Technological activity in solar physics @ Arcetri

Design and construction of multi-etalon imaging spectrometers

Solar spectroscopy

Conventional spectrometers (slit)

Pros: spectral simultaneity
Cons: monodimensional spatial simultaneity

Imaging spectrometers

Pros: bidimensional spatial simultaneity
Cons: no spectral simultaneity

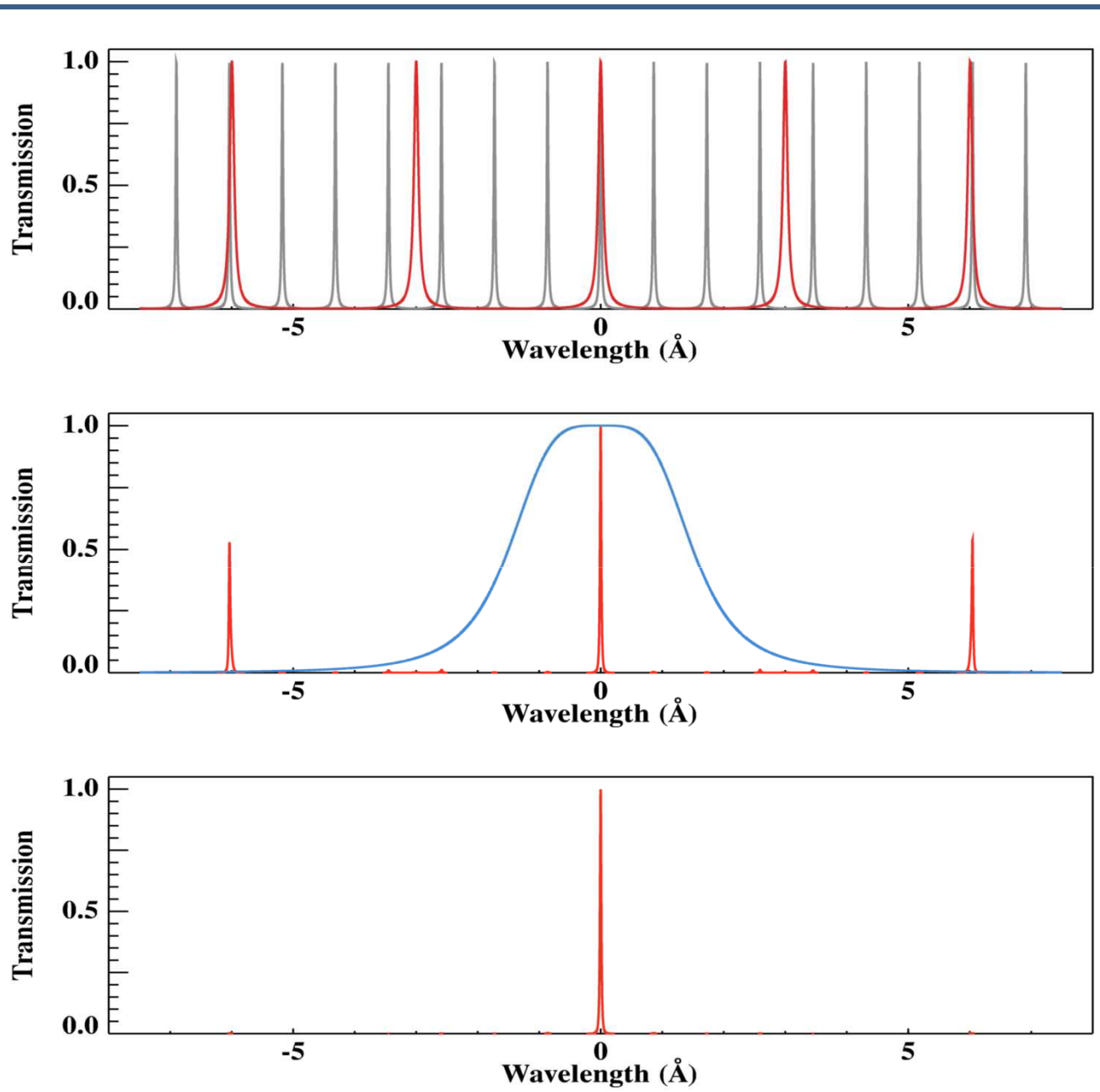
Operative solar imaging spectrometers

TESOS – Telecentric Etalon SOlar Spectrometer
Operative since December 1997 at the Vacuum Tower Telescope
(Tenerife – Canary Islands)

The Göttingen FPI
Operative since 2000 at the Vacuum Tower Telescope
(Tenerife – Canary Islands)

IBIS – Interferometric BIdimensional Spectrometer
Operative since June 2003 at the Dunn Solar Telescope
of the National Solar Observatory (USA – NM)

CRISP – CRisp Imaging SpectroPolarimeter
Operative since April 2008 at the Swedish Solar Telescope
(La Palma – Canary Islands)


Transmission
1.0
0.5
0.0
-5
0
5
Wavelength (Å)
Transmission
1.0
0.5
0.0
-5
0
5
Wavelength (Å)
Transmission
1.0
0.5
0.0
-5
0
5
Wavelength (Å)

OPTIMIZATION

I. P. FWHM	↓
I. P. W_λ	↑
I. P. Symmetry	↑
I. P. Wings	↓
FPI detuning	↓
Spectral homogeneity of the FOV	↑
Parasitic light	↓
Ghosts	↓
Strehl ratio	↑
Wavelength stability	↑
Field of view	↑

