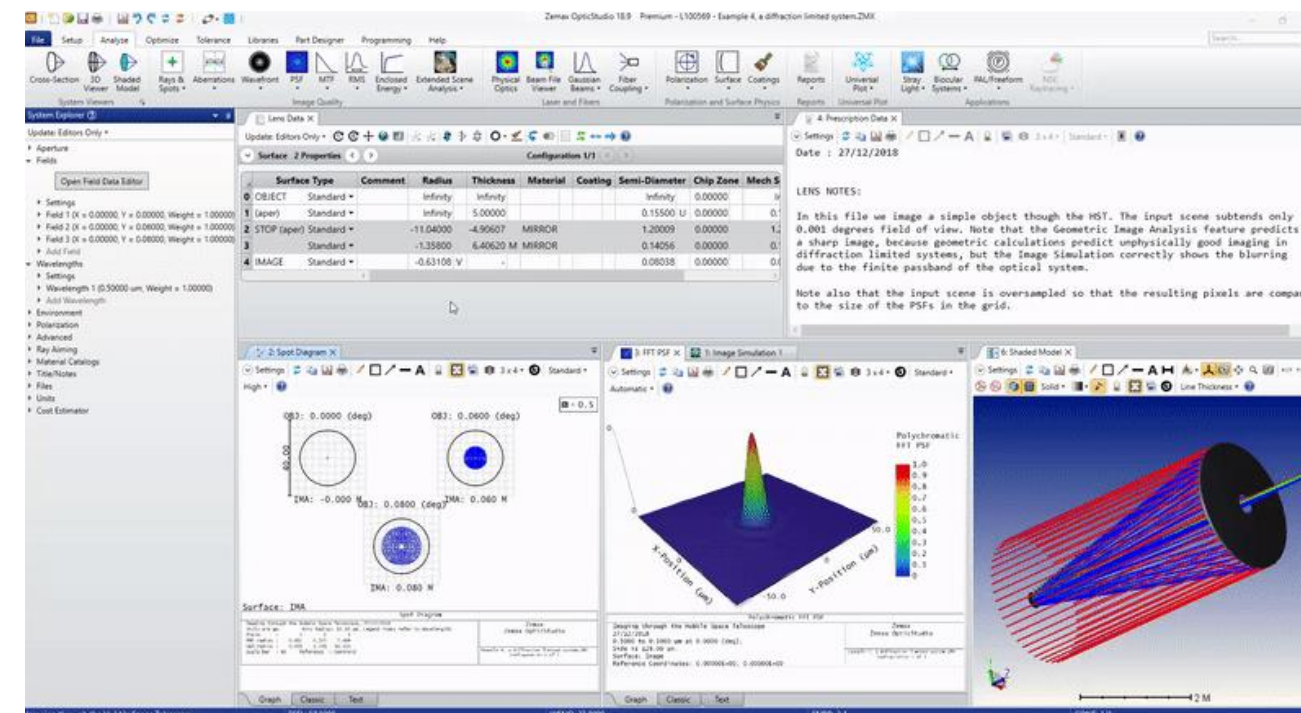
POLITECNICO
MILANO 1863

- Il laboratorio sfrutta il pacchetto Zemax OpticStudio^(R) sfruttando il *Global Academic Program* che permette agli studenti dei corsi di *optical design* di installare gratuitamente una copia completa del *software*.
- Lo studente non solo utilizza il simulatore come ausilio allo studio della teoria, ma impara ad usarlo come strumento di design apprendendo le basi per poter effettuare il *set-up*, l'analisi e l'ottimizzazione di un sistema ottico mediante l'impiego di un calcolatore.
- 30 ore del corso vengono svolte con l'impiego del calcolatore e del *software* di simulazione ottica, di queste più di due terzi sono dedicate all'analisi di **casi reali** così che lo studente possa confrontarsi con le problematiche di progettazione ottica.

