

# “Antenne & Matching”

*SIMP KickOff Meeting*

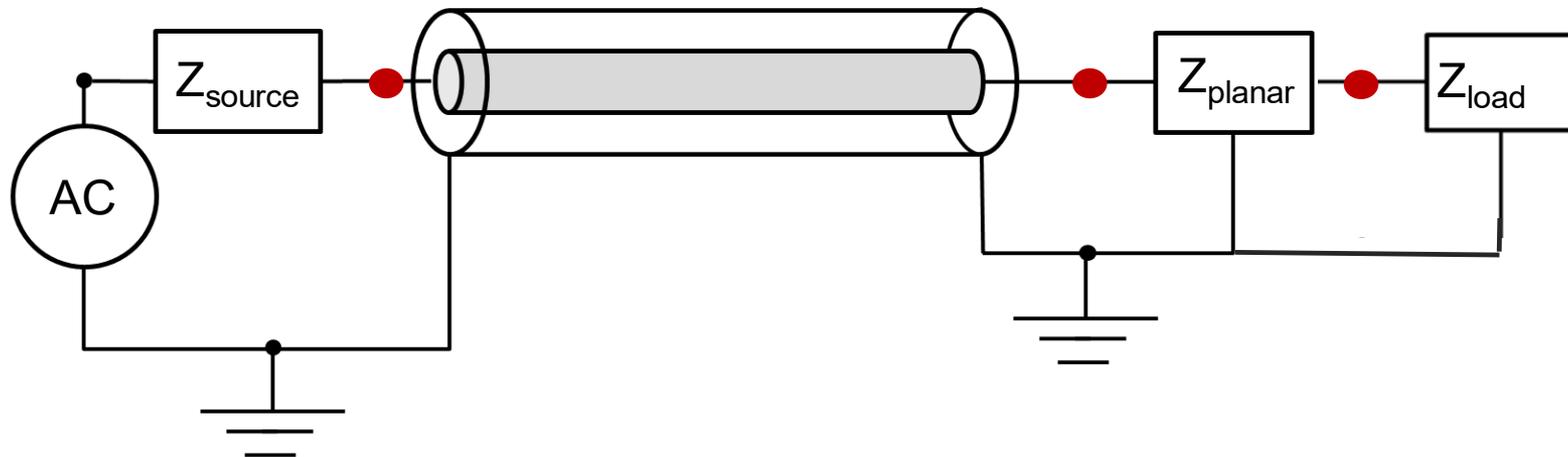
*29/11/2018*

*LNF*

*Gianluca Lamanna (INFN & Univ.Pisa)*



- Vogliamo vedere il singolo fotone!
- Tipicamente il segnale è emesso in una cavità (ma per applicazioni «generali» potrebbe anche non esserlo)
- Il trasporto del segnale dalla cavità al device deve:
  - Essere senza perdite → critico per TES
  - Non introdurre noise → critico per JJ
- Un buon matching in tutte le discontinuità garantisce:
  - Il massimo trasferimento di potenza
  - Il matching sul load migliora il rapporto segnale fondo
- Il device «vive» in 2D mentre il segnale è tipicamente emesso in 3D



## • Possibili schemi

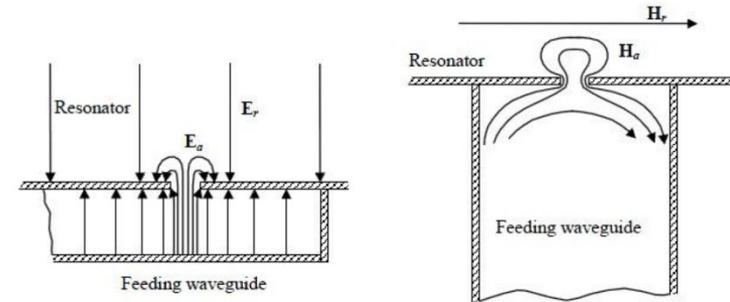
- Segnale prelevato dalla cavità con un coassiale (accoppiamento TE/TM – TEM) - oppure direttamente per accoppiamento capacitivo (ad alta frequenza)
- Accoppiamento da coassiale ( $50 \Omega$ ) a guida planare – oppure direttamente in guida d'onda
- Impianto del device direttamente sulla guida planare (o su apposito piano nella guida d'onda) con matching di impedenza

