

B. Brunone, S. Meniconi, C. Capponi

*Fondamenti di Meccanica dei Fluidi Incomprimibili
per allievi del corso di Laurea in Design*

Morlacchi Editore U.P.

In copertina: simulazione mediante Computational Fluid Dynamics (CFD) del campo di moto in corrispondenza di un orificio (N. Martins, D. Covas, S. Meniconi, C. Capponi e B. Brunone).

In quarta di copertina: in trasparenza, una vista del Laboratorio di Ingegneria delle Acque (WEL) del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università degli Studi di Perugia.

Prima edizione: 2021

Ristampe 1.
2.
3.

ISBN/EAN: 978-88-9392-269-2

Copyright © 2021 by Morlacchi Editore, Perugia.

Tutti i diritti riservati. È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, compresa la copia fotostatica, non autorizzata.

redazione@morlacchilibri.com – www.morlacchilibri.com.

Stampato nel mese di maggio 2021 da Logo srl, Borgoricco (PD).

Indice

Introduzione	I
1 I fluidi: comportamento e principali proprietà	5
1.1 Generalità sui fluidi	5
1.2 I fluidi come mezzi continui	6
1.3 Densità e peso specifico	8
1.4 Condizione di aderenza e viscosità	9
1.4.1 Legge di Newton e misura della viscosità	10
1.5 Forze e sforzi in una massa fluida	15
1.6 Alcuni numeri adimensionali	17
1.7 Equazione di stato e comprimibilità	18
1.8 Tensione di vapore e solubilità dell'aria in acqua	20
2 Comportamento dei fluidi in quiete	23
2.1 Premessa	23
2.2 Legge di Stevin	23
2.3 Unità di misura della pressione	29
2.4 Strumenti di misura della pressione	29
2.4.1 Il piezometro	30
2.4.2 Il manometro a U	30
2.4.3 Trasduttori di pressione	30
Esercizi proposti	35
3 Cenni di cinematica e equazioni delle correnti	39
3.1 Schematizzazione del campo di moto	39
3.2 Meccanismi di scambio di massa e definizione di portata	41
3.3 Distribuzione delle pressioni in una corrente e correnti gradualmente variate	42
3.4 Equazioni di continuità	45
3.4.1 Equazione di continuità per un filetto fluido	46
3.4.2 Equazione di continuità per una corrente	46
3.5 Teorema di Bernoulli per un filetto fluido	47
3.6 Estensione del teorema di Bernoulli ad una corrente gradualmente variata .	51
3.7 Estensione del teorema di Bernoulli ad una corrente gradualmente variata di liquido reale	52
3.8 Strumenti di misura della portata	53
3.8.1 Misuratori di portata ad induzione elettromagnetica	53
3.8.2 Misuratori di portata ad ultrasuoni	54

4	Processi di moto debolmente dissipativi	59
4.1	Premessa	59
4.2	Il tubo di Pitot	59
4.3	Processi di efflusso attraverso una luce	63
4.4	L'effetto Venturi e il venturimetro	68
	Esercizi proposti	71
5	Moto uniforme laminare e turbolento	75
5.1	Moto laminare e turbolento	75
5.1.1	Le esperienze di Reynolds	78
5.2	L'abaco di Moody	80
	Esercizi proposti	85
5.2.1	Esercizio 5.3	86
6	Processi di moto nei mezzi porosi artificiali	89
6.1	Premessa	89
6.2	La legge di Darcy della filtrazione	90
6.3	Una <i>gustosa</i> applicazione della legge di Darcy	92

Introduzione

Nell'A.A. 2017-2018, grazie al decisivo e lungimirante impegno di Paolo Belardi e Giovanni Gigliotti, l'Università degli Studi di Perugia ha attivato il Corso di Studi (CdS) in *Design* (Classe di Laurea in Disegno Industriale – L4) con sede presso il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale (DICA).

Le motivazioni alla base di questa iniziativa sono state molteplici¹.

In primo luogo, la collocazione geografica di Perugia. Rispetto ai CdS attivi nelle regioni limitrofe (Sapienza Università di Roma, Firenze e Camerino), infatti, quello presso l'Ateneo di Perugia è fortemente connesso alla presenza in Umbria di specifiche eccellenze in grado di trainare l'economia, anche nazionale, nel settore della produzione e lavorazione di materiali quali, ad esempio, il legno, il cartone, la ceramica, i tessuti e il vetro. Il nuovo CdS ha come presupposto la constatazione che il *Design* è uno dei punti di forza del "made in Umbria": un'arte a tutti gli effetti, esportata e apprezzata in tutto il mondo, che contribuisce a valorizzare e internazionalizzare la produzione locale mediante una nuova visione dei materiali tradizionali, veicolata sia dagli allestimenti stabili sia da quelli temporanei.

