

GUELFO PULCI DORIA (\*)

**Il corso di idraulica a ingegneria inquadrato all'interno  
dello sviluppo storico-sociale della disciplina**

1. INTRODUZIONE

Nella facoltà di Ingegneria, il corso di Idraulica è collocato al terzo anno, immediatamente a valle dei corsi fisico-matematici del cosiddetto « biennio » e a monte dei corsi applicativi. Esso dunque fa parte di quell'insieme di corsi (Scienza delle Costruzioni, Fisica Tecnica, ...) che si ritiene costituiscano la fondamentale base formativa dell'Ingegnere. Frequentato da un alto numero di allievi, esso può costituire un significativo laboratorio didattico.

I modelli didattici secondo cui tale corso è stato negli ultimi tempi — ed è tuttora — insegnato (estremizzando molto per amore di chiarezza) sono sostanzialmente due, che potrei definire fisico-casuale il primo e analitico-deduttivo il secondo. Il primo cerca di rendere immediato il senso fisico della disciplina, e di conseguenza tende a frammentare il corso in una serie di problematiche, ciascuna delle quali viene fatta discendere immediatamente dai principi fisici più generali, in tal senso tali problematiche possono anche essere affrontate, durante il corso, senza un ordine logico particolarmente stringente (ecco perché casuale!). Tale modello, pur consentendo una visione fisica chiara delle problematiche, non consente peraltro facilmente di raggiungere una visione unitaria della disciplina. Il secondo modello — oggi sempre più diffuso — vuole invece proprio fornire una visione unitaria della disciplina partendo dai generalissimi principi della meccanica trasformati in una forma « idraulica », per derivare poi, sempre da questi tramite opportune semplificazioni o puntualizzazioni, i diversi possibili casi concreti (una schematizzazione è rappresentata nel Quadro 1): l'impatto didattico di questo secondo modello risulta piuttosto « duro » perché i principi generalissimi si traducono poi in equazioni piuttosto astratte.

Ma l'osservazione principale che si può muovere a entrambi i modelli — d'altra parte estendibile alla quasi totalità degli attuali corsi universitari di materie tecniche — è certamente costituita dal fatto che essi presentano le discipline in forma storica e assottigliano l'attuale stato delle discipline stesse. Di conseguenza i discenti perdono la percezione dei nessi dello sviluppo della disciplina

(\*) G. Pulci Doria, Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Università di Napoli.

esaminata con lo sviluppo storico-sociale generale, nonché la capacità di immaginare la possibilità di trasformazioni e anche rivoluzioni della teoria e della pratica di tale disciplina legate a corrispondenti trasformazioni sociali.

La logica conseguenza di tali osservazioni è costituita dalla necessità di tentare una « storicizzazione » dell'insegnamento di tale disciplina. Una tale impostazione consente anche, come è ovvio, un approccio « dolce » alla disciplina stessa nonché, se tale « storicizzazione » è intesa nel senso più profondo del termine, un recupero anche della unitarietà della disciplina: tale unitarietà infatti in altro non si manifesta se non nella espressione sintetica dell'attuale formulazione della disciplina stessa, e la sua ricostruzione storica non può non culminare con la sintesi del suo stato attuale (una cui schematizzazione è nei fatti rappresentata nel Quadro 1).

## 2. EPISTEMOLOGIA E STORIA DELLA SCIENZA E DELL'IDRAULICA

In linea con le osservazioni proposte nell'Introduzione, ho tentato una — non facile — riorganizzazione del corso di Idraulica da me tenuto, e, di conseguenza, ho messo a punto una prima versione di un nuovo testo [1, 2, 3, 4], del quale oggi sto effettuando la messa a punto di una nuova versione che potrei ritenere, entro certi termini, definitiva. Va da sé che, sia pur con le ovvie limitazioni legate a una ricerca ancora incompiuta, le lezioni del corso di Idraulica da me tenuto hanno fin dal primo anno rispecchiato un'impostazione « storicizzata » della disciplina. Vediamo dunque quali possono essere le linee fondamentali di tale impostazione.

Il corso può essere aperto affrontando il problema primario della distinzione fra tecnica e tecnologia [5]. In particolare va posto in evidenza come esista un « pensiero tecnico » autonomo dalla scienza, cioè un « pensiero tecnico o pratico, essenzialmente differente dal processo teorico della scienza » come dice Koyré [6]. Occorre qui osservare peraltro — e tale considerazione è senz'altro meritevole di ulteriore approfondimento — che proprio la storia della scienza applicata, e in particolare modo per quanto mi è più direttamente a conoscenza, la storia dell'Idraulica, mostra esempi di applicazioni progettuali che nascono avendo alle spalle una scienza eminentemente sperimentale non ancora teoricamente inquadrata; ora, tale tipo di ricerca scientifica sperimentale può essere riguardato per certi versi come una ricerca artigianale avanzata, per cui risulta dubbio se tali applicazioni progettuali sono tecnica o tecnologia, o forse una nuova categoria, intermedia fra le due. Qualche cenno a tali questioni è riportato nella Appendice I.