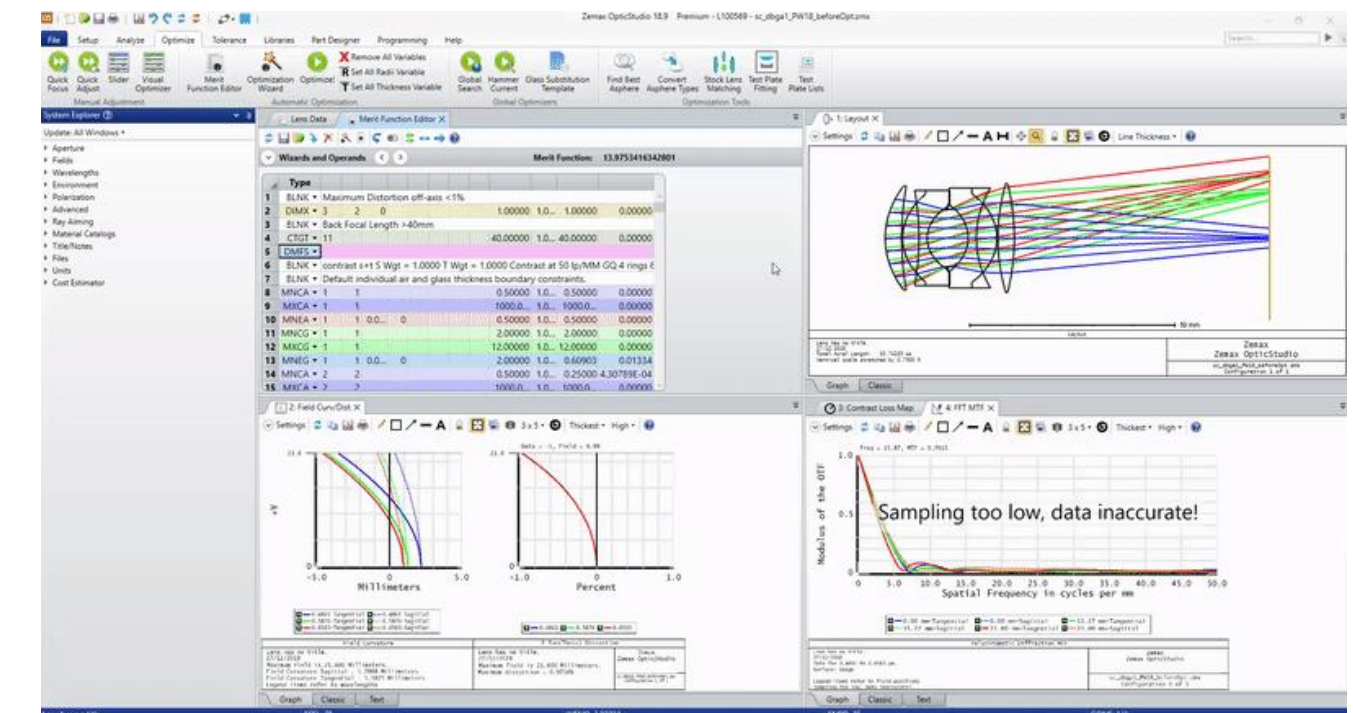
Set-up



Analisi



Ottimizzazione





Laboratorio di simulazioni:

- ✿ Apprendimento e utilizzo di un software per la simulazione micromagnetica (Object Oriented MicroMagnetic Framework, OOMMF) di micro e nanostrutture trattate nel corso. 3 lezioni

Follow-up: progetto che può sostituire la prova scritta

Laboratorio sperimentale:

- ✿ 2 esperimenti di magnetometria mediante Vibrating Sample Magnetometer e micro-MOKE, oltre che di magnetoresistenza. Misure su dispositivi spintronici.
- ✿ Acquisito materiale (micromanipolatori e microscopio con camera USB) per il montaggio di una stazione indipendente per misure di magnetoresistenza