In secondo luogo, la possibilità di una forte sinergia con l'Accademia di Belle Arti 'Pietro Vannucci' di Perugia – la seconda Accademia più antica d'Italia, in quanto fondata nel 1573 – realizzando in questo modo un felice connubio tra Scienza, Tecnica ed Arte.

In terzo luogo, la circostanza per cui nell'Università di Perugia non sono attivi CdS, anche di altra Classe, aventi come obiettivo formativo figure professionali capaci di operare criticamente, con elevate competenze sia tecniche sia artistiche, nel settore del progetto per il *Design*, con specifico riferimento all'*Interior Design* e all'*Exhibit Design*.

Infine, ma motivazione questa senz'altro di grande importanza, gli esiti occupazionali dei CdS nella Classe L4 risultati più che soddisfacenti sulla base non solo dei dati statistici disponibili a livello nazionale (AlmaLaurea) e internazionale (International Council of Design), ma anche delle informazioni raccolte mediante la consultazione di organizzazioni e stakeholder interessati all'offerta formativa del DICA.

Ritornando alle nuove e versatili figure professionali che il CdS in *Design* si prefigge di formare, particolare attenzione è rivolta a:

- *Interior Design*: progettazione degli spazi interni semplici e complessi e riconversione di attrezzature, in un'accezione ampliata di tali tipologie, che coinvolga le nuove modalità abitative, commerciali, lavorative, formative e ludiche nonché contesti inediti quali, ad esempio, i siti industriali dismessi;
- *Exhibit Design*: progettazione degli spazi aperti e chiusi delle città, in relazione non soltanto a occasioni espositive, fieristiche e festivaliere (allestimento legato anche alla

¹Fonte: Documento di Progettazione del CdS (L4) *Design* presso l'Università degli Studi di Perugia, giugno 2016.

fruizione di beni culturali) ma anche e soprattutto alla valorizzazione, riconfigurazione e ridefinizione dell'identità di tali luoghi e del patrimonio territoriale/ambientale in generale (ad esempio, parchi e giardini);

- *Retail Design*: progettazione degli spazi commerciali in senso lato (dal punto vendita allo *shopping mall*) volta a instaurare nuove modalità di fruizione e relazione tra il consumatore e i prodotti, in riferimento sia allo spazio fisico (*retail store*) sia a quello virtuale (*retail space*).

Con riferimento alle urgenze rappresentate anche nel *Design* dalle problematiche ambientali e dai cambiamenti climatici, a completamento del percorso formativo, nell'A.A. 2019-2020 è stato attivato congiuntamente fra l'Università degli Studi di Perugia e l'Università degli Studi della Campania 'Luigi Vanvitelli' il Corso di Laurea in *Planet Life Design*. Ciò anche per tenere conto che una considerevole percentuale dei laureati in *Design* manifesta l'interesse a conseguire una laurea magistrale.

Il carattere di innovatività del CdS in *Design* dell'Ateneo Perugino prende spunto dalla considerazione dell'irruzione delle nuove tecnologie nel contesto urbano e territoriale, anche in ambito artistico, sociale ed economico. Attraverso il nuovo CdS si vuole infatti infondere negli allievi la capacità di valutare in maniera appropriata i processi di sviluppo e produzione di artefatti, prodotti e materiali finalizzati al miglioramento della fruizione dell'ambiente e alla sua conservazione. L'orientamento specialistico del CdS in *Design* consente, pertanto, di individuare un'unica area tematica di carattere generale, al cui interno si inseriscono competenze disciplinari di carattere tecnico-scientifico, metodologico-progettuale, socio-culturale, tecnologico-impiantistico, botanico, comunicativo ed economico-giuridico.

Affinché le figure professionali formate posseggano solide conoscenze di base di natura scientifica e tecnologica – oltre che umanistica – sono stati introdotti corsi che non trovano corrispondenza nei CdS attivati presso altri Atenei. Si tratta, in particolare, dei corsi in “Scienze di Base per il Design” (8 CFU) – articolato su due moduli (“Analisi Matematica” e “Fisica”) – e “Scienze Applicate per il Design” (10 CFU), articolato anch'esso su due moduli (ciascuno di 5 CFU): “Fondamenti di Meccanica dei Fluidi e Misure” e “Fisica Tecnica Industriale”. A partire dall'A.A. 2021-2022, in uno dei due nuovi percorsi formativi previsti, allo studente sarà offerta la possibilità di seguire il modulo di “Design delle Forme d'Acqua”. In questo modulo, grazie alle basi messe in quello di “Fondamenti di Meccanica dei Fluidi e Misure”, saranno approfondite tematiche quali, ad esempio, il risparmio idrico e le sue implicazioni sui criteri di progetto dei dispositivi erogatori e l'idrodinamica degli oggetti (ad esempio, i veicoli). Si coltiva, inoltre, l'ambizione di introdurre gli allievi alla *Computational Fluid Dynamics* (CFD), uno strumento dalle enormi potenzialità e del quale la copertina di questo fascicolo offre un esempio significativo.

