

# Prefazione

---

## Obiettivi, contenuto e organizzazione del testo

La **meccanica dei fluidi** è una branca della fisica che studia i fluidi sia in movimento (**fluidodinamica**) che in quiete (**statica dei fluidi**). Lo stato di quiete dei fluidi può essere considerato un caso particolare dei fluidi in moto con velocità e accelerazione nulle. La meccanica dei fluidi, generalmente, è nota come **idraulica** quando è riferita allo studio di fluidi debolmente comprimibili, come i liquidi e gli aeriformi a bassa velocità; altrimenti è nota come **gasdinamica**. Da questa breve introduzione e considerato il titolo del testo è evidente che esso è principalmente orientato allo studio dei fluidi debolmente comprimibili sia confinati che in presenza di una superficie libera.

Il libro è di supporto per gli studenti di ingegneria che devono affrontare lo studio dell'idraulica, disciplina notoriamente impegnativa, formativa e caratterizzante in molti corsi di laurea in ingegneria, come l'Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio e Ingegneria Civile, ma anche l'Ingegneria Meccanica e altri ancora, quando l'organizzazione della materia è particolarmente indirizzata allo studio dei fluidi poco comprimibili. L'obiettivo principale dell'opera è di fornire agli allievi ingegneri le nozioni basilari dell'idraulica non solo da un punto di vista teorico, ma anche applicativo, come è indubbiamente richiesto a un futuro ingegnere. Per quanto particolarmente indirizzato agli studenti universitari, il testo è una sicura guida e promemoria per i professionisti ingegneri, geologi e per tutti coloro che nell'ambito della propria professione riscontrano l'esigenza di conoscere le leggi e le applicazioni proprie dell'idraulica. Per la corretta lettura del testo il lettore deve possedere le nozioni dell'analisi matematica, dell'algebra, della geometria analitica, della geometria delle masse e della fisica, ossia di quei corsi che notoriamente anticipano lo studio dell'idraulica. Un'apposita appendice del testo ripropone in sintesi questi concetti basilari.

Il testo affronta argomenti che possono essere suddivisi in cinque sezioni. Nella prima sezione il testo si propone di illustrare i **principi di base dell'idraulica**. Fanno parte di questa sezione il capitolo 1, di carattere introduttivo, e le Appendici A e B, dedicate, rispettivamente, alle proprietà dei fluidi e alle nozioni di base dell'algebra e della geometria analitica, la cui conoscenza è fondamentale per la corretta comprensione dei contenuti dei capitoli successivi.

Nella seconda sezione vengono proposte le **leggi teoriche e i principi fondamentali** della statica, della cinematica e della dinamica dei fluidi. Fanno parte di questa sezione il capitolo 2, sulla **statica dei fluidi**, il capitolo 3, sulla **cinematica dei fluidi**, e il capitolo 4, sulla **dinamica dei fluidi**.

Nella terza sezione, costituita dal capitolo 5, il libro ha lo scopo di fornire i **fondamenti della modellistica fisica idraulica**. Si trattano i **principi dell'analisi dimensionale** e delle **similitudini geometrica, cinematica e dinamica**, con l'introduzione dei **numeri indice**.

Nella quarta sezione il testo ha lo scopo di fornire le nozioni tipiche del moto permanente, laminare e turbolento, i fenomeni localizzati e il moto vario nelle condotte in pressione. Fanno parte di questa sezione il capitolo 6, sulle **correnti in pressione**, il capitolo 7 sul **moto vario delle correnti in pressione**, e gli approfondimenti contenuti nelle Appendici C e D dedicate al **teorema del trasporto di Reynolds** e all'**equazione globale del momento della quantità di moto**.

Nella quinta sezione, costituita dal capitolo 8, il testo presenta le nozioni del moto uniforme, del moto permanente e della propagazione delle piccole perturbazioni nei **canali a pelo libero**.

