



A VERY LINEAR WAVEFRONT SENSOR FOR ADAPTIVE OPTICS

Greggio Davide¹⁻², Ragazzoni Roberto¹, Magrin Demetrio¹, Viotto
Valentina¹, Farinato Jacopo¹, Bergomi Maria¹, Marafatto Luca¹, Dima
Marco¹, Portaluri Elisa¹

¹ INAF – Osservatorio Astronomico di Padova

² Università di Padova

Ottica Adattiva Multi Coniugata Globale (GMCAO)

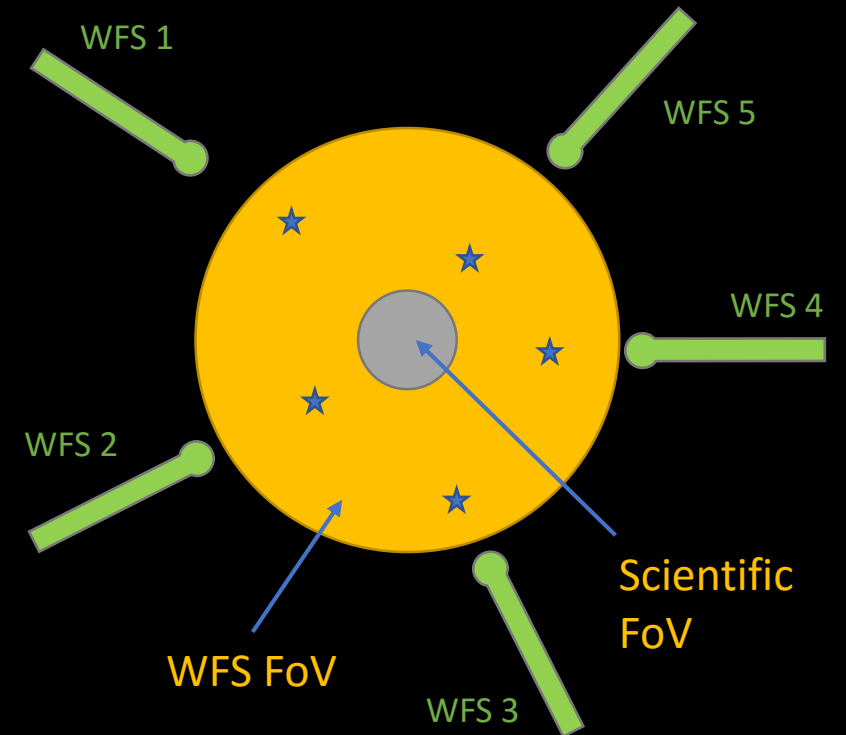


E' un sistema di ottica adattiva multi-coniugata che usa stelle di riferimento su un campo di vista grande per ricostruire e correggere un campo di vista scientifico più piccolo

Vantaggi: sky coverage aumentata, basato su stelle di riferimento naturali, correzione di campi di vista estesi

Si basa su una serie di concetti:

- Sensore a piramide (alta sensibilità / magnitudine limite)
- Ottica adattiva multi coniugata
- Sensore di fronte d'onda lineare (VL-WFS)
- Specchi deformabili virtuali
- Metrologia accurata del fronte d'onda



(vedere talk di Valentina Viotto)

Verso una migliore Sky-coverage...



Sky coverage

Mag limite WFS

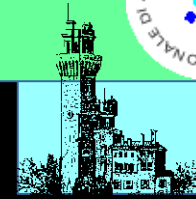
Sensore a piramide
(in loop chiuso)

Conoscere con precisione la forma del DM

Non linearità del segnale

Strehl su vertice della piramide / # attuatori

Monitorare la forma del DM



In loop chiuso, in genere, non serve conoscere precisamente la forma da dare al DM perché il processo di correzione è iterativo.

