

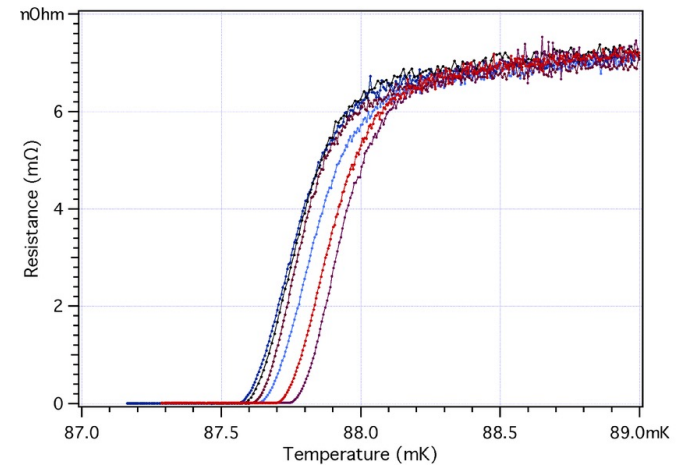
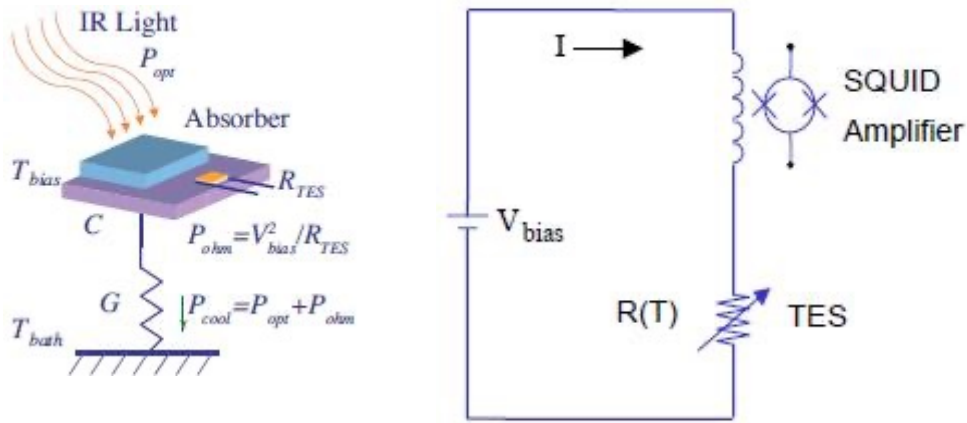
Bolometri superconduttivi TES – Transition Edge Sensor



Un TES è costituito da un film sottile superconduttivo su un sottile strato di metallo. Il tutto agisce come un unico superconduttore con temperatura critica determinata dalla combinazione dei componenti utilizzati. Molibdeno e rame sono i materiali comunemente usati, ma recentemente si è avuto grande sviluppo dell’NbN

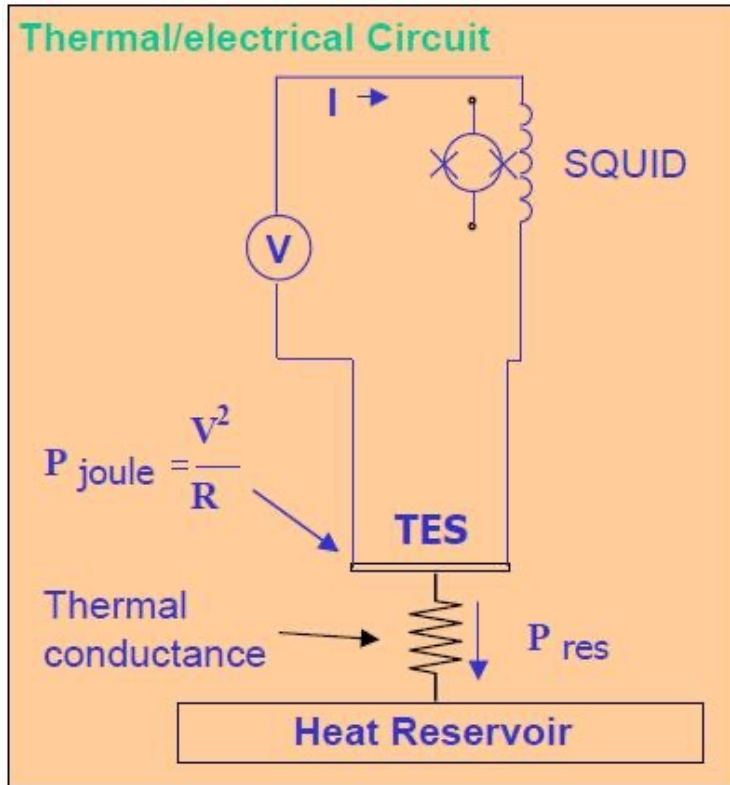
- I TES da alcuni anni hanno preso il posto dei bolometri al Germanio, sono più semplici e adatti per grandi arrays
- Realizzati con tecniche “thin film deposition” e “optical lithography”
- Necessaria T molto bassa $< 0.1\text{K}$
- Si realizzano ormai array con molte migliaia di TES/pixel, che consentono configurazioni “simil CCD”

Bolometri superconduttivi TES – Transition Edge Sensor



- Il dispositivo è alimentato con un generatore di tensione (tensione di bias) e mantenuto alla T di transizione (<0.2 K), con conseguenti forti variazioni della R per piccole variazioni della T
- Il riscaldamento dovuto alla radiazione si traduce in una variazione di corrente che viene rilevata e resa disponibile tramite SQUID – Superconducting Quantum Interference Device
- Si realizzano configurazioni multiplexer tramite gli SQUID, integrati sullo stesso piano del chip rilevatore, con semplificazione del cosiddetto “read-out” dei segnali, un aspetto critico per grandi array
- Ogni TES è associato ad un proprio circuito risonante. 64/128 di questi vengono letti attraverso un singolo SQUID

I TES hanno feedback elettro-termico negativo



- T_{tes} aumenta $\rightarrow R_{\text{tes}}$ aumenta \rightarrow diminuisce $P_{\text{joule}} \rightarrow T_{\text{tes}}$ diminuisce
- Punto di funzionamento intrinsecamente stabile
- Si evitano escursioni termiche che con altre tecnologie potevano porre dei limiti sui tempi di operatività
- Si facilita la costruzione di arrays, poiché sono meglio tollerate piccole differenze tra i vari pixel

Un' applicazione recente dei TES – SCUBA



James Clerk Maxwell Telescope
Riflettore da 15 m di diametro
276 pannelli di alluminio