Ciascun capitolo e appendice è caratterizzato da un **elevato numero di figure**, che vengono riproposte durante la dimostrazione dei teoremi, seguendo lo sviluppo degli stessi, e durante lo svolgimento degli esercizi proposti. Si ritiene che l'elevato numero delle immagini, diagrammi e foto possa favorire l'apprendimento degli studenti.

Il testo offre una modalità di presentazione degli argomenti certamente al passo con le più recenti pubblicazioni e i più recenti mezzi utilizzati nell'ambito della didattica universitaria, sviluppando gli argomenti in modo comprensivo, in molti casi con una procedura passo-passo e, come detto, sempre con l'ausilio di numerose figure ed esempi applicativi.

Tuttavia, gli autori hanno voluto salvaguardare alcuni aspetti propri dell'approccio classico dell'idraulica italiana, la quale è una disciplina ben consolidata nel nostro paese e un fiore all'occhiello nell'ambito dei corsi di ingegneria a livello internazionale. Pertanto, accanto a nuovi strumenti per l'apprendimento e a un modo nuovo di presentazione degli argomenti, auspicabilmente più efficace, nel testo si utilizzano simboli, definizioni, concetti e formule della classica idraulica italiana, non sempre presenti nei libri di origine anglosassone. Per esempio, vengono proposti gli approcci alla progettazione dei condotti sia con le formule empiriche, ancora di ampio utilizzo nell'ingegneria idraulica italiana per il moto assolutamente turbolento, sia con la più recente formula di Colebrook-White; le formule di economia per le reti aperte e per la progettazione dei condotti con un impianto di sollevamento vengono proposte anche per i casi particolari, anch'essi classici nell'idraulica italiana, della formulazione dovuta a Francesco Marzolo; si presentano diverse applicazioni nell'ambito dei tracciati altimetrici dei condotti in pressione e dei profili di moto gradualmente variato nei canali, per i quali accanto alla più generale equazione differenziale si presenta anche quella basata sull'ipotesi di Bresse (1860). Analogamente, molte dimostrazioni, come quella dell'equazione di continuità, vengono condotte con la metodologia classica dell'idraulica italiana, presentando, tuttavia, anche il teorema del trasporto di Reynolds come metodo alternativo. Infine, si sottolinea la presenza di un capitolo sull'argomento del moto vario delle condotte in pressione, non sempre presente in alcuni testi, ma ritenuto giustamente fondamentale in molti corsi di idraulica tenuti presso i corsi di laurea in ingegneria delle università italiane.

Gli autori desiderano ringraziare l'editore per il lavoro svolto. Certo, come sempre, il giudizio finale spetta ai lettori, con i quali gli autori si scusano per eventuali e inevi-

tabili errori o inesattezze, ringraziandoli fin da ora per la cortesia che vorranno avere segnalandoli.

## Strumenti per l'apprendimento e guida alla lettura

Il testo presenta una trattazione matematica dei vari problemi dell'idraulica, seguiti sempre da una serie di applicazioni, molte delle quali già svolte. Nella consapevolezza dell'importanza delle immagini nell'idraulica, il testo riporta molte figure, diagrammi e foto. A tal riguardo gli autori hanno messo a frutto un'esperienza acquisita attraverso la *IAHR Media Library* (la biblioteca multimediale della *International Association for Hydro-Environment and Research*), la quale è una risorsa web, per la diffusione di filmati, foto e strumenti didattici nel campo della meccanica dei fluidi e, in generale, dell'ingegneria a essa legata. L'importanza delle immagini nella meccanica dei fluidi ha origini anche più antiche. Come si legge nel *Journal of Fluids Engineering* del giugno del 1976, pagg. 151-155, il *Fluid Mechanics Committee* dell'ASME (*American Society of Mechanical Engineering*) realizzò un catalogo di filmati promosso attraverso la *Engineering Societies Library*.