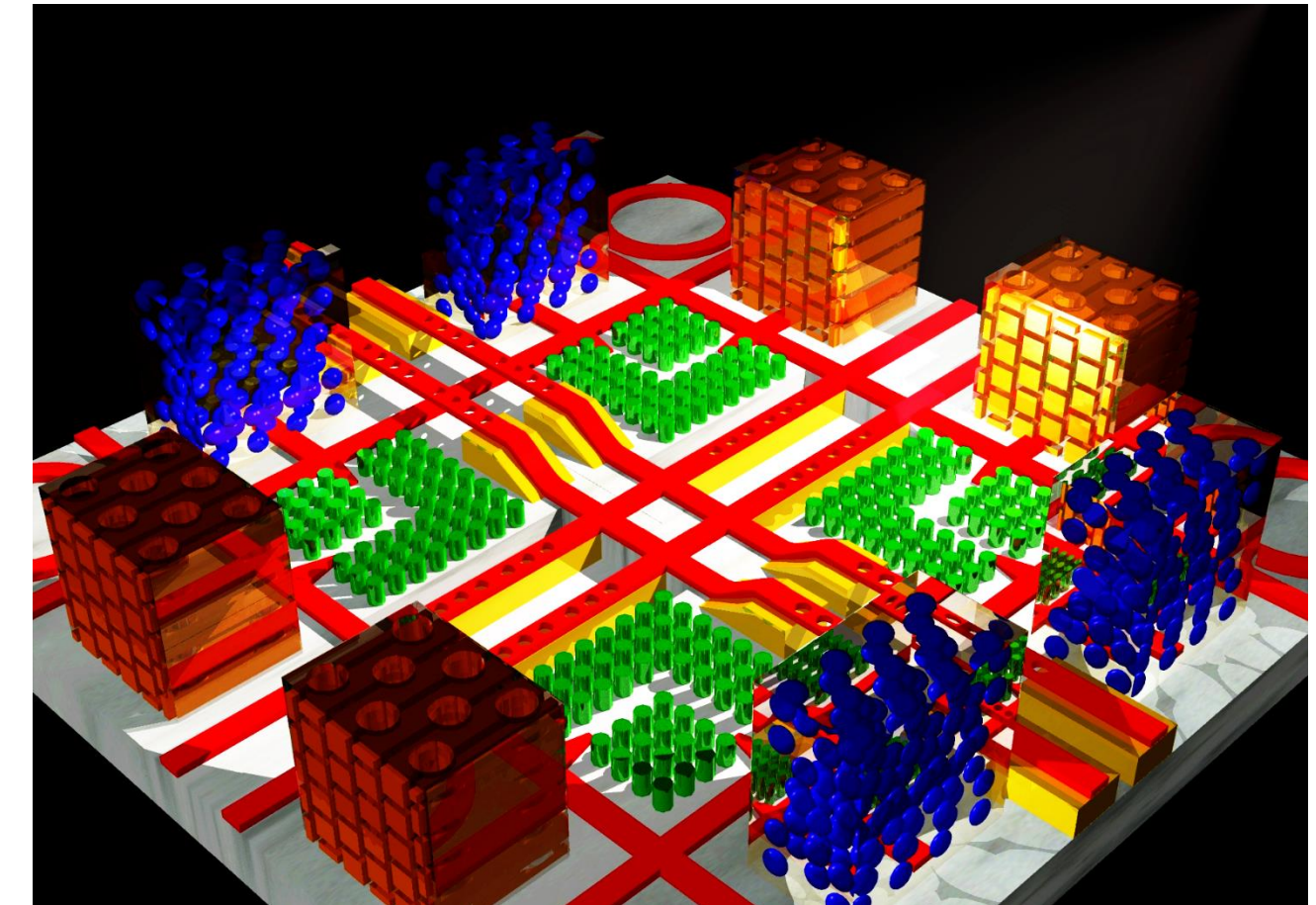
Argomenti del corso:

- ⊛ Photonic crystals
- ⊛ Plasmonic structures
- ⊛ Metamaterials

Laboratorio di simulazioni

- ⊛ Training on Comsol Multiphysics - Wave Optics tool
- ⊛ Numerical analysis of photonic phenomena at the nanoscale (resonant scattering from plasmonic nanoantennas, guiding light beyond diffraction limit, negative refraction in metamaterials, etc.)