A questo punto risulta opportuno abbozzare lo sviluppo delle principali linee epistemologiche soprattutto in relazione (dirci) alla illusione induttivistica, al falsificazionismo popperiano [7], e alla critica kuhniana dell'una e dell'altro [8]. Un utile compendio che può essere indicato all'attenzione degli studenti che, pur non volendo specializzarsi in epistemologia della scienza, vogliono però approfondirne la tematica, potrebbe essere l'opera di Chalmers [9].

L'abbozzare tali linee epistemologiche risulta opportuno se si vuole realizzare un corretto inquadramento della storia della scienza. A mio parere più produttiva di tutte appare l'epistemologia paradigmatica di Kuhn, rivista alla luce delle osservazioni sull'influenza del sociale svolte ad es. da Ciccoiti e Jonas-Lasinio [10].

Tale linea di ragionamenti giustifica la sussunzione della storia della scienza e della tecnica (e in particolare dell'Idraulica) all'interno dello sviluppo dei diversi modi di produzione e forme economiche che si sono nel tempo succeduti.

Risulta dunque possibile, alla luce della visione paradigmatica di Kuhn, svolgere una storia parallela e interconnessa dei modi di produzione, delle forme economiche, della scienza e della tecnica, dell'Idraulica. In questa storia è possibile ripercorrere lo svolgersi delle diverse tecniche e dei diversi paradigmi idraulici succedutisi nel tempo, le loro relazioni con i paradigmi scientifici più generali e con i modi di produzione, fino alla costruzione del paradigma idraulico attuale. E a mano a mano che si incontrano i diversi elementi che concorrono a costituire l'attuale paradigma nonché quelli che ne derivano come sviluppo della scienza normale al suo interno, questi possono essere sviluppati in forma analitica più estesa e vengono a costituire il vero e proprio corso di Idraulica. Tale corso terminerà, come già ho accennato, con la ricomposizione complessiva sintetica del paradigma idraulico attuale, come ad esempio è rappresentato nel Quadro 1.

Una specificazione di questo processo è offerta dal Quadro 2, in cui è fatto più specifico riferimento ai progressi dell'Idraulica. I modi di produzione fondamentali che vi vengono individuati sono i seguenti:

- 1) modo di produzione (M.d.P.) asiatico, caratterizzato dalla nascita delle cosiddette società fluviali e dal primo sviluppo delle tecniche necessarie per lo sviluppo della civiltà.
- 2) M.d.P. antico, caratterizzato dalla nascita delle società classiche di tipo schiavistico greca e romana, con lo sviluppo ulteriore delle tecniche, e soprattutto con la nascita dei primi paradigmi scientifici legati alla maggiore complessità di tali tipi di società.
- 3) M.d.P. germanico-feudale, con la frammentazione e il regresso medioevale della società, e la conseguente sostanziale stasi scientifica.
- 4) M.d.P. capitalistico, suddiviso nei seguenti periodi:
  - a) Rinascimento, Riforma e Rivoluzione scientifica come transizione fra feudalesimo e capitalismo, caratterizzato dall'esplosione di nuovi paradigmi scientifici molti dei quali sarebbero confluiti nella « sintesi newtoniana ».
  - b) Rivoluzione industriale, con l'avvento vero e proprio del capitalismo, caratterizzato dallo sviluppo della scienza normale newtoniana, nonché da un'accelerazione di attività sperimentali, scoperte di nuove tecniche e quindi nascita di nuovi paradigmi (termodinamico, elettrico, chimico,...) indotti dai mutati ritmi e dalle mutate esigenze dell'attività economica e di ricerca.

c) Capitalismo avanzato, con un'ulteriore accelerazione dei ritmi della attività economica e una interconnessione pressoché totale dei mercati mondiali. All'inizio di tale periodo una serie di risultati sperimentali, nati dalle ricerche indotte dalle attività economiche, mise in profonda crisi le basi del paradigma newtoniano. Tale crisi aprì la strada a nuovi paradigmi (relatività, meccanica statistica, meccanica quantistica — vedi Appendice II —) che oggi dominano lo sviluppo scientifico. In realtà [11, 12] alla fine del XIX secolo stavano emergendo dei tentativi di spiegare i dati osservativi apparentemente anomali pur rimanendo all'interno della fisica classica, ma la richiesta di sveltimento dell'attività scientifica originata dalle società a capitalismo avanzato (specialmente Germania) fece rapidamente compiere (da parte della comunità scientifica) la scelta a favore dei nuovi e più produttivi paradigmi.

