

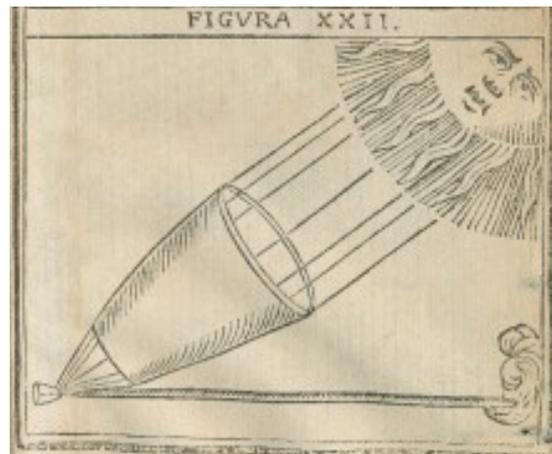
Allegato 1 - Capitolato Tecnico/Statement of Work

**Procedura negoziata per “Progettazione di analisi agli elementi finiti di strumentazione ottica in raggi X a geometria radente per applicazioni spaziali”**

*Nell’ambito del Progetto ASI/INAF*

**Tecnologie Avanzate per Ottiche in raggi-X (TAO-X)**

道X



CUP: F84I18000320005

CPV: 73210000-7

CIG: 8241538C4C

Numero gara ANAC: 7712763



## Tecnologie Avanzate per Ottiche in raggi-X (TAO-X)

CAPITOLATO/SOW- acquisizione prestazioni ingegneristiche

CUP F84I18000320005

CIG: 8241538C4C

Issue:

1

DATE

19/06/2020

Page: 2

### LIST OF ACRONYMS

CAD	Computer Aided Design
CMM	Coordinate Measuring Machine
CNC	Computer Numerical Control
CTE	Coefficient of Thermal Expansion
FEM	Finite Element Modelling
FR	Final Review
HEW	Half-Energy Width (the angular diameter including 50% of focused rays)
INAF	Istituto Nazionale di Astrofisica
ISR	Intermediate Status Review
LMA	Lynx Mirror Assembly
OAB	Osservatorio Astronomico di Brera
PSR	Preliminary Status Review
RT	Ray Tracing
SoW	Statement of Work
SSS or S3	Shell Supporting Structure
SW	Spoke Wheel
TAO-X	Tecnologie Avanzate per Ottiche a raggi X

### REFERENCE DOCUMENTS

- *Lynx Interim Report, Aug. 19, 2018,*  
<https://www.lynxobservatory.com/blog/interimreport>
- *J. A. Gaskin et al., "Lynx X-Ray Observatory: an overview", JATIS 021001 (2019)*
- *J. A. Gaskin et al., "Lynx Mission concept status", Proc. SPIE 10397, (2017)*
- *Vikhlinin, "Lynx X-ray Observatory", Bulletin of the American Astronomical Society 51, 30 (2019)*
- *Vikhlinin "Lynx mission concept study", American Astronomical Society Meeting Abstracts \#231 231, 103.04. (2018)*
- *L. Proserpio, et al., "Design and development of thin quartz glass WFXT polynomial mirror shells by direct polishing", Proc. of the SPIE, 7732, (2010)*
- *M. Civitani, et al., "Lynx optics based on full monolithic shells: design and development," Proc. SPIE 1069911 (2018)*
- *M. Civitani et al., "Lynx x-ray optics based on thin monolithic shells: design and development", JATIS, 021014 (2019)*
- *M. Civitani, et al., "Thin glass shell oriented to wide field x-ray telescope", Proc. SPIE, 8443, 84430Q, (2012)*
- *M. Civitani et al., "Thin fused silica shells for high-resolution and large collecting area x-ray telescopes (like Lynx/XRS)," Proc. SPIE 103990W (2017)*
- *Vecchi, G., et al., "A bonnet and fluid jet polishing facility for optics fabrication related to the E-ELT," Mem. S.A.It. 86, 408 (2015)*