Impegno temporale: 10 ore





Laboratorio sperimentale:

Ottica dei fasci gaussiani: misura del profilo di intensità trasversale di un fascio laser (oscillatore ad Erblio) a diverse distanze dalla sorgente

Accoppiamento in fibra ottica: in funzione delle proprietà spaziali del fascio laser verranno scelte ed installate ottiche adatte per accoppiarlo con elevata efficienza in una fibra ottica standard per TLC, a singolo modo ad una lunghezza d'onda di $1.55 \mu\text{m}$. Si procederà poi all'accoppiamento in fibra attraverso un opportuno set di traslatori meccanici.

Caratterizzazione spettrale e temporale degli impulsi laser (0.1-1 ps): La misura con autocorrelatore permetterà agli studenti di familiarizzare con l'uso di un oscilloscopio per la visualizzazione, la calibrazione ed il salvataggio dell'autocorrelazione.

Stima della dispersione della fibra ottica

Attività informatica di supporto: sviluppo di programmi di analisi dei risultati delle misure

Impegno temporale: 8 ore

Optical microscopy (Biophotonics)

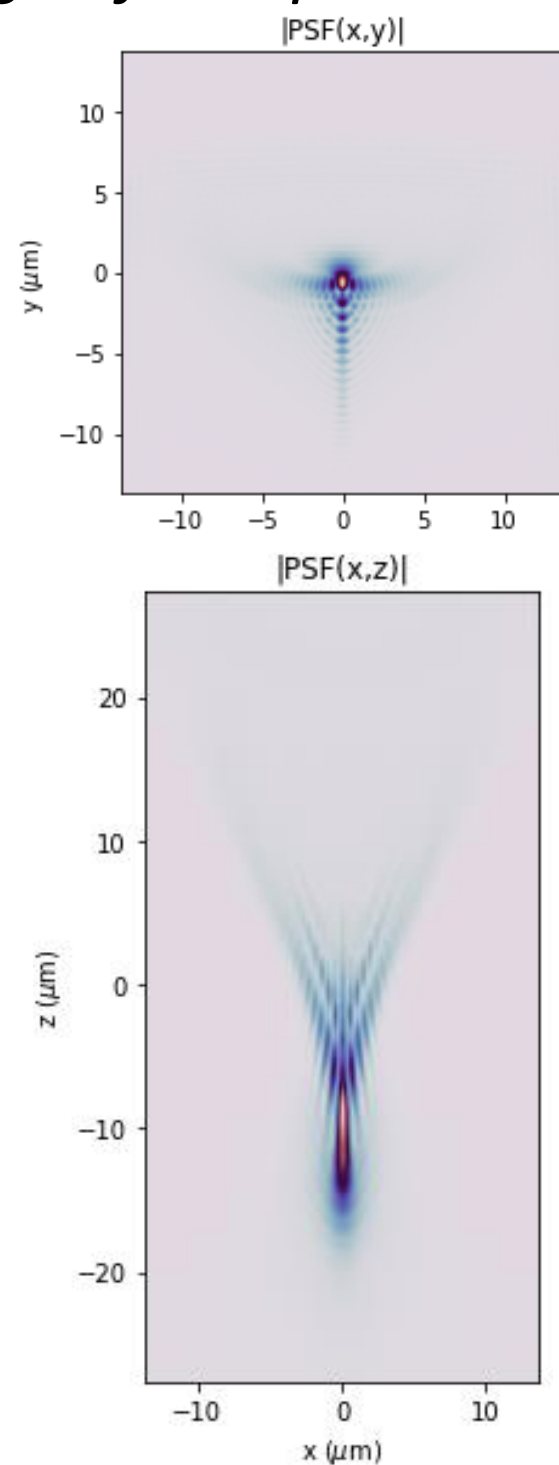


POLITECNICO
MILANO 1863

Laboratorio di simulazioni

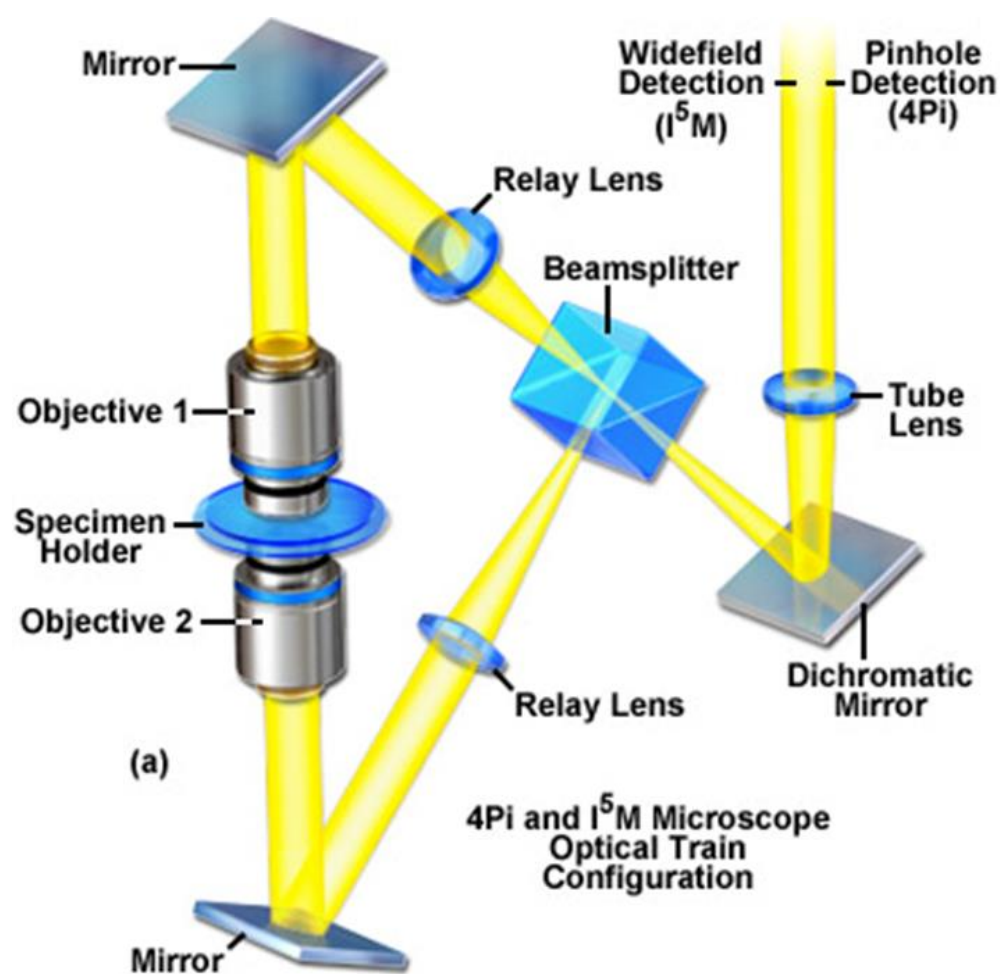
Simulazione di diffrazione in un sistema di imaging ottico con software Python

