

# Università di Pisa

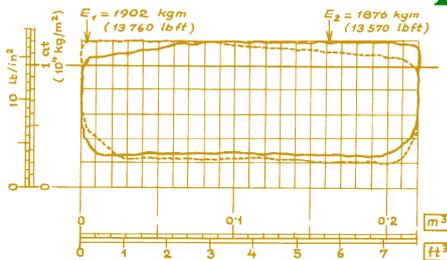


## Appunti ed Esercizi di **FISICA TECNICA**

Dispense del corso di Fisica Tecnica  
redatte ad uso degli allievi dei corsi di Laurea in Ingegneria Meccanica



**Paolo Di Marco**



INDICATED HORSEPOWER

$$[HP] = [kgm] \cdot [1/min] \cdot [min/s] \cdot [HP/kgm/s]$$

$$N_i = (E_1 + E_2) \cdot n \cdot 1/60 \cdot 1/75$$

$$20.15 = (1902 + 1876) \cdot 24 \cdot 1/60 \cdot 1/75$$

### ENGINE DATA

CYLINDER DIAMETER	$d = 41.5 \text{ cm} = 16.7 \text{ in}$
STROKE	$x = 124.4 \text{ cm} = 49 \text{ in}$
DOUBLE STROKE PER MINUTE	$n = 24 \text{ 1/min}$
INDICATED POWER	$N_i = 20.15 \text{ HP}$
EFFECTIVE POWER	$N_E = 14.1 \text{ HP}$
MECHANICAL EFFICIENCY	$\eta_m = 70 \%$
OVERALL EFFICIENCY	$\eta_o = 2.5 \%$
TOTAL ENGINE WEIGHT	$G = 15000 \text{ kg} = 33080 \text{ lb}$
TOTAL ENGINE VOLUME	$V = 323.4 \text{ m}^3 = 11420 \text{ ft}^3$
WEIGHT/POWER RATIO	$G/N = 1064 \text{ kg/HP} = 2347 \text{ lb/HP}$
VOLUME/POWER RATIO	$V/N = 22870 \text{ lit/HP} = 807 \text{ ft}^3/\text{HP}$

OVERALL DIMENSIONS  $\left\{ \begin{array}{l} \text{meters } 10.5 \times 4.4 \times 7 \\ \text{feet } 34.45 \times 14.43 \times 23 \end{array} \right.$



## Prefazione

Le presenti note espongono i principali concetti di Termodinamica Applicata ed alcune nozioni di Macchine Termiche ad uso degli studenti dei nuovi corsi di Laurea triennali.

Il lettore attento si renderà conto che in alcune parti il rigore della trattazione è indiscutibilmente carente. In particolare, per dare alla trattazione un maggior senso pratico, si fa uso fin dall'inizio di concetti quali calore, temperatura, energia che si considerano noti in maniera almeno intuitiva; tali concetti vengono poi ripresi e definiti in maniera più formale nel seguito. Lo scopo che ci si prefigge non è tanto quello di redigere una trattazione formalmente rigorosa e completa degli argomenti esposti, dato che ve ne sono già disponibili di ottime in biblioteca, ma piuttosto quello di consentire all'allievo di acquisire in breve tempo una conoscenza operativa ed applicativa (ma ugualmente esente da errori concettuali) dei concetti fondamentali, in modo da potersi quanto prima dedicare all'applicazione ai problemi pratici. Per la stessa ragione, e nella incrollabile convinzione che per un allievo ingegnere l'acquisizione di nuove nozioni teoriche debba essere seguita immediatamente e contestualmente dalla loro messa in pratica, il testo è corredato di numerosi esempi applicativi e seguito da esercizi.

Nell'aggiungere alla vasta scelta già esistente un nuovo testo tecnico, ritorna alla mente la sprezzante allocuzione che Ugo Foscolo rivolgeva a Monti: "*Questi è Vincenzo Monti, cavaliere: il traduttore de' traduttore d'Omero*". Si diceva infatti che Monti avesse redatto la sua celebratissima traduzione dell'Iliade conoscendo pochissimo il greco e quindi, per così dire, "appoggiandosi" alle traduzioni precedenti. Con questo non si vuol certo affermare di avere eguagliato i fasti del *Pelide Achille*; semplicemente, si è inteso rendere un servizio utile agli studenti rendendo disponibile un testo sintetico e aderente al contenuto effettivo delle lezioni.