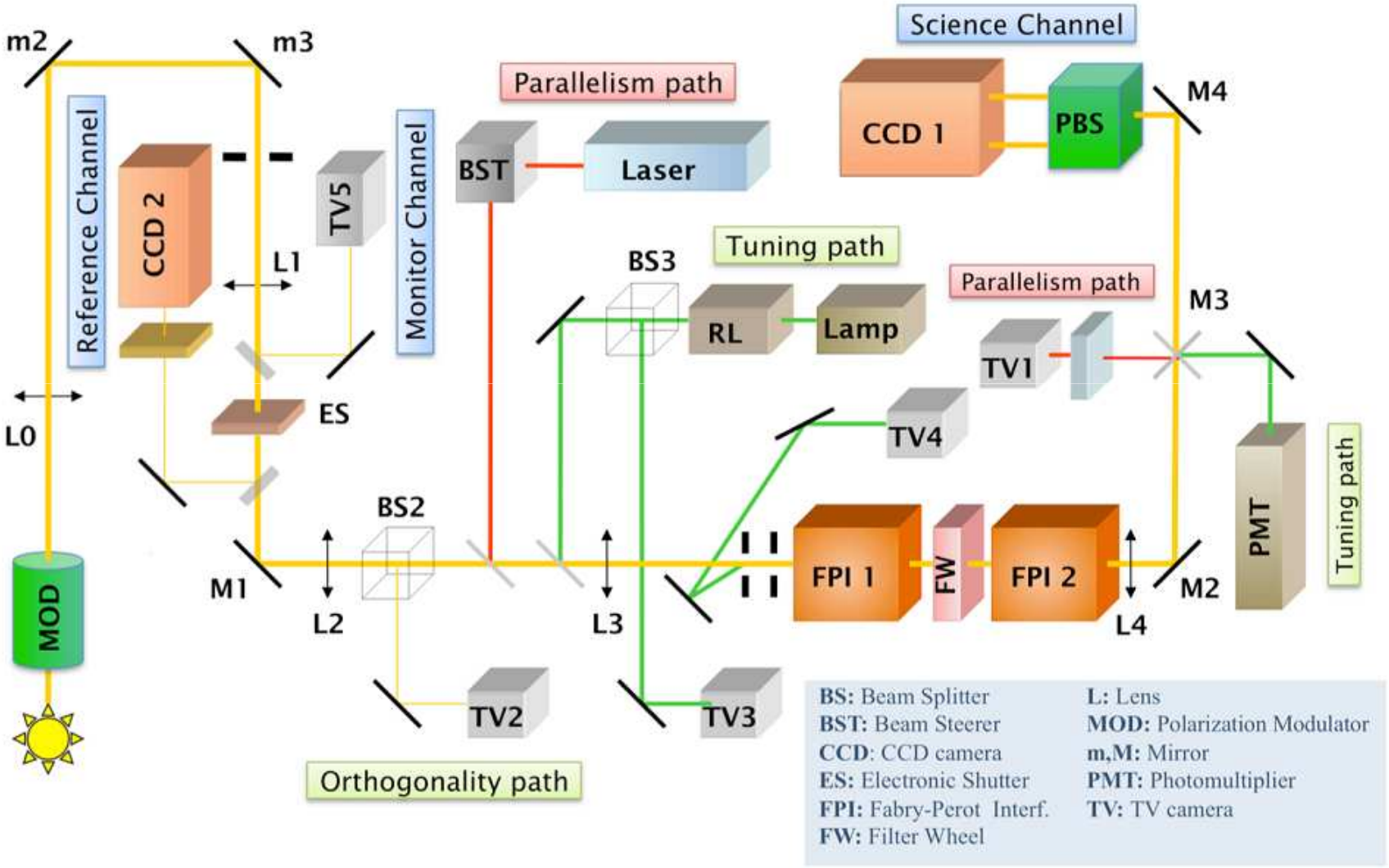
Free parameters

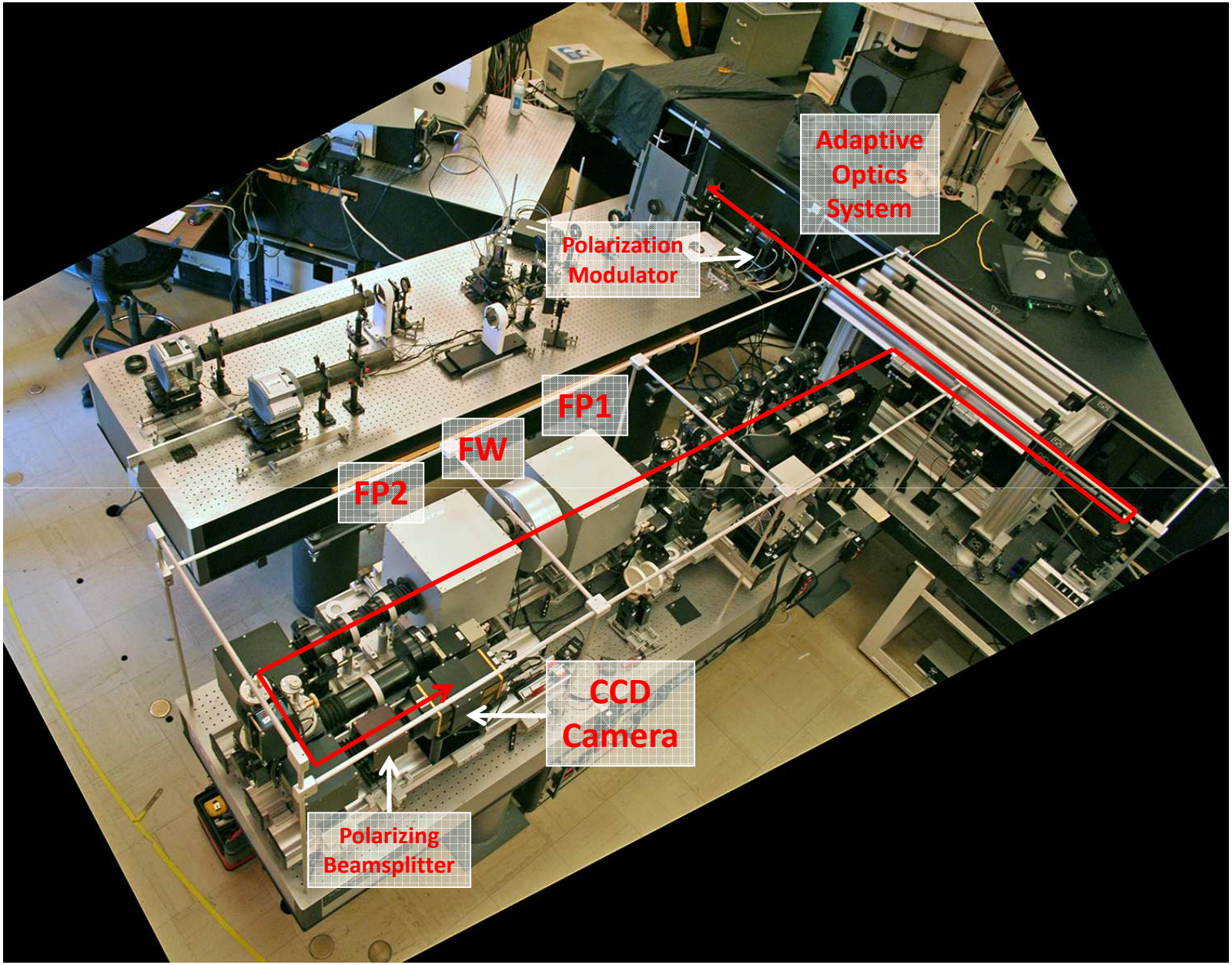
Number of FPI
Diameter of each FPI
Spacing of each FPI
Reflectivity of each FPI

Aperture of the incident beam
Optical mount

IBIS Layout

(*Spectro-polarimetric configuration*)

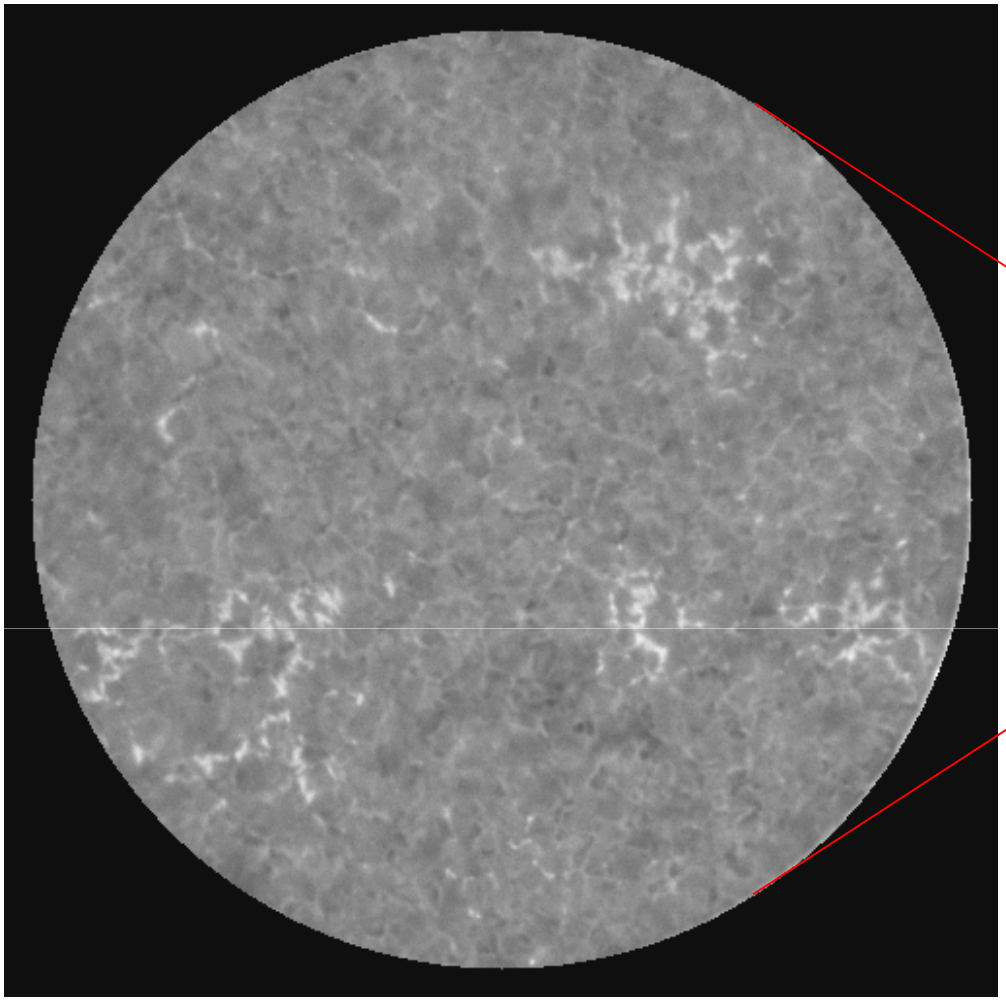


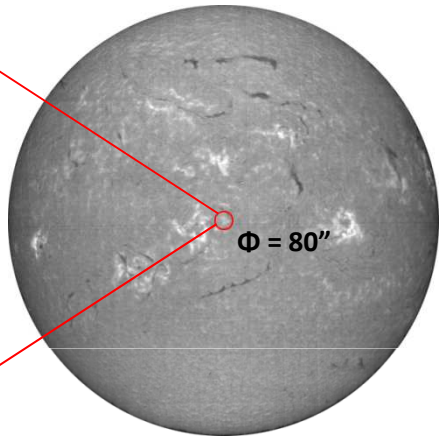

Adaptive
Optics
System
Polarization
Modulator
FP1
FW
FP2
CCD
Camera
Polarizing
Beamsplitter

IBIS

- IBIS is an acronym for “Interferometric BIdimensional Spectrometer”
- The construction started at the beginning of 2000.
  The scientific requirements were discussed within the Italian solar community.
- IBIS has been built in Arcetri with the financial contribution of :
  1 – the Arcetri Astrophysical Observatory
  2 – the Department of Astronomy and Space Science of the Florence University
  3 – the Ministry of University and Research
- The total cost amounts (today) to about 450 000 €
- The instrument has been installed in June 2003 at the Dunn Solar Telescope of the National Solar Observatory (USA - NM)
- Since January 2005 IBIS is one of the facility instruments of NSO