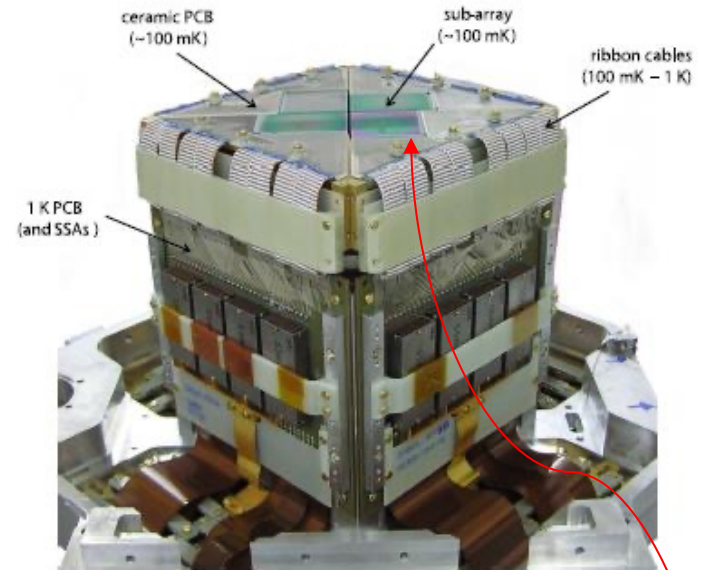
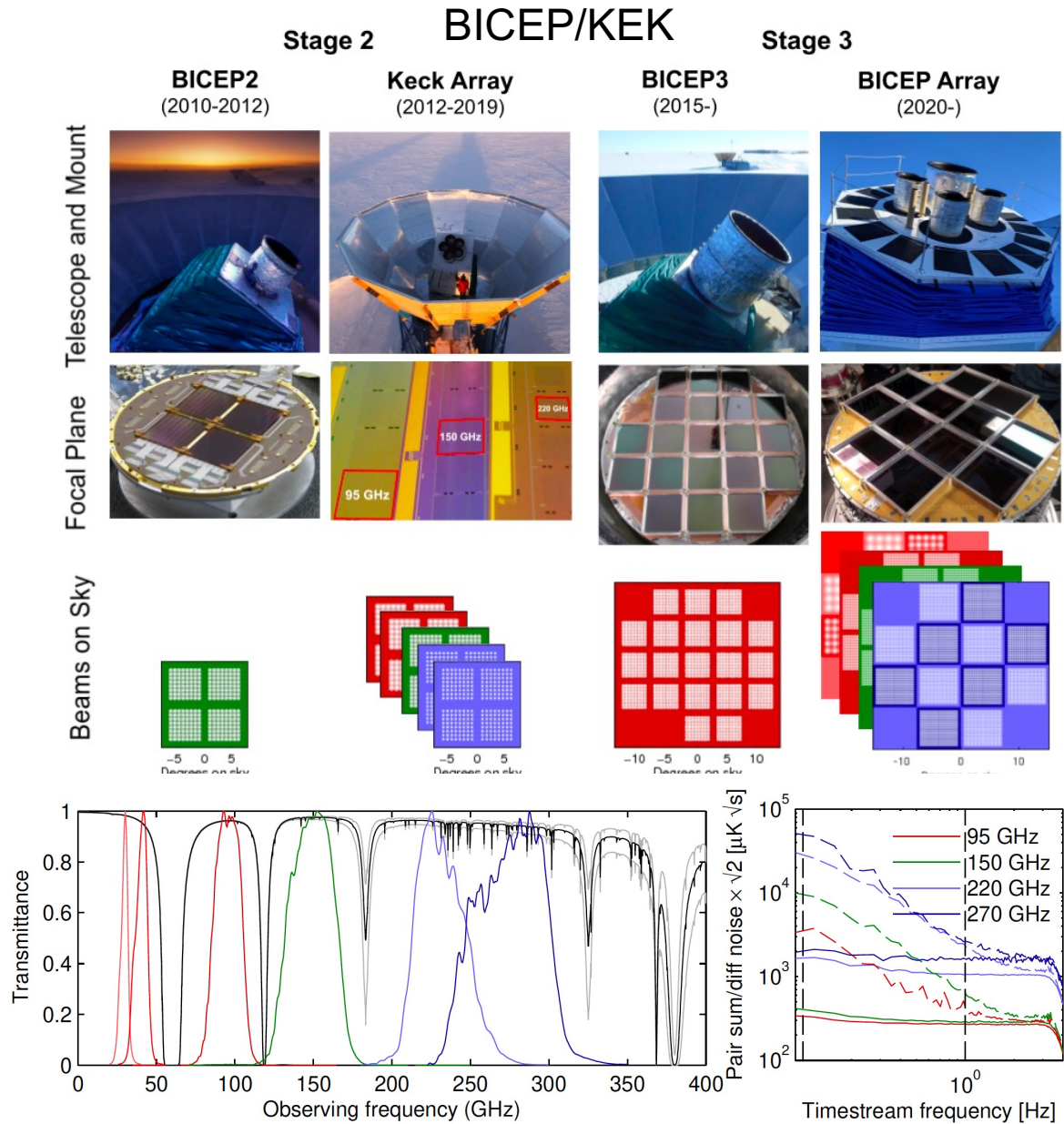


Figure 8. Photograph of four sub-array modules folded into position in a focal plane unit. The principal components are highlighted.

- SCUBA 2 è una camera da 10000 pixel (TES) su due piani focali
- Uno dei due piani focali con 4 sub-arrays da 32x40 MoCu TES (5129 pixel)
- I due piani focali operano rispettivamente a 850 μm e 450 μm simultaneamente con fov di 43' quadrati