## 1. Scopo del documento

Il presente capitolato tecnico descrive le attività da svolgere come simulazioni ingegneristiche richieste nel contesto del progetto TAO-X, nell'ambito dell'accordo ASI-INAF N. 2019-24-HH.0. Il capitolato tecnico costituirà documento applicabile fino al completamento dell'attività richiesta da parte del contraente. Le attività che dovranno essere condotte dal contraente consistono in simulazioni termo-meccaniche per la realizzazione di prototipi di *mirror shell* in incidenza radente a raggi X. Le simulazioni dovranno essere affiancate da procedure di ray-tracing allo scopo di esprimere i risultati della simulazione in termini di risoluzione angolare HEW (Half-Energy Width, il diametro angolare comprendente il 50% dei raggi focalizzati). I prototipi verranno prodotti da INAF-OAB, usando la tecnica di polishing diretto già utilizzata per il telescopio a raggi X *Chandra*, tuttora in evoluzione verso i requisiti, molto più stringenti, della missione *Lynx* della NASA.

Una breve descrizione del progetto è riportata nella sezione 2, la lista dei task che dovrà completare il contraente è indicata nella sezione 3 di questo documento. I deliverable sono elencati in sezione 4, con le scadenze di consegna e il relativo piano di pagamenti; le interfacce e le strutture non fanno parte dei deliverable, in quanto la loro produzione sarà in carico a INAF-OAB. I disegni tecnici sono riportati in appendice.

## 2. Contesto del progetto

*Lynx* è una delle quattro grandi missioni strategiche sotto studio per la *decadal survey* della NASA *Astro2020*. Traendo vantaggio dall'esperienza di *Chandra*, *Lynx* sarà un osservatorio a raggi X con eccellente qualità di immagine ( $< 1$  arcsec HEW) ma maggiore area di raccolta ( $2 \text{ m}^2 @ 1 \text{ keV}$ ). Una delle tecnologie che si stanno prendendo in considerazione per la produzione degli specchi si basa su specchi monolitici in *Fused Silica*, sagomati tramite lavorazione e *polishing* diretto. Il LMA (*Lynx Mirror Assembly*) si basa su ottiche in incidenza radente che lavorano nel range di energie 0.15-10 keV, con una lunghezza focale di 10 m e un diametro massimo di 3 m [Gaskin 2017]. La tecnologia "Full Shell" che è stata proposta per *Lynx* [Civitani 2019] si basa sulla molatura, lucidatura, *super-polishing*, un processo finale di correzione di forma tramite IBF (*ion beam figuring*) di mirror shell monolitiche. Mantenendo la risoluzione angolare di *Chandra*, *Lynx* punta a ottiche di dimensioni maggiori, e pertanto caratterizzate da un rapporto massa/area efficace inferiore. A tal fine, un design di LMA basato sull'approccio full-shell richiede dei substrati di almeno un ordine grandezza più sottili rispetto agli specchi di *Chandra*.

Il design optomeccanico attuale per l'LMA si basa sul *fused silica*, un materiale a bassa densità ( $2.2 \text{ g/cm}^3$ ), basso coefficiente di espansione termica ( $0.5 \times 10^{-6}/\text{K}$ ) e elevato modulo di elasticità (70 GPa). I valori di spessore variano tra 1.6 mm e 3.4 mm per diametri di specchi variabili tra 400 mm e 3000 mm. La realizzazione di questi specchi sottili è resa possibile anche dalla rigidità intrinseca della geometria monolitica assial-simmetrica e dall'adozione di un concetto di integrazione *ad hoc*. Quest'ultimo si basa su un manipolatore, chiamato *shell supporting system* (SSS), per manipolare e sostenere la

mirror shell nei diversi passi della produzione fino alla sua integrazione nella *spoke wheel* (SW).

Per le successive fasi del progetto, le mirror shell saranno realizzate in una configurazione corrispondente al disegno ottico di Lynx, con le superfici ottiche primarie e secondarie da produrre separatamente. Lo schema essenziale del processo per dimostrare la fattibilità di questo approccio è mostrato in Figura 1.