# Dalla cavità al coassiale

## Tre modi per prelevare il segnale:

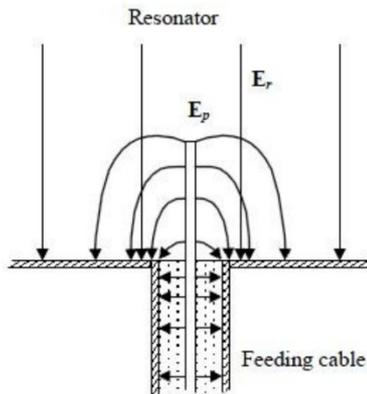
### Coupling holes

- L'accoppiamento va con  $R^3$  del foro
- Il foro va fatto nella posizione giusta, in base al modo che si vuole propagare



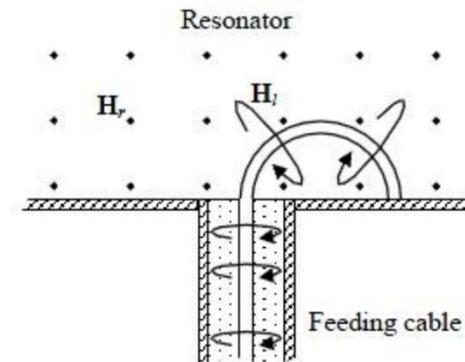
### Coupling probes (TE)

- Si estende il centrale di un coassiale all'interno della cavità, nei punti del massimo del campo E
- La lunghezza deve essere di circa  $l/4$  per massimizzare l'accoppiamento
- Si possono sopprimere modi non voluti con probe addizionali (messe in punti dove ci sono gli zeri dei modi no voluti)



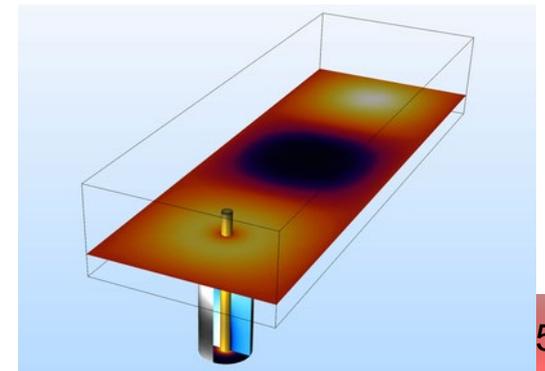
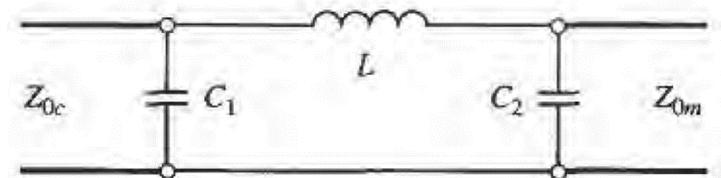
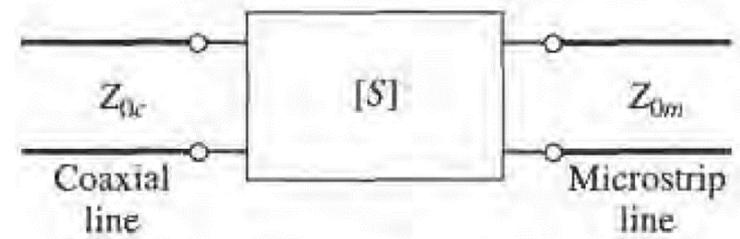
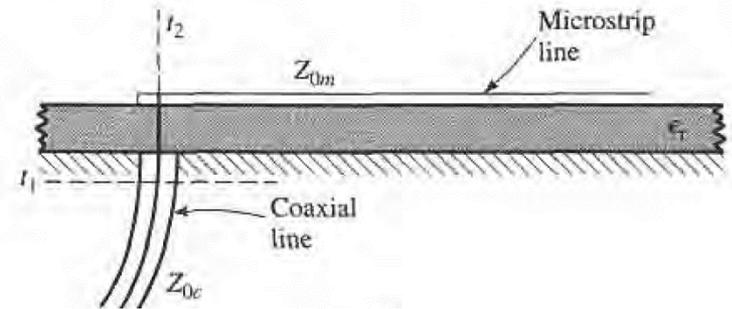
### Coupling loops (TM)