Due problemi principali causano non linearità della risposta del DM:

Hysteresis: molto bassa per i voice coil DMs, 3-4% per gli attuatori piezo-elettrici, ma ci sono modi per ridurla sotto all'1%

Creep: meno dell'1% in tempi scala di 1s (è possibile caratterizzarlo)



Due modi per
ricavare forma
del DM

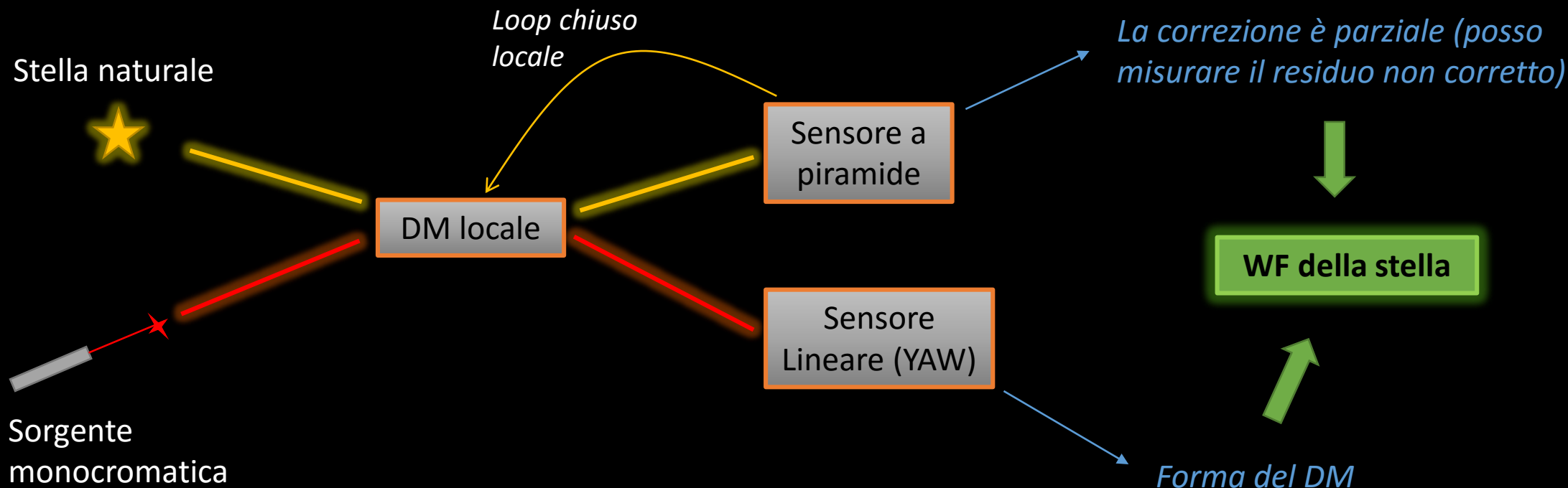
Gli attuatori hanno un meccanismo per conoscere la loro posizione

Misuro la forma dello specchio in tempo reale otticamente (interferometro o altro WFS con risposta lineare)

Yet Another Wavefront sensor (YAW)
Gendron et al. (2010)

Prisma di Wollaston nel piano focale e detector in pupilla (output simile alla piramide)

VL-WFS – Schema concettuale





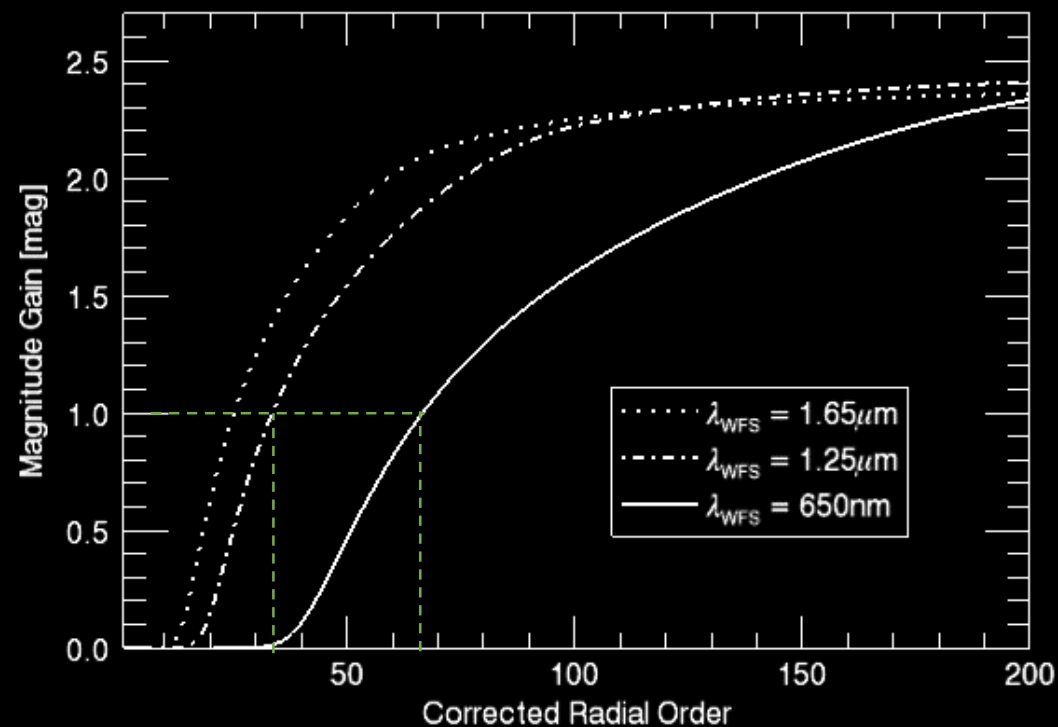
Ipotesi:

Correzione perfetta fino ad un determinato ordine radiale

SR sulla piramide determinato dai residui degli ordini radiali maggiori

D=40m

Guadagno in mag rispetto a sensore SH

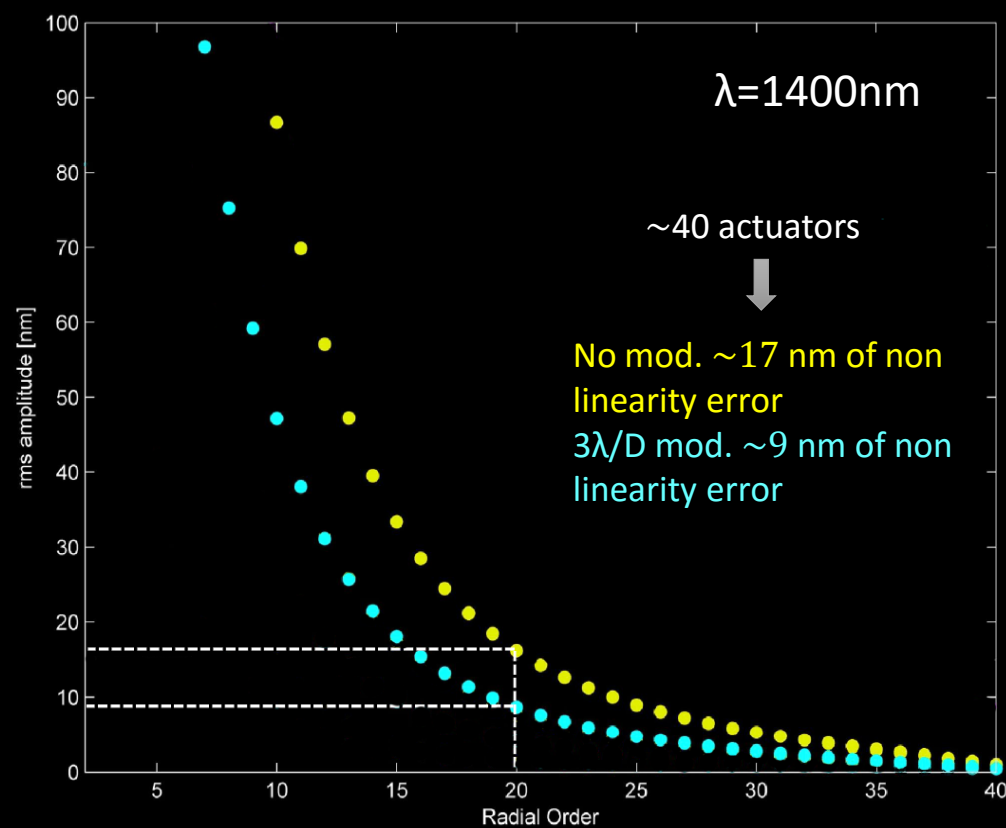
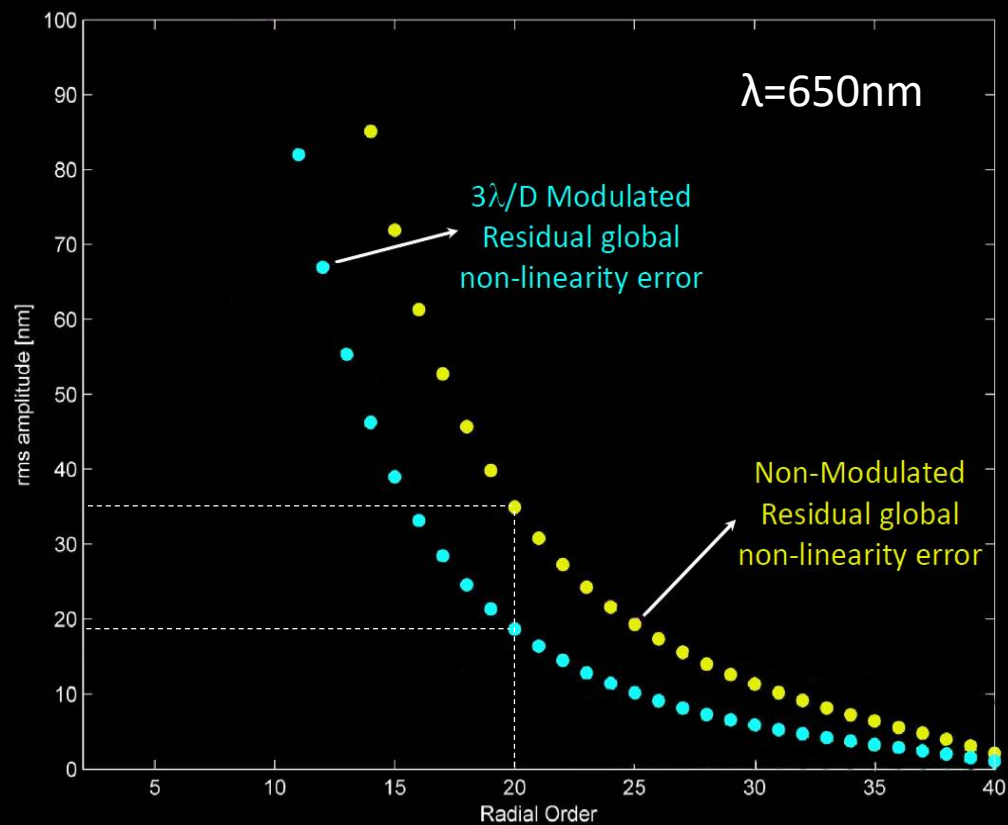