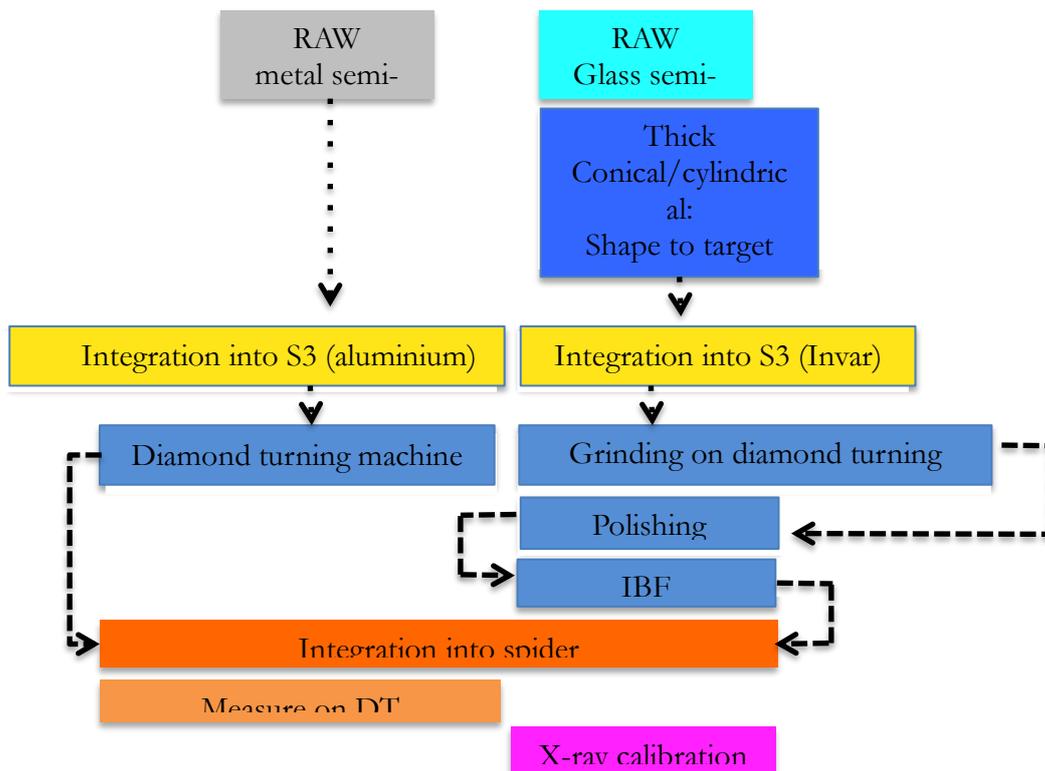


Figura 1: Piano di lavoro del progetto TAO-X.

Per evitare i problemi legati al trasporto e alla manipolazione di fragili e costose mirror shell prefabbricate, si possono usare shell di metallo come alternativa al fused silica. Questo permette di verificare il setup, sottoporre a test le procedure di integrazione e validare il modello meccanico. In Tabella 1 vengono elencate le proprietà di alcuni materiali candidati a tal uso. Tenendo conto dei costi di realizzazione, il materiale più interessante è l'alluminio. Inoltre, grazie al valore simile del modulo di Young e alla densità simile, l'alluminio ha un comportamento meccanico simile al vetro. La differenza di CTE tra vetro e alluminio è rilevante, ma dovrebbe essere parzialmente compensata dalla molto maggiore conducibilità termica. Come spiegato in precedenza, queste shell possono essere utilizzate in una primissima fase per validare la procedura di integrazione nella SW. In particolare, sarà molto utile provare la procedura di integrazione in un modello a basso costo, piuttosto che con una fragile e costosa ottica di vetro.