In ogni capitolo del libro sono presenti dei **richiami a lato** (spesso con immagini, simboli di richiamo dell'attenzione e lavagnette) che portano immediatamente l'attenzione del lettore su quanto cercato. L'utilizzo dei suddetti richiami e la presenza di diverse pagine di approfondimento, spesso impostate con la logica della domanda e risposta, consentono un più facile **autoapprendimento**. Il testo si presenta in una **forma mista (libro + materiale on line)**, come attualmente si preferisce per i testi universitari. Ciò perché è ancora imprescindibile l'uso della carta per uno studio approfondito della materia, mentre il materiale *on line*, con l'eccezione delle Appendici C e D, è riservato ai file degli esercizi interattivi in formato *Computable Document Format* (CDF). Tale formato, ideato dal Gruppo Wolfram (quelli del programma Mathematica) è forse l'unico tentativo esistente e funzionante di un formato di visualizzazione file che permetta un certo tipo di interazione con l'utente. Particolarmente adatto nella rappresentazione di grafici e funzioni, e più in generale di argomenti scientifici, ha trovato applicazione anche in altri campi. I file possono essere generati con il programma Mathematica e fruiti con il player gratuito reperibile al link <http://www.wolfram.com/cdf-player/>. Per maggiori dettagli si può consultare il sito della Wolfram Research: <http://www.wolfram.com>

Sempre sul sito sono resi disponibili i link a dei filmati di meccanica dei fluidi presenti nel succitato sito di *IAHR Media Library*. I filmati sono in lingua inglese e ciò, certamente, aiuterà gli studenti alla comprensione dei termini tecnici in quella lingua. In ogni caso vengono messi a disposizione dei file che riportano la traduzione in italiano dell'intero testo e una breve descrizione dei filmati stessi, oltre che l'indicazione dei capitoli del libro i cui argomenti sono maggiormente attinenti ai filmati.

Il sito web è di utilità anche per i docenti, i quali potranno scaricare e utilizzare le immagini presenti nel testo per la preparazione delle loro presentazioni didattiche. Inoltre, sempre nel sito del testo, sono disponibili alcuni esercizi, per la cui soluzione è necessario risolvere dei sistemi di equazioni, talvolta anche non lineari.

## Guida alla lettura

Il testo è ricco di apparati che movimentano la presentazione e che favoriscono la lettura e le focalizzazioni di argomenti e contenuti specifici.

**Evidenziazioni nel testo con richiami a fianco** (Indice analitico)

*Osservazione*

---

*Fluidi dilatanti*

I legami che tengono unite le molecole di un fluido alla Bingham quando  $\tau < \tau_0$  sono come quelli di un solido. Tali legami si rompono, diventando legami tipici dei fluidi newtoniani, quando la forza  $F$  applicata sulla superficie  $A$  del fluido raggiunge o supera il valore  $F_0$ . Esempi di fluidi alla Bingham sono: la pasta dentifricia (la pasta non fuoriesce dal tubetto finché non applichiamo una forza minima), i fanghi di fogna, la boiacca di cemento e alcune vernici.

I fluidi alla Bingham rappresentano un caso particolare di fluidi plastici. Questi ultimi, diversamente dai fluidi newtoniani, che scorrono anche quando sono sollecitati da tensioni di modesta entità, iniziano a scorrere solo dopo che la tensione di taglio ha superato un valore soglia,  $\tau_0$ . Nel caso particolare in cui, dopo tale valore di soglia, il fluido assume un comportamento di un fluido newtoniano, il fluido plastico è detto alla Bingham.

I fluidi dilatanti sono caratterizzati da una curva reologica che passa per l'origine e presenta concavità rivolta verso l'alto come mostrato in figura 1.42. La loro equazione reologica è

$$\tau = k \dot{\gamma}^n \tag{1.120}$$

**Approfondimenti di vario genere evidenziati dal fondo colorato** (Osservazioni, Esempi, Approfondimenti, Curiosità ecc.)