Viotto et al. - AO4ELT4 (2015)

Correzione parziale e linearità del segnale residuo

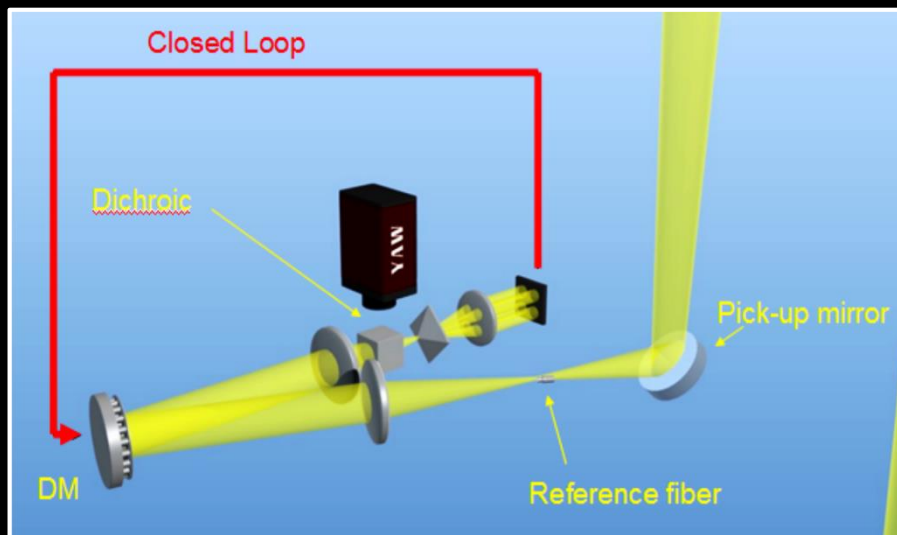


$$D = 40 \text{ m}, r_0 = 0.14 \text{ m}, L_0 = 25 \text{ m}$$





Schema concettuale



Si possono stimare alcuni parametri fondamentali:

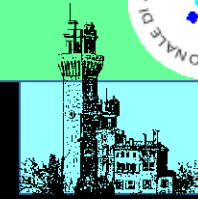
- Campionamento spaziale del DM locale (mag lim. e linearità): $\sim 40-60$ attuatori sul diametro
- Range dinamico del DM locale (correzione parziale di M4): $\sim 3\mu m$ stroke
- Lunghezza d'onda di lavoro: preferibile NIR
- Dimensione detector: $\sim 300 \times 300$ px, $25\mu m$ px pitch

Modelli di specchi deformabili disponibili

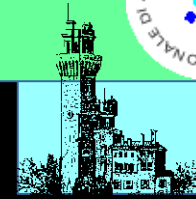


Company	Model	# ACTUATORS (total)	# ACTUATORS (diameter)	DIAMETER (mm)	STROKE (μm)
ALPAO	DM 820	820	32	45	>3.0 inter-actuators (15 overall tip-tilt)
BOSTON MICROMACHINES	4-KILO DM	4092	64	25	3.5

Modelli di detector disponibili



	SAPHIRA Detector Specs	OWL SWIR HS Detector Specs
Array	320 x 256 px	320 x 256 px
Pixel Pitch	24 μm	30 μm
Active Area	7.68 x 6.14 mm^2	9.6 x 7.68 mm^2
Avalanche gain range	Up to 80	
Median Sensitivity	1 photon RMS	
Framerate	>10 KHz	0.77 KHz on 170x170px 0.35 KHz full frame
Bandpass	1-2.5 μm	0.4-1.7 μm



Obiettivo principale del disegno ottico: avere una qualità ottica prossima al limite di diffrazione sul sensore a Piramide e sullo YAW in modo da minimizzare il contributo ottico nell'error budget

Altri requisiti:

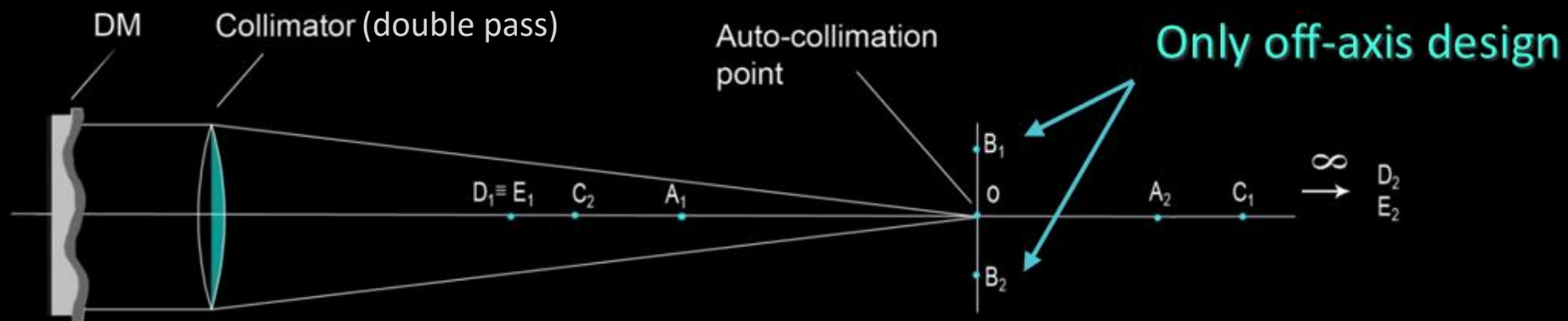
- Dimensioni ridotte
- Minimizzare numero di elementi ottici
- “AIV friendly”
- Minimizzare le NCPA



Bisogna unire la luce del laser e della stella in modo che entrambe illuminino lo specchio deformabile locale e poi separarle per mandarle ai rispettivi WFS

