

Elementi di meccanica dei fluidi

Introduzione storica

Lo studio dei fluidi è una delle più antiche tematiche di indagine scientifica nella storia dell'umanità, visto che le prime acquisizioni risalgono addirittura ad Archimede (III secolo a.C.), unanimemente riconosciuto come uno dei maggiori scienziati della storia. Il grande siracusano, come noto a molti, dette importantissimi contributi praticamente in tutti i domini della scienza della sua epoca: matematica, geometria, meccanica, astronomia, ottica e, appunto, fluidodinamica. Oltre a costruire teorie matematiche si occupò di molti problemi pratici d'ingegneria meccanica e navale, contribuendo in modo determinante allo sviluppo della scienza greca nel periodo ellenistico. In effetti la sua fama di sapiente fu senza paragoni, sia rispetto a chi lo aveva preceduto, sia rispetto a chi, ancora per molti secoli, venne dopo di lui. Tanta conoscenza concentrata in un solo uomo però gli fu anche fatale: quando i romani, dopo un lungo ed estenuante assedio, conquistarono finalmente Siracusa, presumibilmente fu decisa l'eliminazione fisica di un avversario così temibile per le ambizioni espansionistiche di Roma nel Mediterraneo. È storicamente accertato che Archimede espose in una sua opera il principio dell'idrostatica sul galleggiamento dei corpi, che porta il suo nome e che in pratica costituisce il fondamento stesso di tale teoria. Peraltro, la sua affermazione originale era che due porzioni di fluido contigue non possono essere in equilibrio se sottoposte a pressioni diverse. È possibile rendersi conto come da essa discenda il principio nella sua tradizionale formulazione, giunta fino ai giorni nostri.

Nel periodo rinascimentale e nei secoli immediatamente successivi la rinascita del sapere in tutte le sue forme portò molti studiosi ad affrontare problemi d'idraulica per il loro interesse applicativo nella progettazione e realizzazione di sistemi di approvvigionamento idrico, di regimentazione delle acque e d'irrigazione. A titolo d'esempio, basti ricordare quanto Leonardo da Vinci si dedicò, nella sua veste di studioso, all'indagine di tali problemi, testimoniata anche da specifiche illustrazioni riportate nel Codice Atlantico. Bisogna però attendere ancora un buon lasso di tempo prima che lo scienziato fiammingo S. Stevin formuli nel 1586 la legge che porta il suo nome e che stabilisce una relazione lineare tra la pressione esercitata al fondo di una colonna di fluido e la densità del fluido medesimo. Si può dire che questo contributo inauguri la rinascita dell'idraulica come disciplina scientifica moderna,

rappresentando un contributo altrettanto rilevante quanto quello di Archimede nel campo della statica dei fluidi.

Ci vollero però ancora svariati decenni prima che nel 1644, solo tre anni prima della sua prematura morte, lo scienziato italiano E. Torricelli, grazie ai suoi studi sui fluidi, riuscisse ad inventare il barometro a mercurio, che da allora fu chiamato "tubo di Torricelli". Come noto a molti, Torricelli fu allievo di Galileo Galilei negli ultimi anni vissuti da quest'ultimo nella residenza coatta di Arcetri. Torricelli, prima di condividere la breve collaborazione con Galileo, fu suo grande ammiratore e attento lettore delle sue opere. In tal senso l'interesse di Torricelli per i problemi di fluidodinamica fu molto probabilmente alimentato anche dalla lettura dei tentativi di Galileo di spiegare la teoria delle maree, argomento di grande dibattito in quell'epoca, dopo la riscoperta di testi antichi di fondamentale importanza come quelli dell'astronomo ellenista Seleuco di Seleucia (II sec. a.C.), uno degli antichi sostenitori della teoria eliocentrica, che pare avesse dedotto proprio dai suoi studi sui flussi mareali.