### SECONDA EDIZIONE (2006)

In questa seconda edizione, i capitoli sono stati rinumerati più razionalmente in corrispondenza all'ordine in cui vengono presentati a lezione. Inoltre sono stati aggiunti un numero maggiore di riferimenti all'analisi di disponibilità nei capp. 7-8, è stato aggiunto un capitolo sulle macchine idrauliche, ed è stato ampliato il capitolo di trasmissione del calore, con l'inclusione dei sistemi conduttivi con generazione interna.

### TERZA EDIZIONE (2009)

In questa terza edizione, il materiale è stato ristrutturato e limitato per un corso semestrale intensivo di 9 crediti. Sono state quindi soppressi i capitoli sulla trasmissione del calore, la cogenerazione, la psicrometria, la combustione e il funzionamento delle turbomacchine, che saranno oggetto di corsi successivi. I capitoli sono stati rinumerati in corrispondenza all'ordine in cui vengono presentati a lezione.

### QUARTA EDIZIONE (2010)

E' stato nuovamente aggiunto un breve capitolo sui fondamenti della trasmissione del calore, redatto in cooperazione con il Prof. Nicola Forgiione.

### QUINTA EDIZIONE (2016)

E' stato nuovamente aggiunto un breve capitolo sulla psicrometria, redatto in cooperazione con il Prof. Nicola Forgiione.

*L'autore è fortemente indebitato con i professori Nicola Forgiione ed Alessandro Franco, che hanno redatto rispettivamente una parte delle dispense e degli esercizi allegati, oltre a rivederne il contenuto. Desidera inoltre ringraziare i numerosissimi studenti che nel corso degli anni passati hanno redatto le soluzioni degli esercizi riportate in appendice, e con suggerimenti, domande argute e segnalazioni di errori hanno contribuito in maniera sostanziale a rendere migliore il presente lavoro ... e anche l'autore stesso.*

Le parti di testo scritte in questo carattere rappresentano un'estensione od una riformulazione di concetti precedentemente esposti: esse possono essere tralasciate in una prima lettura e non sono strettamente necessarie alla comprensione.

Alcuni paragrafi riportano argomenti che non fanno parte dell'attuale programma di studio: è stato scelto di mantenerli per lasciare a disposizione dell'allievo del materiale che fa uso della stessa impostazione didattica, per possibili future necessità od approfondimenti. Tali paragrafi sono contrassegnati con (°).

*In copertina: Macchina a vapore di James Watt, 1788.*

# Indice

## Parte Prima

- Capitolo 1. Nozioni introduttive di Termodinamica
- Capitolo 2. Termodinamica degli stati
- Capitolo 3. Le equazioni di bilancio di massa, energia ed entropia
- Capitolo 4. I sistemi aperti a regime
- Capitolo 5. L'equazione generalizzata di Bernoulli e la sua applicazione al calcolo dei condotti
- Capitolo 6. Le macchine termiche semplici e l'analisi di disponibilità
- Capitolo 7. I cicli termici delle macchine motrici
- Capitolo 8. I cicli termici delle macchine termiche operatrici
- Capitolo 9. Cenni sui meccanismi di trasmissione del calore (\*)
- Capitolo 10. Elementi di Psicrometria (\*)

- Appendici.
  - 1. Equazioni di stato per i gas ideali e per i liquidi incomprimibili
  - 2. Trasformazioni reversibili per i gas ideali con calori specifici costanti
  - 3. Proprietà termofisiche dei fluidi.
  - 4. Unità di misura del Sistema Internazionale e fattori di conversione
  - 5. Metodologia per la soluzione di problemi in termodinamica
  - 6. Risoluzione di parte degli esercizi proposti

(\*) redatti in cooperazione con Nicola Forgiione