

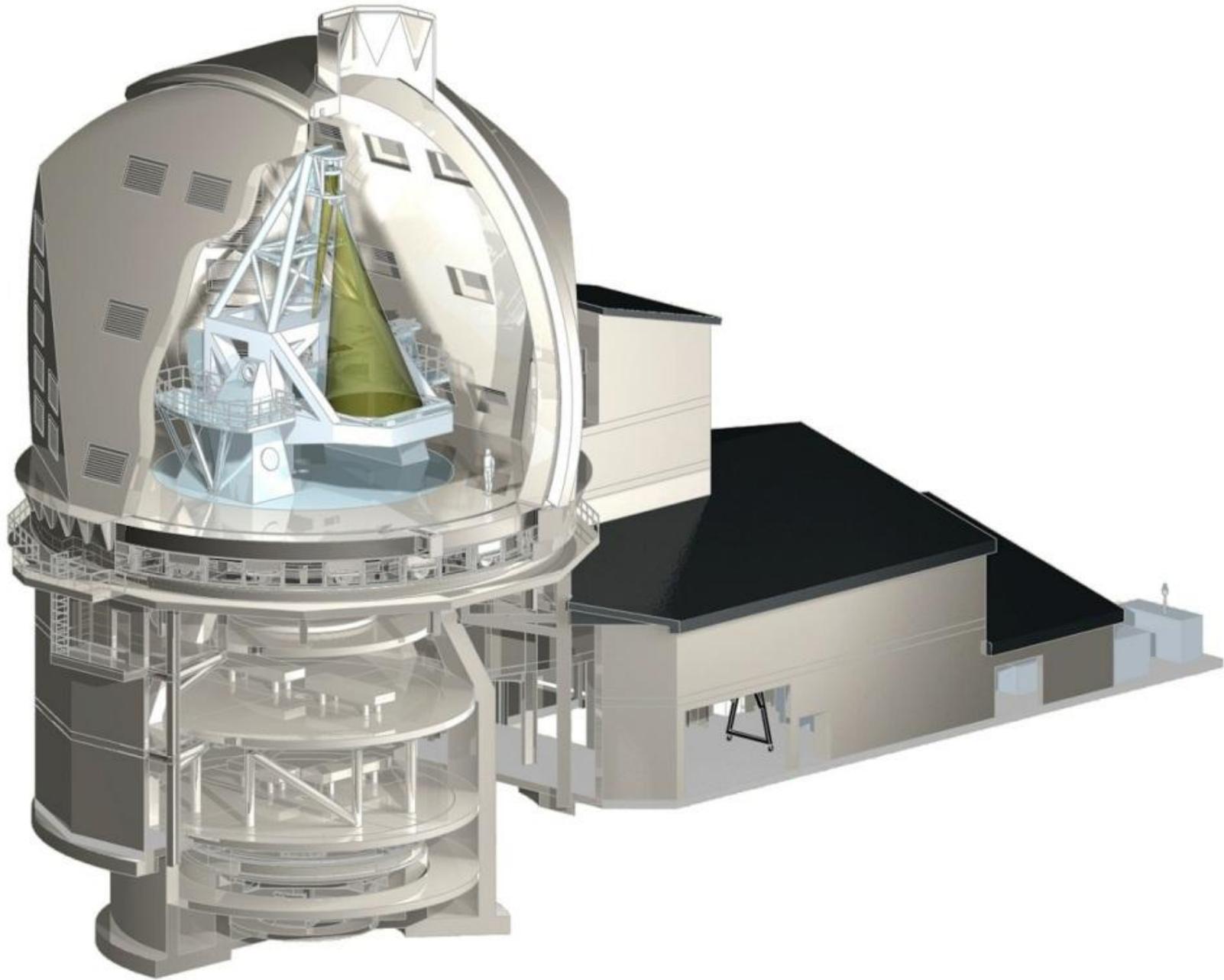
**DISEGNO OTTICO DI UN IMAGING  
SPETTRO-POLARIMETRO NEL VICINO INFRAROSSO  
PER L'ADVANCED TECHNOLOGY SOLAR TELESCOPE**

Vincenzo Greco e Fabio Cavallini

## INTRODUZIONE

L'Advanced Technology Solar Telescope (ATST) è un telescopio solare di 4 m di diametro in costruzione presso Haleakala (*Casa del Sole* – Altitudine 3084 m) nelle isole Hawaii.

Lo scopo principale di ATST è quello di raggiungere una risoluzione spaziale di circa 30 km @ 500 nm al fine di comprendere i processi magneto-idrodinamici a piccola scala spaziale che regolano la generazione e il rilascio dell'energia magnetica nell'atmosfera solare.



# REQUISITI SCIENTIFICI DELLO SPETTRO- POLARIMETRO

Formare immagini della superficie solare con:

