

Nome	Laboratorio di Propulsione Aerospaziale
Acronimo	
Responsabile	Prof. Raffaele Savino
Gruppo	Aerotermodinamica, Propulsione e Sperimentazione Spaziale
Posizione	Aeroporto Militare "F. Baracca", Grazzanise, CE
Links	
s/w	
h/w	
Scopo	
Descrizione generale Il laboratorio di Propulsione Aerospaziale dell'Università di Napoli "Federico II", sito presso l'aeroporto "F. Baracca" di Grazzanise (CE), è stato principalmente allestito allo scopo di effettuare test di motori a razzo a propellenti ibridi al fine di poter valutarne i parametri caratteristici di funzionamento. Inoltre, essendo dotato di un banco prova e di un sistema di acquisizione estremamente versatili è possibile adeguare facilmente l'apparato sperimentale a varie tipologie di prove temo-fluidodinamiche; di seguito ne vengono riportate alcune: • test per la valutazione delle prestazioni dei propellenti e dei processi di combustione; • test di modulazione della spinta per razzi a propellenti ibridi; • test di componenti e/o di interi sistemi di alimentazione quali iniettori, ugelli, prese d'aria per propulsori airbreathing, turbine, pompe, sistemi catalitici, serbatoi, bruciatori, accenditori e sistemi di accensione, valvole e strumenti di misura, sistemi di raffreddamento, etc.; • test a fuoco su materiali innovativi ablativi, ceramici, metallici o di altro tipo da utilizzare come protezioni termiche interne o esterne, negli ugelli di spinta, come rivestimenti o altro. Per gli ugelli di spinta una attenzione particolare è data alla misura della velocità di erosione della gola; • test su motori monopropellente e gas freddi; • test di calibrazione strumenti di misura della portata massica. Endoreattori a propellenti ibridi Al fine di valutare le prestazioni di motori ibridi, di studiare e caratterizzare le varie coppie di propellenti, il laboratorio di propulsione aerospaziale ha a disposizione endoreattori di diverse geometrie e dimensioni, che permettono di effettuare test con spinte da 10N, 200N e 1000N, con pressioni in camera fino a 35 atm, tutti dotati di prese per la misura della pressione in camera. I motori sono equipaggiati con ugelli convergenti-divergenti in grafite o in leghe metalliche con raffreddamento attivo. I tempi di prova, funzione dei propellenti utilizzati e dei flussi di massa di ossidante, possono arrivare fino a 15/20 sec per i motori di classe inferiore e fino a 40/50 sec per quello da 1000N. Quest'ultimo è attrezzato anche con un sistema ad ultrasuoni per la valutazione in tempo reale della velocità di regressione del grano di combustibile. Gli apparati sperimentali descritti sono ottimizzati per uso con ossigeno e protossido d'azoto gassosi, e con perossido di idrogeno liquido. Inoltre, sono stati progettati in maniera modulare ed è possibile cambiare agevolmente i vari componenti che li compongono come ad esempio l'ugello, gli iniettori o altro per adeguarli ad altre tipologie di prove. Endoreattori monopropellenti Il laboratorio è dotato di motori monopropellenti, ottimizzati per l'uso di perossido d'idrogeno o protossido di azoto, per la valutazione delle prestazioni e la caratterizzazione di catalizzatori con la possibilità di utilizzare pellets o materiali ceramici (ad es. honeycomb) impregnati con agenti catalizzanti. L'apparato sperimentale, anche in questo caso progettato in maniera modulare per consentire un veloce adattamento alle varie tipologie di prova, è dotato di alloggiamenti per una misura di pressione e termocoppie posizionati in camera ed all'uscita del comparto catalitico. Date le relativamente basse temperature dovute alla decomposizione del perossido d'idrogeno, l'ugello convergente divergente è in AISI 316L. Linee di alimentazione gas e liquidi	

Presso il laboratorio sono presenti e perfettamente collaudate due linee per l'approvvigionamento di ossidante allo stato gassoso, una per ossigeno e l'altra per il protossido d'azoto, e una linea per liquidi ottimizzata per l'uso con perossido d'idrogeno. Tutte le linee sono dotate di strumenti di misura e regolazione della portata di massa comandabili da remoto tramite pc. Nel caso di ossidanti gassosi questo è assicurato dalla presenza di un riduttore/regolatore elettronico di pressione modello "TESCOM ER3000" e la misura della portata massica viene effettuata mediante dei venturimetri. Per ossidanti liquidi la misura/regolazione della portata di massa è effettuata mediante misuratori/regolatori elettronici di portata ad effetto Coriolis, modello "Bronkhorst Cori-Flow M55" per portate fino a 160g/s e modello "Bronkhorst Mini-Coriflow M14" per portate fino a 8 g/s. All'occorrenza questi strumenti possono essere collegati anche alla linea gas, ad esempio per la calibrazione di altri sistemi per la misura della portata di massa.

