



Il Colle di
Galileo

Specchi attivi *contactless* per telescopi spaziali

Contactless active mirror for space telescopes

Runa Briguglio

INAF – Osservatorio Astrofisico di Arcetri

Riassunto. Il progetto SPLATT è un'attività di ricerca tecnologica, finanziata da INAF, nel campo degli specchi primari attivi per telescopi spaziali di prossima generazione. Lo scopo è dimostrare in laboratorio che gli specchi attivi con attuatori *contactless* sono di fatto insensibili ai disturbi originati dal telescopio e possono essere quindi un elemento chiave per ridurre complessità e costo.

Parole chiave: telescopio spaziale, specchio attivo, ottica attiva, LUVOIR.

Telescopi spaziali e ottiche attive

Nell'ultima decade, la comunità astronomica ha definito gli obiettivi scientifici e i requisiti tecnologici per un telescopio spaziale di prossima generazione, virtuale erede dell'Hubble. Questi studi hanno dato luogo ad una serie di architetture e disegni concettuali (HDST, ATLAST, LUVOIR), tutti accomunati dalla necessità di uno specchio primario di grande apertura (fino a 15 m per il LUVOIR B). La sfida tecnologica è realizzare ottiche segmentate, in grado di entrare nella stiva del vettore, da dispiegare una volta effettuato il lancio. Il controllo attivo della superficie ottica è quindi considerato come una tecnologia abilitante, in grado di garantire le prestazioni richieste dagli obiettivi scientifici contenendo i costi e i rischi.

Abstract. The SPLATT project is a technological research activity funded by INAF, in the field of primary active mirrors for next generation space telescopes. The goal is to demonstrate that active mirrors with *contactless* actuators are insensitive to disturbance from the telescope and can therefore be key-elements in the reduction of complexity and cost.

Keywords: space telescopes, active mirror, active optics, LUVOIR.

Space telescopes and active optics

Over the last decade, the astronomical community has focused on the scientific goals and technological requirements of a next generation space telescope, as the heir of the HST. Such studies have resulted in a series of conceptual architectures (HDST, ATLAST, LUVOIR), all of them sharing a large aperture (15 m for LUVOIR B). The technological challenge is to manufacture segmented optics, to be stowed in the fairing and to be deployed

Negli anni 2010-2015, il gruppo di Ottica Adattiva dell'Osservatorio di Arcetri e i suoi partner industriali hanno sviluppato il prototipo LATT nel contesto di un progetto di ricerca tecnologica finanziato da ESA. LATT è uno specchio attivo di 40 cm di diametro, la cui superficie ottica (una sottile *shell* di vetro, di 1 mm di spessore) è controllata da 19 attuatori voice coil. Il sistema è stato integrato in Italia e sottoposto a test ottico e termovuoto. Il prototipo ha densità pari a circa 17 kg/m² di apertura, un valore particolarmente competitivo nel contesto di riferimento: per confronto, il segmento di primario di JWST ha densità pari a 28 kg/m², con minor numero di gradi di libertà di correzione.

Il progetto SPLATT

Un elemento cruciale di questo sistema è il meccanismo di attuazione e controllo che avviene senza contatto meccanico fra supporto e superficie ottica: di fatto, lo specchio “galleggia” di fronte al supporto ad una distanza (gap) di 200-500um, controllata in *loop* chiuso dagli attuatori. Questo meccanismo di controllo determina due importanti conseguenze. In primo luogo, la forma del supporto meccanico non ha effetto sulla qualità ottica dello specchio (errore di fronte d'onda): è quindi possibile utilizzare per il supporto materiali più performanti sotto l'aspetto della massa, della lavorazione e del costo, senza preoccuparsi della prestazione ottica finale, di fatto separando i requisiti meccanici del supporto da quelli ottici dello specchio. In secondo luogo,

after launch. The active control of the optical surface is therefore an enabling technology, capable of guaranteeing the performance levels required by the scientific goals, while minimizing cost and risk. In 2010-2015, the Adaptive Optics group at the Arcetri observatory and its partners developed the LATT prototype, within a research project funded by ESA. LATT is an active mirror, measuring 40 cm in diameter, with an optical surface (a 1 mm thick shell) controlled by 19 voice coil actuators. The system has been integrated in Italy and subjected to optical and thermo-vacuum testing. Its areal density is as low as 17 kg/m², which is particularly interesting when compared to JWST (28 kg/m², with a much lower number of degrees of freedom).