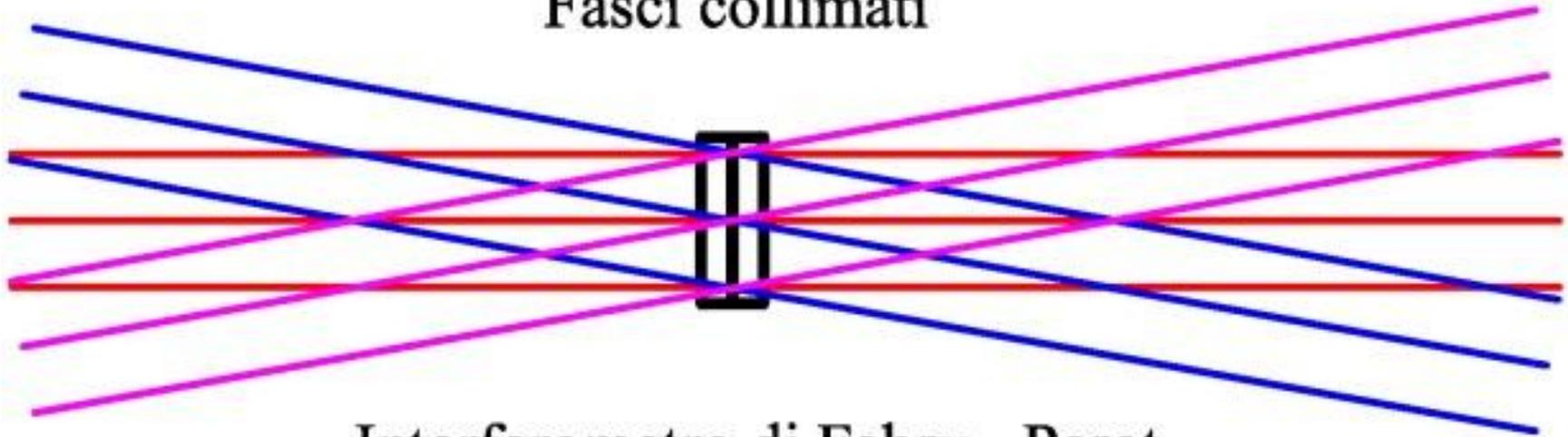
- **Alta risoluzione spettrale:** FWHM del profilo strumentale circa 1/10 di una tipica riga fotosferica corrispondente ad un potere risolutivo spettrale  $R = \lambda / \text{FWHM} \approx 200000$ .
- **Alta risoluzione spaziale:** tutta quella permessa dal telescopio.
- **Alta risoluzione temporale:** tempo di esposizione minore di 10 ms sufficiente a “congelare” il seeing atmosferico.
- **Grande campo di vista:**  $\approx 90$  arcsec sufficiente a studiare estese regioni solari attive.
- **Bassa polarizzazione strumentale:**  $\leq 0.5$  % in modo da poterlo utilizzare come Stokes-polarimetro.

- Piccolo field-dependent blue-shift:  $\leq 3$  FWHM del profilo strumentale, per non allargare troppo la scansione spettrale.
- Ampio intervallo spettrale (850 – 1650 nm) per permettere la scelta fra molte righe spettrali di interesse.

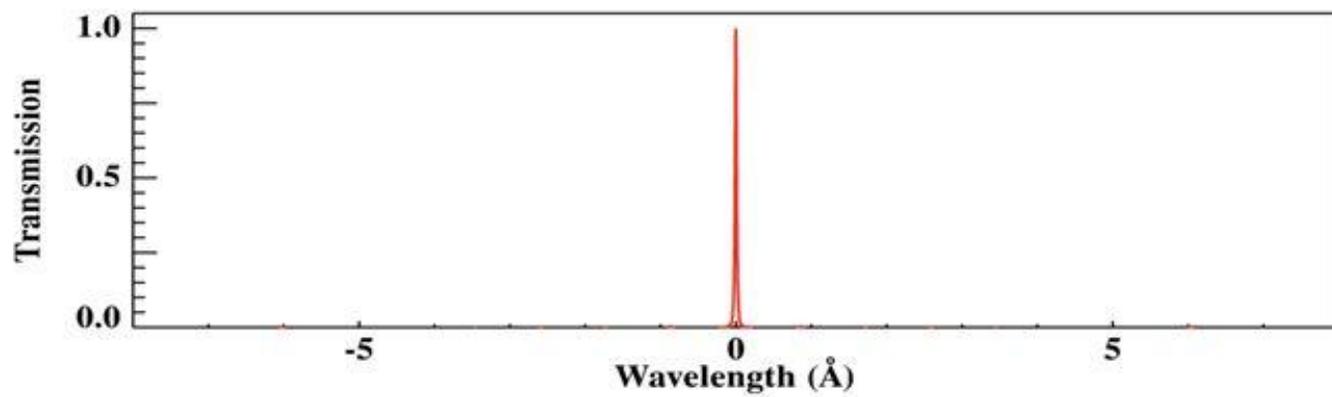
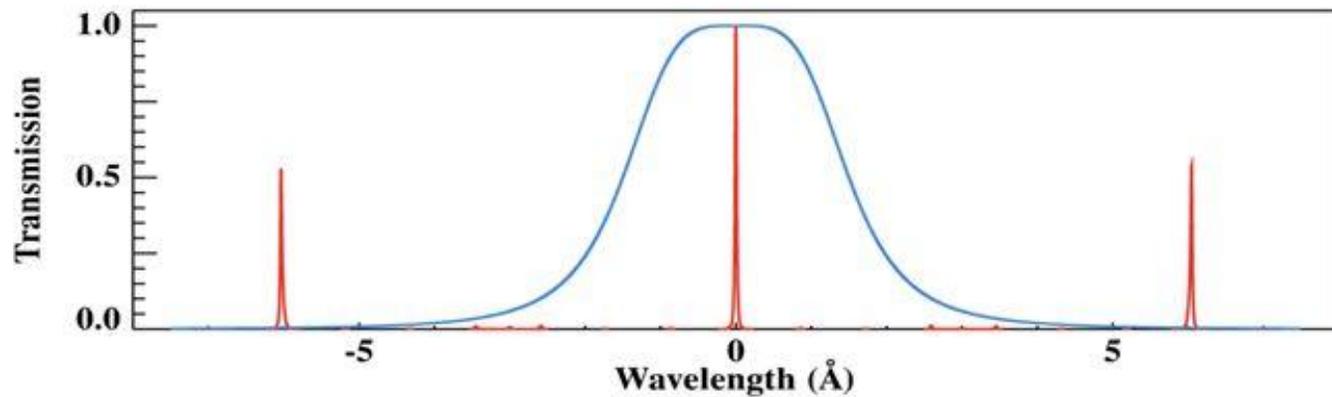
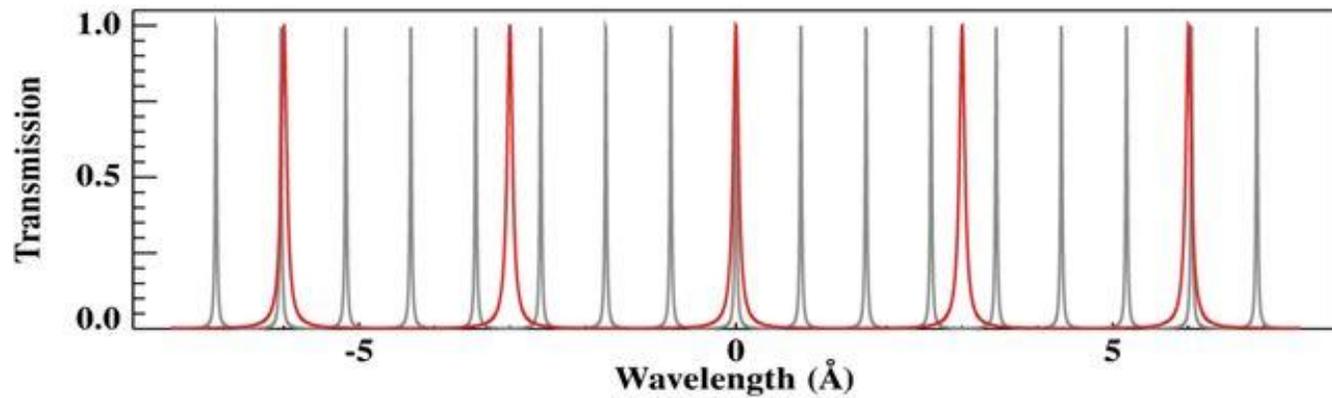
Per soddisfare tutti questi requisiti come spectral-device, si sono scelti:

- due interferometri di Fabry – Perot
- in configurazione classica e assiale
- in serie fra loro e con un set di filtri interferenziali.

Immagine della pupilla del telescopio  
Fasci collimati



Interferometro di Fabry - Perot  
in configurazione classica e assiale



Attualmente nel mondo sono operativi quattro imaging spettrometri:

- TESOS

T.J. Kentischer, W. Schmidt, M. Sigwarth, and M.V. Uexküll, “TESOS, a double Fabry-Perot instrument for solar spectroscopy,” *Astron. Astrophys.* 340(2), 569-578 (1998)

- The Göttingen FPI

K. G. Puschmann, F. Kneer, T. Seelemann, and A. D. Wittmann, “The new Göttingen Fabry-Perot spectrometer for two-dimensional observations of the Sun,” *Astron. Astrophys.* 451(3), 1151-1158 (2006)

- IBIS

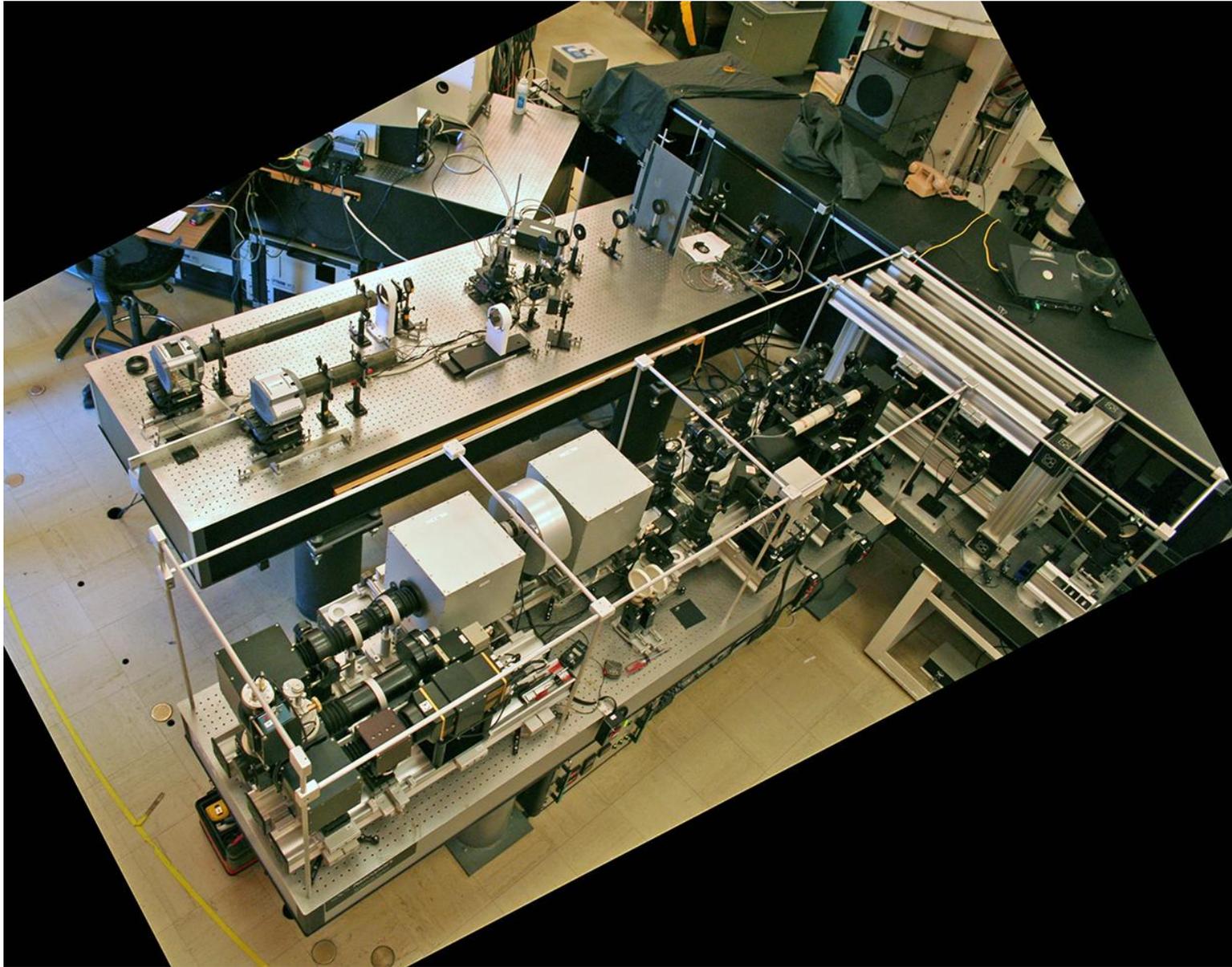
F. Cavallini, “IBIS: A new post-focus instrument for solar imaging spectroscopy,” *Sol. Phys.* 236(2), 415-439 (2006).