*Equazione del momento della quantità di moto*

**Equazione globale del momento della quantità di moto**

Si osserva che nel caso in cui un volume di controllo sia soggetto a rotazione può essere di interesse l'equazione globale del momento della quantità di moto. In particolare, per la seconda equazione cardinale dei sistemi, considerando i momenti delle forze intorno al generico polo  $O$ , nelle ipotesi di validità della (4.92), si ha

$$\mathbf{r} \times \mathbf{P} + \mathbf{r} \times \mathbf{G} + \mathbf{r} \times \mathbf{M}_e - \mathbf{r} \times \mathbf{M}_u + \mathbf{r} \times \mathbf{I} = 0 \tag{4.93}$$

avendo indicato con  $\mathbf{r}$  il vettore posizione che, partendo dal polo  $O$ , lega  $O$  stesso col punto di applicazione delle singole forze in gioco. La (4.93) è fondamentale nel caso di alcuni problemi dell'idraulica, soprattutto quella delle turbomacchine, dove intervengono spesso momenti torcenti e, in generale, momenti delle forze in gioco. Tuttavia, l'argomento viene trattato con maggior dettaglio in Appendice D.

*Attenzione!*

$R_g \neq R/2$   
 $D_g \neq D$

**Raggio idraulico, diametro idraulico e numero di Reynolds**

Si osserva che le definizioni del raggio e del diametro idraulico sono applicabili a una qualunque forma di una sezione trasversale di un condotto. Nel caso particolare di un condotto di sezione trasversale circolare, per le definizioni date, si ha che il diametro idraulico  $D_i$  coincide col diametro geometrico  $D$  e il raggio idraulico  $R_i$  è la metà del raggio geometrico  $R$ . Il concetto di diametro idraulico permette di generalizzare la definizione del numero indice di Reynolds dato dalla (3.3) potendosi scrivere

$$Re = \frac{\rho V D_i}{\mu} = \frac{\rho V (4R_i)}{\mu} \tag{6.19}$$



*Note conclusive e osservazioni da non perdere di vista*

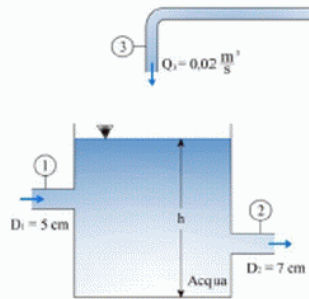
**Osservazione**

Si osserva che il risultato dato dalla (6.17) prescinde dal tipo di fluido, anche se in precedenza si sono condotte le analisi nell'ipotesi, assai più frequente nelle pratiche applicazioni, di fluido newtoniano. Infatti l'equazione (6.8), dalla quale si giunge al risultato finale  $\tau_0 = \gamma R J$ , non sarebbe cambiata nel caso in cui le tensioni tangenziali non avessero obbedito alle legge di Newton, ma a un'altra equazione reologica. Pertanto, in generale, la (6.8) porta a un analogo risultato anche nel caso in cui  $T$  non fosse dato da  $-\Pi_{\mu}$ , ossia anche nel caso in cui la forza di trascinamento  $T$  non fosse di natura viscosa. Infatti la (6.17) è comunque valida, poiché essa

**Esercizi risolti**

**R3.1** Si supponga che il serbatoio aperto di figura R3.1 contenga acqua. (a) Si derivi una legge analitica di variazione dell'altezza  $h$  del livello, ossia la legge  $dh/dt$  del livello idrico nel serbatoio, esprimendola in termini di  $Q_1$ ,  $Q_2$  e  $Q_3$ . (b) Nell'ipotesi di  $h$  costante si determini  $V_2$  supponendo che  $V_1 = 2 \text{ m/s}$  e  $V_3 = 0,5 \text{ m/s}$ .

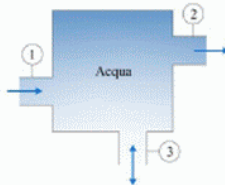
**Figura R3.1** Serbatoio con ingresso e uscita di acqua.



Alla fine di ogni capitolo è presente un'ampia sezione di esercizi interamente risolti...

**Esercizi proposti**

**P3.1** Dell'acqua defluisce attraverso un serbatoio come riportato in figura P3.1. Si ipotizzi che  $D_1 = 8 \text{ cm}$ ,  $Q_1 = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $D_2 = 4 \text{ cm}$  con una velocità media  $U_2 = 0,5 \text{ m/s}$ . Nell'ipotesi che  $D_3 = 5 \text{ cm}$ , si calcolino  $Q_3$  e  $V_3$ .