The SPLATT project

A crucial point in the LATT is the actuation and control system, with no mechanical contact between the support and the optical surface; the mirror “floats” in front of the support with a gap of 200-500 um, controlled in closed loop by the actuators. This control mechanism determine two important things. Firstly, the shape of the mechanical support has no impact on the mirror's optical quality (wavefront error), so that ultra-lightweight materials may be used for the support, without worrying about the final optical performances, separating the mechanical requirements of the support from the optical requirements of the mirror. Secondly, mechanical decoupling acts as a filter for dynamical disturbance, which would otherwise affect the opti-



Figura 1. Sinistra: il banco di test di SPLATT, con lo specchio attivo montato sulla torre di misura su un banco ottico. Destra: il prototipo LATT, dettaglio sul supporto in nido d'ape in alluminio e sulla *shell* sottile (in appoggio sul cuscino di sicurezza in gommapiuma).

Figure 1. Left: The SPLATT optical test bench, with the active mirror mounted on the measurement test stand. Right: the LATT prototype, close-up of the honeycomb backplane and the thin glass shell (sitting on its safety foam tray).

il disaccoppiamento meccanico agisce da filtro per i disturbi dinamici che altrimenti ridurrebbero la stabilità della superficie ottica: la banda passante del loop di controllo degli attuatori, in applicazioni spaziali, è infatti sufficientemente bassa per agire da filtro contro le alte frequenze (ad es. maggiori di 10 Hz).

Lo studio delle performance di uno specchio attivo *contactless* è l'obiettivo del progetto SPLATT, finanziato nel 2021 da un grant TECNO-INAF (137 k€): grazie al finanziamento, il prototipo LATT è stato riportato ad Arcetri da ESA-ESTEC (nell'ambito di un *loan agreement* con ESA) e installato su un banco di test ottico, mostrato in Fig. 1. Lo scopo del test è dimostrare l'isolamento dinamico dello specchio, soggetto a vibrazioni esterne. La misura è fatta otticamente con un

cal surface stability: in space applications, the bandwidth of the actuator control loop is low enough to act as a filter against high frequencies (greater than 10 Hz).

The aim of the SPLATT project, funded by INAF in 2021 thanks to a TECNO-INAF grant (€137 k);, is to study the performances of a contactless active mirror. The LATT prototype has been transferred from ESA-ESTEC to Arcetri (within the scope of a loan agreement with ESA) and installed on an optical bench, as shown in Fig. 1. The test intends to demonstrate the dynamical insulation of the mirror, when subjected to external vibrations. The measurement is performed optically with an interferometer, while a vibration is injected on the elevation axis of the LATT mirror using a piezo actuator. The ratio between the oscillation amplitude measured with the shell floating and with the shell in adhesion to the support (with the actuators pulling against the glass weight) is an estimation of the mitigation of disturbance in the contactless system. The measurements (Fig. 2) show a substantial reduction of the dynamic disturbance when the shell is floating: in particular, we observed that the attenuation is independent of the actuator control loop parameters and that it increases when the gap is wider. Such results are encouraging but we still need to clarify the resonances observed (e.g. at 95 Hz in the pictures), which could be caused by the coupling mediated by the air trapped in the gap, as already observed on the adaptive secondary at the Large Binocular Telescope. To this end, further verification tests in vacuum are scheduled by the end of this year.

interferometro, mentre sullo specchio LATT è iniettata una vibrazione sull'asse di elevazione attraverso un attuatore piezoelettrico. Il rapporto fra l'ampiezza di oscillazione misurata con la *shell floating* e la *shell* in adesione al supporto grazie agli attuatori fornisce una stima dell'attenuazione dei disturbi dinamici nel sistema *contactless*. Le misure (Fig. 2) mostrano una sostanziale diminuzione del disturbo dinamico quando la *shell* è *floating*: in particolare abbiamo osservato che l'attenuazione è indipendente dai parametri del loop di controllo degli attuatori e aumenta con la distanza dal supporto. Il risultato è incoraggiante ma resta da chiarire il motivo delle risonanze osservate (ad es. a 95 Hz nel grafico), che potrebbero essere causate dall'accoppiamento fluido mediato dall'aria intrappolata nel gap, come già osservato negli specchi adattivi del *Large Binocular Telescope*. Per questa ragione è previsto di effettuare un test di verifica in vuoto entro la fine dell'anno.