- CRISP

G. B. Scharmer, “Comments on the optimization of high resolution Fabry-Perot filtergraphs”, *Astron. Astrophys.* 447, 1111-1120 (2006).

Tutti questi spettro-polarimetri:

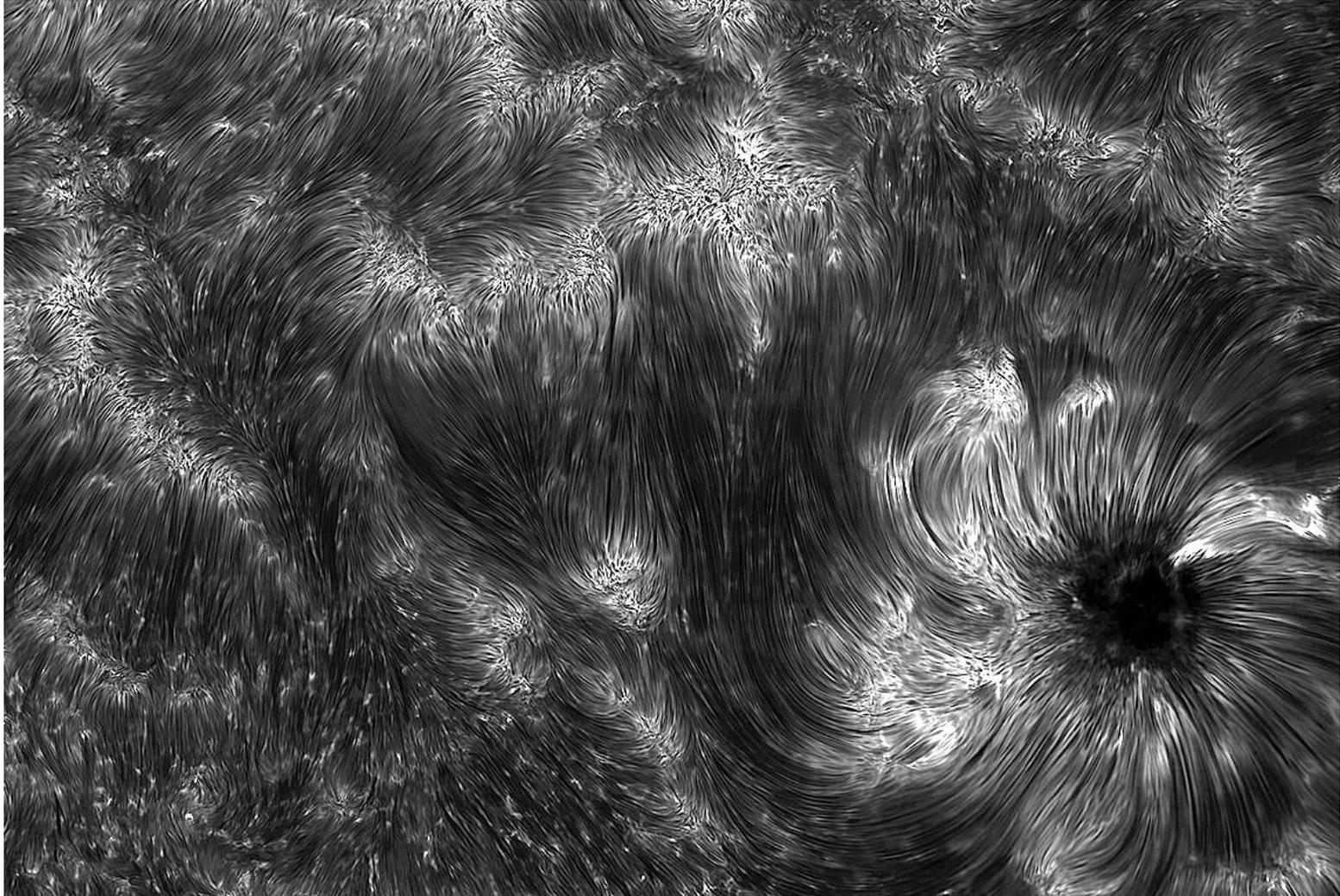
- sono alimentati da un telescopio di  $\approx 1$  m di diametro
- usano due o tre interferometri di Fabry-Perot di diametri compresi tra 50 a 70 mm.



Interferometric Bidimensional Spectrometer (F. Cavallini)



Dunn Solar Telescope – National Solar Observatory (Altitudine 2811 m)  
Sacramento Peak – New Mexico  
Diametro pupilla di ingresso 762 mm                      Lunghezza focale 55m



IBIS. Immagine della superficie solare nella riga CaII (8542 Å)  
FWHM del profilo strumentale 40 mÅ.