Design of an optical imaging system

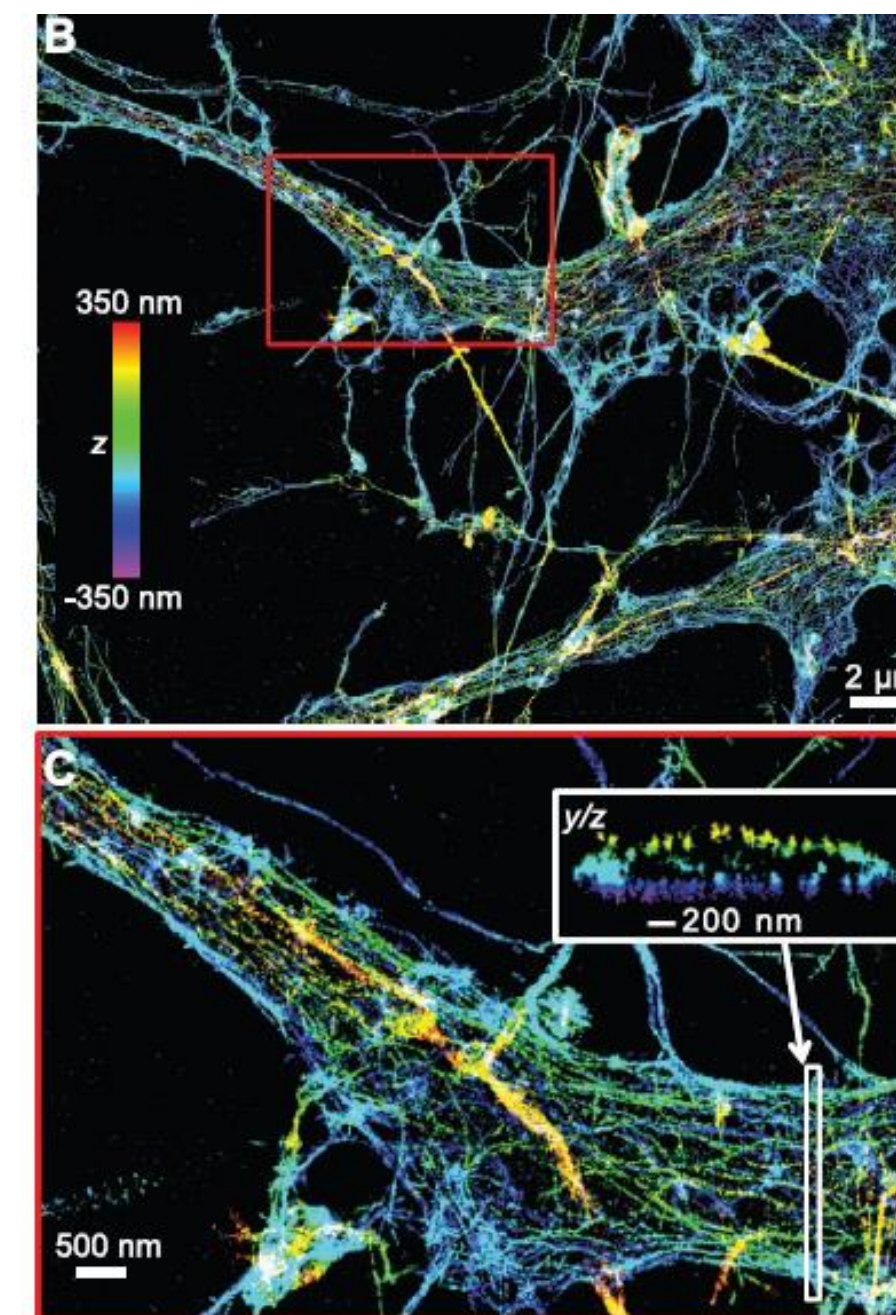


Laboratorio sperimentale

Hardware implementation of an optical microscope



Imaging down to nanometric resolution





POLITECNICO
MILANO 1863