<https://www.eaobservatory.org/jcmt/instrumentation/continuum/scuba-2/>

Strumentazione Astronomica: Bolometri



The instrument: the site

Dark Sector
Lab: Amundsen-
Scott Base

<https://www.cfa.harvard.edu/CMB/bicep2/>

BICEP 2

South Pole
Telescope



The instrument: the site



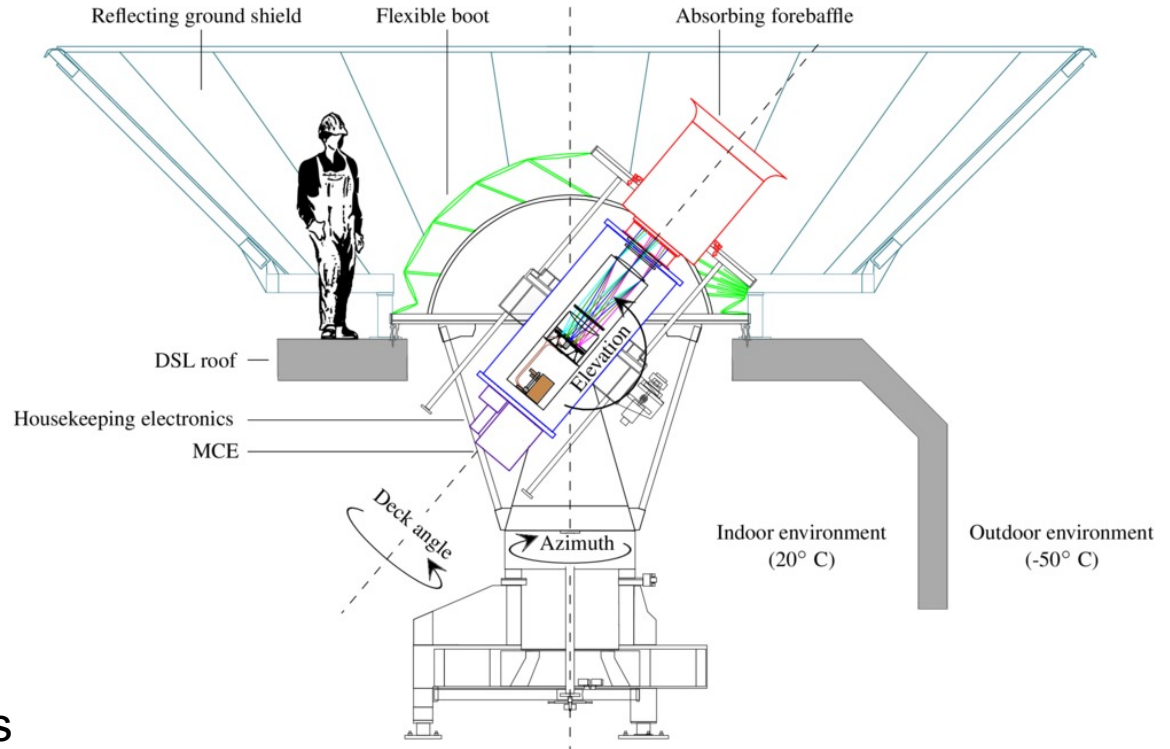
The instrument

A refracting telescope 26cm

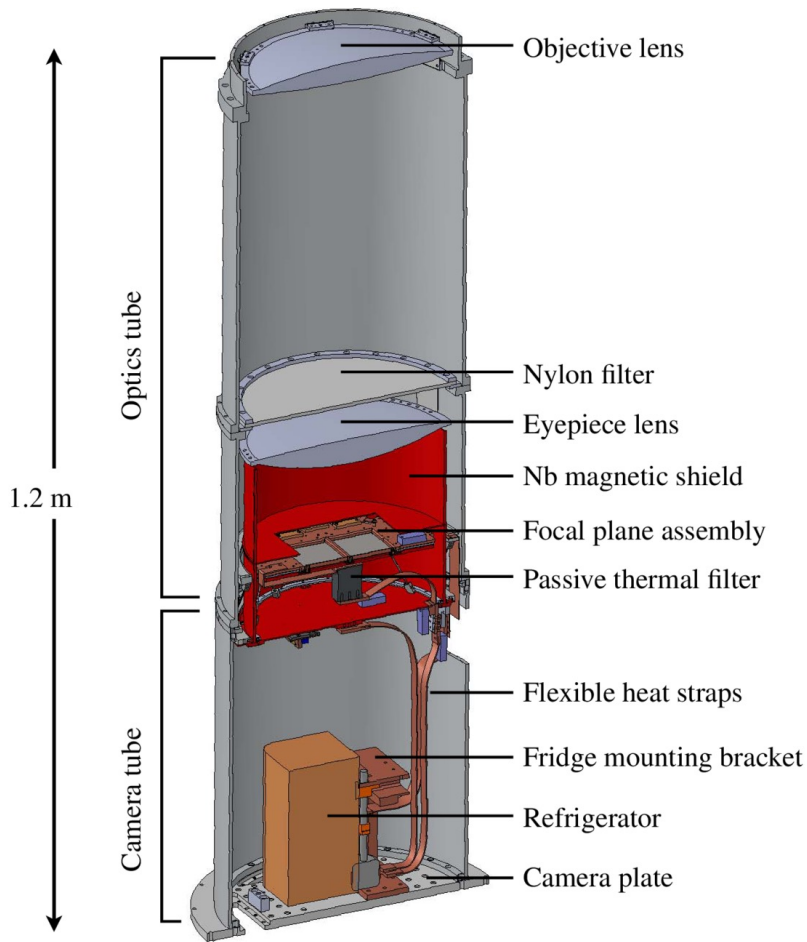
Mounted in an Alt-Az
mounting

Housing 4 tiles of **slot
antennas** @ 150 GHz

Connected to TES detectors
cooled @ 350 mK



The instrument



No active cooling

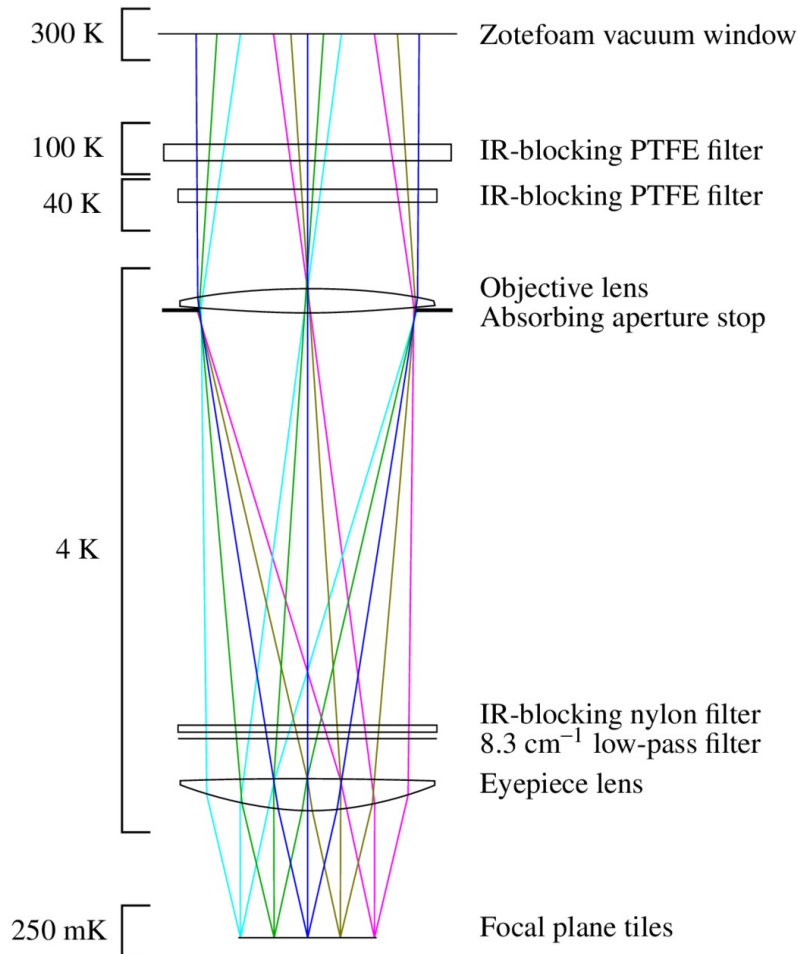
Only liquid He

He4/He3