# REQUISITI OTTICI DELLO SPETTRO-POLARIMETRO

I requisiti scientifici e la difficoltà, ad oggi, di realizzare filtri interferenziali a banda stretta ( $\approx 10 \text{ \AA}$ ) di buona qualità ottica aventi diametro  $> 70 \text{ mm}$

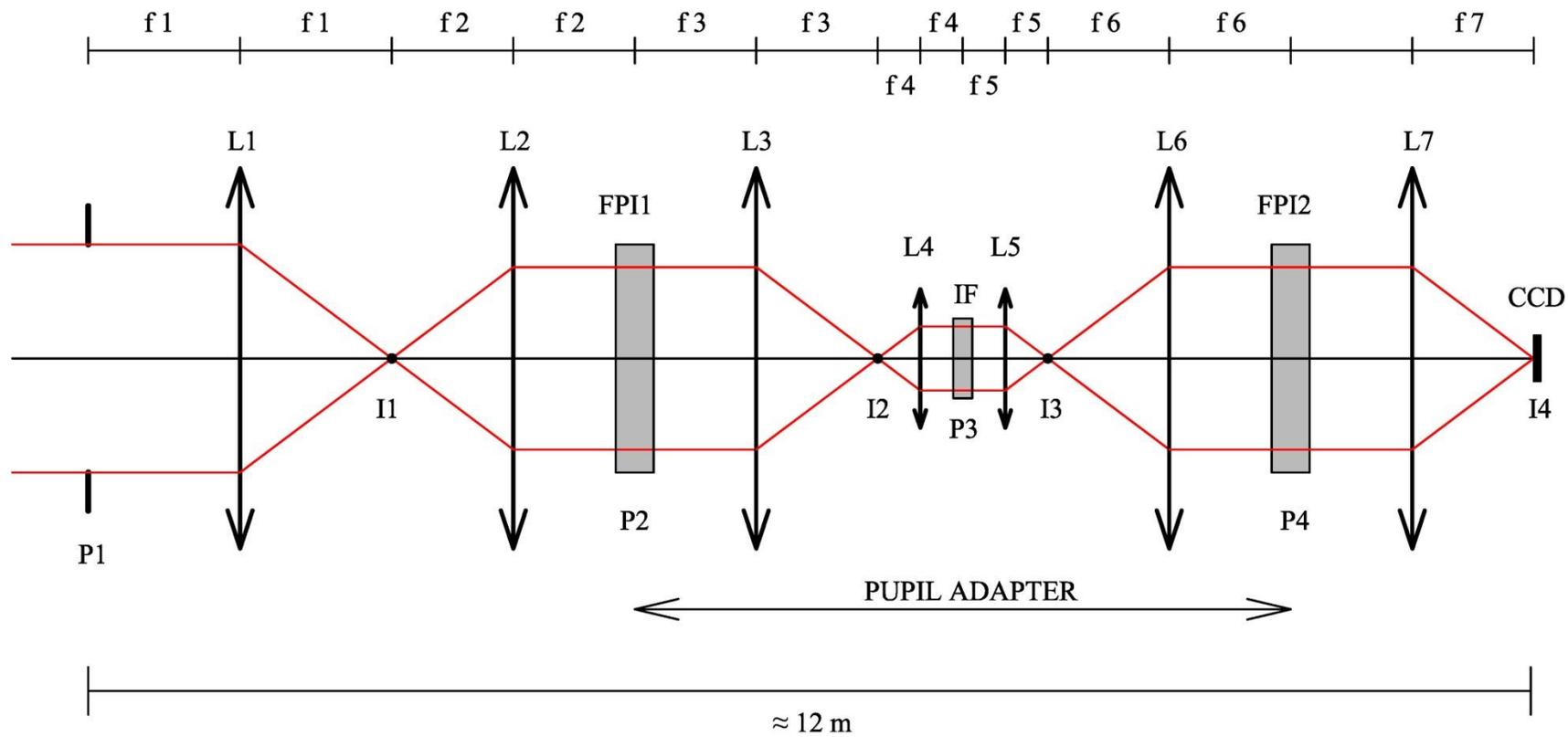
impongono

- interferometri di Fabry-Perot di grandi dimensioni:  
    diametro 200 mm                      diametro utile 160 mm.
- filtri interferenziali relativamente piccoli:  
    diametro 70 mm                      diametro utile 56 mm.
- massimo angolo di incidenza sugli interferometri = 0.31 deg
- massimo angolo di incidenza sui filtri interferenziali = 0.89 deg

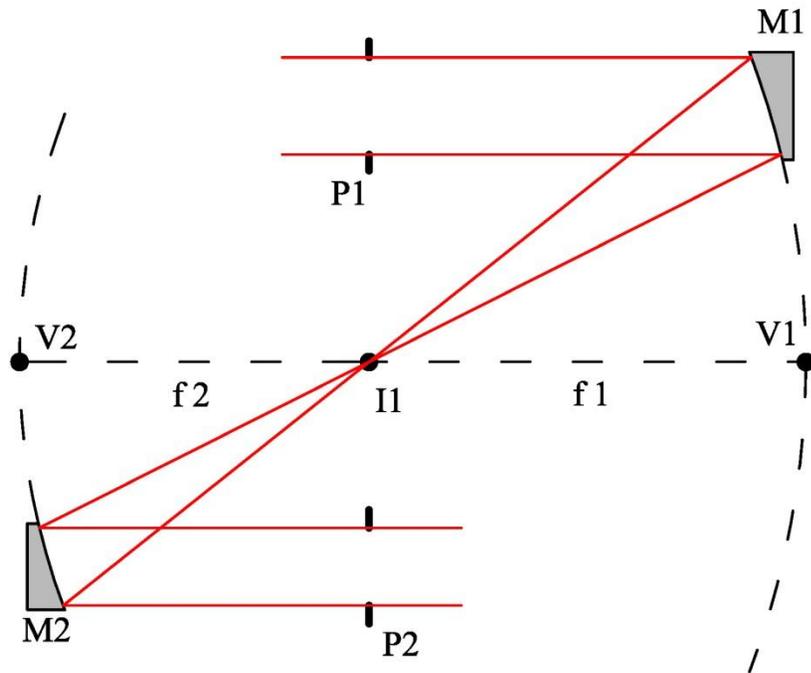
# REQUISITI OTTICI DEL PERCORSO OTTICO PRINCIPALE