IBIS INSTRUMENTAL CHARACTERISTICS		
Wavelength range	540 – 860 nm	
Spectral resolving power	200 000 – 300 000	
Parasitic light	0.5 % – 2.2 %	
Ghosts	1.5 %	
Field of view	80 arcsec	
Spatial sampling	2.4 – 3.6 pixel/r. el.	
Field-dependent blue-shift	60 – 90 mÅ	
Strehl ratio	0.95	
Observable spectral lines (nm)	FeI 543.4 TiI 564.4 He D3 587.6 Na D1 589.6 FeI 617.3 FeI 630.1	FeI 630.2 Hα 656.3 NiI 676.8 FeI 709.0 FeII 722.4 CaII 854.2





Wavelength scan along the 8542 Å CaII line profile

High order AO

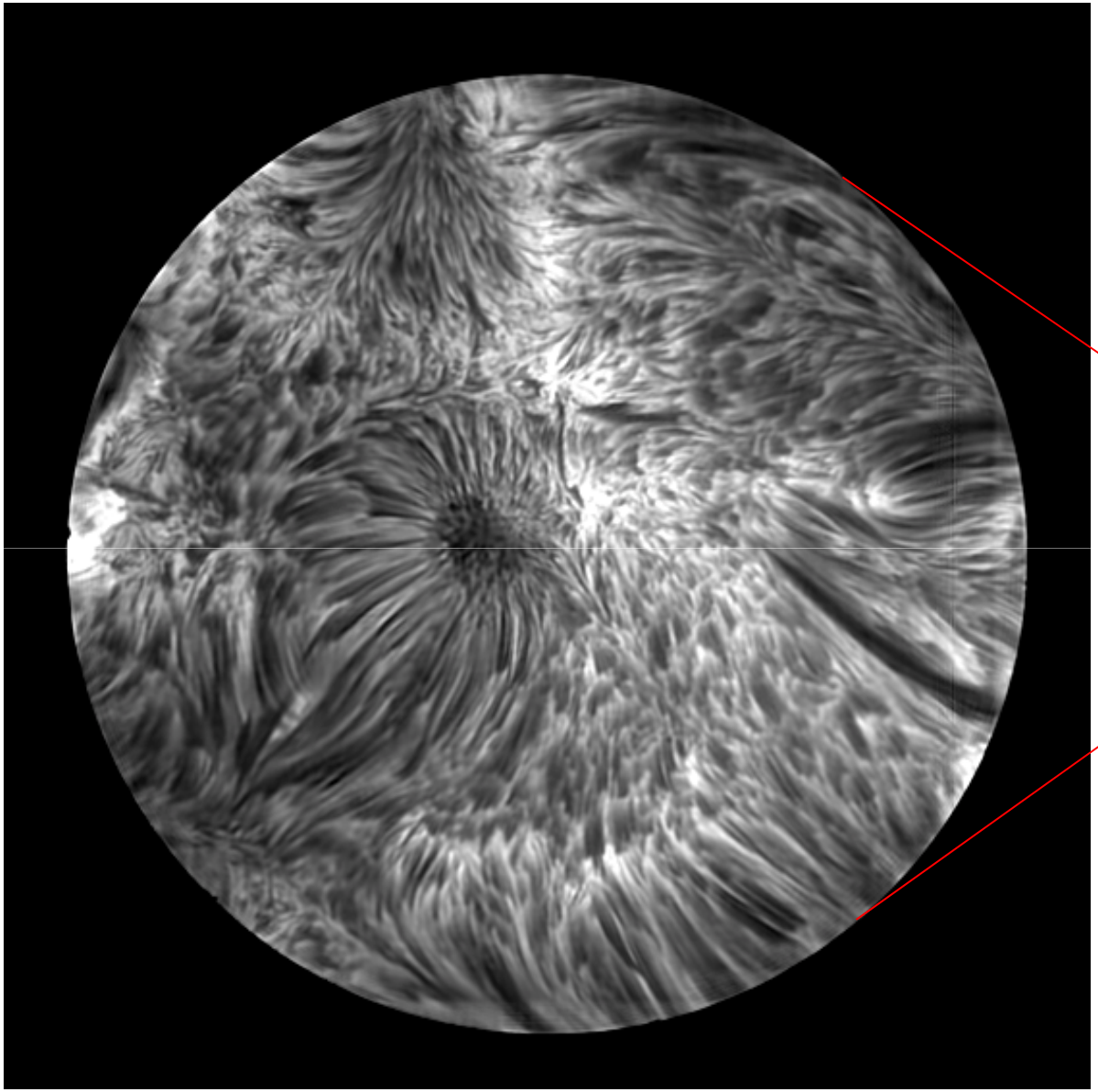
27 spectral points by 80 mÅ step

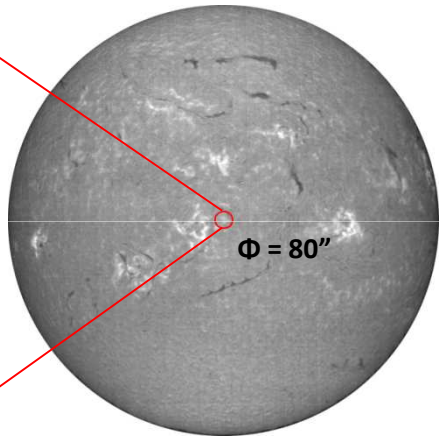
Diffraction limit: 0.28 arcsec

Passband FWHM = 44 mÅ

Exposure time: 25 ms

512 x 512 pixels (binning 2x2)