Un altro fondamentale principio dell'idraulica è quello dei "vasi comunicanti". È fuori di dubbio che nel suo contenuto pratico tale principio fosse ben noto agli scienziati di epoca ellenistica. In ogni caso una sua formulazione moderna dovette attendere l'opera dello scienziato francese B. Pascal, che la ottenne combinando i risultati dei suoi studi con quello di S. Stevin. La scoperta fondamentale di Pascal fu ottenuta tramite il famoso "esperimento della botte" effettuato nel 1646. Egli mostrò come fosse sufficiente riempire di acqua un tubo verticale alto circa dieci metri per spaccare una botte precedentemente riempita di acqua e sigillata, tranne che nella parte del coperchio messa in comunicazione col tubo. Da questo esperimento Pascal dedusse il principio fisico che un aumento di pressione, esercitato in una qualunque porzione di fluido confinato in un volume, viene trasmesso istantaneamente a ogni punto del contenitore. Da valente matematico qual'era Pascal tradusse e generalizzò questa sua esperienza in un famoso trattato di fluidostatica, dato alle stampe solo nel 1653. L'importanza di tale contributo è anche comprovata dal fatto che l'unità di misura tipica della pressione in fisica sia detta, ancora oggi, pascal.

La nascita della moderna fluidodinamica dovette però attendere il XVIII secolo e, in particolare, i contributi di due matematici svizzeri, D. Bernoulli e L. Euler (più noto col nome italianizzato di Eulero). Il contesto storico e culturale in cui si inquadrano tali contributi era quello dell'illuminismo razionalista proprio della cultura continentale europea, cui faceva da contraltare l'empirismo tipico della scienza anglosassone. In tal senso si può affermare che la tradizione scientifica della meccanica newtoniana trovò i suoi principali eredi proprio negli scienziati continentali, che contribuirono ad allargarne gli orizzonti concettuali e applicativi. I lavori di Bernoulli ed Eulero sulla formulazione della meccanica dei mezzi continui (fluidi) sono sicuramente da indicare tra i maggiori successi raggiunti in questo periodo storico, assieme ai contributi sulla formulazione della meccanica basata sui principi variazionali di Maupertuis-Jacobi e di Lagrange. In particolare, l'equazione di Bernoulli può essere interpretata come una generalizzazione del principio di conservazione dell'energia ai fluidi, mentre quella di Eulero sta proprio alla base di una descrizione idrodinamica di un fluido ideale (in assenza cioè di attrito viscoso), dove si

assume che ad ogni punto dello spazio occupato da un fluido è possibile attribuire una velocità, che ha dunque il significato matematico di un campo vettoriale. L'estensione delle ricerche ai fluidi viscosi dovette poi attendere il XIX secolo, con un primo fondamentale contributo del fisico e fisiologo francese J.L.M. Poiseuille. Questi formulò una legge che mette in relazione viscosità e portanza idraulica in un fluido reale (viscoso) in regime stazionario e laminare. Successivamente l'estensione ai fluidi reali dell'equazione di Eulero fu ottenuta grazie ai contributi del francese C.-L. Navier e dell'irlandese G.G. Stokes.

Prima di concludere questi brevi cenni storici è opportuno ricordare, almeno in modo sintetico, gli sviluppi successivi della teoria dinamica dei fluidi, che inizialmente riguardarono lo studio del fenomeno della convezione e dell'insorgere delle corrispondenti instabilità, caratterizzate dai cosiddetti numeri di Reynolds e di Prandtl, che fanno riferimento esplicitamente ai fluidi reali. Gli studi sperimentali delle instabilità convettive effettuati da Lord Rayleigh e H. Benard alla fine del XIX secolo hanno fornito ispirazione allo studio dell'insorgere dei moti turbolenti nei fluidi e della turbolenza sviluppata. Non può sfuggire l'importanza concettuale e applicativa (geofisica, meteorologia, aerodinamica, astrofisica, cosmologia, etc.) della turbolenza. A questo difficile problema scientifico si sono dedicati nel XX secolo molti importanti scienziati, tra i quali il meteorologo inglese L.F. Richardson e il matematico russo A.N. Kolmogorov. Nonostante l'impegno e il valore di tutti questi scienziati, non si può nascondere che il problema della costruzione consistente e, soprattutto, convincente di una teoria della turbolenza rimane ancora irrisolto e probabilmente rappresenta ancora oggi, e chissà ancora per quanto, una delle maggiori sfide intellettuali per i fisici e i matematici applicati. A tale proposito è opportuno concludere con un aneddoto storico piuttosto significativo. In un'intervista concessa in tarda età il fisico tedesco W. Heisenberg, noto per il suo "principio di indeterminazione" e insignito del premio Nobel nel 1932 per i suoi contributi alla meccanica quantistica, pare abbia dichiarato: "Quando incontrerò Dio, ho intenzione di chiedergli due cose: perché la relatività? E perché la turbolenza? Credo proprio che Egli avrà una risposta almeno per la prima!"