**Figura P3.1**

**P3.3** Un campo di velocità è rappresentato dalla seguente funzione:  $V = (3y^2 - 3x^2)\mathbf{i} + Cxy\mathbf{j} + 0\mathbf{k}$ . Stabilire per quali valori della costante  $C$  (a) il campo di moto è irrotazionale, (b) il fluido è incomprimibile.

**P3.4** Un pistone comprime un gas in un cilindro, muovendosi a velocità costante  $V$ , come rappresentato in figura P3.3. Indicate con  $\rho_0$  e  $L_0$  la densità e la lunghezza del cilindro, rispettivamente, nell'istante di tempo iniziale  $t = 0$ , supponendo che la velocità del gas vari linearmente da  $u = V$  al pistone ( $x = 0$ ) a  $u = 0$  per  $x = L$  e supponendo che la densità del gas vari solo nel tempo, si trovi un'espressione per  $\rho(t)$ .

... e una sezione di esercizi proposti da risolvere per verificare il proprio apprendimento

**A proposito di tecniche di protezione del colpo d'ariete**



Infine ogni capitolo si chiude con una fotografia relativa a un aspetto particolare legato all'argomento principale trattato nel testo

La foto mostra le casse d'aria dell'impianto di sollevamento dell'Acquedotto Pugliese presso il Comune di Seclì, in provincia di Lecce. Il dispositivo è stato realizzato per minimizzare le eventuali sovrappressioni nella rete in fase di arresto contemporaneo delle elettropompe per stacco brusco della forza motrice. Si tratta di 4 casse d'aria, ciascuna della capacità di  $9,5 \text{ m}^3$  per una pressione di esercizio di  $16 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .

## Un po' di storia della meccanica dei fluidi

Molti secoli, millenni sono trascorsi da quando Archimede enunciò i principi fondamentali dell'idrostatica nel suo lavoro sui corpi galleggianti (circa 250 a.C.). Quel lavoro può essere assunto come l'origine della meccanica dei fluidi. Archimede formulò anche il primo metodo non distruttivo della storia per determinare la quantità di oro contenuta nella corona di Gerone II, re di Siracusa.

Dopo Archimede, Sesto Giulio Frontino (30-104) scrisse il più antico trattato di tecnica idraulica, intitolato *De aquis urbis Romae*.

Ancorché talvolta meno noto, certamente non meno importante fu il contributo degli scienziati arabi, in particolare di Abu Rayhan Biruni (973-1048) e successivamente di al-Khazini (1115-1130), i quali furono i primi ad applicare il metodo scientifico sperimentale nella meccanica dei fluidi, con particolare riguardo alla statica dei fluidi, per esempio per determinare i pesi specifici dei corpi. Nel IX secolo, i fratelli Banū Mūsā scrissero un meraviglioso libro di ingegnosi dispositivi idraulici, che può essere considerato l'antesignano dei primi controlli automatici nella meccanica dei fluidi.

Ulteriori progressi nella meccanica dei fluidi sono legati a Leonardo da Vinci (1452-1519) soprattutto per i navigli di Milano. Egli cercò anche di studiare il volo e di sviluppare alcuni concetti sull'origine delle forze che lo generano.

Successivamente la meccanica dei fluidi ebbe un ulteriore sviluppo col contributo di Galileo Galilei, che introdusse il cosiddetto **metodo scientifico**. Galileo non indugiò ad andare contro le idee consolidate e tipiche del suo tempo, quando le sue opinioni risultavano conformi all'osservazione sperimentale. Ai fini della riproducibilità della sperimentazione e delle relative misure al variare del tempo e dei laboratori, Galileo dovette stabilire le unità standard delle grandezze lunghezza e tempo. Tutto ciò fornì una base affidabile su cui confermare le leggi matematiche utilizzando il **ragionamento induttivo**. Galileo osservò che nel metodo scientifico sono necessari due elementi: 1) **esperienza** e 2) **dimostrazione**.

