

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Centro Interdipartimentale di Studi e Attività Spaziali «G. Colombo»

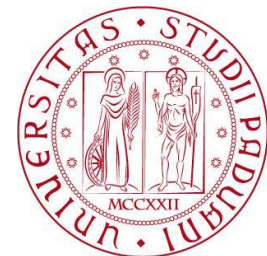
Scuola di Dottorato in Scienze Tecnologie e Misure Spaziali (STMS)  
Curriculum: Misure Meccaniche per l'Ingegneria e lo Spazio (MMIS)

PROPOSTA DI ATTIVITA' DI RICERCA

# SVILUPPO DI TECNICHE DI MISURA PER L'ISPEZIONE DI COMPONENTI AEROSPAZIALI

Ciclo XXXII

PhD Student: Gloria Allevi  
Mat. 1146292



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

## Istituzioni coinvolte

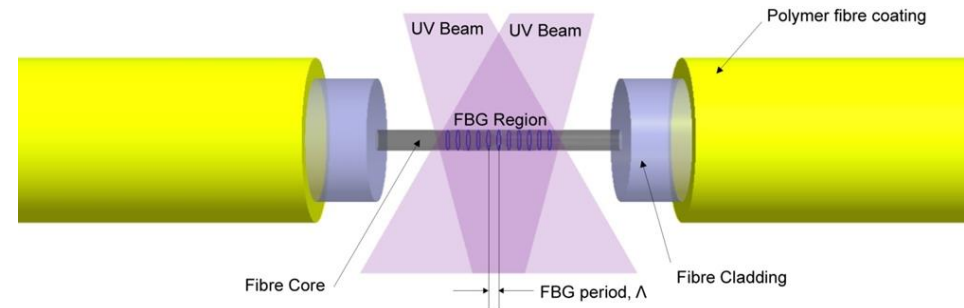
- ❑ Università di Bologna, Dipartimento di Ingegneria Industriale (sede di Forlì)
- ❑ Università di Perugia, Dipartimento di Ingegneria Industriale
- ❑ Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche
- ❑ European Space Research and Technology Centre (ESTEC)