Accanto a queste è presente anche una linea per l'approvvigionamento di CH₄ per l'accensione dei motori a propellenti ibridi ed una linea di N₂ usata in fase di spegnimento dei suddetti motori e per le attività di manutenzione degli impianti. Recenti attività di ricerca sono state volte all'utilizzo dell'impianto e delle relative linee di alimentazione per test su endoreattori bipropellenti in fase gassosa o liquida (dunque con combustibili in fase gassosa come il metano o liquida come l'etanolo). Il funzionamento e la sicurezza dell'impianto sono assicurati da un software di acquisizione e controllo sviluppato in ambiente NILabview che legge, elabora e registra i segnali elettrici derivanti dai sensori montati sulle linee di alimentazione ed aziona da remoto le valvole pneumatiche presenti sulle linee.

Banco prova, sistema di acquisizione PXI (National Instruments) e sensori:

Il banco prova è costituito da una struttura portante alla quale viene vincolato l'apparato sperimentale da testare. Il sistema di acquisizione è costituito da un software "open source" sviluppato in ambiente NI Labview e da un sistema hardware PXI di ultima generazione che consente la comunicazione tra PC e la strumentazione presente al laboratorio. I segnali analogici provenienti da strumenti e sensori quali termocoppie, trasduttori e celle di carico sono campionati con una frequenza fino a 10 KHz, digitalizzati, processati e memorizzati su un hard disk con una risoluzione fino a 16 bit. Tale sistema, oltre alla gestione delle linee di alimentazione, consente di eseguire le prove in maniera del tutto automatica e contemporaneamente di acquisire tutti i segnali analogici derivanti dei sensori di interesse utilizzati durante la prova sperimentale. Tale sistema consente anche la movimentazione di tutte le valvole pneumatiche presenti sulle linee di alimentazione, sia gas che liquidi.

Di seguito vengono elencate le misure effettuabili e i sensori collegati al sistema di acquisizione:

- Spinta misurata mediante 4 celle di carico Tedeo Huntleigh modello 1042 ancorate al banco prova, ognuna con range di misura compreso tra 0 e 1000 N per una spinta totale massima misurabile di 4000 N.
- Pressione statica misurata mediante trasduttori capacitivi SETRA di vari modelli con range 0-1000 psig (ad esempio i modelli 280 e 206).
- Pressione differenziale misurata mediante trasduttori SETRA 204D di vario range (0-50 psid, 0-100 psid).
- Temperatura misurata mediante termocoppie tipo J, K, e T rivestite con guaine in Inconel o Acciaio a seconda dell'utilizzo, per la misurazione di temperature che vanno da -250 °C a 1200 °C.
- Regolazione automatica della pressione, secondo un andamento prefissato impostabile da pc, mediante un regolatore/riduttore di pressione TESCOM ER3000 che consente di operare con una pressione a monte massima di 210bar e una regolabile a valle compresa in un range tra 1 e 70 bar.
- Regolazione automatica della portata massica, sia di liquidi che di gas, mediante misuratori/regolatori ad effetto Coriolis della Bronkhorst, modello Coriflow M55 con range variabile in funzione del mezzo e compreso tra 0 a 160 g/s, e modello Mini-Coriflow M14 con range di portate tra 0 e 8 g/s.
- Portata di massa mediante varie tipologie di venturimetri, strozzato e non, calibrati per ossigeno e protossido d'azoto fino a 300 g/s. Con la possibilità di regolare istantaneamente e con andamento prefissato la portata di massa mediante accoppiamento software con il regolatore di pressione TESCOM ER3000.
- Velocità istantanea di regressione del grano di combustibile mediante una tecnica non invasiva utilizzando un trasduttore ad ultrasuoni Panametrics Videoscan V114-SB con un diametro nominale di 3/4" e 1 MHz di frequenza centrale. Le onde emesse dal trasduttore sono ricevute e amplificate da una unità emettitore-ricevitore (Panametrics modello 5072PR) con 1 kHz di Pulse Repetition Frequency (PRF) e possono essere campionate con un rapporto di 10-20 MHz.
- Valvole solenoidali ad attuazione rapida per operazione pulsata dei motori.

Per la caratteristica intrinseca del sistema di acquisizione sia hardware che software è possibile aggiungere altri sensori come pirometri, telecamere IR, telecamere ad alta velocità e risoluzione o altro in funzione della prova da effettuare.