He3 holding time 5 days

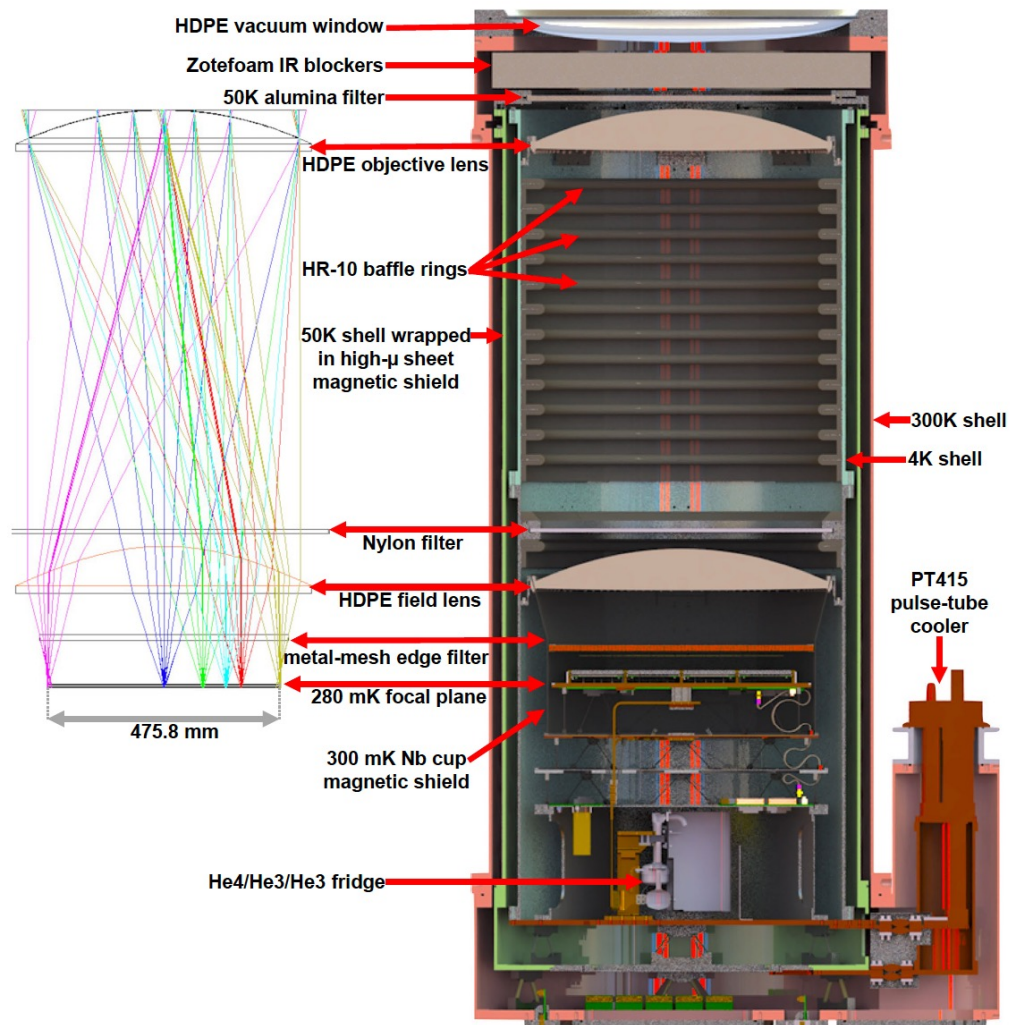
Lasted cold for 3 years continuously

The instrument



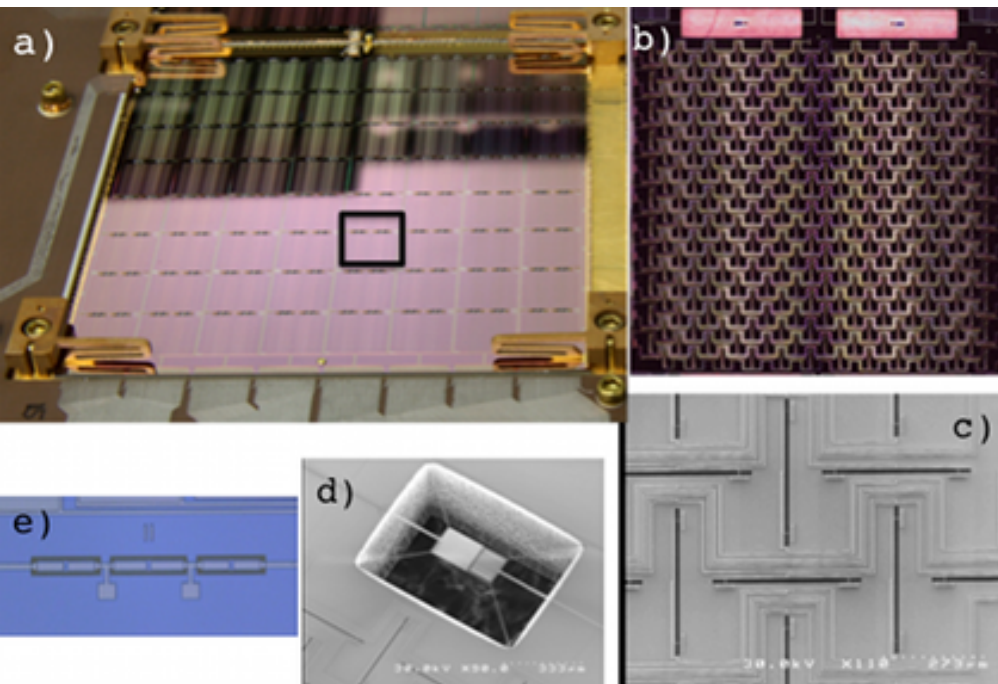
Strumentazione Astronomica: Bolometri

BICEP/KEK



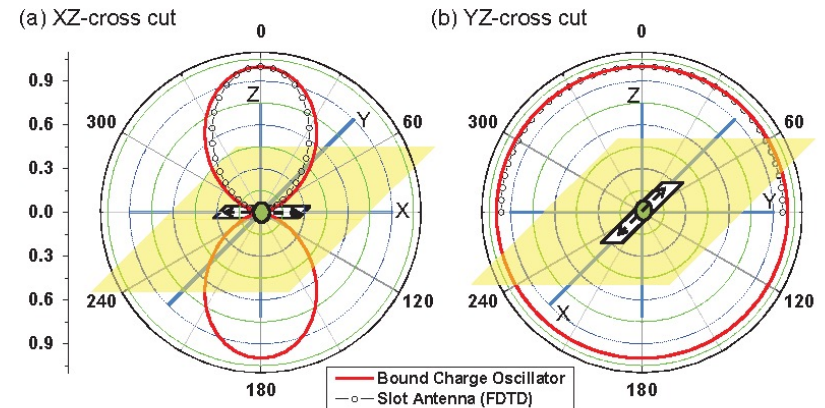
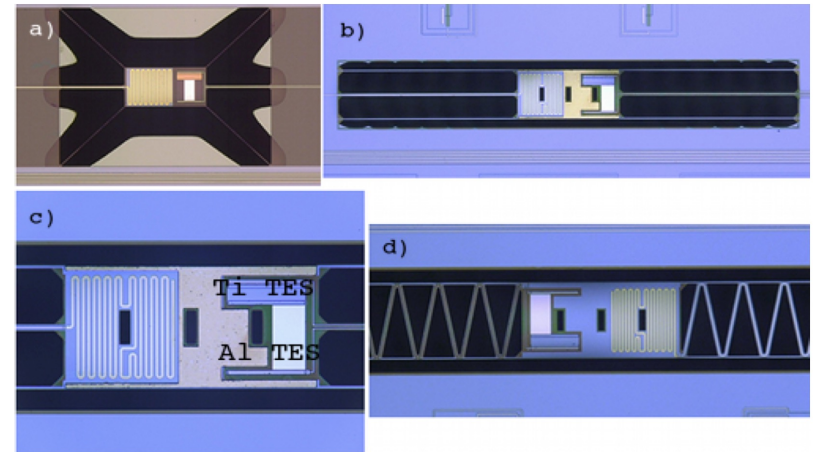
Strumentazione Astronomica: Bolometri

BICEP/KEK



a) Piano focale b) Unità Polarimetrica c) antenne a slot ortogonali d) bolometro TES e) filtri passa banda

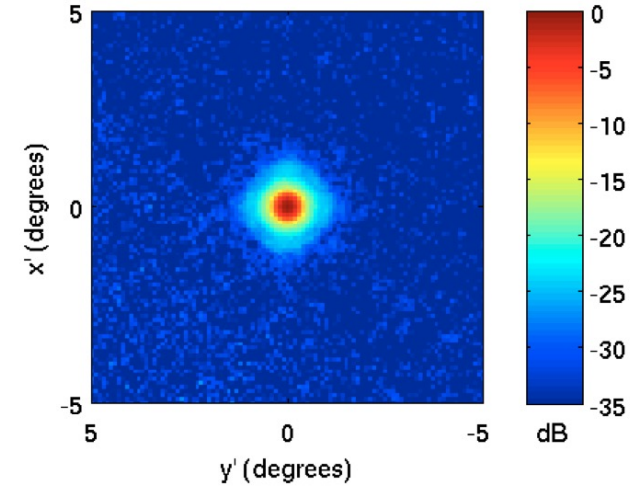
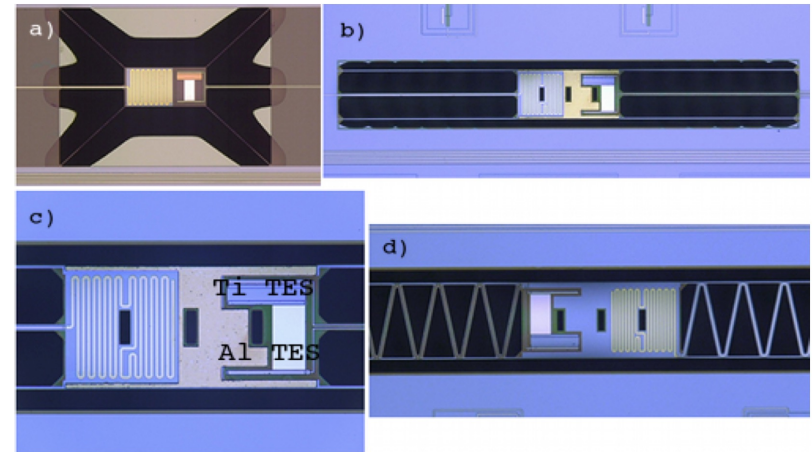
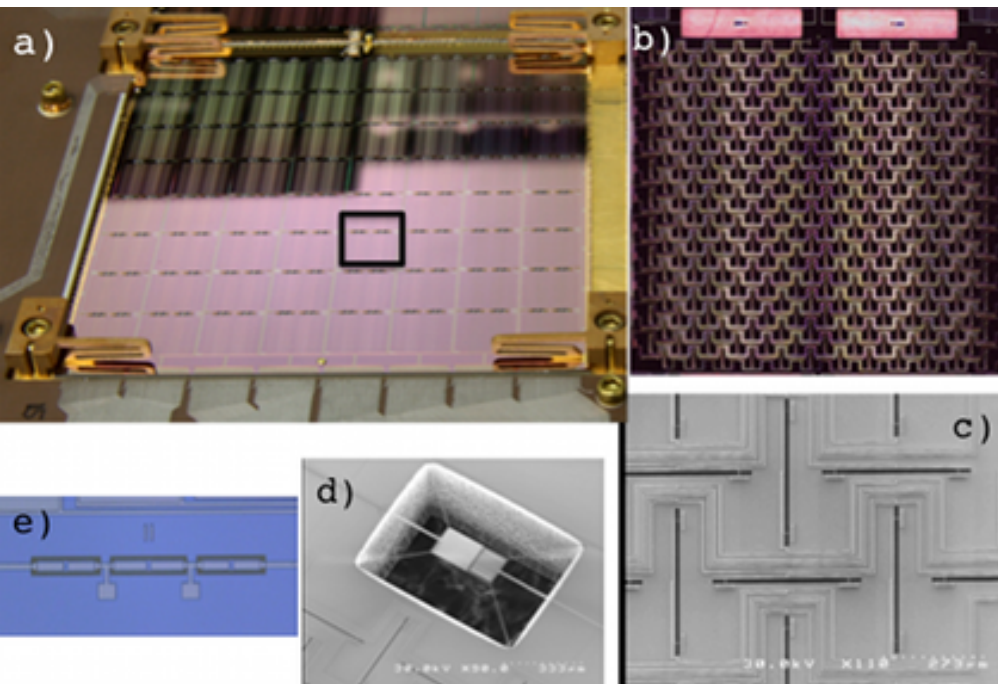
Slot antennas sommate in fase in modo da avere un beam sintetico stretto