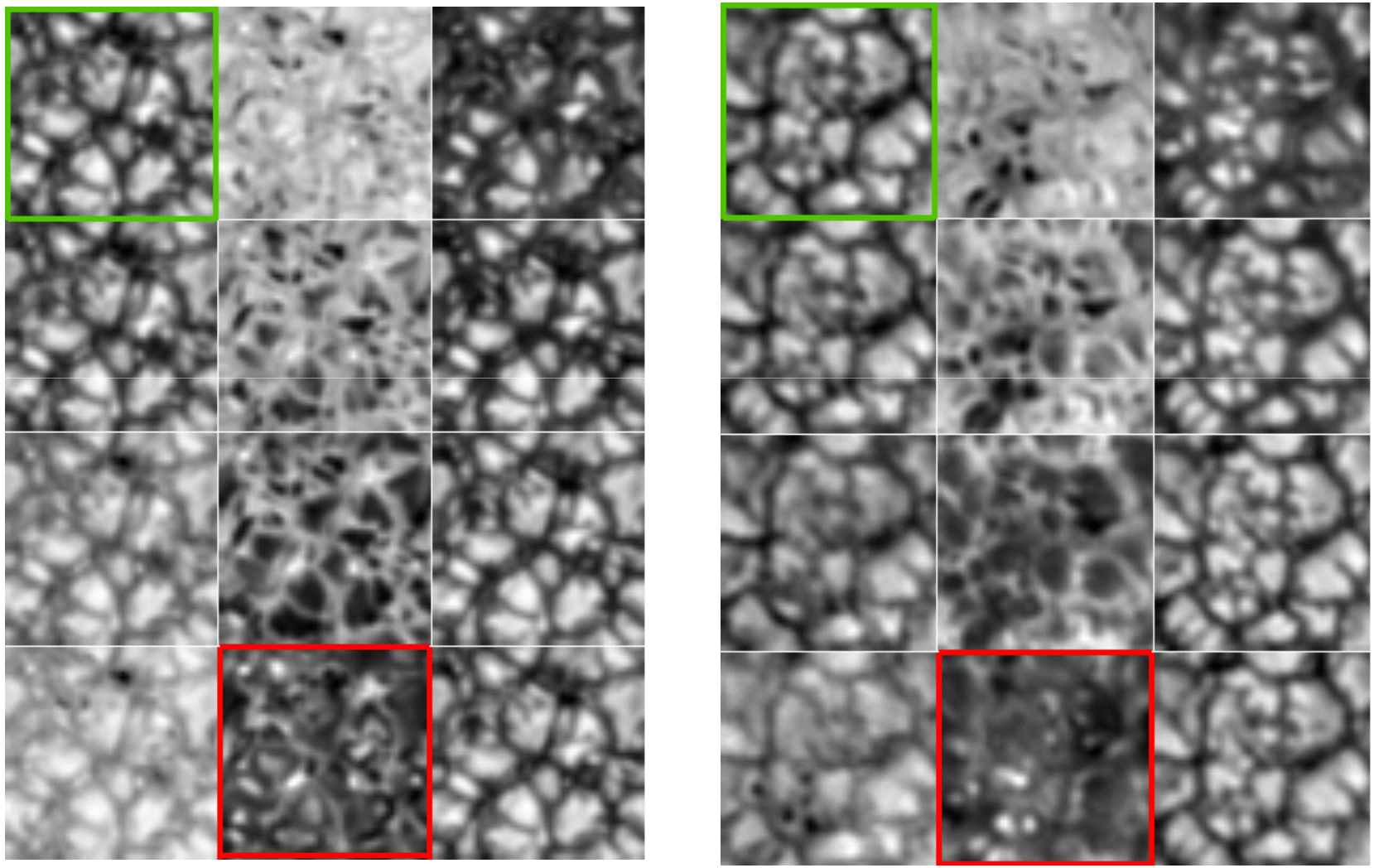


Core of the 6563 Å Hα
Passband FWHM = 22 mÅ
AO + speckle interferometry

Monochromatic Imaging of Fe I 7090 Å, Δλ = 30 mÅ

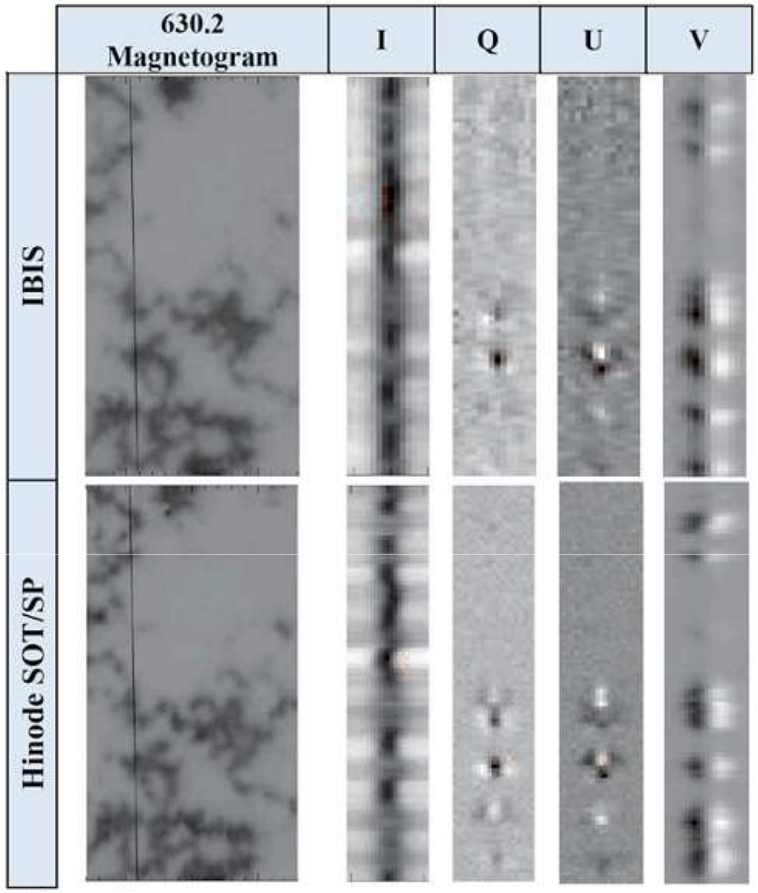
Simulations

IBIS Observations

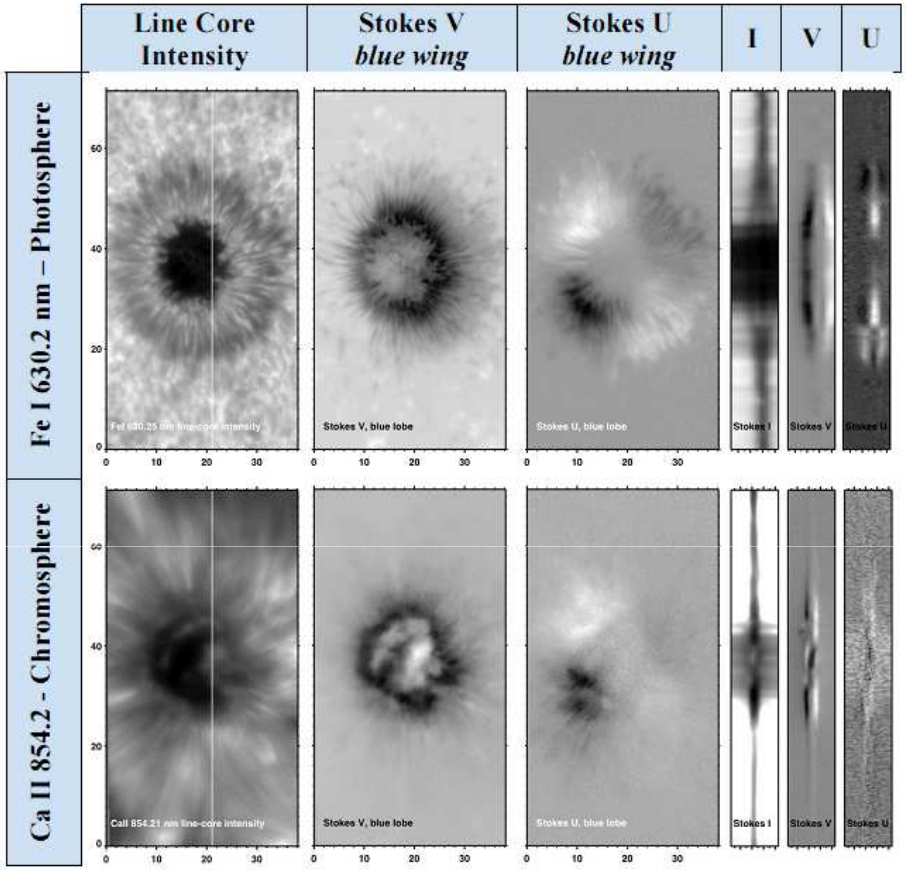


Vögler, *et al*., 2003

line core



Imaging spectropolarimetry of weak magnetic pores in the photosphere from IBIS (above) *and the SOT/SP scanning spectrograph on the* Hinode *satellite* (below). *The magnetogram covers 16"× 30", extracted from a 40"× 80" field acquired in 25 seconds with IBIS and 10 minutes with SOT/SP (Judge et al., 2009).*



Imaging spectropolarimetry of active region NOAA 10941 in the photospheric Fe I 630.2 nm and the chromospheric Ca II 854.2 nm line. Images show the line center intensity and maps of the Stokes V/I and U/I amplitude in the blue wing of the line. Artificial "slit spectra" of Stokes I, V and U extracted from the imaging data cube are shown on the right. FOV is approximately 40"×80" arcseconds. Tritschler et al., 2009, in preparation

THE IBIS-VIR

(Interferometric BIdimensional Spectrometer for Visible and InfraRed light)

PROJECT

Why infrared wavelengths?

While IR observations have the drawback of a reduced diffraction-limited resolution, this is compensated by several interesting properties that make them well suited for state-of-the-art solar physics. These include:

1 – The much improved seeing stability with respect to visible wavelengths.

2 – Reduced instrumental polarization.

3 – Improved magnetic sensitivity.

4 – The presence of several unique spectral diagnostics:

a) the HeI multiplet at 1083 nm, uniquely suited to diagnose magnetic field in a thin region at the base of the corona

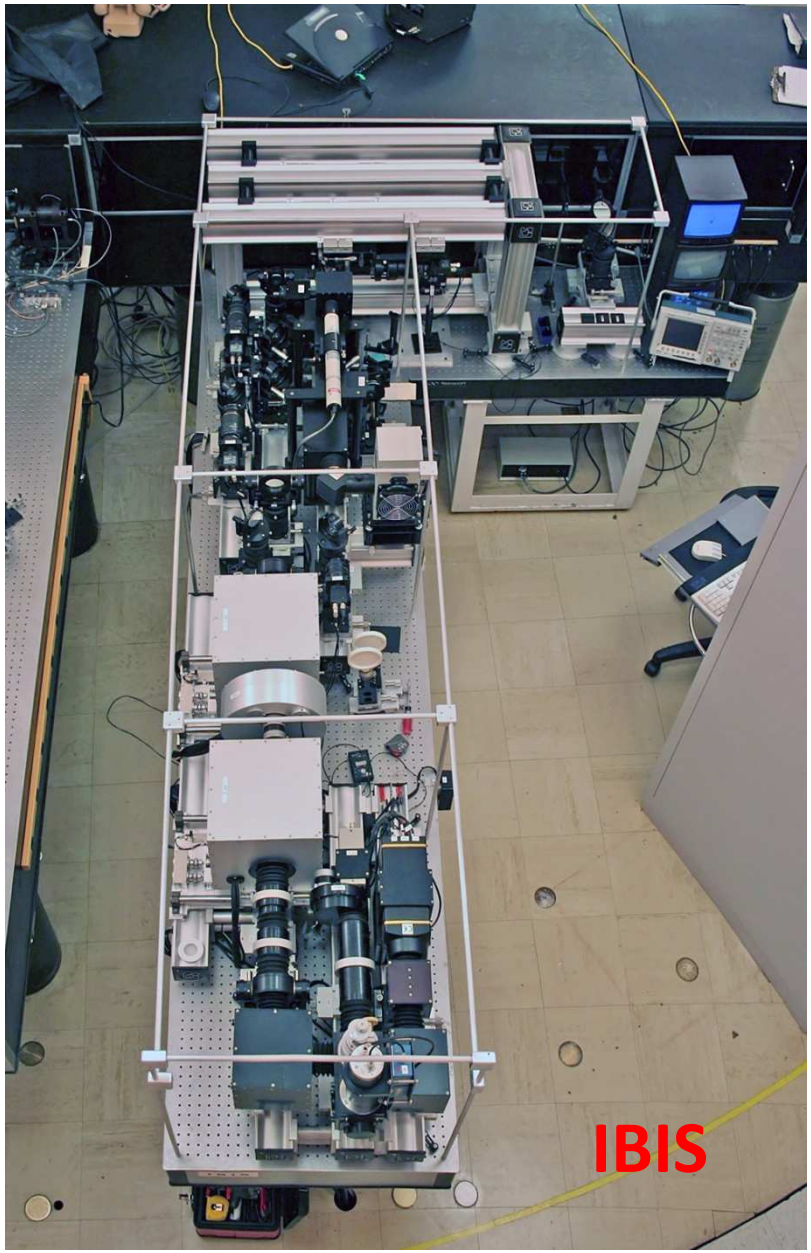
b) the doublet of FeI at 1560 nm, sensitive to weaker photospheric magnetic fields than conventional visible lines, allowing better tracing of magneto-convective and local dynamo processes