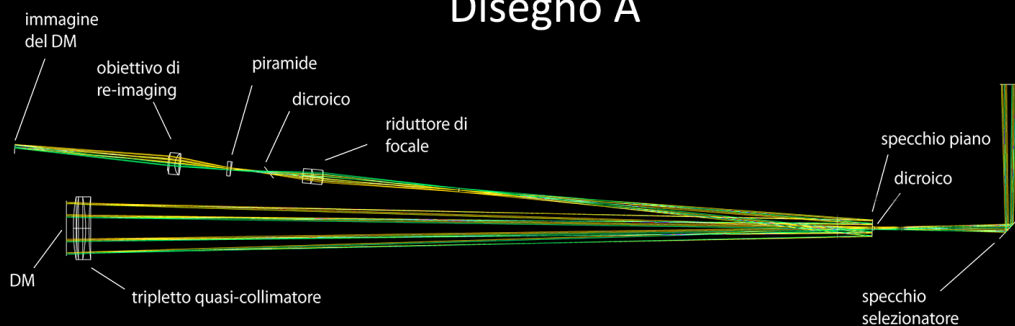
Può essere fatto in due modi:

1. Separare spazialmente i piani focali dei due fasci lavorando fuori asse (design B)
2. Utilizzare il collimatore in quasi-collimazione e sfruttare lo spostamento assiale tra fuoco d'entrata e fuoco d'uscita e dei filtri dicroici per separare i fasci (design A,C,D,E)