Il Quadro 2, come si è già detto, espone più in dettaglio gli sviluppi dell'Idraulica all'interno dello schema proposto e dunque costituisce una nuova possibile articolazione del corso, alternativa a quella suggerita dal Quadro 1 (che però, è opportuno ricordare, comunque ne deve costituire il suggello finale).

Si osserva che è l'organizzazione stessa di tale quadro a suggerire lo svolgersi del corso, che mantiene una sua coerenza non solo dal punto di vista storico, ma anche dal punto di vista della sostanza della disciplina.

Il quadro è fornito di una doppia organizzazione, una per colonne verticali e una per linee orizzontali. La successione delle diverse colonne verticali rappresenta la successione storica delle diverse società con lo sviluppo delle tecniche e delle scoperte scientifiche nel campo dell'Idraulica. Lungo le diverse linee orizzontali vengono invece a trovarsi gli sviluppi tecnici e scientifici relativi ai diversi ben determinati argomenti di Idraulica (in buona sostanza i diversi capitoli del programma di esame), in modo che percorrendo con lo sguardo le singole linee orizzontali si può sinteticamente seguire il successivo svilupparsi nel tempo di quel determinato argomento.

### 3. LO SVILUPPO DEL CORSO DI IDRAULICA SULLA BASE DI UNA SUA ORGANIZZAZIONE STORICA

L'attuale paradigma idraulico fa parte nella sua maggior parte del più generale paradigma newtoniano.

Una sua parte non trascurabile peraltro è ormai pienamente inserita nel nuovo paradigma della meccanica statistica. Riguardo a tale parte — che riguarda la vasta e feconda visione che, nata a partire dalle ricerche e dalle elaborazioni di Reynolds, potremmo oggi sintetizzare sotto la dizione «meccanica statistica dei fluidi» — si può osservare che essa sembra avere vissuto nei primi decenni di questo secolo vicissitudini non troppo dissimili da quelle della relatività e della meccanica quantistica. Tale questione, che merita ulteriori approfondimenti di ricerca, viene abbozzata nell'Appendice III.

Inoltre alcuni settori di ricerca sperimentale, fortemente sviluppati soprattutto nei secoli XVIII e XIX ma rivitalizzati attualmente in base alle risultanze dell'analisi dimensionale, potrebbero a buona ragione essere assegnati a quel settore intermedio fra tecnica e tecnologia lusingato in precedenza.

C'è infine da osservare che nei periodi precedenti a quello della Rivoluzione industriale si era in più riprese determinata la nascita di paradigmi idraulici parziali che avrebbero contribuito alla formazione della sintesi newtoniana (e quindi dell'attuale paradigma idraulico) o quanto meno sarebbero stati sussunti al suo interno. Ciò vale soprattutto per il periodo della Rivoluzione scientifica, ma anche in pochi casi per i periodi precedenti. Nel Quadro 2 queste situazioni sono segnalate da opportune frecce di collegamento.

A questo punto, al di fuori di tutto ciò che risulta collegato al formarsi nel tempo dell'attuale paradigma idraulico, rimangono:

- 1) Le diverse tecniche idrauliche sviluppatesi nel tempo;
- 2) I paradigmi idraulici anteriori alla sintesi newtoniana. Questi, nella maggior parte dei casi, fanno riferimento al paradigma generale aristotelico.

Sulla base delle precedenti osservazioni risulta più chiaro quanto affermato nel paragrafo precedente in relazione allo sviluppo del corso di Idraulica.