c) the MnI 1526 nm line, that possesses extraordinary sensitivity to weak field strengths

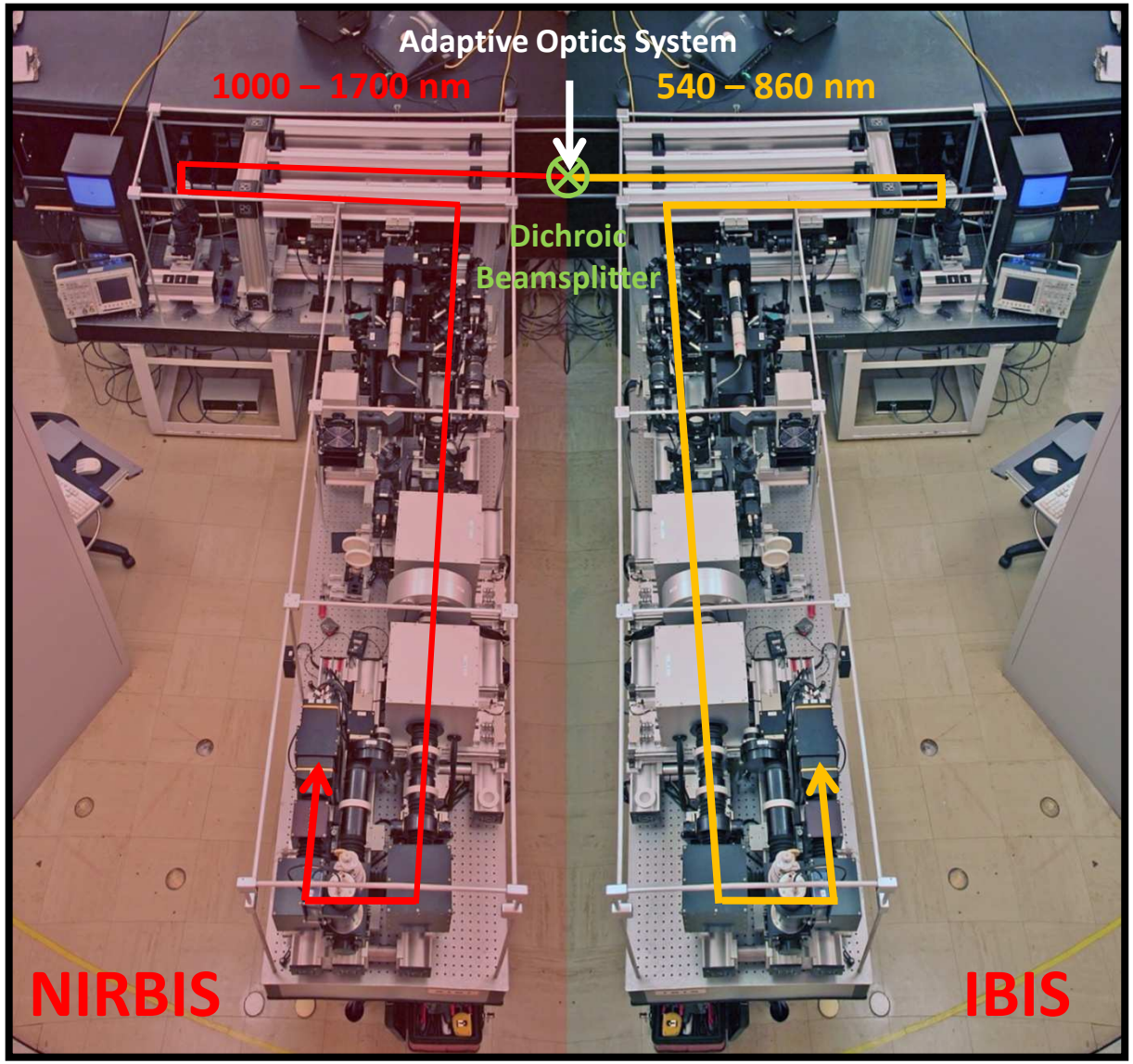
d) some molecular lines (OH at 1541 nm) seen only in sunspot umbrae

e) the opacity minimum at 1650 nm, making possible to observe deeper by about 40 Km from the visible photosphere where the energy balance rapidly changes from convective to radiative transport

We seek to build an instrument, specifically a near-infrared spectro-polarimeter (NIRBIS), which in conjunction with IBIS will give the community unique imaging spectropolarimetric capability across the photosphere-chromosphere domain.


IBIS

IBIS –VIR


Adaptive Optics System
1000 – 1700 nm
540 – 860 nm
Dichroic
Beamsplitter
NIRBIS
IBIS

IBIS-VIR INSTRUMENTAL CHARACTERISTICS			
	IBIS		**NIRBIS**
Wavelength range	540 – 860 nm		1000 – 1700 nm
Spectral resolving power	200 000 – 300 000		100 000 – 150 000
Parasitic light	0.5 % – 2.2 %		0.7 % – 1.0 %
Ghosts	1.5 %		0.8 %
Field of view	80 arcsec		80 arcsec
Spatial sampling	2.4 – 3.6 pixel/r. el.		2 – 2.6 pixel/r. el.
Field-dependent blue-shift	60 – 90 mÅ		100 mÅ – 170 mÅ
Strehl ratio	0.95		≥ 0.9
Observable spectral lines (nm)	FeI 543.4 TiI 564.4 He D3 587.6 Na D1 589.6 FeI 617.3 FeI 630.1	FeI 630.2 Hα 656.3 NiI 676.8 FeI 709.0 FeII 722.4 CaII 854.2	SiI 1083 HeI 1083 MnI 1526 OH 1541 FeI 1565 continuum 1650

The NSF request

- In August 2009 a funding request for NIRBIS has been presented to NSF as a collaboration among INAF, NSO and HAO
- The hardware and the control software of the instrument will be carried out in Arcetri
- The polarimetric system will be in charge of HAO
- The software for the data handling will be in charge of NSO
- The proposed duration of the project is 2 years
- The total requested amount is 605 000 $ for a total cost of 936 000 $
- INAF will co-finance this project with manpower and one interferometer recovered by the dismantling of IPM
- NSO will contribute with a second interferometer
- The outcome of this call is expected in January 2010

If the NSF request will be approved we shall need ...

- One mechanical and one electronic technician (full time).

- The access to the laboratory near the Solar Tower (the old IBIS laboratory).
  The instrument will have a size of about 3.5 x 2 m and both the present optical tables will be used.

THE ADAHELI PROJECT

Piccole Missioni ASI ammesse alla Fase A (Febbraio – Novembre 2008)

1 - SAGACE (Spectroscopic Active Galaxies And Clusters Explorer)

PI: Prof. Paolo De Bernardis, Universita' La Sapienza (Roma)
Prime Contractor: Kaiser Italia srl
Ha come obiettivo primario lo studio spettroscopico di un importante effetto cosmologico, detto effetto Sunyaev-Zeldovich (SZ). Lo scopo principale della missione è di (a) investigare in dettaglio la fisica e geometria di strutture cosmiche su grande scala (ammassi di galassie, radio-galassie, Blazars, galassie sturbursts) (b) indagare la struttura e i costituenti fondamentali dell'Universo (costante di Hubble, densità di materia Oscura e di Energia oscura) (c) fornire per la prima volta un catalogo completo a microonde di Nuclei Galattici Attivi (AGN) e galassie "sturbursts" (d) fornire una mappatura delle regioni di formazione stellare, nubi molecolari e plasma interstellare nelle regioni esterne alla Galassia. In questo contesto lo studio spettroscopico dell'effetto SZ è uno strumento di indagine cosmologica potentissimo, che può essere utilizzato appieno solo dallo spazio. Le misure di SAGACE sono complementari a quelle dei satelliti Herschel e Planck (lancio a fine 2008) e contribuiscono in maniera sostanziale allo studio spettroscopico delle sorgenti extragalattiche.

