

# Sviluppo di dispositivi di test degli algoritmi di ricostruzione e di controllo del sistema di ottica adattiva multi-coniugata MORFEO

Candidato: Edoardo Bellone de Grecis

L'ottica adattiva riveste un ruolo di primaria importanza nelle osservazioni con i telescopi da Terra di prossima generazione per la correzione delle distorsioni di fronte d'onda generate dalla turbolenza atmosferica. Tra questi il programma primario dell'ESO, l'Extremely Large Telescope (ELT) da 40 metri di diametro [1], prevede l'utilizzo del sistema di ottica adattiva multi-coniugato MORFEO (*Multi-conjugate adaptive Optics Relay For ELT Observations*) [2], in precedenza MAORY, per correggere le immagini acquisite dalla camera infrarossa e spettrografo MICADO (*Multi-AO Imaging Camera for Deep Observations*) [3]. La correzione multi-coniugata permetterà di ripristinare l'elevata risoluzione angolare fornita dal limite diffrattivo dell'ELT (circa  $8mas$  in banda H) sul grande campo di vista di  $53 \times 53 arcsec^2$  di MICADO. La realizzazione dell'ELT è affidata ad una collaborazione di istituti europei di cui fa parte l'Istituto Nazionale di Astrofisica, ed in particolare l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri di Firenze è fortemente coinvolto nella progettazione e realizzazione di MORFEO.

MORFEO prevede l'utilizzo di nove sensori di fronte d'onda Shack Hartmann per la misura del volume di turbolenza atmosferica, tre a stella di guida naturale e sei a stella di guida laser. Per quanto riguarda la correzione, sono previsti tre specchi deformabili: M4, per la compensazione delle distorsioni di fronte d'onda a 600m di quota e due specchi post-focali, M9 e M10, coniugati rispettivamente alle quote di 6 e 18 km (Figura 1).

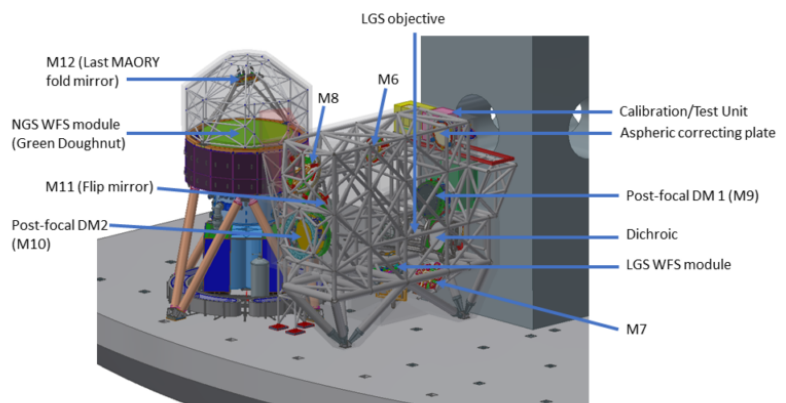


Figura 1 - Schema generale dell'architettura di MORFEO.

Rispetto ai sistemi adattivi precedenti, MORFEO presenta nuove peculiarità e problematiche che rendono necessari il test e la prototipazione su sistemi semplificati prima della sua installazione all'ELT. Un esempio è rappresentato dall'algoritmo di ricostruzione tomografica per il calcolo dei comandi da applicare sugli specchi deformabili a partire dalle misure sui sensori di fronte d'onda. Un grande limite dei sistemi multi-coniugati è rappresentato dal problema degli *unseen modes*, ovvero forme di distorsione del fronte d'onda la cui combinazione alle quote di coniugazione degli specchi deformabili e proiezione nella direzione dei sensori di fronte d'onda risulta in un annullamento del segnale sui sensori. Il sistema risulta così insensibile a questi modi, che però possono degradare la qualità dell'immagine nel campo di vista scientifico. Per rispondere a questa problematica e incrementare le prestazioni, MORFEO implementerà un approccio che prevede la stima a priori del volume di turbolenza e del rumore introdotto dai sensori per la ricostruzione del volume turbolento (circa dieci strati) e la successiva proiezione sul campo scientifico per l'ottimizzazione dei comandi da applicare agli specchi deformabili.

Molti aspetti rendono complicata la realizzazione di un prototipo per la simulazione del sistema ELT-MORFEO (in generale, ELT-sistema multi-coniugato). Tra questi, la realizzazione in scala di un telescopio di tali dimensioni su sistemi ottici con pupilla di dimensione ridotta determina angoli dei campi ottici molto ampi e condizioni ottiche del simulatore estreme. Inoltre, la simulazione del volume atmosferico presenta limitazioni: l'utilizzo di dischi rotanti aberrati non consente di conoscere l'aberrazione esatta introdotta, mentre l'utilizzo di specchi deformabili determina una semplificazione estrema del volume atmosferico (la turbolenza è introdotta solo sugli strati coniugati ai correttori).

In questo contesto, con il presente progetto di dottorato intendo sviluppare un setup ottico semplificato come base per la prototipazione di MORFEO e un simulatore numerico per la realizzazione del volume turbolento, con l'obiettivo di analizzare e testare gli algoritmi di ricostruzione e controllo previsti per MORFEO. L'attività si inserisce nell'ambito del progetto MORFEO, in collaborazione con il gruppo di Ottiche Adattive di Arcetri. In particolare, intendo implementare un sistema ottico in asse costituito da un sensore di fronte d'onda per la misura delle distorsioni di fase, uno specchio deformabile per la riproduzione della turbolenza e una camera per l'analisi degli effetti della correzione nel campo scientifico. Questo sistema ottico non riproduce da un punto di vista hardware un sistema a grande campo, che verrà invece simulato da un punto di vista numerico. Il volume turbolento visto in pupilla viene calcolato integrando le mappe di distorsione di fase simulate a diverse quote e le superfici di fase che rappresentano la forma assunta dai tre specchi deformabili coniugati alle rispettive altezze. Per ciascuno dei nove sensori di fronte d'onda viene calcolata la proiezione del volume atmosferico lungo la sua linea di vista, che viene poi applicata e misurata rispettivamente dallo specchio deformabile e dal sensore di fronte d'onda del setup ottico. Una volta ottenuti i segnali per ciascuna direzione considerata, il set di misure viene utilizzato per il calcolo del ricostruttore tomografico e conseguentemente dei comandi che andranno ad aggiornare la mappa di fase relativa ai tre specchi deformabili. Il risultato della correzione viene quantificato dall'analisi della PSF (*Point Spread Function*) misurata sulla camera scientifica. L'intero processo viene poi ripetuto traslando le mappe di fase precedentemente simulate, in modo da tenere conto degli effetti di evoluzione temporale della turbolenza atmosferica tra iterazioni successive del loop di controllo.

Questo progetto di ricerca intende porsi alla base degli strumenti necessari per la verifica e la validazione delle procedure di ricostruzione e di controllo di MORFEO, che rappresenta ad oggi uno degli aspetti più critici del progetto.

## Bibliografia

- [1] Tamai R., Koehler B., Cerasuolo M., Biancat-Marchet F., Tuti M., González- Herrera J.-C., 2020, in Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series. p. 114451E
- [2] Ciliegi P., et al., 2020, in Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series. p. 114480Y
- [3] Davies R., et al., 2021, *The Messenger*, 182, 17
- [4] Ellerbroek B. L., Vogel C. R., 2003, in Tyson R. K., Lloyd-Hart M., eds, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series Vol. 5169, *Astronomical Adaptive Optics Systems and Applications*. pp 206–217