Altri sviluppi della meccanica dei fluidi successivi al periodo di Galileo si ebbero grazie ai contributi di Castelli, Torricelli, Eulero, Newton, della famiglia Bernoulli e di D'Alembert. In quel periodo la teoria e la sperimentazione presentavano ancora qualche discrepanza, come venne riconosciuto da D'Alembert, il quale dichiarò che "la teoria della meccanica dei fluidi deve necessariamente basarsi sugli esperimenti."

Fino alla fine del XVIII secolo, gli sviluppi teorici della meccanica dei fluidi ebbero un impatto trascurabile sull'ingegneria. Questa situazione cambiò radicalmente a partire dai contributi di Antoine de Chézy (1718-1798), Henri Navier (1785-1835), Gaspard Coriolis (1792-1843), Henry Darcy (1803-1858) e di molti altri ricercatori e ingegneri.

Durante la metà del XIX secolo importanti risultati furono ottenuti grazie al lavoro del medico francese Jean Poiseuille (1797-1869), il quale, studiando la circolazione del sangue, pervenne alle leggi alla base dei flussi laminari viscosi in condotti circolari. Il lavoro di Poiseuille può essere considerato uno dei primi tentativi di applicazione della meccanica dei fluidi alla bioingegneria, tema, oggi, di grande interesse. In quel periodo ulteriori sviluppi si ottennero grazie ai lavori di George Stokes (1819-1903), Osborne Reynolds (1842-1912), William Froude (1810-1879), Giovanni Battista Venturi (1746-1822) e, successivamente, di Lord Kelvin (1824-1907), Lord Rayleigh (1842-1919) e Sir Horace Lamb (1849-1934).

Successivamente, enormi conseguenze sul piano pratico e ingegneristico si ebbero per effetto degli studi sullo strato limite di Ludwig Prandtl (1875-1953) e dei suoi allievi Theodore von Karman (1881-1963), Paul Blasius (1883-1970) e Johann Nikuradse (1894-1979).

Oggi ancora molti sono i quesiti irrisolti nella meccanica dei fluidi, come l'intima conoscenza della turbolenza. Su questo punto, si ricorda la citazione di Bradshaw: "La turbolenza è stata probabilmente inventata dal diavolo nel settimo giorno della creazione, quando il buon Dio non guardava" (P. Bradshaw, *Experiments in Fluids*, 16, 203, 1994).

Quale sarà lo sviluppo della meccanica dei fluidi nei prossimi decenni? È difficile poter fare delle previsioni, ma è presumibile che essa possa essere sempre più orientata alla protezione dell'ambiente, contribuendo in vari modi allo sviluppo e al benessere della nostra società. Oggi i rapporti interdisciplinari della meccanica dei fluidi con la fisica, la geologia, la geomorfologia, l'ecologia, la biologia e la fisiologia vegetale sono sempre più intensi. È presumibile che in futuro i gruppi di ricerca che sapranno cooperare, superando alcuni vecchi steccati che hanno talvolta portato ad aree di ricerca molto chiuse e settoriali, potranno avere particolare successo.

## Gli autori

**Michele Mossa** è professore ordinario di Idraulica presso il Politecnico di Bari. Componente del *Council* dell'IAHR (*The International Association for Hydro-Environment and Research*), i suoi principali temi di ricerca sono legati all'Idraulica Marittima e Ambientale, con particolare riguardo alla meccanica delle onde, alle correnti marine, ai processi di erosione localizzata e ai problemi della diffusione di inquinanti in mare.



**Antonio F. Petrillo** è professore ordinario di Idraulica presso il Politecnico di Bari. Ha ricoperto il ruolo di direttore del Dipartimento di Ingegneria delle Acque e attualmente è responsabile scientifico del Laboratorio di Ingegneria Costiera (LIC) del Politecnico di Bari. I suoi principali temi di ricerca riguardano i getti, i processi di erosione costiera e in alvei fluviali e la meccanica del moto ondoso.