- Intervallo spettrale: 850 – 1650 nm
- Campo di vista: 90 arcsec
- Limitato per diffrazione
- Due pixel per elemento risolto sulla matrice di rivelazione
- La pupilla d'ingresso deve coincidere con la pupilla di uscita del telescopio supposta reale, di diametro 200 mm, non oscurata e formata da fasci di luce collimati e limitati per diffrazione.

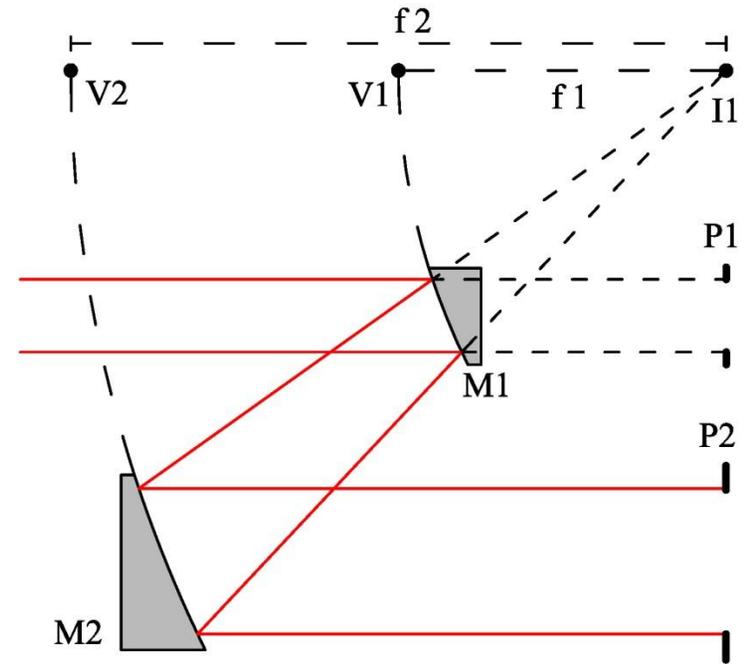
- Deve formare tre immagini reali intermedie della pupilla di ingresso sui due interferometri e sui filtri interferenziali con le seguenti caratteristiche:
  - immagine del Sole all'infinito
  - diametro 160 mm (sui due interferometri) e 56 mm (sui filtri interferenziali)
  - massimo angolo di incidenza 0.31 deg (sui due interferometri) e 0.89 deg (sui filtri interferenziali)
  - facilmente accessibili per consentire il posizionamento dei due interferometri e dei filtri interferenziali.
- Trasmittanza  $\geq 85\%$  (esclusi gli interferometri e il pre-filtro)
- Polarizzazione strumentale  $\leq 0.5 \%$
- Limitato ingombro complessivo.



