

Nome	Laboratorio di Ipersonica
Acronimo	
Responsabile	Prof. Raffaele Savino
Gruppo	Aerotermodinamica, Propulsione e Sperimentazione Spaziale
Posizione	via Claudio 21, 80125 Napoli
Links	
s/w	
h/w	

Scopo

Descrizione generale

Il Laboratorio di Ipersonica dell'Università degli Studi di Napoli Federico II è sito all'interno del complesso di Via Claudio 21 e permette di effettuare studi legati alle complesse fenomenologie aerotermochimiche tipiche del volo ipersonico e del rientro atmosferico e di caratterizzare e validare materiali e componenti per la protezione termica di veicoli spaziali.

All'interno del Laboratorio è disponibile SPES (Small Planetary Entry Simulator), una galleria del vento ad arco, a circuito aperto e continuo, che permette di generare un plasma tramite una torcia industriale in grado di operare fino a 80 kW. La torcia viene attraversata da un gas inerte per generare il plasma, che può poi essere miscelato con ulteriori specie chimiche in funzione della composizione desiderata del plasma, in modo da simulare condizioni tipiche del rientro in atmosfere planetarie. L'apparato sperimentale è in grado di operare con diverse miscele di gas reagenti contenenti ad esempio Argon, Azoto, Ossigeno, Anidride Carbonica, ecc. Tipiche applicazioni prevedono l'utilizzo di azoto come gas inerte, opportunamente miscelato con:

- Un flusso secondario di ossigeno freddo per simulare la composizione atmosferica terrestre;
- Un flusso secondario di CO₂ freddo per simulare la composizione atmosferica marziana.

In particolare, si parla di galleria aero-termo-dinamica in quanto permette di riprodurre i flussi termici rappresentativi delle condizioni di rientro atmosferico.

Di seguito vengono elencati diversi tipi di esperimenti che vengono effettuati:

- Test su provini di varie forme per l'analisi del campo di moto che si sviluppa attorno ai corpi durante il rientro atmosferico;
- Test su provini di diversi materiali per studiare la resistenza agli elevati flussi termici;
- Test per l'analisi spettroscopica del plasma che viene generato nelle diverse condizioni operative;
- Test per la misura di flussi termici su provini di diverse forme e a diverse condizioni operative.

Apparato Sperimentale e Condizioni Operative

L'impianto SPES è composto da una torcia con potenza massima di 80 kW, collegata, a valle, a una camera di miscelazione e successivamente a un ugello conico convergente/divergente che scarica nella camera di prova, dove la pressione è ridotta da due pompe a vuoto in serie, una meccanica e una radiale. Questo sistema a vuoto è in grado di raggiungere una pressione statica di 10 Pa nella camera di prova. La torcia, la camera di miscelazione e l'ugello sono raffreddati da acqua che scorre in una doppia parete. Solitamente vengono utilizzati due ugelli conici. Le caratteristiche geometriche sono:

- Diametro della sezione di ingresso 0.022 m, lunghezza della parte convergente 0.025 m, diametro della gola 0.008 m, lunghezza della parte divergente 0.199 m, diametro della sezione di uscita 0.06 m. Il rapporto tra l'area di uscita e l'area della gola è 56, quindi il numero di Mach nominale è 6.
- Diametro della sezione di ingresso 0.022 m, lunghezza della parte convergente 0.025 m, diametro della gola 0.008 m, lunghezza della parte divergente 0.061 m, diametro della sezione di uscita 0.022 m. Il rapporto tra l'area di uscita e l'area della gola è 4, quindi il numero di Mach nominale è 3. Il tratto divergente di questo ugello può essere prolungato fino al raggiungimento di un numero di Mach nominale pari a 5.

L'entalpia totale netta all'uscita della torcia e all'uscita dell'ugello è calcolata a partire dalla potenza elettrica fornita al gas, e tenendo la potenza sottratta dall'acqua di raffreddamento nella torcia e nell'ugello. Le portate di gas possono variare da 0.1 a 5 g/s e le entalpie totali all'uscita dell'ugello sono tipicamente comprese tra 5 e 30 MJ/kg, in dipendenza delle condizioni operative desiderate, raggiungendo così valori altamente rappresentativi delle elevate energie in gioco nei flussi ipersonici.

La camera presenta due oblò che ne permettono l'accesso ottico per la misura non invasiva di temperature e spettri di emissione delle specie chimiche costituenti il plasma.

Sensori e acquisizione dei dati

Durante l'esecuzione di un test, vengono utilizzati diversi strumenti che permettono di regolare e misurare i parametri di interesse. In seguito, vengono elencati i principali strumenti:

- Regolatori di pressione per i gas.
- Diversi flussimetri che permettono la regolazione sia della portata di gas in camera che di acqua per il raffreddamento. Questi permettono di regolare portate nell'ordine dei decimi di grammo al secondo nel caso di gas, e centinaia di grammi al secondo nel caso di acqua.
- Trasduttori di pressione per monitorare la pressione nella camera di prova e all'uscita dell'ugello.
- Termocoppie per misurare le temperature dell'acqua in ingresso e in uscita della torcia e dell'ugello.
- Un pirometro a infrarosso, a 1 o 2 colori. Esso sfrutta due bande infrarosse sovrapposte, a 0.7–1.15 μm e 0.97–1.15 μm , per misurare la temperatura effettiva da 1273 K fino a 3273 K.
- Un pirometro a infrarosso, a 1 o 2 colori che opera nelle bande 1.5-1.6 μm e 2.0-2.5 μm per restituire la temperatura del campione nell'intervallo 523-2273 K.
- Diverse termocamere a infrarosso in grado di rilevare temperature fino a 3273 K, operando in diverse bande dello spettro elettromagnetico.
- Uno spettroscopio di emissione che opera in una banda da 0.22 a 1.05 μm .
- Fotocamera con risoluzione di 1328×1048 e una velocità di acquisizione pari a 25 fps.
- Un calorimetro di tipo “slug” o una termocoppia coassiale per la misura dei flussi termici.