*Tavola 1: Proprietà di alcuni materiali candidati per le shell di TAO-X.*

	<b>CTE [K<sup>-1</sup>]</b>	<b>Densità [g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>Modulo di Young [GPa]</b>	<b>Conducibilità termica W/(m K)</b>
<b>Fused silica</b>	0.5×10 <sup>-6</sup>	2.3	72	1.3
<b>Si</b>	3×10 <sup>-6</sup>	2.4	160	148
<b>Al</b>	23.1×10 <sup>-6</sup>	2.7	72	237
<b>Ni</b>	7×10 <sup>-6</sup>	8.9	200	90.7

Per realizzare un modello rappresentativo delle mirror shell, sarà esplorata la tecnica della tornitura in lastra (*plate turning*). Questa tecnologia si basa sulla deformazione plastica di una lamina metallica tramite un tornio a controllo numerico che la preme contro un mandrino preformato. Questo processo è caratterizzato da simmetria assiale, quindi non ci si aspetta alcuna direzione preferenziale nella distribuzione degli stress nelle shell, e la massima dimensione delle shell è limitata da quella della lamina metallica di partenza. Delle prove iniziali di realizzazione di shell in alluminio con questa procedura verranno eseguite, e le shell realizzate saranno caratterizzate in forma tramite una macchina di misura 3D CMM. Se l'accuratezza di forma è entro i 100 - 200 µm, come atteso, queste shell di metallo potranno essere montate in un sistema di supporto e ulteriormente lavorate. A seconda dei risultati, le shell potranno essere lavorate ulteriormente tramite *diamond turning*.

Nella parte destra di Figura 1, descriviamo brevemente il flusso delle attività che caratterizza l'approccio del polishing diretto. Una lavorazione iniziale permette di raggiungere la configurazione conica dello spessore desiderato (2 mm). Un nuovo SSS (probabilmente, realizzato in Invar per adattarsi al CTE delle shell) verrà realizzato per sostenere le shell nelle diverse fasi del processo. La sagomatura (*grinding*), la lucidatura (*polishing*), e il processo di IBF saranno utilizzati fino al raggiungimento delle specifiche ottiche. Si possono prevedere calibrizioni a raggi X in diverse fasi del processo di figuring per verificare i risultati metrologici e il modello numerico. La shell di vetro sarà infine integrata in un prototipo di SW, una volta che la procedura di integrazione di shell di alluminio sarà stata consolidata. Le calibrizioni finali in raggi X permetteranno di dimostrare le prestazioni ottiche raggiunte.

### 3. Compiti del contraente

Il contraente dovrà eseguire le seguenti attività:

1. Fornire supporto riguardo agli aspetti strutturali nella discussione tecnica con NASA relativamente alla proposta di telescopio basato su shell monolitiche presentata nell'ambito della missione Lynx.
2. Disegno concettuale del Sistema di supporto "spoke wheel" per gli specchi radenti monolitici che compongono l'ottica del telescopio Lynx; analisi strutturali e di *ray-tracing* per migliorare le prestazioni in termini di risoluzione angolare del modulo

- ottico, con particolare riferimento alle configurazioni con gravità verticale e laterale (quando l'ottica deve essere calibrata) in asse e fuori asse nel rispetto dei limiti di vignetting.
3. Modello CAD del modulo ottico previsto per la missione Lynx basato sul disegno ottico delle shell monolitiche fornito da INAF-OAB.
  4. Analisi strutturali del sistema di supporto astatico da usarsi per l'integrazione delle *mirror shell* prototipali nella struttura di sostegno temporanea.
  5. Disegno concettuale di una nuova struttura di supporto temporaneo per la manipolazione e realizzazione di mirror shell monolitiche a carattere prototipale sottoposte a procedure di *grinding*, *polishing*, *super-polishing*, metrologia, test meccanici e integrazione.
  6. Studio, analisi strutturali, analisi *ray-tracing* e progetto di una struttura di supporto in cui si possano ri-utilizzare alcuni materiali già presenti presso la nostra struttura INAF-OAB (anello di vetro, *spider* in Invar, e supporti *flexures* in Invar, vedi disegni tecnici allegati).
  7. Studio, analisi strutturali, analisi termomeccaniche, analisi *ray-tracing* e progetto di un sistema di supporto temporaneo per le mirror shell prototipali da realizzare, che possa prevedere un parziale riadattamento di altri sistemi usati presso la nostra struttura in precedenza (vedi disegni tecnici allegati: anello di vetro, spider e flexures in invar) oppure, in alternativa, la realizzazione di una nuova struttura in metallo. Il sistema di supporto temporaneo dovrà prevedere un nuovo sistema di *flexures* (singole o doppie) con la possibilità di aggiustamenti radiali e che sia compatibile con la successiva attività di trasferimento della shell dalla struttura di supporto temporanea ad uno spoke wheel di test.
  8. Studio, analisi strutturali, analisi di *ray-tracing* e progetto di un sistema di fissaggio delle mirror shell prototipali, con annesso studio dell'impatto della procedura di integrazione sulle prestazioni ottiche delle mirror shell.
  9. Analisi strutturali e di *ray-tracing* realizzate con materiali alternativi al vetro *fused silica* (e.g. alluminio) utilizzato sinora, per attività preparatorie e di verifica, con particolare riguardo allo studio delle operazioni di trasferimento delle mirror shell dalla struttura di supporto allo spoke wheel.