Dopo l'introduzione epistemologica e storico-sociale, il corso può essere svolto seguendo lo sviluppo delle diverse successive formazioni sociali, in sostanza al modo seguente:

- 1) M.d.P. asiatico. Tecniche idrauliche sviluppate dalle società fluviali.
- 2) M.d.P. antico. Tecniche idrauliche sviluppate dalle civiltà antiche mediterranee; paradigma aristotelico e correlati paradigmi idraulici; paradigmi idraulici che hanno anticipato la sintesi newtoniana.
- 3) M.d.P. germanico-feudale. Come al punto precedente, anche se con una grossa limitazione di argomenti, che riflette le condizioni di crisi medioevale.
- 4a) Rivoluzione Scientifica. Sviluppo dei (pochi) paradigmi non ancora di stampo newtoniano ma ormai non più di derivazione aristotelica; sviluppo molto più dettagliato dei paradigmi idraulici parziali che avrebbero concorso alla costruzione della sintesi newtoniana.
- 4b) Rivoluzione industriale. Sviluppo della scienza normale newtoniana in campo idraulico; paradigma termodinamico e sue conseguenze in campo idraulico; sviluppo e significato delle ricerche di Idraulica sperimentale.
- 4c) Capitalismo avanzato. Ulteriore sviluppo della scienza normale newtoniana in campo idraulico; meccanica statistica e problemi di meccanica dei fluidi.
- 5) A questo punto, ma già in parte durante lo sviluppo dei punti precedenti, si può presentare lo schema qui riportato al Quadro I per mostrare il concatenamento generale interno dell'attuale paradigma idraulico e quindi fornire alla disciplina una forma assiomatica sistematizzata.

APPENDICE I — APPLICAZIONI PROGETTUALI INTERMEDIE FRA TECNICA E TECNOLOGIA

Come esempio delle questioni poste si può riportare la tematica della ricerca sulle resistenze al moto nelle correnti uniformi, svolta da numerosissimi ricercatori nell'arco dei secoli XVIII e XIX. Questa fu senza ombra di dubbio la tematica centrale delle ricerche sperimentali idrauliche di quel periodo. La possibilità della determinazione di una formula generale che fornisse l'entità delle resistenze nel moto uniforme (l'attuale formula di Darcy-Weisbach) si fondava su due elementi.

Il primo era costituito dalla relazione di equilibrio dinamico della corrente in moto uniforme, in seguito alla quale risulta possibile eguagliare le forze attive, dovute alla componente della gravità lungo l'asse della corrente, alle forze resistenti alla parete: di tale elemento v'era già all'epoca chiara consapevolezza.

Il secondo era costituito dalla necessità di ricavare una espressione che fosse in grado di collegare correttamente gli sforzi resistenti alla parete con le caratteristiche fisiche e dinamiche della corrente fluente. In effetti non esisteva allora alcuna teoria in grado di giungere a una espressione di tale tipo; tanto che lo stesso Weisbach (e dunque quando già da lungo tempo altri ricercatori si erano cimentati in via sempre sperimentale su tale problematica) ricorse a una analogia con il problema — anch'esso investigato a livello solo sperimentale — delle resistenze al moto di un corpo in moto entro un fluido.

Le espressioni che tutti questi ricercatori seppero trovare furono dunque sempre di natura solamente sperimentale. Tali espressioni, e le conseguenti formule di resistenza al moto che ne risultavano, costituirono indubbiamente un deciso progresso rispetto all'esecuzione artigianale di condotte e canali effettuate fino ad allora (ricordiamo ad esempio gli acquedotti romani!), ma non costituivano alcun reale aumento di conoscenza scientifica sulle leggi del moto dei fluidi. E se dunque non vi era alle spalle progresso propriamente scientifico, esisterci a parlare di tecnologia in relazione a progettazioni basate su tali tipi di formule, anche se chiaramente si trattava di uno stadio più avanzato che non quello delle semplici tecniche artigianali.

APPENDICE II — I NUOVI PARADIGMI DEL XX SECOLO

Semberebbe che verso la fine del secolo scorso le domande poste ai fisici dalle società a capitalismo avanzato le abbiano condotti a scendere più in profondità nello studio del « molto grande », del « molto piccolo » e del « molto complesso ». Queste tre tendenze avrebbero dato luogo a risultati sperimentali in disaccordo con quelli forniti dalla fisica classica o quanto meno non facilmente ad essa riconducibili. L'uscita da questa situazione di difficoltà sarebbe stata vista nella definizione di nuove teorie fisiche (nuovi paradigmi): appunto rispettivamente la relatività, la meccanica quantistica e la meccanica statistica.

Per quanto riguarda quest'ultima, che più direttamente qui ci interessa, c'è da rilevare che le modalità con cui essa opera la avvicinano di molto — come è ben noto — alla termodinamica; e dunque ben le si addice la definizione di paradigma « nuovo » rispetto alla fisica classica. D'altra parte una recente corrente di pensiero (cfr. ad esempio [13, 14, 15]) tende a sostenere che, quando un sistema diventa eccessivamente complesso, esso tende a non presentarsi più come semplice somma o interazione di sistemi elementari, ma comincia a seguire leggi nuove, non più immediatamente riconducibili a quelle dei suoi

costituenti. Anche in tal senso dunque la meccanica statistica di grandi aggregati di particelle costituirebbe un paradigma nuovo nei riguardi della meccanica classica delle singole particelle.