## Quali tecniche?



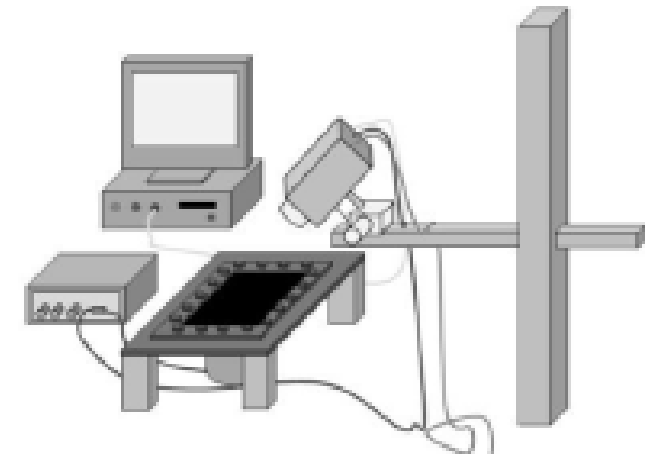
Shearografia

Università Politecnica delle Marche



Sensori a Fibra Ottica con reticolo di Bragg

Università di Bologna, sede di Forlì



Termoelasticità

Università di Perugia

## Obiettivi dell'attività di ricerca

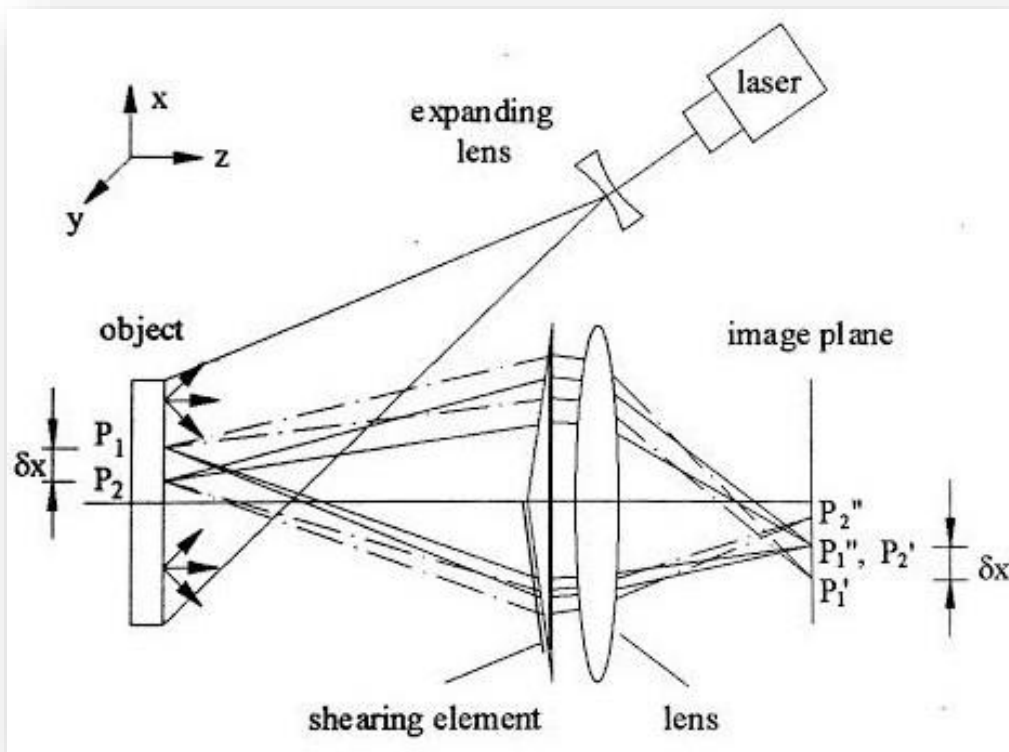
- ❑ Processo di quantificazione dei risultati ancora qualitativi della tecnica shearografica;
- ❑ Studio ed ottimizzazione di tecniche di misura basate su sensori a fibra ottica per il monitoraggio strutturale di componenti aerospaziali;
- ❑ Sviluppo di metodi di misura termoelastici in ambienti rigidi e validazione in camera termo vuoto.

## Che cos'è la Shearografia?

La Shearografia è una *tecnica di ispezione non distruttiva* (NDT) basata sul principio dell'interferenza ottica, applicata principalmente nel settore aerospaziale, in cui sono largamente impiegati i materiali compositi.

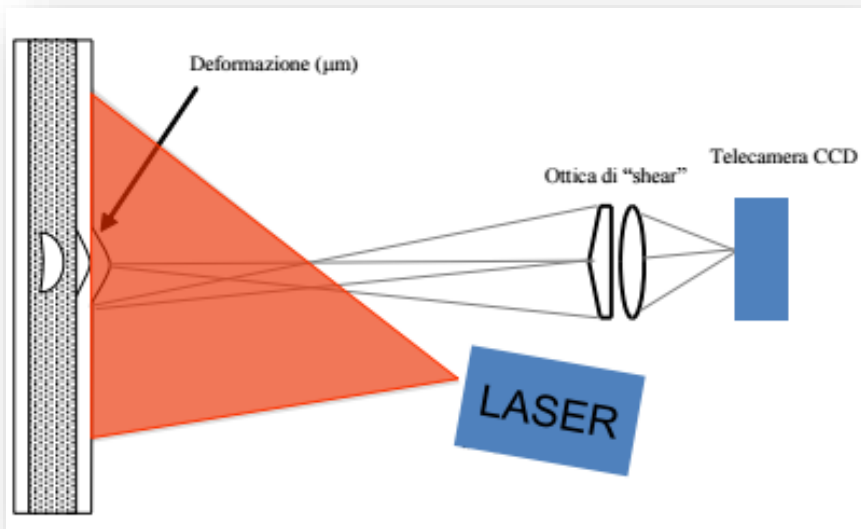


L'effetto di interferenza è generato da un elemento "*di shear*", che convoglia in uno stesso punto del piano immagine i raggi provenienti da due punti diversi del piano oggetto. Il risultato è un'immagine di *Speckle* sovrapposta a sé stessa, shiftata di una quantità pari allo *shear*.