Se non si sommassero in fase

Strumentazione Astronomica: Bolometri

BICEP/KEK



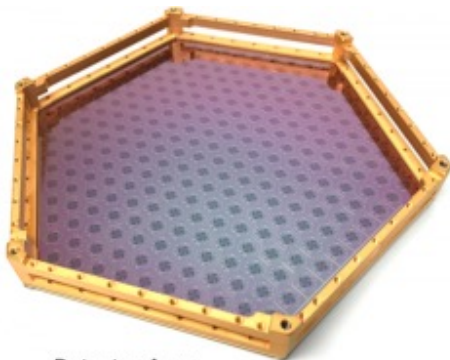
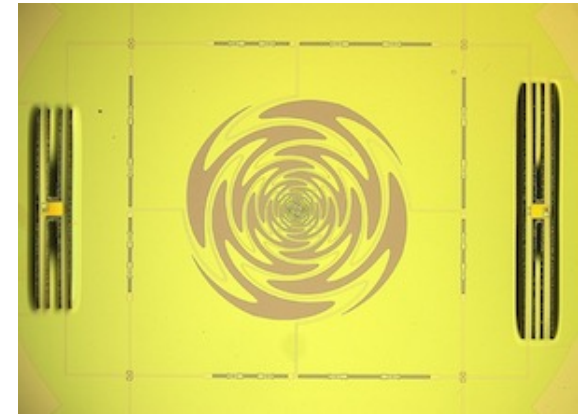
Slot antennas sommate in fase in modo da avere un beam sintetico stretto

Strumentazione Astronomica: Bolometri

PolarBear



Sinuos Antennas
Accoppiate a lenti
iperemisferiche



Detector Array

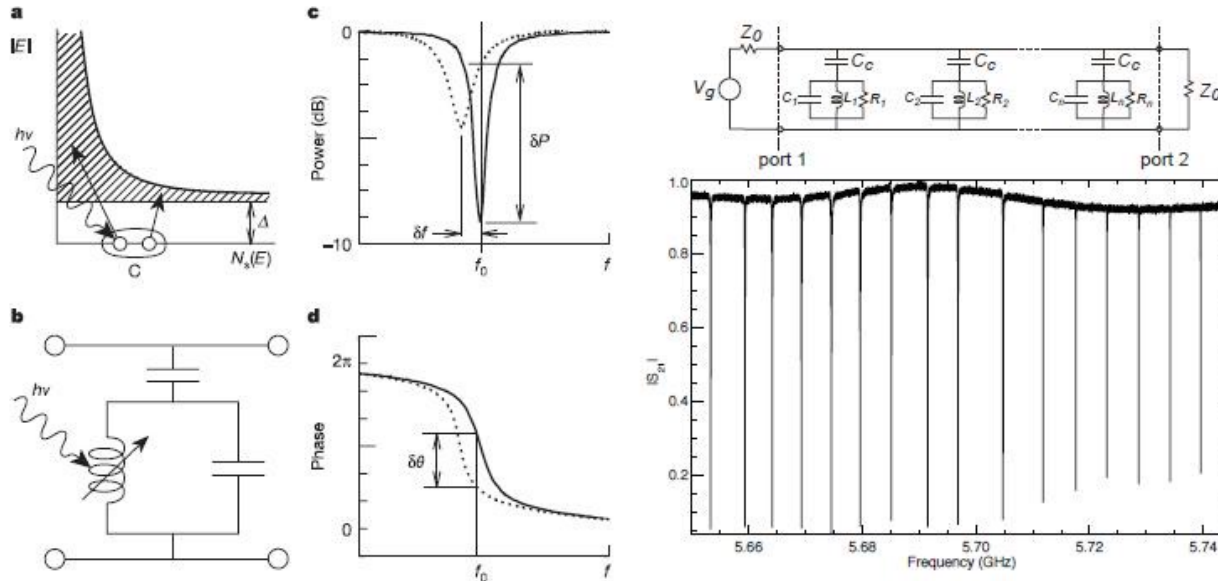


Array of Pixels



Pixel Overview

Bolometri superconduttivi - MKID – Microwave Kinetic Inductance Device



$$\delta f_0 = -C f_0^3 \delta L_K \propto -\frac{f_0^3}{n_s^2} \delta P_i,$$

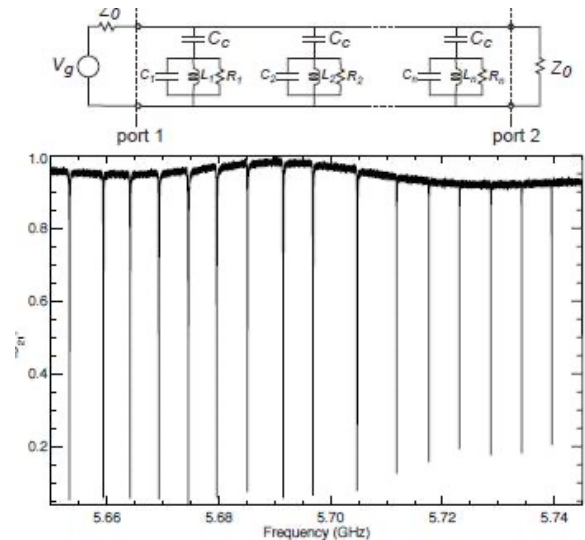
$$L_K \propto \frac{1}{n_{qp}}$$

- I fotoni incidenti vengono rilevati tramite circuiti risonanti superconduttori. Essi sono assorbiti nel film superconduttore, rilasciano calore sotto forma di fononi e rompono coppie di Cooper (che sono all'energia di Fermi) e producono quasi particelle ($N_{qp} = \eta h\nu/\Delta$), dove Δ è il “gap” di energia superconduttiva
- L'effetto è una modifica dell'impedenza superficiale del film, sia L (induttanza cinetica) che R, quindi la frequenza del circuito risonante, quindi la profondità e larghezza del “buco” sulla linea di trasmissione
- Inserendo numerosi circuiti risonanti su frequenze diverse si possono discriminare i fotoni incidenti

Bolometri superconduttivi - MKID – Microwave Kinetic Inductance Device

Vantaggi MKIDS

- Vantaggio principale MKIDS è la grande semplificazione dei circuiti elettronici di “read out”. Centinaia di circuiti risonanti (pixel) possono essere collegati su una sola linea di trasmissione
- A temperature criogeniche il fattore di qualità è altissimo, cresce esponenzialmente con il decrescere di T , aumentando analogamente la sensibilità del rilevatore
- Δf di pochi MHz tra un circuito e l'altro
- Relativa facilità di realizzare array di MKIDS senza le problematiche legate ad elettroniche di uscita molto complesse e impattanti sulla criogenia (ogni pixel con la sua elettronica)
- Ci si avvicina cioè alla condizione ideale “tanti pixel – pochi fili in uscita”



Principali problemi MKIDS

- Per applicazioni nelle bande UV/ottico la qualità decade moltissimo, NEP aumenta molto
- Un altro aspetto critico è l'interazione dei MKIDS con i campi magnetici
- Il problema è potenzialmente molto serio per applicazioni su satellite, con dewar in movimento nel campo magnetico terrestre

Alcune applicazioni recenti o in fase di realizzazione con MKIDS

- **MKID Camera su CSO – Caltech Submillimeter Observatory a Mauna Kea (Hawai)**
- **A-MKID su APEX – Atacama Pathfinder Experiment**
- **MKIDS su CCAT – Cerro Chajnantor Atacama Telescope**

<http://www.ccatobservatory.org/>

MKID Camera sul CSO telescope a Mauna Kea



La MKID Camera è stata installata nel 2010 al Caltech Submillimeter Observatory – CSO a Mauna Kea (Hawaii) 4050 m

