



# UNIVERSITÀ DI PISA

## ELECTRIC PROPULSION I

---

**FABRIZIO PAGANUCCI**

Academic year **2023/24**  
Course **INGEGNERIA AEROSPAZIALE**  
Code **504II**  
Credits **6**

| Modules               | Area       | Type    | Hours | Teacher(s)                              |
|-----------------------|------------|---------|-------|-----------------------------------------|
| ELECTRIC PROPULSION I | ING-IND/07 | LEZIONI | 60    | TOMMASO ANDREUSSI<br>FABRIZIO PAGANUCCI |

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

Il corso ha lo scopo di fornire agli allievi le basi della dinamica dei gas rarefatti e della fisica dei plasmi necessarie per lo studio teorico e sperimentale dei propulsori elettrici, oggetto del modulo seguente di Electric Propulsion II.

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

Le conoscenze acquisite vengono verificate attraverso un colloquio individuale.

#### *Capacità*

Alla fine del corso, lo studente dovrà essere in grado di:

- classificare e descrivere i propulsori elettrici di impiego spaziale;
- eseguire il dimensionamento preliminare di un impianto di prova e di diagnostiche di base;
- eseguire calcoli di prima approssimazione su plasmi di propulsori elettrici;
- impostare modelli teorici per lo studio di propulsori elettrici.

#### *Modalità di verifica delle capacità*

Nel colloquio individuale la preparazione dello studente viene verificata sia attraverso domande sugli argomenti trattati a lezione, sia attraverso la soluzione di problemi basilari di gascinetica e fisica dei plasmi.

#### *Comportamenti*

Al termine del corso, lo studente dovrà possedere gli strumenti per comprendere i principi di funzionamento dei vari propulsori elettrici, eseguire calcoli preliminari sui plasmi dei propulsori elettrici, procedere ad un dimensionamento preliminare degli impianti di prova e di alcune diagnostiche di base.

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

Nel corso della prova di esame lo studente è posto davanti a problemi inerenti gli aspetti suddetti.

### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

- Tutti i contenuti dei corsi della laurea triennale in ingegneria aerospaziale.
- Più in particolare, i contenuti dei corsi di Termodinamica Applicata, Fisica II ed Elettronica del secondo anno del CdS, Fluidodinamica e Motori per Aeromobili del terzo anno del CdS.

### Indicazioni metodologiche

- Le lezioni frontali vengono svolte sia con l'ausilio di slide che alla lavagna.
- Le esercitazioni in aula consistono dello svolgimento di alcuni problemi numerici, esplicativi degli argomenti trattati. I problemi sono analoghi a quelli proposti per lo studio personale ed all'esame. Gli esercizi svolti durante lo studio personale sono rivisti su richiesta durante le ore di ricevimento.
- Tutto il materiale didattico utilizzato a lezione è messo a disposizione degli studenti tramite il sito elearning.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

- Il sito elearning è utilizzato per tutte le comunicazioni agli studenti e la gestione degli esami.
- Il ricevimento settimanale è accessibile agli studenti senza prenotazione.

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

#### Introduzione

Introduzione alla propulsione elettrica per applicazioni spaziali.  
Plasmi: definizioni, proprietà generali, presenza in natura e loro applicazioni.  
Descrizione teorica dei plasmi  
Richiami di elettrodinamica e termofluidodinamica.

#### Moto delle Particelle Cariche

In campi elettromagnetici costanti ed uniformi.  
In campi magnetici non uniformi.  
In campi elettromagnetici variabili nel tempo.  
Applicazioni (es: specchio ed ugello magnetico, sonde RPA).

#### Teoria cinetica dei Plasmi

Elementi di gascinetica.  
Valori medi e variabili macroscopiche.  
Stato di equilibrio.  
Equazioni macroscopiche di trasporto.  
Conducibilità e diffusione nei plasmi.  
Interazione di particelle nei plasmi.  
Teoria dello strato limite (sheath theory).  
Applicazioni (es: sonde di Langmuir).

#### Modello MHD

Equazioni macroscopiche per fluidi conduttori.  
Equazioni fondamentali MHD.  
Viscosità magnetica e numero di Reynolds magnetico.  
Applicazioni (es: effetto pinch).

#### Fenomeni catodici (cenni)

#### Onde nei plasmi (cenni)

#### Elementi di tecnologia del vuoto

### Bibliografia e materiale didattico

- A. Bittencourt, *Fundamental of Plasma Physics*, Pergamon Press.
- F. F. Chen, *Introduction to Plasma Physics*, Springer.
- V. E. Golant, A. P. Zilinskij, S. E. Sacharov, *Fondamenti di fisica dei plasmi*, Edizioni Mir.
- J. L. Delcroix, *Introduction to the Theory of Ionized Gas*, Interscience Publishers, Inc., NY.
- M. Mitchener, C. H. Kruger, Jr., *Partially Ionized Gases*, JohnWiles & Sons.
- I. H. Hutchinson, *Principles of Plasma Diagnostics*, Cambridge University Press.
- M. Capitelli, G. Colonna, A. D'Angola, *Fundamental Aspects of Plasma Chemical Physics – Thermodynamics*, Springer.
- M. Capitelli, D. Bruno, A. Laricchiuta, *Fundamental Aspects of Plasma Chemical Physics – Transport*, Springer.
- R. G. Jahn, *Physics of Electric Propulsion*, McGraw Hill Book Company.
- W. G. Vincenti, C. H. Kruger, Jr., *Introduction to Physical Gas Dynamics*, Krieger Publishing Company.
- J. D. Anderson Jr, *Hypersonic and High Temperature Gas Dynamics*, McGraw-Hill, Inc.
- T. I. Gombosi, *Gaskinetic Theory*, Cambridge University Press.
- T. L. Hill, *An Introduction to Statistical Thermodynamics*, Dover Publication Inc., NY.
- G. H. Wannier, *Statistical Physics*, Dover Publication Inc., NY.
- C. Park, *Nonequilibrium Hypersonic Aerothermodynamics*, John Wiley & Sons
- F. O'Hanlon, *A User's Guide to Vacuum Technology*, Wiley.
- Materiale didattico fornito dal docente su <http://elearn.ing.unipi.it>.

### Indicazioni per non frequentanti

I contenuti del corso sono ogni anno in parte rielaborati. Si consiglia di tenersi aggiornati sulle ultime versioni dei documenti a supporto delle lezioni tramite e-learn e consultando il docente.  
E' molto importante integrare lo studio con lo svolgimento degli esercizi proposti, reperibili su e-learn.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

### Modalità d'esame

- Prova di ammissione. Sono proposte collettivamente due domande basilari. Lo studente è ammesso a proseguire con il colloquio solo se la prova ha avuto esito soddisfacente. La prova può essere ripetuta senza limitazioni.
- Colloquio individuale. Allo studente sono posti due quesiti, alcuni nella forma di problemi aperti. Lo studente viene quindi lasciato da solo ad organizzare le risposte, che vengono quindi discusse con il docente.

*Ultimo aggiornamento 19/09/2023 16:14*