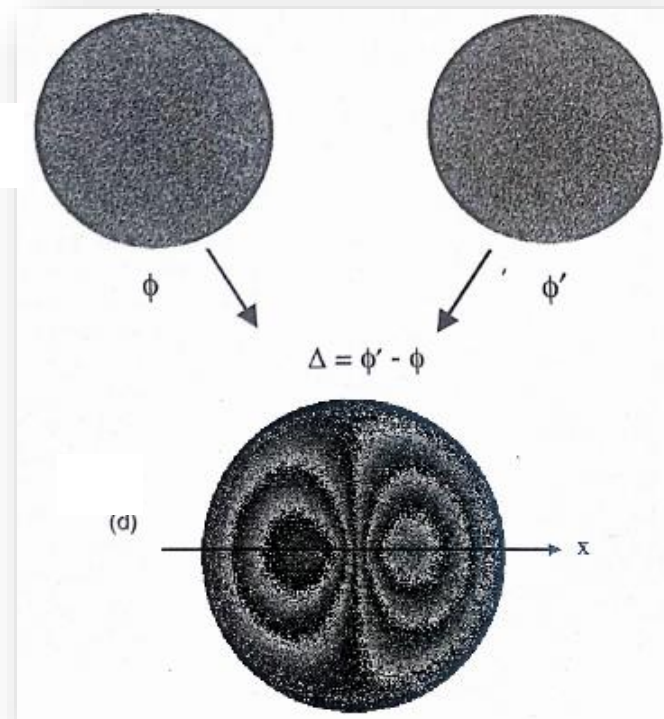




Deformazione differenziale dopo  
il carico in presenza di un difetto



Generazione di uno  
shearogramma



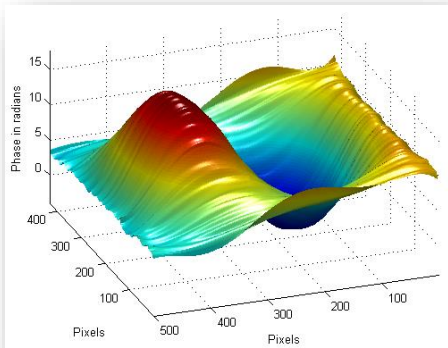
Mappa di fase proporzionale alla  
derivata prima dello spostamento  
fuori dal piano nella direzione dello  
shear