2 - POLARIX (POLARimetro X)

PI: Prof. Enrico COSTA, IASF
Prime Contractor: IASF - Roma
È una missione in grado di eseguire la polarimetria di oggetti appartenenti a molte classi di sorgenti galattiche e di alcune sorgenti extragalattiche più brillanti. Questa possibilità deriva dalla disponibilità esclusiva di una tecnologia di rivelazione tutta italiana, combinata con l'eccellenza della comunità italiana nel campo delle ottiche X (già sperimentata con BeppoSAX, XMM e SWIFT). POLARIX si propone di effettuare misure della polarizzazione lineare dei raggi X da sorgenti cosmiche. Tale misura, a tutt'oggi realizzata 30 anni fa solo su di una sorgente, costituirà una vera e propria apertura di una nuova finestra osservativa in Astronomia e aumenterà la nostra conoscenza sulla geometria e la fisica delle sorgenti, consentendo tra l'altro di selezionare modelli di emissione diversi.

3 - FLORAD (Costellazione FLOreale micro-satellitare di RADiometri in banda millimetrica per l'Osservazione della Terra e dello Spazio a scala regionale)

PI: Prof. Frank Marzano, Università La Sapienza (Roma)
Prime Contractor: Università La Sapienza (Roma), Dip. Ingegneria Elettronica
Obiettivo della missione è quello di lanciare una costellazione di micro-satelliti, equipaggiati come singolo carico utile da un radiometro a microonde in banda millimetrica, per effettuare l'osservazione remota ad alta ripetitività temporale e ad alta risoluzione spaziale del campo di temperatura, vapore acqueo e acqua di nubi della troposfera sull'area mediterranea ed utilizzare tali misure per l'alimentazione di tecniche di previsione (nowcasting) a brevissimo (fino a 1 ora) e breve termine (fino a 6 ore) per fini di protezione civile e protezione ambientale.
Le FC sono un insieme di costellazioni di satelliti che vengono progettate adottando orbite compatibili (o risonanti) e opportuni metodi di fasatura (phasing) La FC è composta da 4 satelliti che percorrono una traccia spaziale permettendo lunghi tempi di rivisitazione della regione terrestre al nadir. Quando un satellite "abbandona" il petalo, un altro satellite della costellazione prende il suo posto, posizionando quindi in maniera opportuna i petali sulle regioni terresti di interesse si possono ottimizzare i tempi di rivisitazione.

4 - MAGGIA (Missione Altimetrica Gravimetrica Geochimica lunAre)

PI: Prof. A. Coradini INAF-IFSI
Prime Industriale : Rheinmetall Italia S.p.A
La missione si propone di rispondere ad alcune delle questioni di maggiore importanza per lo studio della Luna quali la struttura interna, elemento necessario per comprendere l'origine e la formazione, la ricerca di evidenze di processi di differenziazione che devono aver caratterizzato la parte iniziale della formazione e la correlazione con la successiva fase dominata dalla craterizzazione della superficie. Al momento, i dati geochimici e mineralogici da telerilevamento lunare, utili per raccordare le analisi dei campioni di rocce prelevate in-situ ad aree del satellite più vaste, sono disponibili solo per la "near side". Inoltre anche le missioni più recenti (Clementine, SMART-1, Lunar Prospector) non avevano a bordo strumenti in grado di effettuare un'analisi mineralogica accurata. MAGGIA si propone inoltre una precisa caratterizzazione del campo gravitazionale lunare, ed ad un'accurata misura del suo stato rotazionale. Questi temi sono tutti strettamente legati tra loro concorrendo, infatti, a migliorare la comprensione dell'origine ed evoluzione della Luna.

5 - ADAHELI (ADvanced Astronomy for HELIophysics)

PI: Prof. Francesco Berrilli, Universita' di Tor Vergata
Prime Contractor: Carlo Gavazzi Space
Scopo primario di ADAHELI è lo studio della dinamica fotosferica e cromosferica del sole mediante osservazioni nel visibile-vicino infrarosso (NIR) e lo studio dell'irradianza solare, integrata in regioni sub-arcmin, in banda millimetrica. La modulazione della trasparenza atmosferica nel NIR rendono le osservazioni da terra, in questa banda, fortemente variabili e di scarsa qualità. Entrambe queste regioni dello spettro, benché di grande importanza per la comprensione dell'attività solare e della sua interazione con l'ambiente terrestre, sono assai poco conosciute per cui si possono attendere importanti contributi di questa Missione nella comprensione dell'attività assoluta solare (magnetica, flares, brillamenti) e dei campi elettromagnetici indotti sull'ambiente terrestre.

Piccole Missioni ASI “ammesse” alla Fase B

1 - SAGACE (Spectroscopic Active Galaxies And Clusters Explorer)

PI: Prof. Paolo De Bernardis, Universita’ La Sapienza (Roma)
Prime Contractor: Kaiser Italia srl
Ha come obiettivo primario lo studio spettroscopico di un importante effetto cosmologico, detto effetto Sunyaev-Zeldovich (SZ). Lo scopo principale della missione è di (a) investigare in dettaglio la fisica e geometria di strutture cosmiche su grande scala (ammassi di galassie, radio-galassie, Blazars, galassie sturbursts) (b) indagare la struttura e i costituenti fondamentali dell’Universo (costante di Hubble, densità di materia Oscura e di Energia oscura) (c) fornire per la prima volta un catalogo completo a microonde di Nuclei Galattici Attivi (AGN) e galassie “sturbursts” (d) fornire una mappatura delle regioni di formazione stellare, nubi molecolari e plasma interstellare nelle regioni esterne alla Galassia. In questo contesto lo studio spettroscopico dell’effetto SZ è uno strumento di indagine cosmologica potentissimo, che può essere utilizzato appieno solo dallo spazio. Le misure di SAGACE sono complementari a quelle dei satelliti Herschel e Planck (lancio a fine 2008) e contribuiscono in maniera sostanziale allo studio spettroscopico delle sorgenti extragalattiche.

2 - POLARIX (POLARimetro X)

PI: Prof. Enrico COSTA, IASF
Prime Contractor: IASF - Roma
È una missione in grado di eseguire la polarimetria di oggetti appartenenti a molte classi di sorgenti galattiche e di alcune sorgenti extragalattiche più brillanti. Questa possibilità deriva dalla disponibilità esclusiva di una tecnologia di rivelazione tutta italiana, combinata con l’eccellenza della comunità italiana nel campo delle ottiche X (già sperimentata con BeppoSAX, XMM e SWIFT). POLARIX si propone di effettuare misure della polarizzazione lineare dei raggi X da sorgenti cosmiche. Tale misura, a tutt’oggi realizzata 30 anni fa solo su di una sorgente, costituirà una vera e propria apertura di una nuova finestra osservativa in Astronomia e aumenterà la nostra conoscenza sulla geometria e la fisica delle sorgenti, consentendo tra l’altro di selezionare modelli di emissione diversi.

3 - FLORAD (Costellazione FLOreale micro-satellitare di RADiometri in banda millimetrica per l’Osservazione della Terra e dello Spazio a scala regionale)

PI: Prof. Frank Marzano, Università La Sapienza (Roma)
Prime Contractor: Università La Sapienza (Roma), Dip. Ingegneria Elettronica
Obiettivo della missione è quello di lanciare una costellazione di micro-satelliti, equipaggiati come singolo carico utile da un radiometro a microonde in banda millimetrica, per effettuare l’osservazione remota ad alta ripetitività temporale e ad alta risoluzione spaziale del campo di temperatura, vapore acqueo e acqua di nubi della troposfera sull’area mediterranea ed utilizzare tali misure per l’alimentazione di tecniche di previsione (nowcasting) a brevissimo (fino a 1 ora) e breve termine (fino a 6 ore) per fini di protezione civile e protezione ambientale.
Le FC sono un insieme di costellazioni di satelliti che vengono progettate adottando orbite compatibili (o risonanti) e opportuni metodi di fasatura (phasing) La FC è composta da 4 satelliti che percorrono una traccia spaziale permettendo lunghi tempi di rivisitazione della regione terrestre al nadir. Quando un satellite “abbandona” il petalo, un altro satellite della costellazione prende il suo posto, posizionando quindi in maniera opportuna i petali sulle regioni terresti di interesse si possono ottimizzare i tempi di rivisitazione.