Conclusioni

Il concetto di specchio attivo *contactless*, grazie al disaccoppiamento fra superficie ottica e supporto, è un potenziale *game-changer* nella ricerca tecnologica per i telescopi spaziali di prossima generazione. I principali vantaggi attesi sono la riduzione della massa al lancio e l'incremento della stabilità opto-meccanica, che si traduce in miglioramento del contrasto coronografico. Il progetto SPLATT, in corso nei laboratori di ottica adattiva di Arcetri, ha come obiettivo lo studio di questo concetto con test in laboratorio su un prototipo di specchio attivo spaziale.

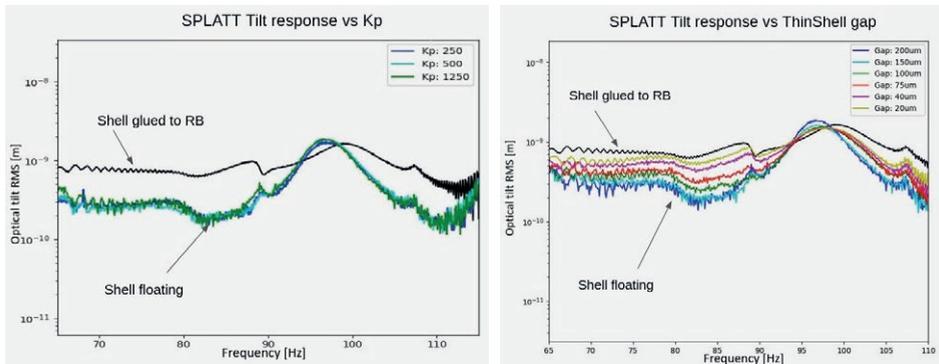


Figura 2. Risultati dei test di attenuazione dei disturbi esterni. la serie nera è l'ampiezza di oscillazione (in funzione della frequenza) misurata con la *shell* in adesione al supporto. Le serie colorate indicano l'ampiezza con la *shell* controllata dagli attuatori. Sinistra: con differenti parametri del *loop* di controllo degli attuatori; destra: a diversi punti di lavoro (*gap*) rispetto al supporto.

Figure 2. External disturbance mitigation test results: the black line is the disturbance injected (in relation to frequency), measured by the interferometer with the thin shell in adhesion to the support; the colored lines indicate the amplitude with the thin shell floating: with different actuator control loop parameters (left) and at different gaps from the mechanical support (right).

Nota: I contenuti di questo lavoro non esprimono in alcun modo la visione ufficiale di ESA. Il prototipo LATT è stato reso disponibile da ESA per attività di laboratorio grazie ad un *loan agreement*. Il progetto SPLATT è finanziato da INAF con il TecnoPRIN INAF 2019.

Runa Briguglio si è laureato in Fisica e ha conseguito il dottorato in Astronomia a Roma nel 2008, con una tesi su osservazioni fotometriche da Dome C, alto plateau antartico. Dal 2008 fa parte del gruppo di ottica adattiva all'INAF-OAA e si è occupato principalmente di specchi deformabili. Attualmente è coinvolto nel progetto per la calibrazione ottica di M4, lo specchio adattivo di ELT.

Conclusions

Thanks to the decoupling between the optical surface and the mechanical support, the concept of a contactless active mirror may be a game changer in technological research for next generation space telescopes. We expect a significant reduction in mass at launch and an improvement in opto-mechanical stability, leading to a higher coronagraphic contrast. The SPLATT project, which is underway at the Arcetri adaptive optics laboratory, is committed to studying this concept by means of laboratory tests on a space active mirror prototype.

Note: The view expressed herein can in no way be taken to reflect the official opinion of the European Space Agency. The LATT prototype is property of ESA and has been kindly made available by ESA for laboratory testing within the scope of a loan agreement. The SPLATT project is funded by INAF under the TECNO-PRIN INAF 2019 program.

Runa Briguglio gained his PhD in Astronomy in Rome in 2008, discussing photometric observations from Dome C, on the high Antarctic plateau. Since 2008, he has been part of the Arcetri Adaptive Optics group, working on research into deformable mirrors. He is currently involved in the project for the optical calibration of M4, the adaptive mirror of the ELT.