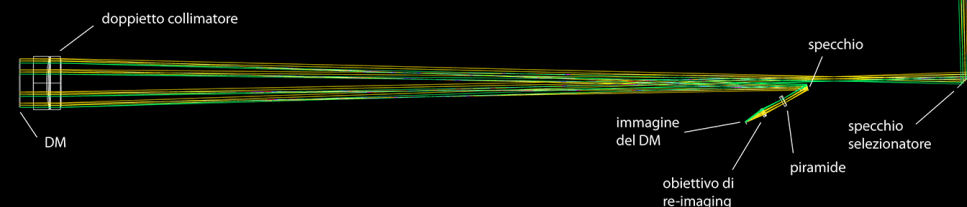




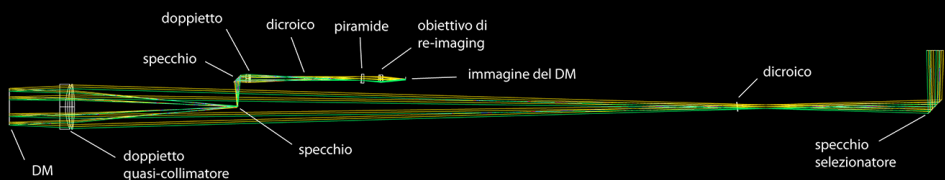
Disegno A



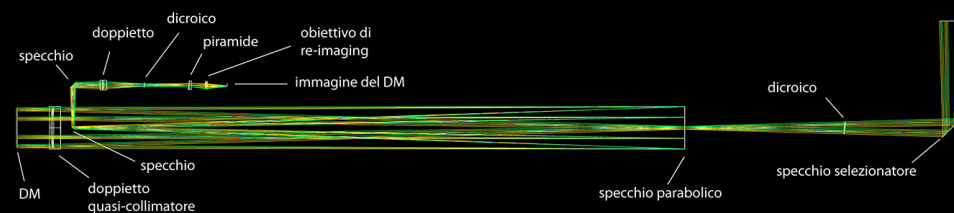
Disegno B



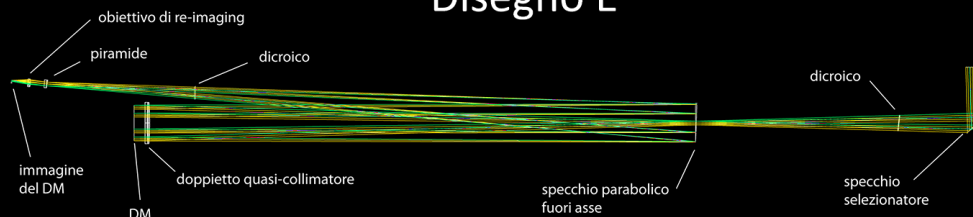
Disegno C



Disegno D



Disegno E



Disegni ottici a confronto

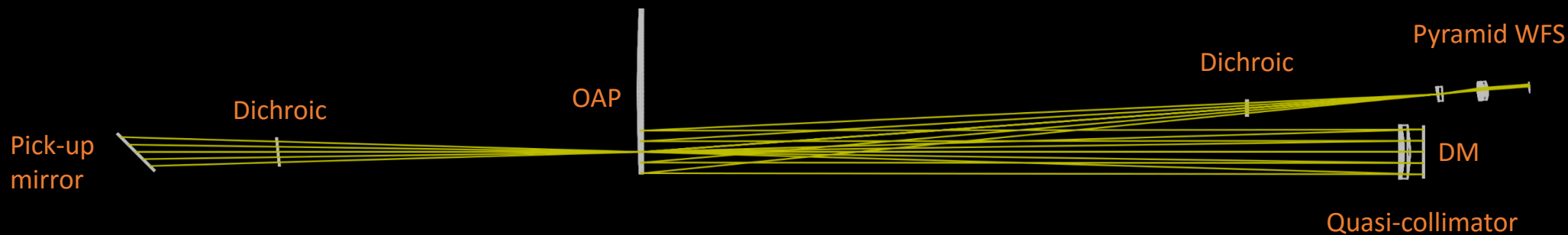


	# of optical elements	Optical common path	Off-Axis optics	SR @Pyramid	SR @YAW	Size [mm]
A	10	Yes	No	99	98	1650
B	7	No	Yes	97	97	1690
C	11	Yes	No	94	99	1890
D	12	Yes	No	99	100	2000
E	9	Yes	Yes	99	99	1980

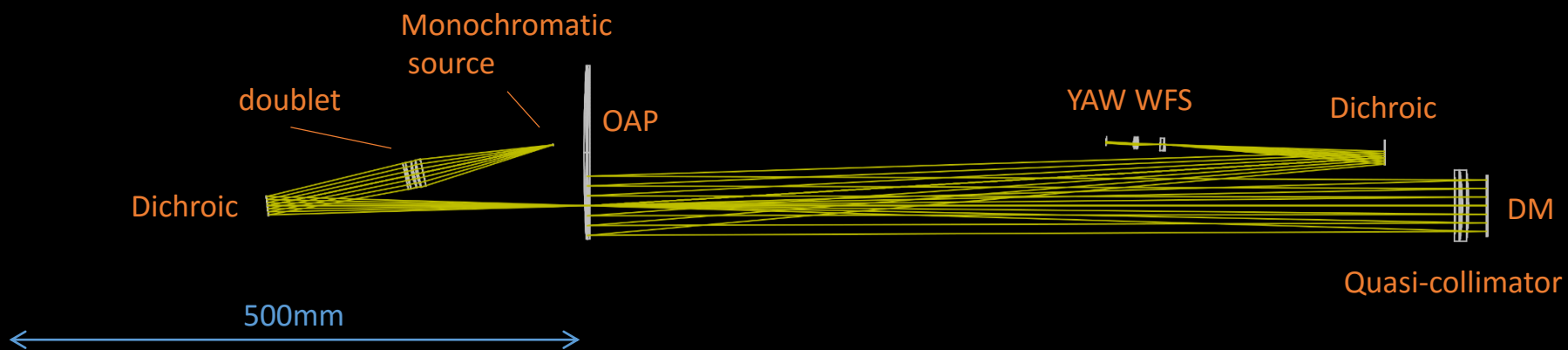
VL-WFS – Design E

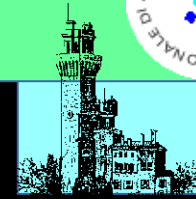


CANALE 1 – STELLA DI RIFERIMENTO



CANALE 2 – SORGENTE MONOCROMATICA





Il VL-WFS si basa sull'utilizzo contemporaneo di due sensori:

1. Un sensore a piramide che lavora in loop chiuso con un DM locale (alta mag limite, bassa linearità)
2. Un sensore YAW che misura la forma del DM tramite una sorgente monocromatica interna (alta linearità)
Il sensore YAW sarebbe superfluo se si fosse in grado di risolvere i problemi di non linearità dei DM

Le dimensioni sono compatibili per coesistere assieme ad altri strumenti nel piano focale Nasmyth dell'E-ELT

I parametri di design dipendono dalle caratteristiche del telescopio (diametro, secondario adattivo) e da alcune scelte operative (mag limite, modulazione, lunghezza d'onda di lavoro...)

- Nel caso dell'E-ELT abbiamo stimato che avere un DM con circa 50 attuatori sul diametro e misurare il fronte d'onda nel vicino infrarosso permetterebbe di avere un guadagno in magnitudine limite di $\sim 0.5 - 1$ mag rispetto ad un sensore Shack-Hartmann