- Il centrale di un coassiale è chiuso sulla parete della cavità.
- Loop piccolo rispetto alla lunghezza d'onda



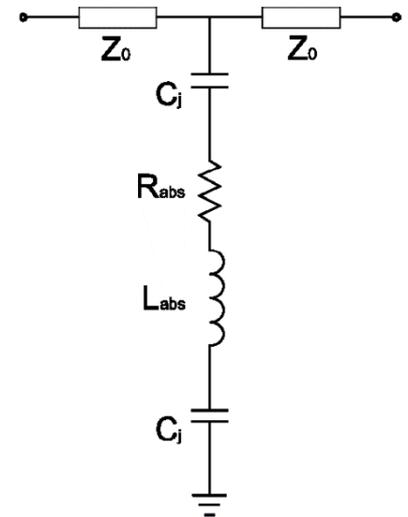
# Da coassiale a planare

- La congiunzione tra le due linee di trasmissione genera effetti di reattanze spurie
- La discontinuità può essere trattata con un modello a 2 porte
- Per un'impedenza puramente reattiva l'accoppiamento può essere adattato con elementi discreti
- Per segnali monocromatici TEM si può anche usare un trasformatore a  $\lambda/4$
- L'accoppiamento dipende dai modi eccitabili nella linea di trasmissione
- Con un po' di attenzione l'accoppiamento può essere sopracritico



# Quale linea di trasmissione planare?

- Esistono molte tipi di linee di trasmissione planare:
  - Microstrip, stripline, slotline, coplanar waveguide, covered microstrip, finline, ...
- I nostri constraints:
  - Eventuale frequenza di cutoff lontana dalla frequenza del segnale
  - Return Loss nell'accoppiamento almeno -30dB o più
  - Impedenza di ingresso dei device più alta di  $50 \Omega$
  - Segnale a banda stretta (anche molto stretta, Q cavità molto alto)
  - Tenere conto che il carico è criogenico (impedenza cinetica, variazione di resistività, variazione di reattanza,...)
  - Facile da costruire sullo stesso substrato del device



- Con componenti discreti
  - Si può fare solo se la lunghezza dei componenti è  $l < \lambda/10$  (nel nostro caso dell'ordine di 0.1 mm)
  - I valori di L e C (soprattutto) potrebbero essere difficili da realizzare praticamente
- Trasformatore a  $\lambda/4$ 
  - Trasformatore monosezione è a banda molto stretta → perdite alte se frequenza un po' sbagliata
  - In linea di principio può matchare solo carichi reali → comunque un'impedenza complessa può essere trasformata in un carico reale, con una sezione di linea di trasmissione oppure con uno stub (e questo fa cambiare la banda del trasformatore)

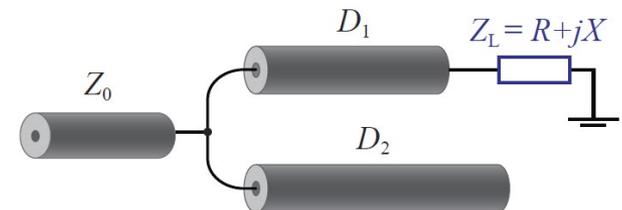
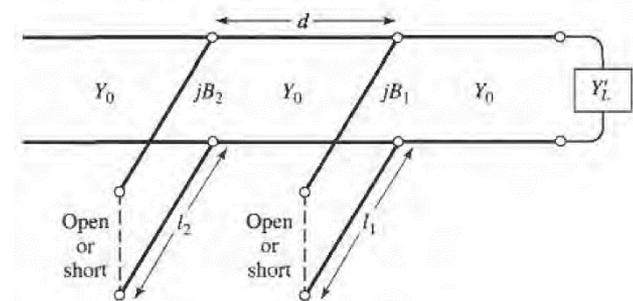
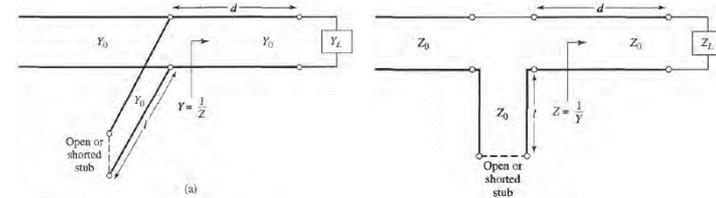
# Matching possibili (2)