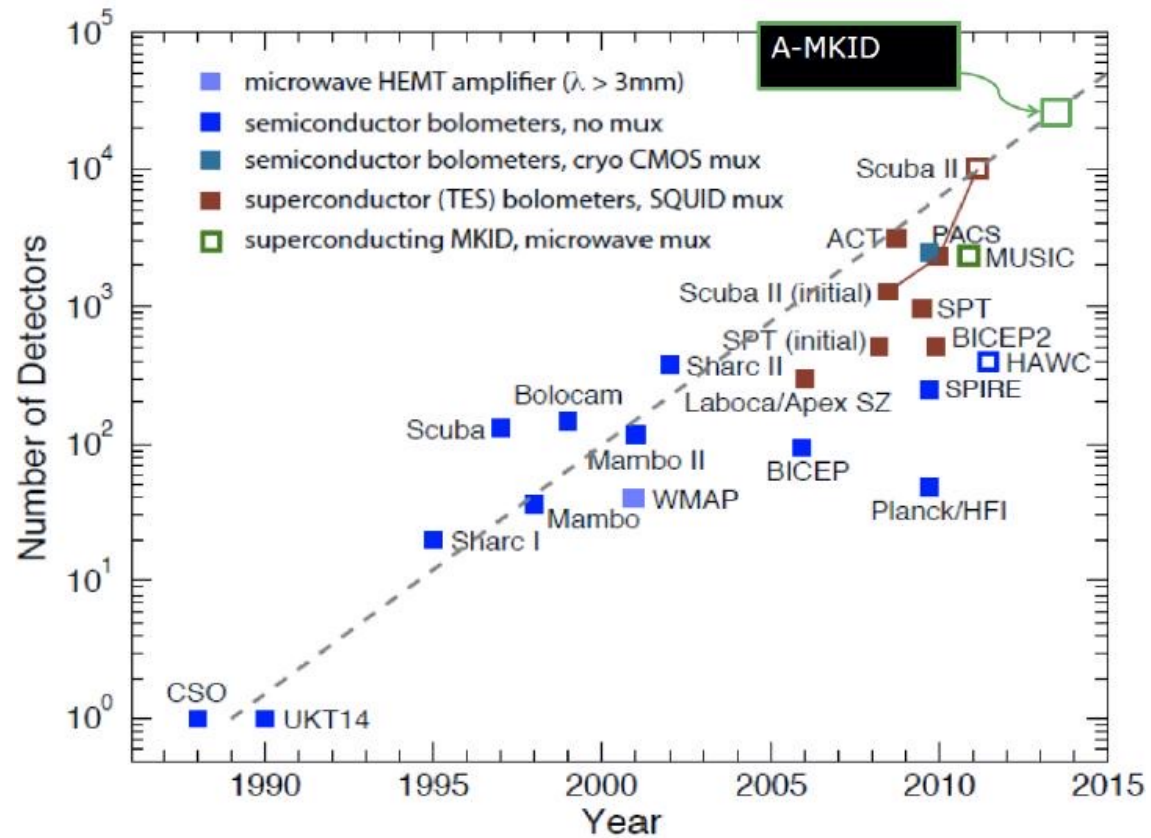
- MKID Camera è articolata su 16 “moduli”, ciascuno con 6x6 pixels spaziali, ciascuno dei quali consente simultaneamente 4 frequenze diverse (colori). Un MKID per colore
- Le 4 frequenze sono quelle più favorevoli nella banda sub-mm/mm, in particolare 750, 850, 1100, 1500 μm
- Ci sono quindi 144 MKIDS/modulo con 2304 canali totali
- Elevato fattore di qualità Q del circuito risonante ($>10^4$), che consente un numero elevato di MKIDS sulla stessa linea input-output, facilitano notevolmente il read-out
- Una unità di read-out per ogni modulo, quindi ogni 144 MKIDS
- Campo di vista 14'

Strumentazione Astronomica: Bolometri

A-MKID su APEX



Circa 25000 MKIDS

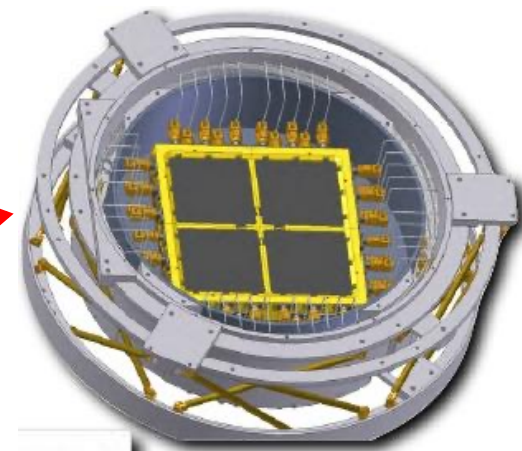


- Installazione completata 2013-
prima metà 2014
- Commissioning fine 2014

A-MKID su APEX

- Camera a due colori per osservazioni simultanee
 - LFA: $870\ \mu\text{m} \rightarrow 347\ \text{GHz}$ (Larghezza 34 GHz, da 330 a 364 GHz)
 - HFA: $350\ \mu\text{m} \rightarrow 850\ \text{GHz}$ (Larghezza 100 GHz, da 800 a 900 GHz)

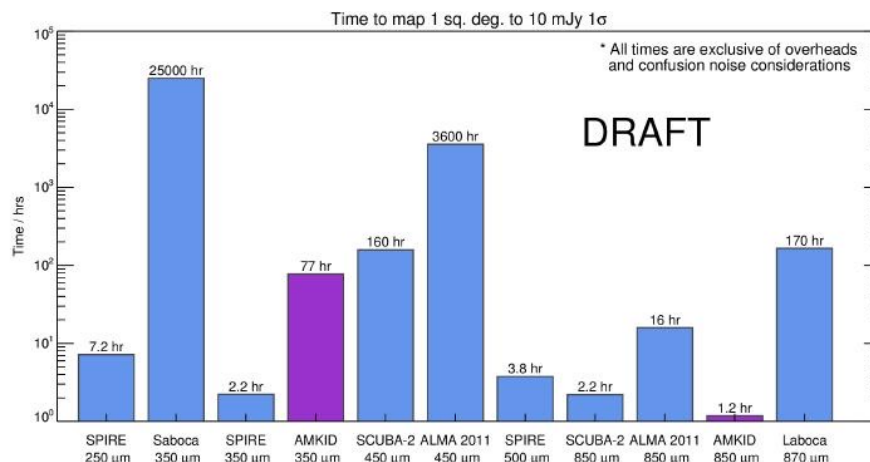
- Piano focale costituito da 2 arrays, uno per colore, ciascuno dei quali composto da 4 sub-arrays



- Pixels

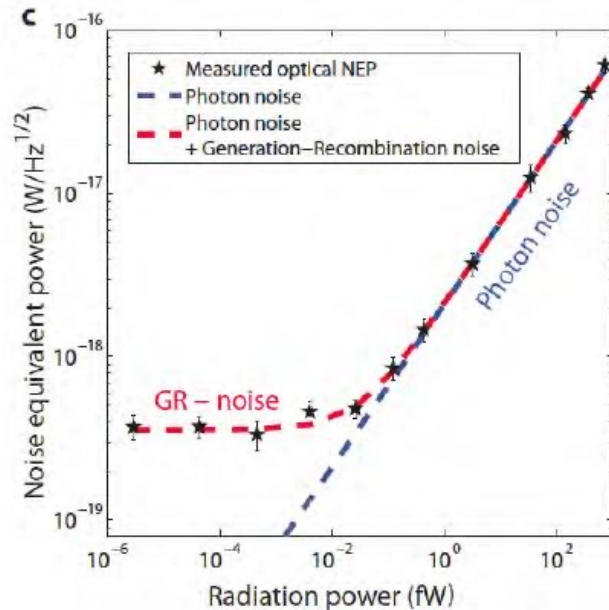
- Spaziatura dei pixels $1\ F\lambda$ in configurazione esagonale
- 3250 pixels \rightarrow LFA
- 21600 pixels \rightarrow HFA