Le attività coprono un arco temporale di **12 mesi**, con una PSR (Preliminary Status Review) a T0+1,5m, una ISR (Intermediate Status Review) al termine dei 3 mesi, e una FR (Final Review) al termine dei 12 mesi (vedi sezione 4).

La proposta tecnica che dovrà essere inviata in risposta alla lettera di invito che verrà inviata dalla stazione appaltante agli operatori economici che avranno inviato manifestazione di interesse dovrà adeguatamente documentare:

- Dimostrazione della disponibilità e delle capacità di un software di simulazione agli elementi finiti e termomeccaniche, corredato di capacità di *ray-tracing* per valutare l'impatto delle deformate sulla risoluzione angolare delle ottiche, espressa in termini di HEW (Half-Energy Width). Il software deve essere in grado di valutare l'effetto della gravità in diverse direzioni e con i sistemi di supporto descritti nell'elenco dei task sopraelencati.

- Precedente esperienza maturata in design di sistemi di supporto, astatici e non, e di simulazioni agli elementi finiti di ottiche a raggi X per applicazioni spaziali, comprensiva di analisi di *gravity release* e analisi di *ray-tracing*, documentata dal curriculum vitae del personale dell'operatore economico che eseguirà le simulazioni.
- Pianificazione accurata delle attività.

A titolo di esempio di strutture di supporto esistenti presso il nostro istituto su cui dovranno essere eseguite alcune delle simulazioni, si allegano in appendice al presente documento i disegni tecnici seguenti:

- 1) Gig per lavorazione shell.
- 2) Anello di vetro per integrazione shell.
- 3) Spider in invar.

La proposta tecnica verrà valutata dalla commissione di gara nominata con apposito decreto dal direttore dell'Osservatorio Astronomico di Brera.

## 4. Lista dei deliverable

I deliverable che il contraente dovrà consegnare e presentare sono i seguenti, alle seguenti milestone dall'inizio del contratto (indicato con T0).

### PSR (T0+1.5 mesi):

- relazione preliminare sulle simulazioni, sulle analisi strutturali, e sul design dei moduli ottici e dei sistemi di supporto in corso.

### ISR (T0+ 3 mesi):

- aggiornamento della relazione sulle simulazioni sulle analisi strutturali, e sul design dei moduli ottici e dei sistemi di supporto;
- modelli CAD realizzati come da elenco al punto 3, in formato .stp e .pdf;
- disegni concettuali dei sistemi di supporto;
- procedura dettagliata delle operazioni di trasferimento delle mirror shell dalla struttura di supporto allo spoke wheel;
- progetto del sistema di fissaggio delle mirror shell prototipali.