## • Single and Double stub tuner

- Si aggiunge un pezzo di linea di trasmissione (in serie o in parallelo) in modo da modificare l'impedenza vista dal carico
- Si mettono due stubs se si vuole evitare la dipendenza dalla distanza dallo stub al carico (in particolare se è necessario tunare il matching)

$$Z_{in} = Z_0 \left[ \tanh(\gamma D_2) + \frac{Z_0 + Z_L \tanh(\gamma D_1)}{Z_L + Z_0 \tanh(\gamma D_1)} \right]^{-1}$$

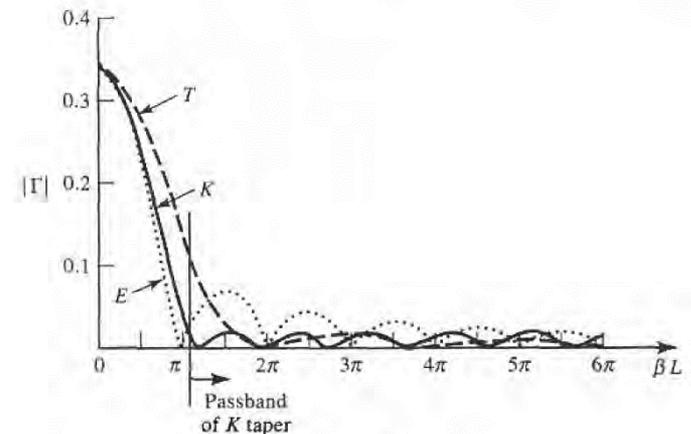
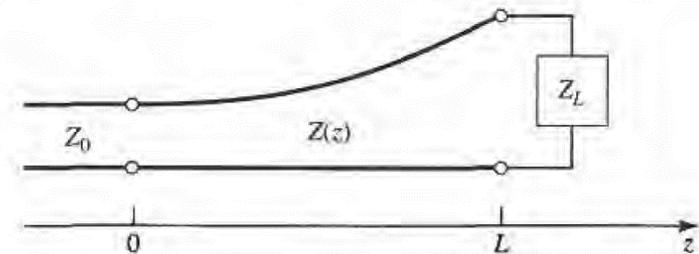
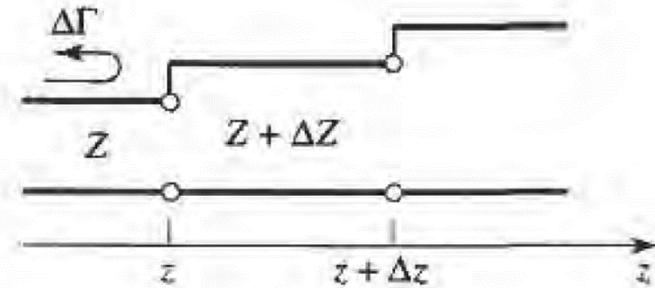
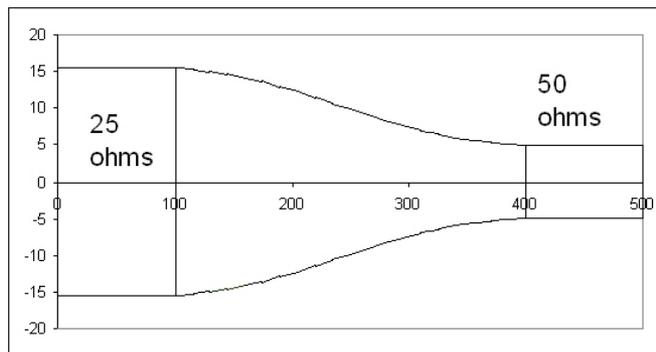
( $=Z_0$  alla frequenza di matching)