- Campo di vista: $15 \times 15\ \text{arcmin}^2$



A-MKID su APEX

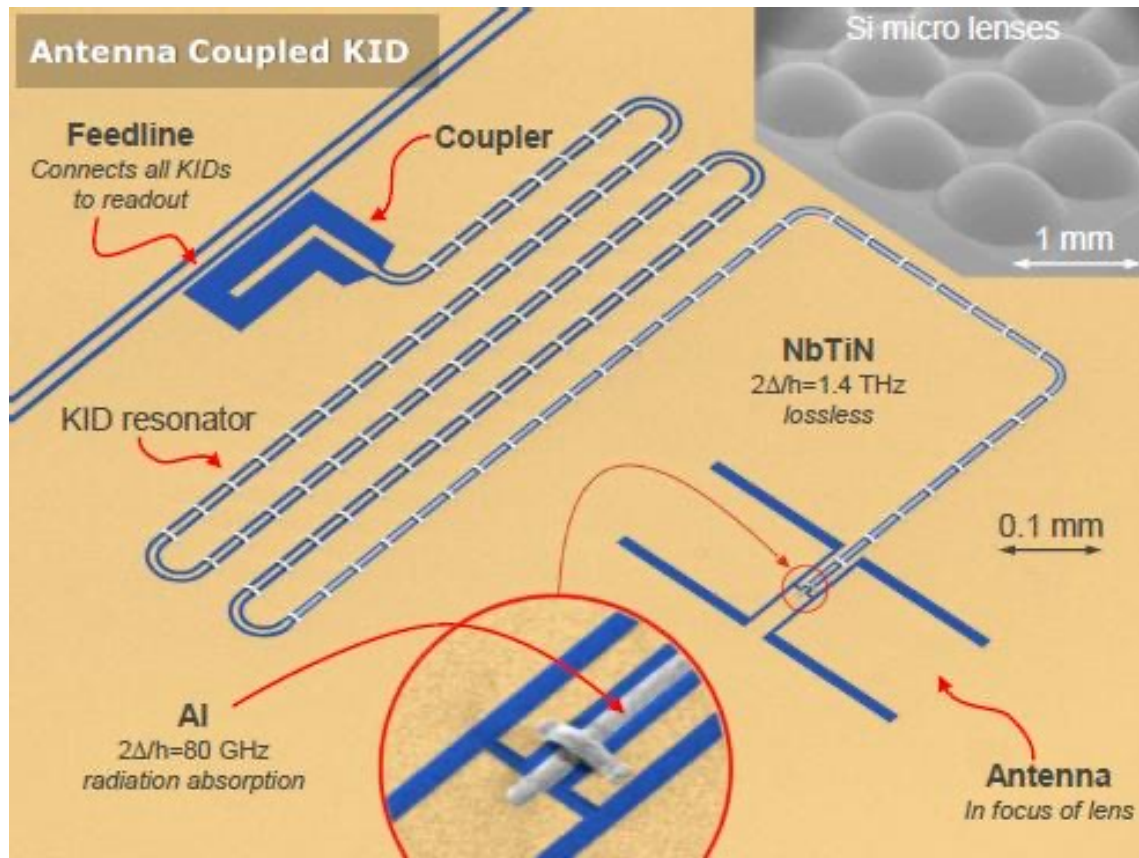
- Sensibilità
 - NEP LFA $\rightarrow 2 \times 10^{-15}$ [W Hz $^{-1/2}$]
 - NEP HFA $\rightarrow 1 \times 10^{-14}$ [W Hz $^{-1/2}$]



I detectors funzionano con una sensibilità dominata da sky background (photon noise)

- Lo strumento è ubicato nella cabina principale di APEX

Strumentazione Astronomica: Bolometri



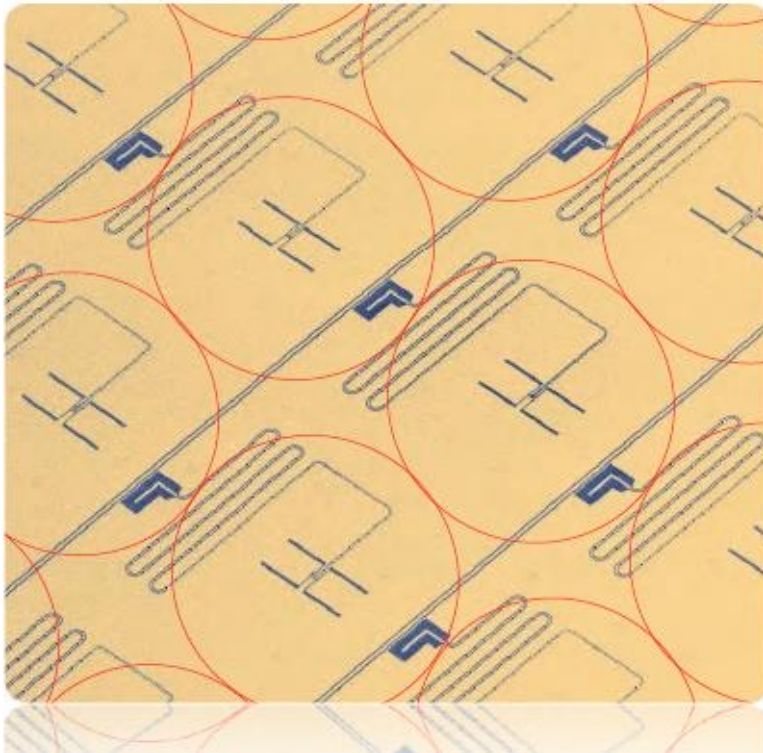
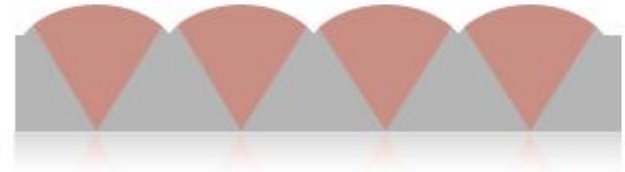
**Il singolo
detector in A-
MKIDS**

<https://www3.mpifr-bonn.mpg.de/div/submmtech/bolometer/A-MKID/a-mkidmain.html>

Strumentazione Astronomica: Bolometri

A-MKID su APEX

KID Imaging Array

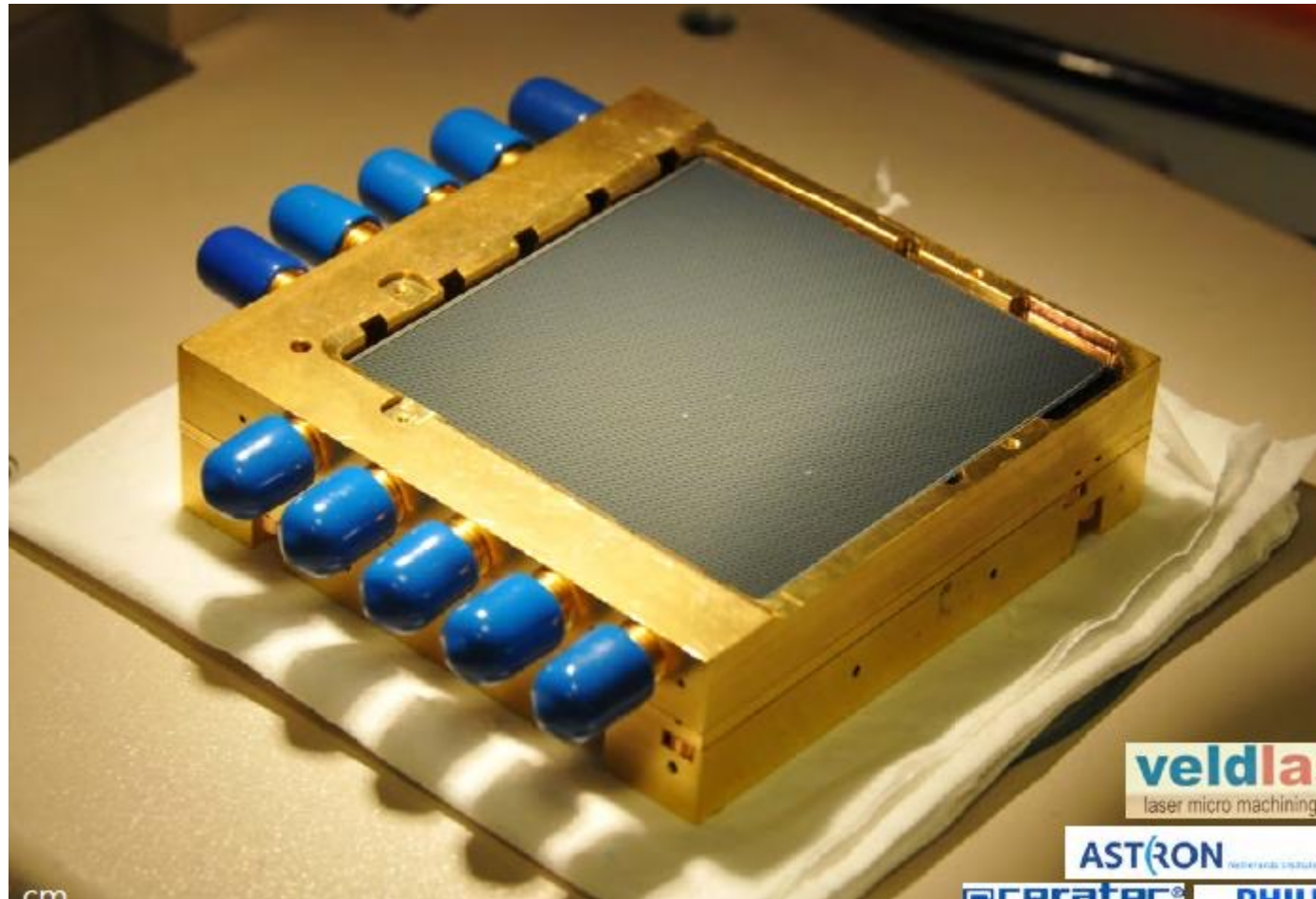


- Resonators coupled to 1 transmission line
- Resonators have different length - different resonance frequencies
- All antenna's are identical
- Covered with flies eye lens array