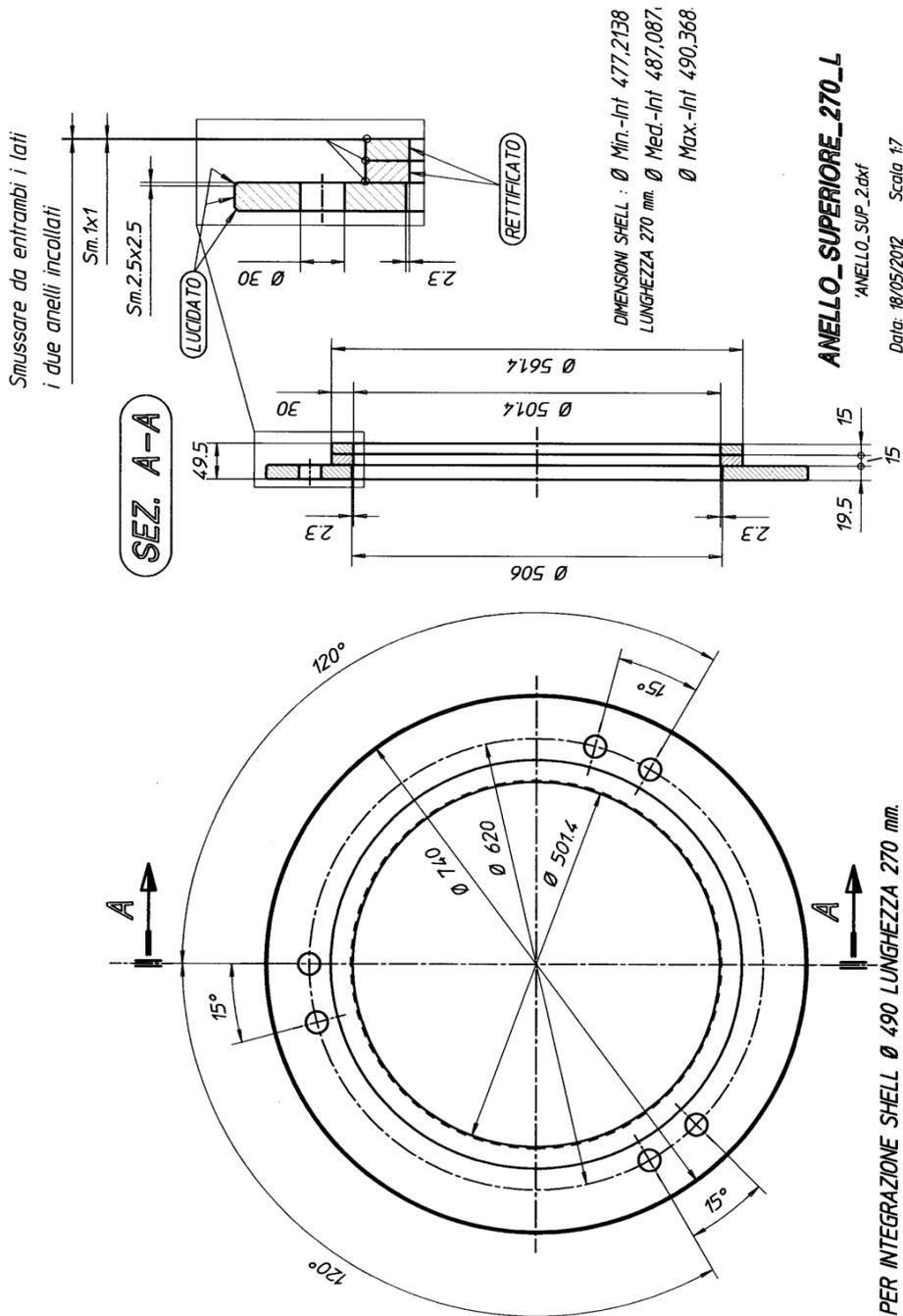
### FR (T0+ 12 mesi):

- relazione finale sulle simulazioni sulle analisi strutturali, e sul design dei moduli ottici e dei sistemi di supporto;
- supporto alla validazione degli aspetti strutturali dei prototipi realizzati.

E' previsto il pagamento del **40%** dell'importo alla PSR, del **55%** alla ISR, e del restante **5%** alla FR. Lo schema delle milestone e il piano di pagamenti sarà comunque oggetto di negoziazione prima della sottoscrizione del contratto.



**2) Anello di vetro per integrazione shell:**



**3) Spider in invar:**