#### APPENDICE III — LA MECCANICA STATISTICA DEI FLUIDI

Quando Reynolds introdusse il concetto di turbolenza del moto e i correlati concetti di grandezze medie locali, sforzi apparenti, etc., ai ricercatori idraulici si apriva la possibilità di seguire due strade differenti — in maniera del tutto analoga a quanto era accaduto nel campo della meccanica quantistica e, ancor più, della relatività.

La prima strada era quella di proseguire con l'impostazione classica (che, per i moti turbolenti, significava tentativo di risolvere le equazioni differenziali dei moti cercando solamente di specificare al meglio — magari su basi sperimentali — le condizioni iniziali e ai limiti). La seconda era quella di inserire nuove ipotesi sul comportamento dei fluidi che, sia pure non sempre fondate fisicamente (almeno da un punto di vista classico), permettessero però di chiudere le equazioni differenziali in via anche solamente teorica.

Come bene ha mostrato Battimelli [16], nei primi decenni del XX secolo fu questa seconda strada a essere percorsa con le diverse ipotesi sui cammini di mescolamento e più tardi (aggiungo io) anche con le analisi spettrali e di correlazione. Si potrebbe dire che quasi inconsciamente i ricercatori idraulici abbiano assunto il principio accennato nella Appendice II secondo il quale il fluido, inteso come aggregato di numerosissime particelle, assumerebbe delle nuove proprietà non più immediatamente riconducibili a quelle dei suoi costituenti.

Tale scelta sostanzialmente coincide con quella operata nell'ambito di relatività e meccanica quantistica, secondo quanto ricordato nei già menzionati lavori [11, 12] e risulterebbe determinata dalla fecondità di risultati operativi che una tale impostazione, pur in assenza di una chiara (o almeno classica) interpretazione a monte dei fenomeni esaminati, è stata capace da allora ad oggi di fornire alla comunità scientifica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] G. PULCI DORIA, *Il corso di Idraulica a partire dallo sviluppo storico-sociale della disciplina*, parte I, CUEN, Napoli 1980.
- [2] G. PULCI DORIA, *Il corso...*, parte II, vol. 1, CUEN, Napoli 1983.
- [3] G. PULCI DORIA, *Il corso...*, parte I, edizione riveduta, CUEN, Napoli 1984.
- [4] G. GIARRAVINO, G. PULCI DORIA, C. SABATINO, *Il corso...*, volume di completamento sintetico del corso, CUEN, Napoli 1984.
- [5] G. CICCOTTI, G. JONA-LASINIO, « Il dibattito epistemologico e la socializzazione delle scienze », in AAVV, *L'opa e l'architetto*, Feltrinelli, Milano 1969, 134.
- [6] A. KOYRÉ, *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Einaudi, Torino 1969, 85.
- [7] K. R. POPPER, *La logica della scoperta scientifica*, Einaudi, Torino 1970, 1-136.
- [8] T. S. KUHN, *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino 1978.
- [9] A. F. CHALMERS, *Che cos'è questa scienza?*, Mondadori, Milano 1979.
- [10] G. CICCOTTI, G. JONA-LASINIO, « Il dibattito... », *cit.*, 125-142.
- [11] G. CICCOTTI, E. DONINI, « Sviluppo e crisi del meccanicismo: da Boltzmann a Planck », in AAVV, *L'opa ...*, *cit.*, 145-159.
- [12] G. BATTIMELLI, « Etere e relatività », *Sapere*, 776, 1974, 46-50.
- [13] Y. V. SACKOV, « La meccanica quantistica e la natura della probabilità », in S. TAGLIAGAMBE (a cura di), *L'interpretazione materialistica della meccanica quantistica*, Feltrinelli, Milano 1972, 212-220.
- [14] V. I. KUPTSOV, « Il carattere delle rappresentazioni probabilistiche in fisica », in S. TAGLIAGAMBE (a cura di), *L'interpretazione...*, *cit.*, 221-230.
- [15] A. S. KRAVETS, « La natura della probabilità », in S. TAGLIAGAMBE (a cura di), *L'interpretazione ...*, *cit.*, 231-232.
- [16] G. BATTIMELLI, « The Mathematician and the Engineer: Statistical Theories of Turbulence in the 20's », *Riv. Stor. Sci.*, 1 (1), 1984, 73-94.