Strumentazione Astronomica: Bolometri

Uno dei 4 sub-arrays per HFA:

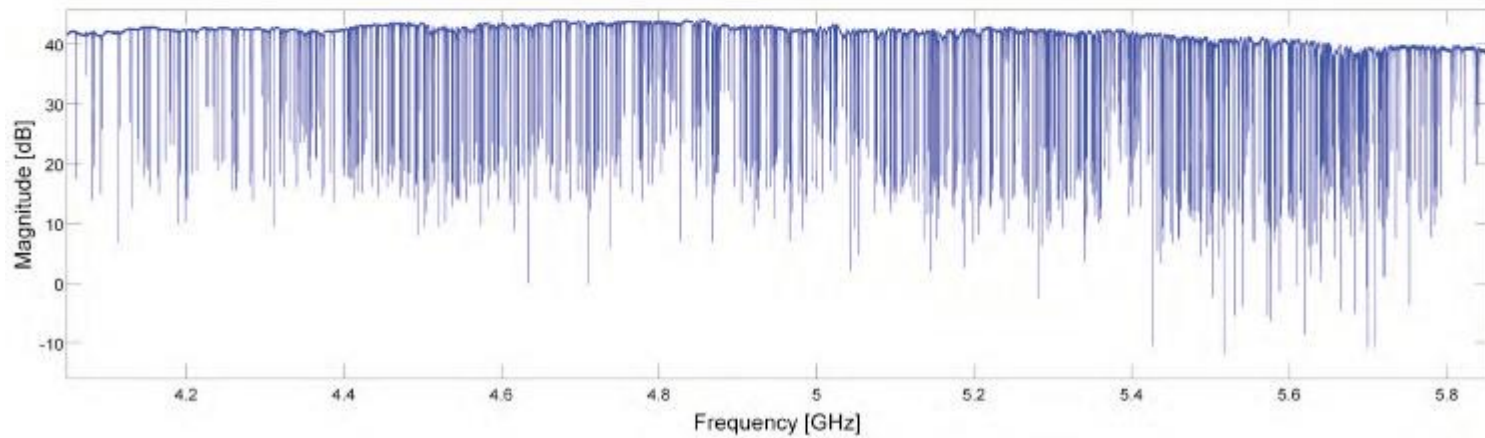
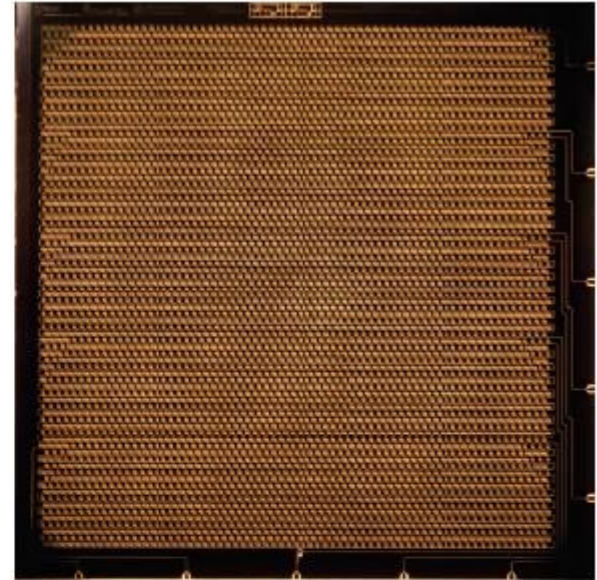
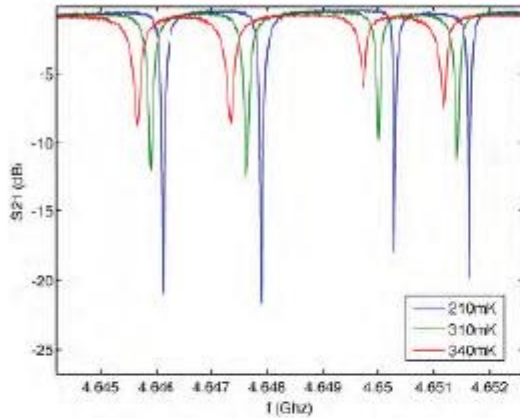
- 5 linee di trasmissione
- 5400 pixels
- Si lens array, una lente per pixel



Strumentazione Astronomica: Bolometri

A-MKID su APEX

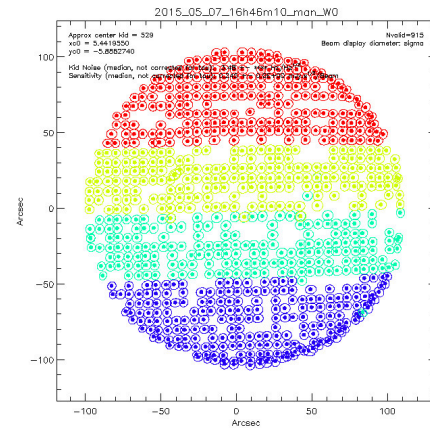
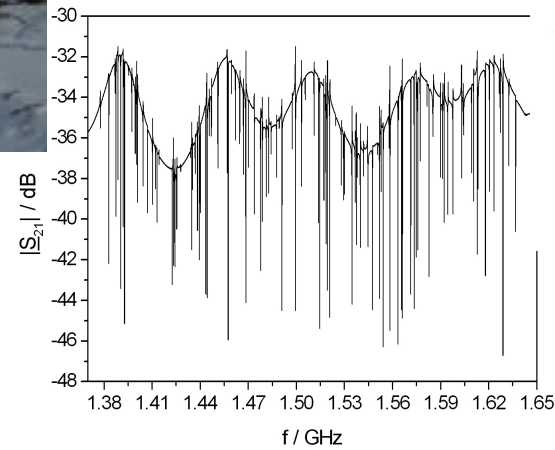
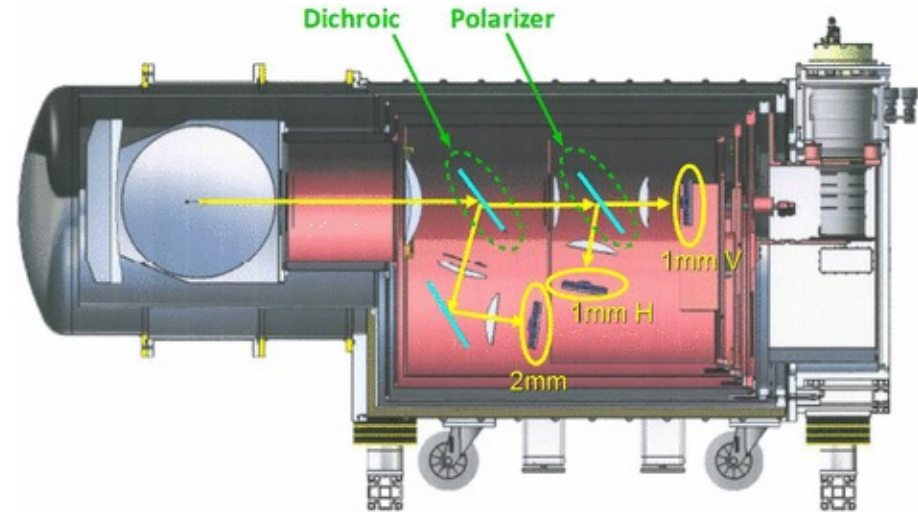
Readout ~ 1000 pixels / GHz



NIKA 2



Pico Veleta (Grenada, Spain)



Strumentazione Astronomica: Bolometri

Trend tecnologia bolometri