# Matching Possibili (3)

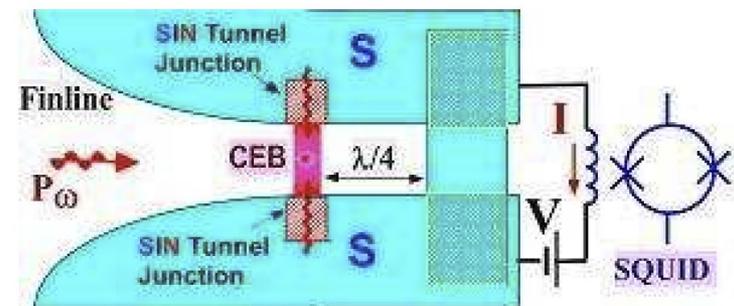
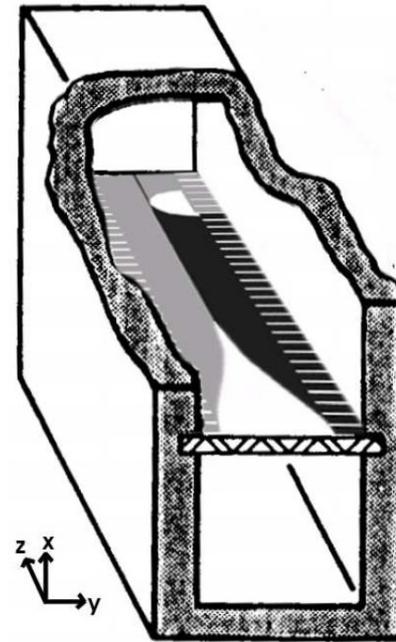
## Tapered line

- Invece di usare trasformatori a multisezione (binomiali o di Chebichev) si può usare una funzione continua
- Si possono studiare varie forme di  $Z(z)$
- Le più comuni sono
  - Esponenziale
  - Triangolare
  - Klopfenstein
- In tutti i casi il coeff. di riflessione è zero solo per specifiche lunghezze della linea  $\rightarrow$  anche in questo caso la scelta dei parametri geometrici è cruciale per il matching perfetto