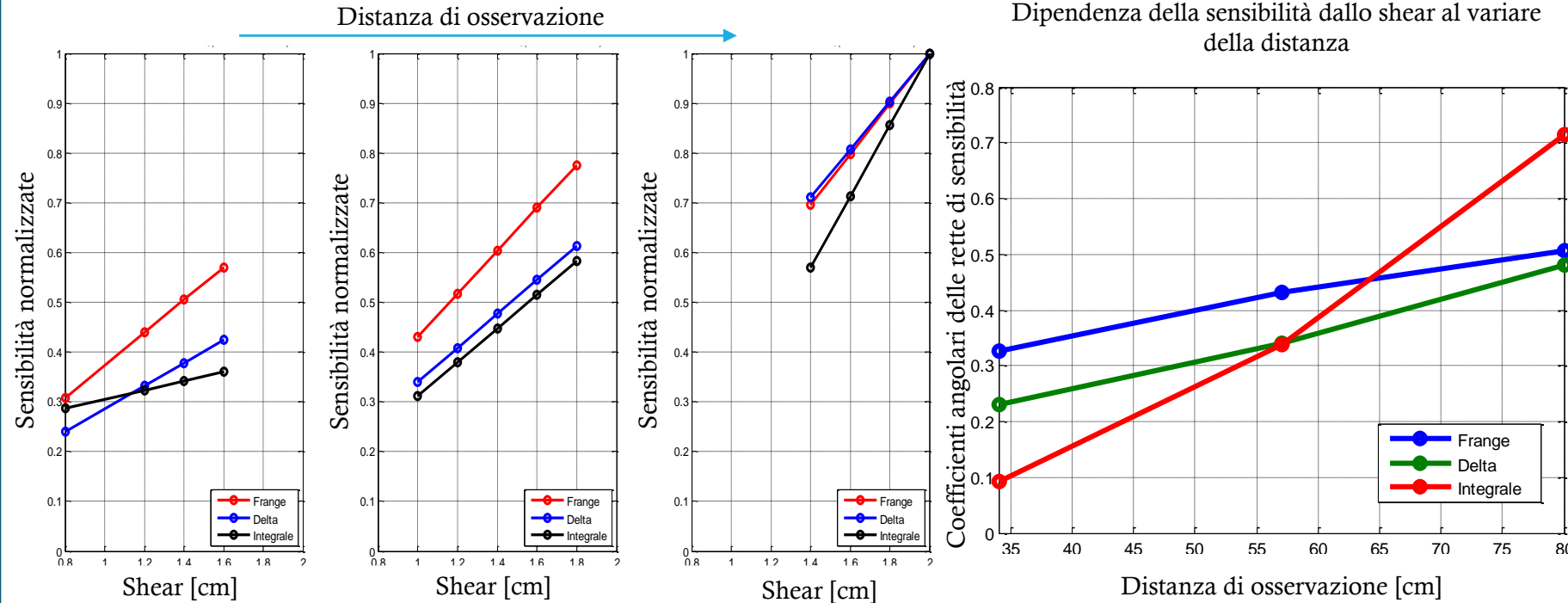
# Cosa è stato fatto

Correlazione quantitativa tra i parametri rappresentativi della misura shearografica (shear, distanza dalla superficie, spostamento indotto)

Algoritmi di Phase-Map  
 Filtering e Phase  
 Unwrapping



Procedura di calibrazione volta allo studio della sensibilità dello strumento al variare dei parametri

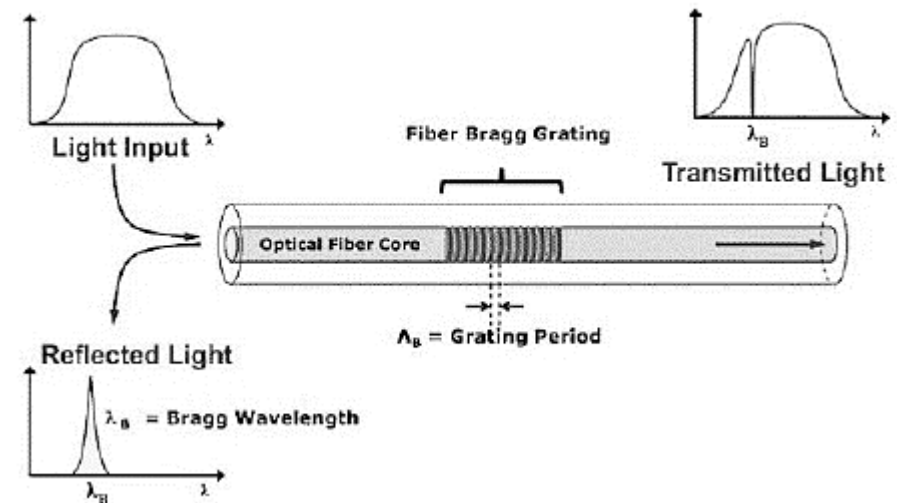




## Sensori a fibra ottica con reticolo di Bragg per il monitoraggio strutturale di componenti aerospaziali

Vantaggio principale dei sensori a fibra ottica è la possibilità di un loro utilizzo in-flight che permette di migliorare la sicurezza, l'affidabilità, l'efficienza dei costi e, quindi, estendere la vita operativa delle strutture in composito.

Tuttavia sono sensori ampiamente utilizzati anche nei test a terra, per i loro vantaggi in termini di insensibilità ai disturbi elettromagnetici, dimensioni e peso ridotti, durabilità, ecc.



L'obiettivo è quello di utilizzare tali sensori nella principale applicazione che essi hanno in comune con la Shearografia: il rilevamento di difetti da impatto e delaminazioni (test a terra).

Come la Shearografia, anche i sensori FBG necessitano di miglioramenti rispetto a quanto noto dallo stato dell'arte, in termini di caratterizzazione quantitativa di un difetto.



Sensori FBG integrati a tecniche di  
processamento avanzate (Advanced Pattern  
Recognition Algorithms)

Sensori ibridi: attuatori piezoelettrici  
generatori di Lamb Waves combinati a  
sensori FBG usati come ricevitori



Confronto tra Shearografia e Sensori FBG in merito al rilevamento quantitativo di difetti da impatto e delaminazioni

## Sviluppo di metodi di misura termoelastici in ambienti rigidi e validazione in camera termo-vuoto.

Si prevede di sviluppare questa parte dell'attività nel secondo anno di dottorato.

Dopo aver condotto approfondimenti sulla tecnica termoelastica in generale (incertezza, problemi, punti di forza, banchi prova..) ci si propone di sviluppare un metodo per un'applicazione finalizzata al monitoraggio strutturale di satelliti in condizioni replicanti quelle spaziali (condizioni di vuoto combinate a cicli ripetuti di condizioni termiche estreme).