Esperienze

Nel corso degli anni il laboratorio di propulsione aerospaziale dell'Università di Napoli "Federico II", oltre che per attività prettamente didattiche, è stato utilizzato anche per supportare attività sperimentali in ambito di programmi di ricerca nazionali ed internazionali sia pubblici che privati tra cui:

- ESA ITT commissionato da ESA su "Hybrid rockets fed by GOx and using HTPB as fuel"
- ORPHEE commissionato dalla EC in ambito del 7FP su "hybrid rockets fed by GOx and using HTPB added by metal particles"
- THESEUS commissionato da ASI su "hybrid rockets fed by N₂O and using pure and added by metal particles HTPB fuels"
- PRIN commissionato da MIUR su "hybrid rockets fed by GOx or N₂O and using HTPB added by metal particles or paraffin-based fuels"
- HPP commissionato da AVIO s.p.a. su "hybrid rockets fed by Hydrogen Peroxide 87,5%wt and HTPB"
- GRASP (2008 – 2011): GReen Advanced Space Propulsion, funded by EU FP7 (G.A. 218819)
- C3HARME (2016 – 2020): Next Generation Ceramic Composites for Combustion Harsh Environment and Space, finanziato dalla Commissione Europea (Horizon 2020 - G.A. 685594), in collaborazione con numerosi altri enti di ricerca ed aziende, sia nazionali (AVIO, CNR) che internazionali (AIRBUS, ArianeGroup, DLR, TECNALIA, University of Birmingham, Trinity College Dublin, ed altri)
- PHAEDRA - Ricerca e sviluppo tecnologico sulla propulsione ibrida basata su propellenti a paraffina (2020 – 2025), finanziato da ASI, contratto di ricerca con CIRA (CIRA-DTS-20-0125), in collaborazione con AVIO, T4i, University of Rome "La Sapienza", Politecnico di Torino, Politecnico di Milano, Università di Padova.
- HYPROB-NEW (2020 – 2022): Attività di test su motori ibridi di ricerca a base di paraffina per valutazione delle prestazioni e caratterizzazione acustica, finanziato da MUR, contratto di ricerca con CIRA (CIRA-POO-20-0024)
- FORCE (2020 – 2023): Volo in FORMazione di assemblati di CubEsat per l'osservazione della Terra, finanziato da MUR (PON ARS01_00922)
- Hyperion (2022-2023): "Supporto alle attività di analisi di un velivolo ipersonico CIG Z942FA1367 nell'ambito del Progetto Hyperion" Ord./Contr. prot. 22/PR/0030-cf"
- RODiO (2023 – in corso): Radar per Osservazione della terra ad apertura sintetica Distribuita su cluster di cubesat con micropropulsori ad alta tecnologia per nuovi servizi Operativi, finanziato da ASI nell'ambito del programma ALCOR - Contratto ASI n. 2022-28-I.0
- Space It Up! (2024 – in corso): Progetto di ricerca nazionale per lo sviluppo di tecnologie spaziali innovative, finanziato da ASI

Tutte queste attività hanno portato ad un accrescimento del know-how su tematiche riguardanti gli endoreattori a propellenti ibridi e monopropellente ad alte prestazioni, la caratterizzazione dei propellenti e dei materiali innovativi. In particolare, sono stati provati e caratterizzati combustibili allo stato solido di vario genere, di seguito ne vengono elencati alcuni:

- HTPB puri ed additivati con varie tipologie di polveri metalliche e non;
- Polimeri plastici quali HDPE, PVC, ABS, anche realizzati in stampa 3D;
- Paraffine di diversa formulazione e con diversi additivi.

Sono state inoltre effettuate numerose prove volte alla caratterizzazione di materiali per protezioni termiche interne a camere di combustione ed alla valutazione della velocità di erosione della gola di ugelli di spinta. I materiali e gli ugelli di spinta provati sono spesso costruiti di dimensioni ridotte tali da poter essere implementate nel motore di classe 200N che rappresenta una facility estremamente affidabile ed economica per questi tipi di test sperimentali, ma sono stati effettuati anche test su componenti refrattari con endoreattori di classe 1000N. Sono stati sviluppati diversi setup per la caratterizzazione di materiali resistenti ad alte temperature, tra cui ugelli di spinta segmentati per la sperimentazione di inserti di gola di materiali innovativi come quelli ceramici.

Per tali tipi di prove sperimentali è possibile selezionare la configurazione del motore, la coppia di propellenti e le condizioni operative più adeguate per ottenere i valori desiderati di pressione in camera, temperatura di combustione, durata della prova e ambiente chimico.