# SPECCHI PARABOLICI CONFOCALI



configurazione gregoriana

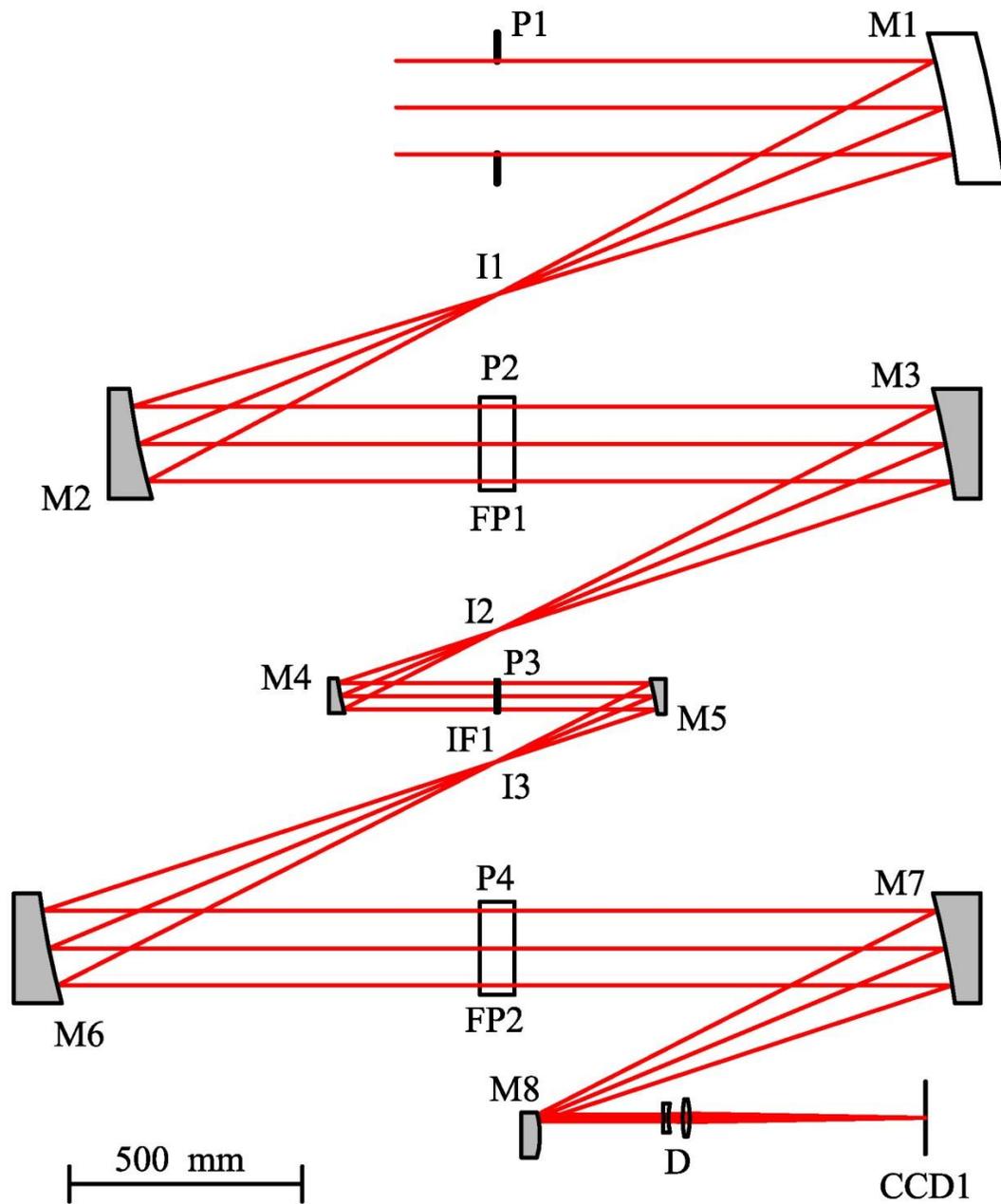


configurazione galileiana

Una coppia di specchi parabolici confocali è corretta per:

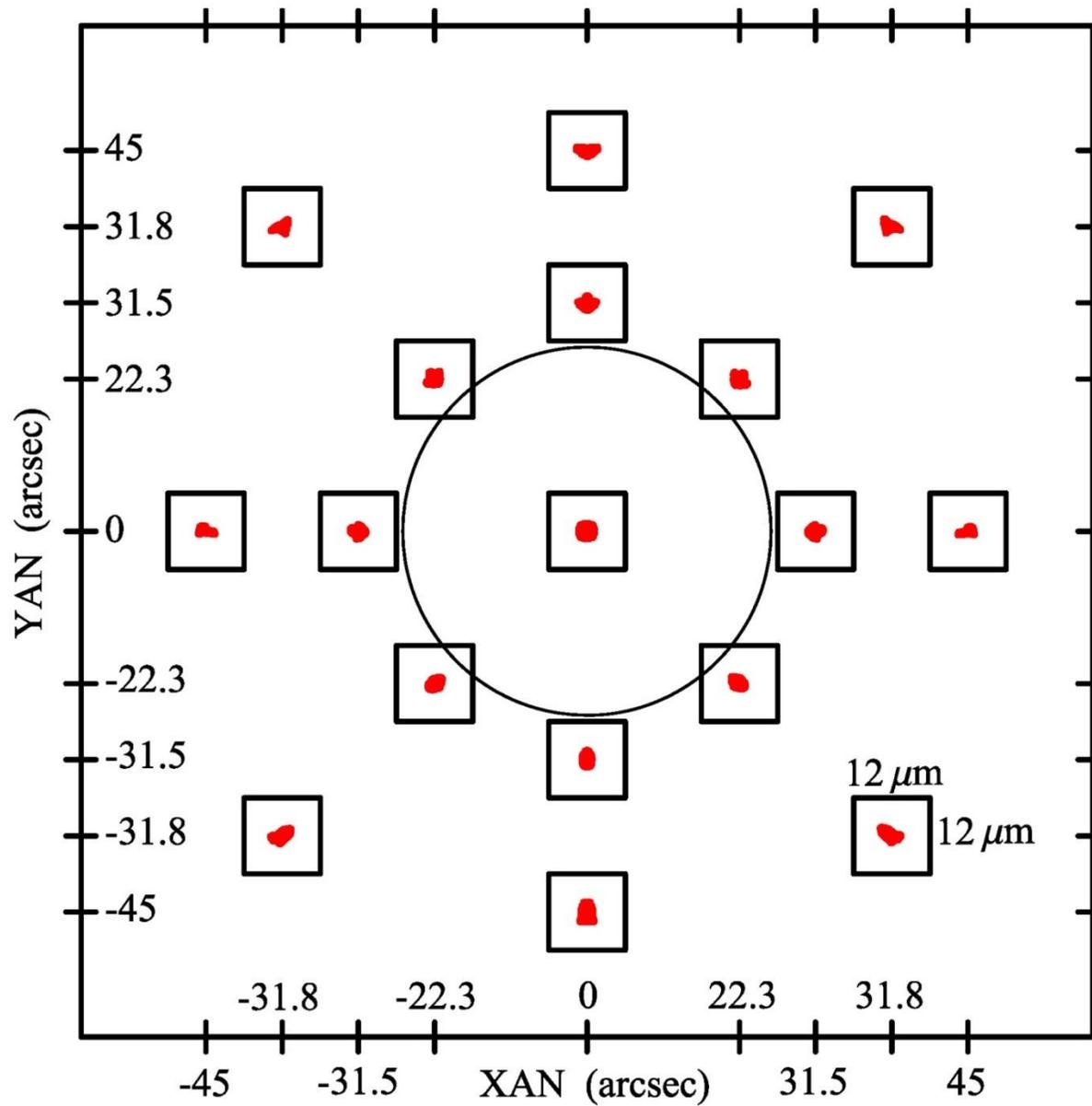
- tutti gli ordini di aberrazione sferica,
- il coma del terzo e del quinto ordine,
- l'astigmatismo del terzo ordine
- la distorsione del terzo ordine non è esattamente nulla, ma piccola nel nostro caso.

L'unica aberrazione che sensibilmente riduce la qualità immagine è la curvatura di campo.



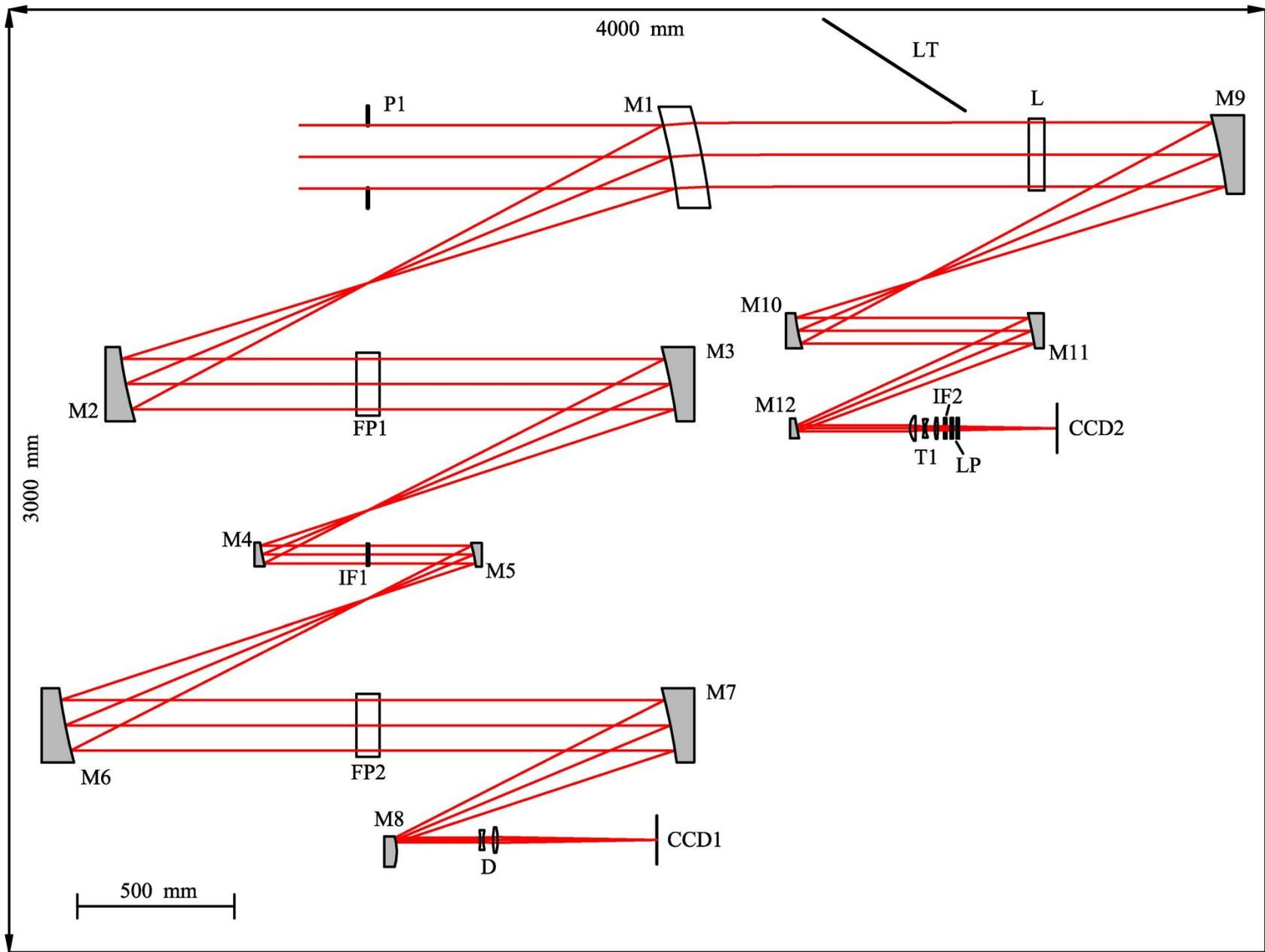
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	D
focale (mm)	1000	800	1000	350	350	1000	1000	-91.21	410
fuori asse (mm)	400	320	400	140	140	400	400	36.48	
diametro utile (mm)	200	160	160	56	56	160	160	14.6	85

Campo di vista su P1	0.5 deg
Lunghezza focale effettiva	5649 mm
f-number	f/28
Dimensione pixel	12 $\mu\text{m}$ x 12 $\mu\text{m}$
Diametro dell'immagine su CCD1	49.3 mm



Geometric Spot diagram @ 852.7 nm. Diametro disco di Airy 58 μm.

- Distorsione:  $\leq 1.5$  % all'estremo del campo di vista.
- Effetti della curvatura di campo:
  - non altera apprezzabilmente le condizioni di incidenza dei raggi sui due interferometri e sul filtro
  - all'estremo del campo di vista il footprint del fascio trasla di 1 mm sul primo interferometro e di 5 mm sul filtro e sul secondo interferometro. Tuttavia i footprint hanno in comune  $\approx 98$  % dell'area e quindi questa traslazione dei fasci è trascurabile.
- Trasmittanza: Supponendo una riflettanza del 98 % per il coating di argento degli specchi e una riflettanza del 0.25 % del V-type coating del doppietto la trasmittanza del cammino ottico principale è dell'85 %.
- Polarizzazione strumentale: dalla simulazione risulta che la frazione di luce polarizzata è solo il 0.3 %. Questo è dovuto ai piccoli angoli di incidenza sugli specchi ( $\leq 16$  deg) e che per questi angoli di incidenza la differenza tra la riflettanza tangenziale e saggittale del argento è 0.0015.



GRAZIE DELLA VOSTRA ATTENZIONE