Tipologie di articoli di prova

Una tipica configurazione sperimentale prevede l'esposizione di un campione di materiale di piccole dimensioni (ordine di grandezza di 1 cm) al flusso supersonico ad alta entalpia prodotto dall'impianto. L'articolo di prova è posto a una distanza che va da 1 cm a 5 cm dalla sezione di uscita dell'ugello per essere esposto in maniera più o meno intensa al riscaldamento aerotermico, in dipendenza del tipo di test da effettuare. Tipico obiettivo di questi test è la valutazione della resistenza ai carichi aerotermodinamici di materiali utilizzabili per sistemi di protezione termica di veicoli spaziali. Questi materiali includono i ceramici ultrarefrattari (UHTC, Ultra-High-Temperature Ceramics), eventualmente rinforzati con fibre (UHTCMC, Ultra-High-Temperature Ceramic Matrix Composites).

I provini utilizzati per i test in galleria, possono differire per la forma. Essi, in base al tipo di materiale, possono essere sottoposti al plasma per diversi minuti. Di seguito sono riportati esempi di geometrie di provini:

- Provini a testa piatta o “a bottone”;
- Provini emisferico;
- Provini con bordo d'attacco appuntito e simmetrico;
- Provini con bordo d'attacco affusolato e asimmetrico;
- Provini a doppio cuneo;
- Provini conici o a bordo d'attacco tozzo;
- Provini a forma di disco sottile;
- Provini a forma di lastra sottile.

Esperienze

Nel corso degli anni la galleria ipersonica ad arco dell'università di Napoli “Federico II”, oltre che per attività prettamente didattiche, è stata utilizzata anche per supportare attività sperimentali in ambito di programmi di ricerca nazionali ed internazionali sia pubblici che privati tra cui:

- CAST (2007 - 2010): “Ultra High Temperature Ceramic Aerothermodynamic Characterization”, nell'ambito del framework “Aerothermodynamic Configurations for Space Transportation”, finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI)

- High Lift (2008 - 2009): "High Lift over Drag Vehicles for Earth Reentry", finanziato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA)
- IRENE (2011 - 2012): Aerothermodynamic Characterization of a Deployable Reentry Capsule", finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana
- SMARP (2012 - 2013): "Caratterizzazione di campioni di materiali ceramici in ambiente aeropropulsivo", finanziato dal Ministero della Difesa
- IXV (2013 - 2014): "Plasma Wind Tunnel Tests on Ceramic Components, in preparation of the IXV flight test", finanziato dall'Agenzia Spaziale Europea e dal Centro Italiano Ricerche Aerospaziali (CIRA)
- MISTRAL (2015 - 2020): Micro-SaTellite con capacità di Rientro AvioLanciabile, coordinated by DAC S.c.a.r.l. and funded in the framework of the POR CAMPANIA FESR 2014/2020 program (CUP B43D18000200007)
- C3HARME (2016 - 2020): Next Generation Ceramic Composites for Combustion Harsh Environment and Space, funded by the European Commission (Horizon 2020 - G.A. 685594), in collaboration with several other research institutions and companies, both at national (AVIO, CNR) and international level (AIRBUS, ArianeGroup, DLR, TECNALIA, University of Birmingham, Trinity College Dublin, and others)
- MIFE (2016 - 2023): Mini IRENE Flight Experiment, funded by ESA, research contract with CIRA (CIRA POO-16-0802)
- Wintertime (2020 - In corso): Low Earth orbit environment ageing effect on Ultra-High Temperature Ceramic Matrix Composites, selected through ESA's Announcement of Opportunity 2020 Euro Material Ageing (proposal AO-2020-EMA-128), in collaboration with CNR-ISTEC
- Attività di test per School of Metallurgy and Materials, University. of Birmingham (2022) "Aerothermodynamic characterization tests on 12 ultra-refractory material samples in a hypersonic arc-jet wind tunnel"
- AM3aC2A (2023): Approccio Multiscala per la Modellazione di Materiali CMC e UHTCMC per Componenti Riutilizzabili per l'Aerospazio. Contratto di ricerca per attività di test in galleria del vento di materiali CMC e UHTCMC per l'aerospazio
- Space It Up! (2024 – in corso): Progetto di ricerca nazionale per lo sviluppo di tecnologie spaziali innovative, finanziato da ASI
- HEATS (2024 - in corso): Hypersonic Entry flow simulator for Access to Space, finanziato nell'ambito del programma PRIN (Progetti di ricerca di Rilevante Interesse Nazionale)
- ARES (2025 - in corso): PRIN 2022 20227NCLC4 - Atmospheric entry for Mars exploration missions