4 - MAGGIA (Missione Altimetrica Gravimetrica Geochimica lunAre)

PI: Prof. A. Coradini INAF-IFSI
Prime Industriale : Rheinmetall Italia S.p.A
La missione si propone di rispondere ad alcune delle questioni di maggiore importanza per lo studio della Luna quali la struttura interna, elemento necessario per comprendere l’origine e la formazione, la ricerca di evidenze di processi di differenziazione che devono aver caratterizzato la parte iniziale della formazione e la correlazione con la successiva fase dominata dalla craterizzazione della superficie. Al momento, i dati geochimici e mineralogici da telerilevamento lunare, utili per raccordare le analisi dei campioni di rocce prelevate in-situ ad aree del satellite più vaste, sono disponibili solo per la “near side”. Inoltre anche le missioni più recenti (Clementine, SMART-1, Lunar Prospector) non avevano a bordo strumenti in grado di effettuare un’analisi mineralogica accurata. MAGGIA si propone inoltre una precisa caratterizzazione del campo gravitazionale lunare, ed ad un’accurata misura del suo stato rotazionale. Questi temi sono tutti strettamente legati tra loro concorrendo, infatti, a migliorare la comprensione dell’origine ed evoluzione della Luna.

5 - ADAHELI (ADvanced Astronomy for HELIophysics)

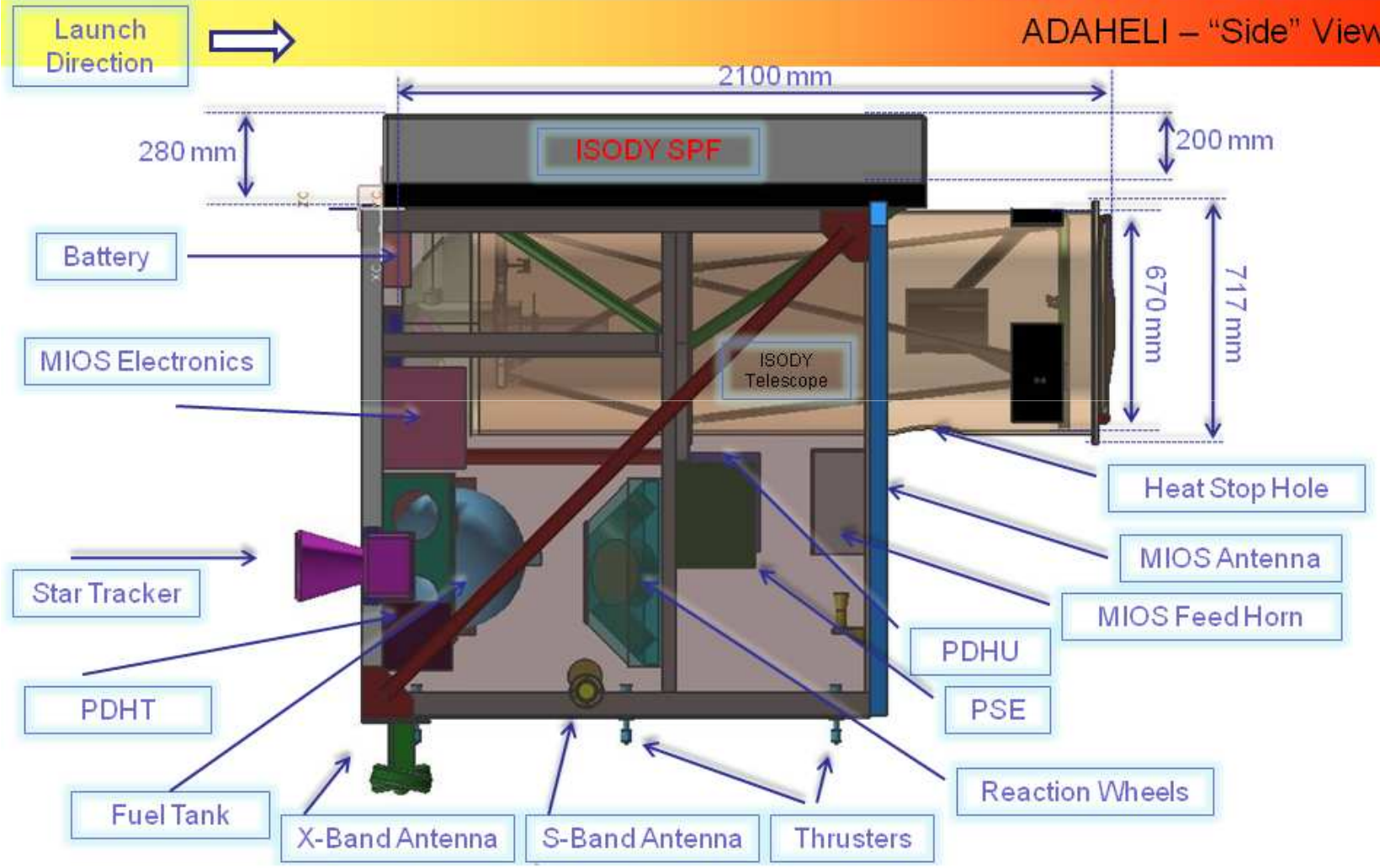
PI: Prof. Francesco Berrilli, Universita’ di Tor Vergata
Prime Contractor: Carlo Gavazzi Space
Scopo primario di ADAHELI è lo studio della dinamica fotosferica e cromosferica del sole mediante osservazioni nel visibile-vicino infrarosso (NIR) e lo studio dell’irradianza solare, integrata in regioni sub-arcmin, in banda millimetrica. La modulazione della trasparenza atmosferica nel NIR rendono le osservazioni da terra, in questa banda, fortemente variabili e di scarsa qualità. Entrambe queste regioni dello spettro, benché di grande importanza per la comprensione dell’attività solare e della sua interazione con l’ambiente terrestre, sono assai poco conosciute per cui si possono attendere importanti contributi di questa Missione nella comprensione dell’attività assoluta solare (magnetica, flares, brillamenti) e dei campi elettromagnetici indotti sull’ambiente terrestre.

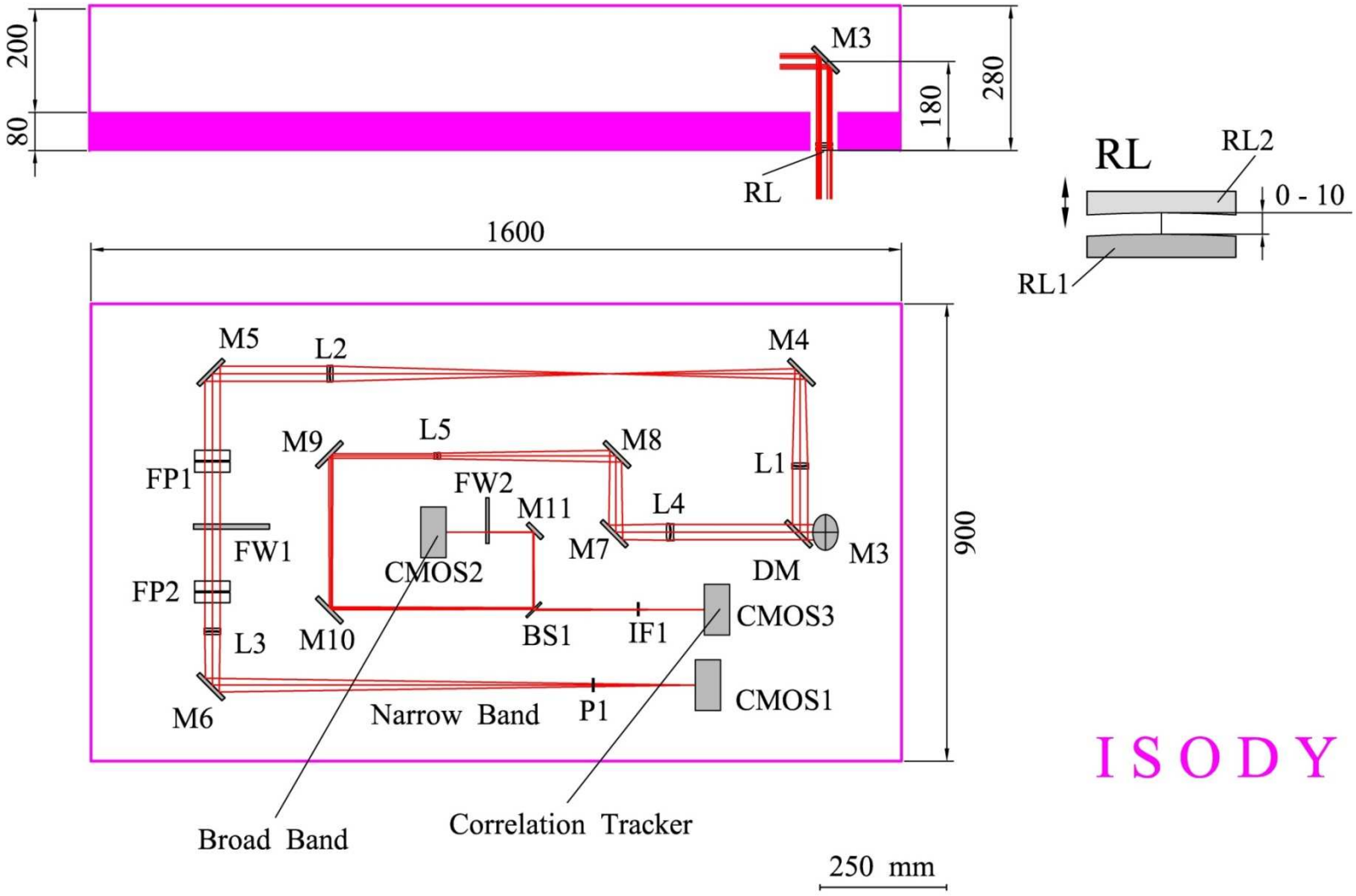
ADAHELI – Configuration – 24/09/08
ADAHELI
ADvanced Astronomy for HELIophysics