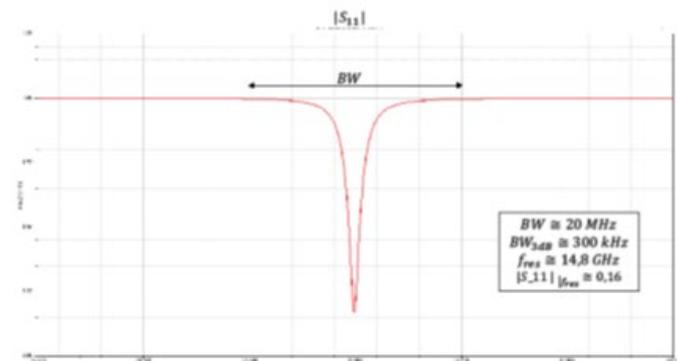
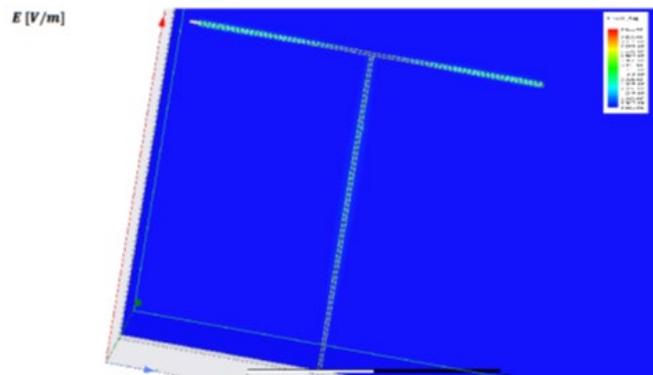
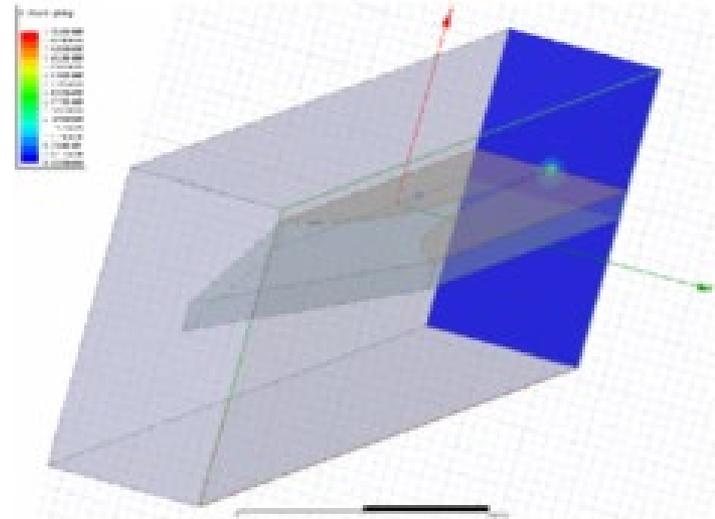
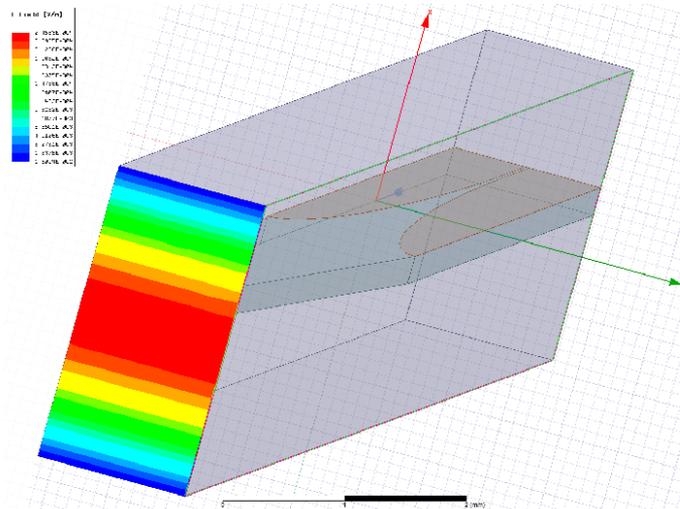
# Matching Possibili (4)

- Un'interessante evoluzione del matching con la tapered line è la finline
  - Unione tra un guida d'onda e una slotline sul piano longitudinale
  - Unisce le piccole perdite di una guida d'onda (oltre la possibilità di eliminare contributi da modi evanescenti) alla semplicità di un linea di trasmissione planare su cui è fatto un matching di tipo tapered line
  - Esempi in letteratura per applicazioni a noi affini → fino a 700 GHz



# Simulazioni LNF

- Attività di simulazione con Ansys HFSS iniziata a LNF su strutture finline e stub tuner

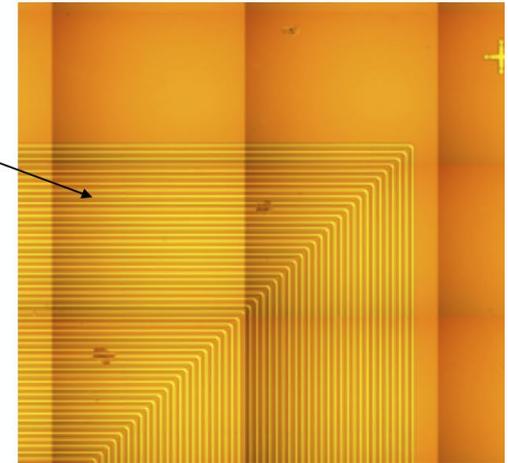
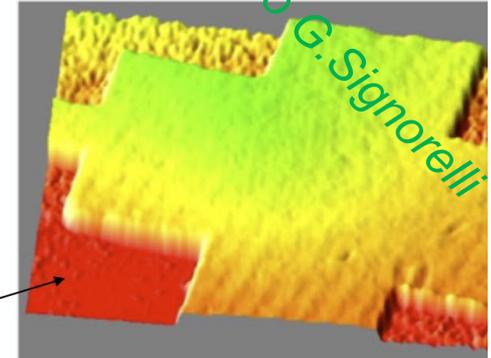


- Installazione Ansys
  - Licenza disponibile CCR (per le sezione che hanno contribuito... Pisa ok)
- Punto di partenza le simulazioni LNF:
  - Studio dei doppi stub tuner, possibilità di tuning in stub aperti e chiusi
  - Ottimizzazione del disegno della finline per alta frequenze
  - Studio del matching coassiale-planare
- Realizzazione delle strutture simulate con mockup al posto dei device
- Inizio definizione test a caldo e a freddo (350 mK)

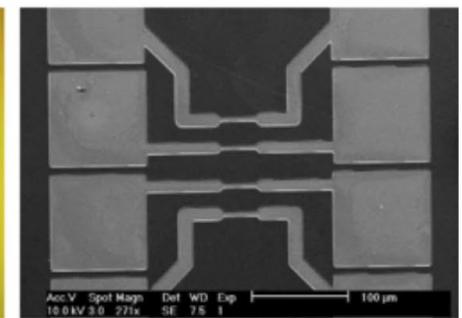
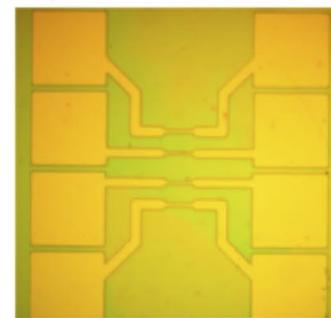
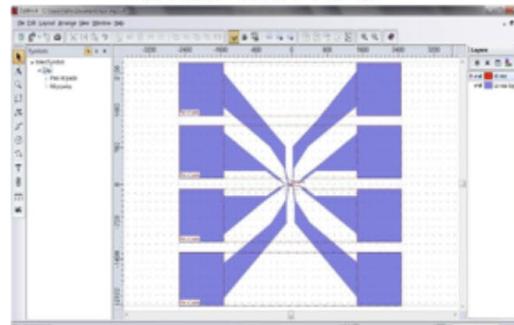
## Macchina per litografia

Thx to G. Signorelli

- DMO Microwriter Baby+
  - up to 4" wafer (150 mm)
  - 1  $\mu\text{m}$  and 5  $\mu\text{m}$  resolution
  - 385 nm wavelength useful for a wide range of resist
  - up to 20  $\text{mm}^2/\text{min}$  or 120  $\text{mm}^2/\text{min}$  depending on resolution
  - combine different resolutions in the same exposure
  - can be used for optical profilometry with 300nm resolution
  - (optional) virtual mask aligner option
- Installed and under use in INFN/PI cleanrooms
  - production of 50-turns, 5  $\mu\text{m}$  wide, 5 mm x 5 mm Niobium inductors