Presentato l'innovativo impianto del CdS in *Design* dell'Università degli Studi di Perugia, è necessario a questo punto illustrare i contenuti e la metodologia di insegnamento del corso di “Fondamenti di Meccanica dei Fluidi e Misure” al fine di inquadrare il presente fascicolo dal punto di vista didattico.

Nell'A.A. 2018-2019, all'atto di organizzare il primo corso, ci siamo trovati, pur con tutte le differenze del caso, nella stessa condizione menzionata da George K. Batchelor, nel suo *Fluid Dynamics*², Founding Editor della prestigiosa rivista *Journal of Fluid Mechanics*, una delle

²Batchelor, G.K. (1967). *An Introduction to Fluid Dynamics*, Cambridge University Press, United Kingdom.

*Bibbie della Meccanica dei Fluidi*³. Nella *Preface* di tale opera, Batchelor discute, infatti, della difficoltà di offrire lo stesso corso e uno stesso testo ad allievi ingegneri e matematici applicati. I primi con una spiccata predilezione per i casi reali e i secondi, invece, fortemente attratti dalle *soluzioni analitiche*. Pur essendo egli stesso un matematico applicato, traspare chiaramente la sua preoccupazione per l'atteggiamento dei matematici che sarebbero interessati a *problems which are mathematically solvable but not necessarily related to what happens in real fluids*. Questo suo convincimento lo fa definire⁴ *a keen advocate of the need for physical understanding and sound experimental basis*.

Mutatis mutandis, lo stesso dilemma si è posto a noi con la variante di dover presentare ad allievi di *Design* argomenti che eravamo abituati ad offrire a studenti di Ingegneria.

Nel primo anno del corso abbiamo risolto il problema utilizzando al massimo le installazioni allora presenti nel *Laboratorio di Ingegneria delle Acque (WEL)* del DICA. Molte esercitazioni furono organizzate dividendo gli studenti in gruppi per consentire loro di eseguire in prima persona tutte le misure necessarie per caratterizzare i processi di moto esaminati.

Poi, sulla nostra attività didattica si è abbattuto, come su tante altre attività umane, il COVID-19 che ci ha obbligati ad una radicale e rapida riorganizzazione di un corso peraltro appena nato. Da qui, dovendo svolgere lezioni essenzialmente teoriche, l'acuirsi della menzionata problematica sulla metodologia di insegnamento. Abbiamo quindi rielaborato gli argomenti selezionati presentandoli in una forma che, rispetto ai testi per Ingegneri, privilegia l'aspetto fisico rispetto a quello analitico. Ovvero, propone trattazioni le più chiaramente e direttamente legate ai principi della Fisica. Abbiamo quindi *testato* questa metodologia interagendo con gli studenti che hanno risposto con grande interesse e partecipazione proponendo anche alcune modifiche ed integrazioni.

Speriamo di aver raggiunto l'obiettivo: introdurre gli studenti di *Design* all'affascinante *mondo dei fluidi* affinché nella loro successiva vita professionale se ne possano avvalere, nelle infinite applicazioni che essi offrono, con consapevolezza e rispetto. Non dimentichiamo che si tratta della prima edizione che, come tale, verrà arricchita ed ampliata a breve termine. In particolare, ci prefiggiamo di migliorare le parti dedicate alle più moderne strumentazioni di misura e di proporre un maggior numero di esercizi includendone sia il procedimento di soluzione sia i risultati numerici. Confidiamo che qualche inevitabile *semplificazione* introdotta nella trattazione di alcuni degli argomenti proposti ci sia perdonata considerando gli obiettivi e i limiti – anche di durata (45 ore) – del corso⁵. Per gli studenti interessati ad approfondire, al termine di ciascun capitolo sono comunque indicati alcuni testi di riferimento.

Per concludere, un ringraziamento va all'ing. Filomena Maietta, allieva dell'International Doctoral Program in *Civil and Environmental Engineering* (XXXVI Ciclo), finanziato dall'Università degli Studi di Perugia e dal progetto “DICA - Dipartimento di Eccellenza 2018-2022”, per la preziosa collaborazione.

Perugia, aprile 2021

Bruno Brunone, Silvia Meniconi, e Caterina Capponi

³*Meccanica dei Fluidi e Dinamica dei Fluidi* sono spesso usate come sinonimi. Formalmente, la prima include anche la *Statica dei Fluidi* che però può anche essere vista come un caso *molto* particolare di moto.

⁴Fonte: Wikipedia.

⁵Sarà difficile emulare il successo del testo di Giulio De Marchi – *Nozioni di Idraulica*, Ed. Agricole, 1948 – scritto per gli studenti della Facoltà di Agraria.