ADAHELI

ADvanced Astronomy for HELiophysics

ADAHELI – "Side" View




200
80
M3
180
280
RL
RL
RL2
0 - 10
RL1
1600
M5
L2
M4
M9
L5
M8
L1
FP1
FW2
M11
L4
FW1
CMOS2
M7
DM
M3
FP2
CMOS3
M10
BS1
IF1
L3
M6
Narrow Band
P1
CMOS1
900
Broad Band
Correlation Tracker
250 mm
ISODY

ISODY INSTRUMENTAL CHARACTERISTICS	
Wavelength range	850 – 1090 nm
Spectral resolving power	167 400 – 200 000
Parasitic light	0.73 % – 1.00 %
Ghosts	0.8 %
Field of view	105 arcsec
Spatial sampling	2 – 2.6 pixel/res. el.
Field-dependent blue-shift	85 mÅ – 109 mÅ
Observable spectral lines (nm)	FeI 852.7 CaII 854.2 SiI 1082.7 HeI 1083.0

If the B phase of Adaheli will be approved we shall need …

- We do not know in this moment, because different solutions have been proposed in the past for assembling ISODY, but nothing has been yet decided.

- Anyway, if part of the assembly will be done at Arcetri, since ISODY is a relatively small instrument (1600 x 900 x 280 mm), not much laboratory space would be required.

EST

(European Solar Telescope)

&

ATST

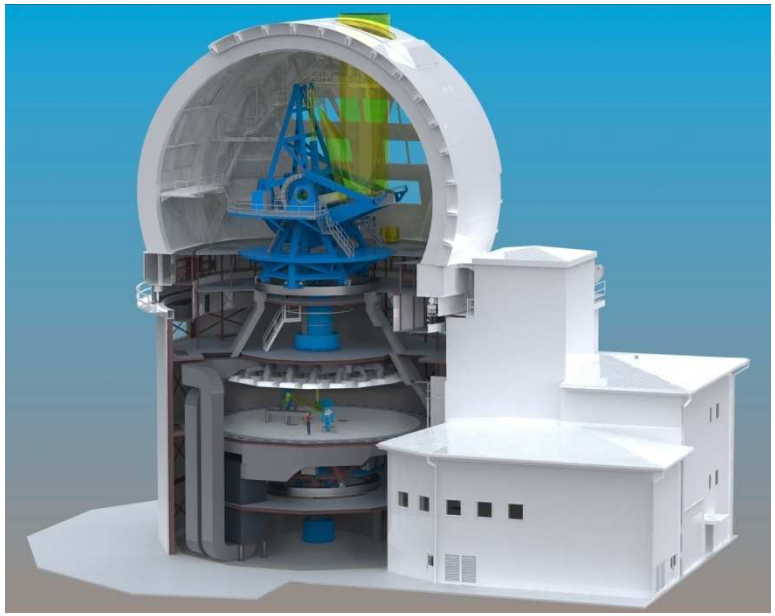
(Advanced Technology Solar Telescope)

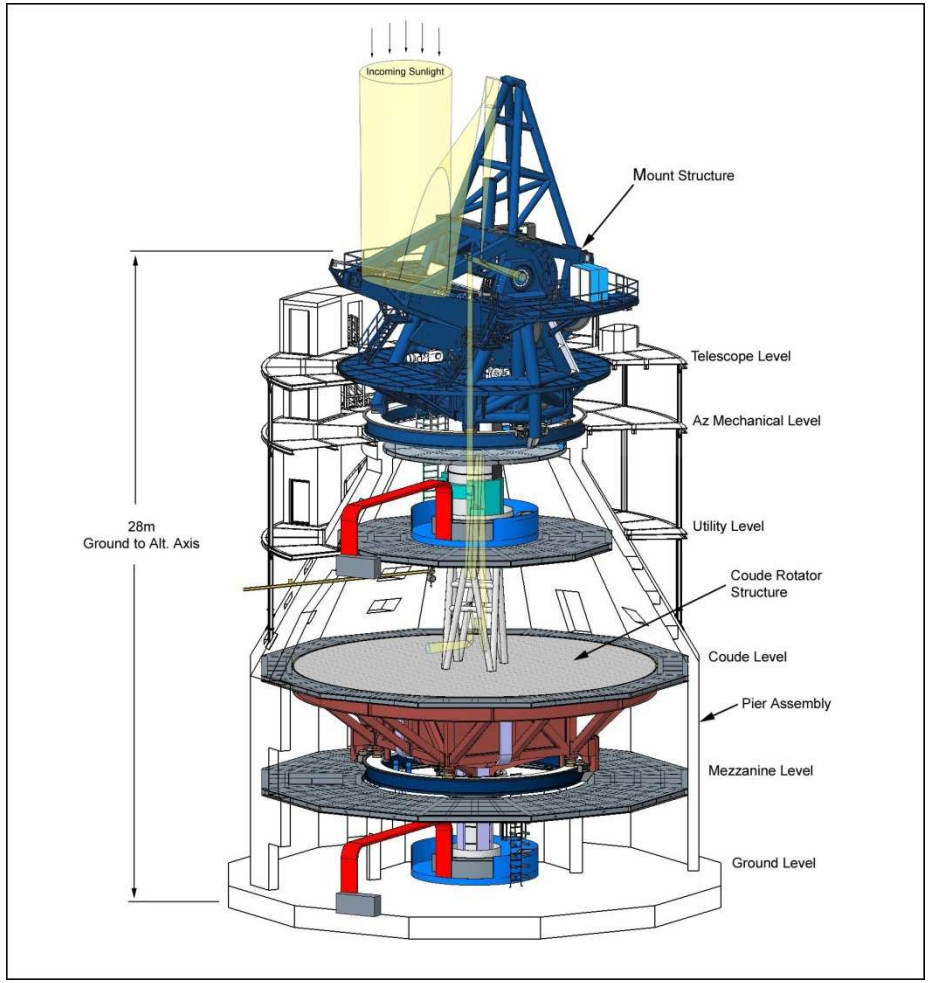
PROJECTS

ATST (EST)
main characteristics

- Entrance pupil: 4 m
- Field of view: up to 5 arcmin
- Wavelength range: near ultraviolet (0.3 μ) to thermal infrared (28 μ)
- Spatial resolution: better than 0.03 arcsec (≈ 20 Km on the solar surface)
- Polarization accuracy: 1/10 000th of intensity
- Scattered light: coronographic in near-infrared

ATST




Incoming Sunlight
Mount Structure
Telescope Level
Az Mechanical Level
Utility Level
Coude Rotator Structure
Coude Level
Pier Assembly
Mezzanine Level
Ground Level
28m
Ground to Alt. Axis

Finding 3. VTF Development.

The SWG underscores that the VTF imaging spectro-polarimeter will play a key role in fulfilling the scientific objectives of the ATST by providing rapid and accurate spectral information over extended fields of view at diffraction-limited resolutions.

Given this opportunity for strategic, high-impact science, the SWG considers it essential that the VTF is fully operational early in the telescope commissioning phase.

"ATST Science Working Group Meeting, September 2009"

Helmholtz – Lagrange Theorem

$$FOV = \theta_{max} \frac{\Phi_{FPI}}{\Phi_T}$$

FOV = 80”

θ_{max} = 0.52°

IBIS + DST (Φ_T = 764 mm)

Φ_{FPI} = 33 mm

IBIS + ATST (Φ_T = 4000 mm)

Φ_{FPI} = 170 mm

Major problems of large diameter etalons

- How can we minimize the thermo-mechanical deformations of large diameter Interferometers due to the gravity and to the thermostatic system ?
- What ‘s the limit of the flatness errors obtainable with the more recent technologies of polishing and coating of *large* surfaces ?
- Can we use an active optics system to correct the wavefront at the exit of the interferometers ?
- More generally, can we develop a coherent approch to the problem of optimizing the design parameters of a multi-etalon spectrometer to obtain the best spectroscopic and imaging performance ?

All these problems are under study in Arcetri within the EST Phase A