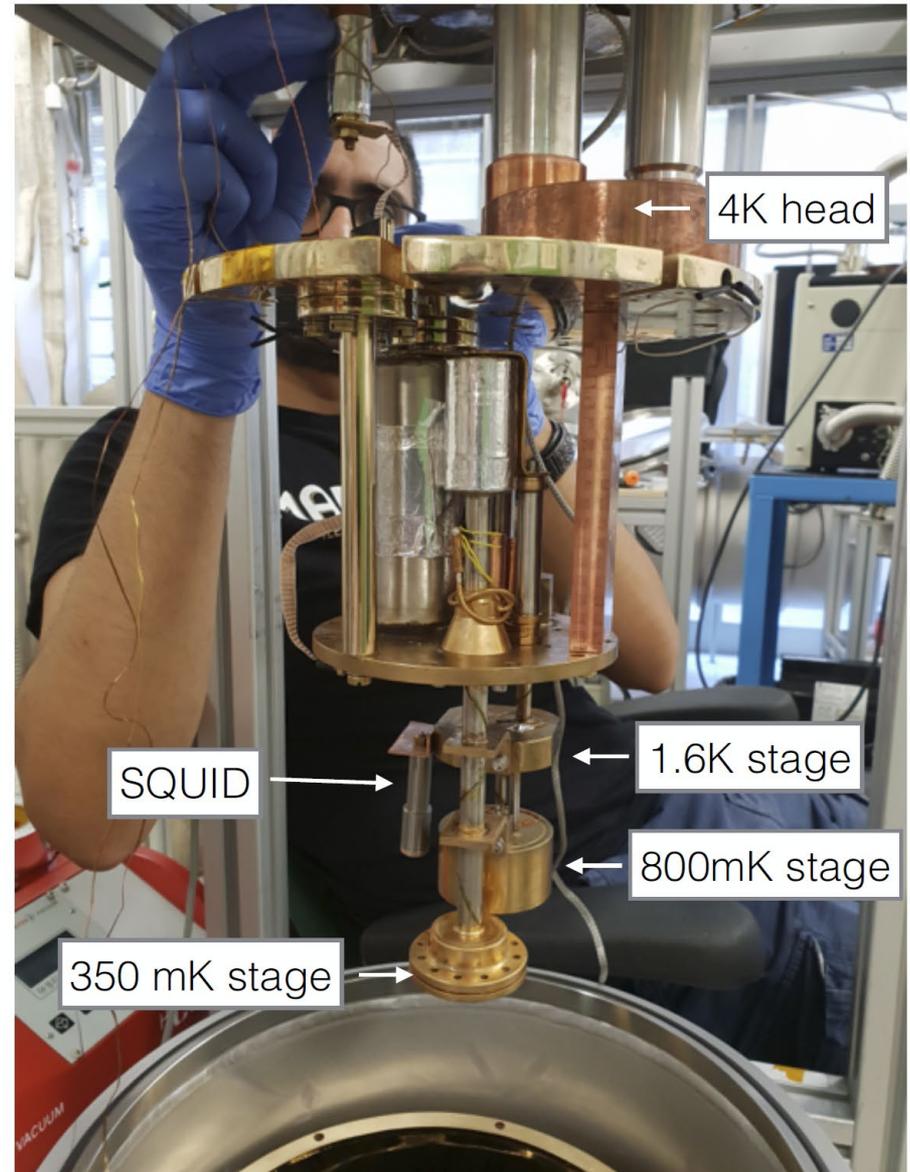
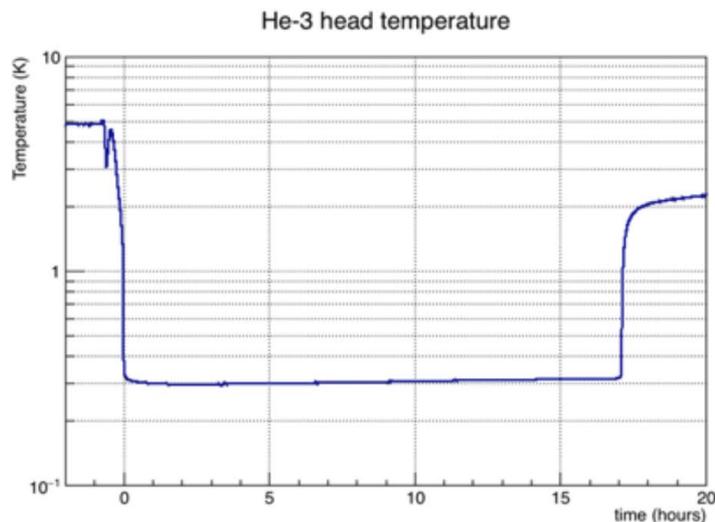


Draw with CAD → Expose and realize → Observe and measure



## Criostato ad adsorbimento $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$

- Assemblato nei laboratori INFN/PI
  - Custom cryostat design
  - Sumitomo 0.9W pulse-tube cryocooler per il primo stadio a 4K
  - SimonChase “commercial” adsorption cooler
    - il secondo stadio pompa sull’elio-4  $\Rightarrow$  800 mK
    - il terzo stadio pompa sull’elio-3  $\Rightarrow$  280 mK
    - circa 20  $\mu\text{W}$  di potenza refrigerante per 15÷18 ore
- Attualmente in uso per l’esperimento LSPE
  - test di film superconduttori (Nb, Ti, Ti/Au)
  - test di TES (transition-edge sensors)



- Per iniziare l'attività di disegno ci serve sapere l'impedenza dei device e la frequenza di lavoro e qualunque altra informazione che possa indicare possibili variazioni con la temperatura o altro.