Ciò permette di verificare la performance di un sottosistema di controllo termico e il conseguente 'bilancio termico' del satellite prima del volo.

Si prevede quindi, per lo svolgimento di tale attività, di trascorrere un periodo di sei mesi o un anno presso lo European Space Research and Technology Centre dell'Agencia Spaziale Europea, nel quale si effettueranno dei test all'interno della «Phenix Thermal Vacuum Chamber».



#### What are its features?

A system designed to enable synergistic testing based on the simultaneous combination of vacuum and thermal cycling, Phenix is made up of several different elements, all located within a class 100 000 (ISO 8) clean room.

Its vacuum chamber measures 11.8 m long and 4.5 m in diameter, with access gained through a 4.5 m diameter sliding door as well as a smaller 2.5 m side door for manned access.

The chamber's vacuum is achieved using multiple pumping systems: two oil-free pumps with a capacity of 400 cubic metres per hour are associated with two roots blowers with a capacity of 2500 cubic metres per hour. An additional magnetic bearing thermomechanical pump with a capability of 2300 litres per second for air and 2000 litres per second for helium is associated to a dry backing pump.

Additional cryopumps and cryopanel are then used to freeze any residual air out of the chamber – twin cryopumps with a pumping capability of 28 000 litres each as well as a 10m<sup>2</sup> condensing cryopanel.

Test items are slid via a trolley system into a thermal tent within the vacuum chamber. Measuring 4.2 m long by 2.5 m wide and 3 m high, the thermal tent is made of copper plates with brazed copper pipes which use liquid and gaseous nitrogen to produce the range of temperatures desired, from +100°C to less than -170°C.

The thermal tent is controlled from a Thermal Control Unit (TCU) which is fed with gaseous and liquid nitrogen and electrical power. The tent can absorb a maximum 600 watts on each face, with each one being independently controlled to produce distinct temperature zones. If the thermal tent is filled with liquid nitrogen, it can absorb over 30 kilowatts.

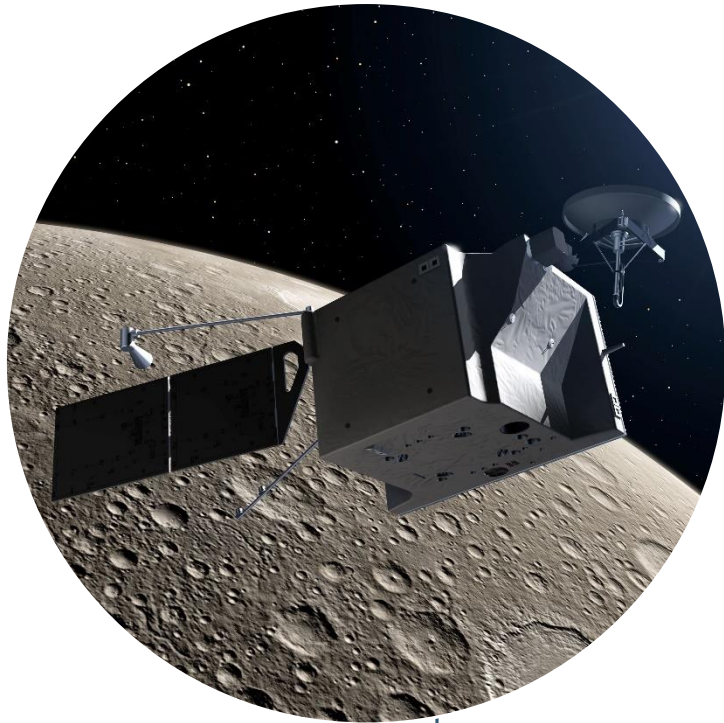


Phenix chamber with thermal tent

In conclusione, si prevede nell'ultimo anno di dottorato, alla luce dei dati e dell'esperienza ottenuti, un'analisi trasversale delle diverse tecniche di monitoraggio strutturale di componenti aerospaziali.

Il confronto riguarderà le nuove metodologie di indagine sviluppate, gli algoritmi di processamento dati implementati, e le conseguenti potenzialità ottenute in ciascun dispositivo in merito al fenomeno/difetto da osservare.





**GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE**