

Stefano Giovanni Loffi

Piccola
Storia dell'Idraulica

libera traduzione, ridotta ma integrata, di

"History of Hydraulics" di Hunter Rose e Simon Ince
dell'Istituto di Ricerca Idraulica dell'Università Statale dell' IOWA – U.S.A.,
édita, nel 1954, come supplemento, su *"LA HOUILLE BLANCHE"* .

Capitolo 20 – L'ormai indispensabile Laboratorio di Idraulica

Cremona 23 luglio 2007

Capitolo 20 – L'ormai indispensabile Laboratorio di Idraulica

E' attribuito a Galileo Galilei (Pisa 1564 – Arcetri 1642), del quale abbiamo ampiamente trattato nel Capitolo 7, il mérito d'aver dato origine al método sperimentale nella ricerca scientifica, sebbene, in questo, egli non fu solo tra coloro che, all'inizio del Seicento, diedero un notevolissimo impulso alla scienza tutta, quindi anche alle attività sperimentali, delle quali lo scienziato pisano fu certo maestro.

L'’Occhiale’ e l'’Occhialino’, così Galileo Galilei chiamava il telescopio ed il microscopio, furono tra i primi sofisticati strumenti scientifici che aprirono gli occhi della ricerca nell'infinitamente grande e nell'infinitamente piccolo, nuovi orizzonti di indagine che si mostravano, entrambi, sconfinati. Telescopio e microscopio che richiesero la diffusione di officine ottiche e meccaniche, per la loro produzione, e di luoghi dove potessero essere messi a disposizione di più ricercatori. Tra bottega artigiana e luogo di ricerca, nasceva così, velocemente, un nuovo luogo del sapere e dell'indagine: il Laboratorio.

Più frequentemente dedicati alla Chimica (allora detta Alchimia), alla Medicina ed all'Astronomia, nel XVII sécolo i primi laboratori nacquero su iniziativa di nobili famiglie illuminâte, spesso regnanti: gli Hohenzollern, gli Asburgo, i Médici. Non mancarono, quantunque, iniziative private, di singoli scienziati, dalle sufficienti forze economiche, che allestivano laboratori privati, che spesso assumevano la funzione di 'salotto scientifico', dove fervevano la ricerca ed il confronto delle idee.

Ricordiamo così, dopo averla citata nel Capitolo 11, la scienziata francese Gabrielle-Émilie Le Tonnellier de Breteuil, marchesa de Châtelet (Parigi 1706 – Lunéville 1749), che, dopo essersi ritirata, nel 1633, nella residenza di Carey, nella Lorena, allestì colà una grande biblioteca ed un laboratorio, che ben presto divenne riferimento per molti scienziati francesi.

Altro importante esempio fu il laboratorio allestito, a proprie spese, da Robert Boyle (Lismore 1627 – Londra 1691) ad Oxford nel 1654, nel quale lo scienziato inglese non soltanto trasse argomenti per importanti scoperte, ma certo maggior vigore nel sostenere e poi realizzare la *Royal Society*.

Furono proprio le nascenti società scientifiche, le Accadémie, delle quali abbiamo parlato nel Capitolo 8, che sostennero e furono, a loro volta, sostenute dai laboratori scientifici, che ne divennero, ben presto, strumenti essenziali.

Assai significativa fu una delle più antiche, l'*Accademia del Cimento*, voluta da Leopoldo de' Médici nel 1657, il cui motto '*Provando e riprovando*' ben racchiude il nuovo approccio sperimentale che, da Galilei, scatenava la tensione della ricerca, in ogni campo.

Per la 'nostra' Idraulica, giova ricordare l'azione del fiorentino Vincenzo Brunacci (Firenze 1768 – Pavia 1818) che, a Pavia nel 1803, fondò il primo laboratorio, nella penisola italiana, che si occupava espressamente del moto dei fluidi: il *Gabinetto d'Idrometria e Geodesia*, dal cui esempio, succesivamente, presero spunto anàloghe strutture all'Università di Padova ed al Politecnico di Milano.

Con Brunacci, quindi, non soltanto la ricerca ma anche l'insegnamento dell'Idraulica acquistarono un nuovo importante mezzo di ricerca e di diffusione della conoscenza.

Così, nel XVIII sécolo s'erano perfezionati non soltanto la conoscenza dei princìpi di base, la capacità di realizzare le più rilevanti applicazioni, ma anche le più affidabili metodologie per le verifiche e le ricerche sperimentali; conoscenza e sperimentazione, necessari e sufficienti per il completamento della ricerca, ammesso che mai possa essere considerata completa.

Ecco allora aprirsi, tra il XIX sécolo e la prima parte del XX, una stagione di grandi progressi, nei quali le attività di laboratorio assunsero un'importanza irrinunciabile, a completamento di tutto ciò che era ormai accertato e disponibile.

Le equazioni di continuità e di moto, l'effetto dell'accelerazione, la quantità di energia, l'equilibrio dinamico, la resistenza, . . . erano ormai noti ed espressi in forma definitiva, utilizzabili agevolmente.

Anche la strumentazione - per la misura della velocità, della pressione, della perdita di carico - era affidabile e di elevata precisione.

La costruzione dei modelli in scala ridotta, nei quali riprodurre i fenomeni reali (osservati o di progetto), per poterne studiare gli effetti ed i comportamenti, aveva ormai una precisa e corretta codifica.

Proprio la perfezione raggiunta dalla modellistica, costituì il nuovo capitolo del progresso dell'Idraulica. Infatti, i principali progressi, all'inizio del XX secolo, non furono caratterizzati da nuove scoperte, ma piuttosto da diffuse ed approfondite verifiche, dall'assimilazione e dall'estensione delle conquiste già conseguite.

Tuttavia, coerentemente alla nostra impostazione, riteniamo doveroso il dedicare attenzione ai personaggi che furono i principali responsabili di questa fase di affinamento della scienza dei fluidi.

Per una revisione storica dettagliata di questo periodo, almeno per quegli aspetti dell'ingegneria che concernono l'Idraulica, si potrebbe fare riferimento a "*Die Wasserbaulaboratorien Europas.*", della *Verein Deutscher Ingenieure* di Berlino, edito nel 1926, poi ampiamente rivisto nell'edizione inglese "*La pratica del laboratorio di Idraulica*".

Prima di citare i più importanti protagonisti, all'inizio del XX secolo, dell'esplorazione sperimentale attraverso prove e modelli di laboratorio, è opportuno soffermarsi su coloro che risolsero i principali problemi che tale processo presentava.

La questione può essere posta in questi semplici termini: il modello utilizzato per simulare il comportamento della corrispondente realtà deve a quest'ultima essere simile; si devono, cioè, creare dei criteri di similitudine che garantiscano che le valutazioni condotte sul modello a scala ridotta siano effettivamente indicative del comportamento che avrà l'oggetto che verrà in seguito costruito.

Questa condizione, banale nello scopo non certo nel modo di ottenerla, fu affrontata inizialmente nell'ingegneria navale con John Scott-Russel (1808-1882), incontrato nel Capitolo 17. Le innumerevoli prove che si potevano condurre con un modello a scala ridotta, per definire la miglior forma della chiglia di una nave o di qualche sua parte, richiedeva la sicurezza che il vascello, una volta realizzato, avesse veramente le prestazioni dimostrate dal modello medesimo . . . non si poteva certo sbagliare!

Dopo queste prime esperienze, l'utilizzo di modelli a scala ridotta per la progettazione dei navigli si sviluppò con velocità, costituendo il punto di partenza della teoria di questo metodo, applicabile ad ogni fenomeno fisico.

I primi importanti progressi si devono, dopo Scott-Russel, al francese Ferdinand Reech (1805-1880), professore di Meccanica Applicata alla scuola del Genio Marittimo di Parigi, ed agli inglesi William Froude (1810-1879) ed al figlio di questi, Robert Edmund Froude (1846-1924), tutti già apparsi nel Capitolo 18.

Fu Reech che formulò il primo *Principio di Similitudine*: se si costruisce un modello n volte più piccolo del reale, allora il rapporto tra la velocità reale e quella del modello deve essere pari a \sqrt{n} , mentre il rapporto tra le forze (o le resistenze) uguale a n^3 .

Di fatto, le grandezze da considerare secondo il *Principio di Similitudine* appartengono a tre categorie: dimensione, tempo e massa, che si potrebbero pensare poter combinarsi in rapporti infiniti, ma così non è.

Nel caso dell'Idraulica, o meglio dell'Idrodinamica, esistono infatti delle costanti dovute alla natura del fluido, prima fra tutte la densità, uguale sia per il modello che per il caso reale.

Anche l'accelerazione di gravità, sempre costante, determina un altro limite al *Principio di Similitudine*.

I primi studi, quindi, adattarono il *Principio di Similitudine* alla tipologia del fenomeno oggetto dell'indagine condotta con modelli in scala ridotta: processi di Foronomia (efflusso attraverso aperture); resistenza al moto dei natanti; correnti in pressione in Moto Uniforme o Turbolento . . .

Alla fine del XIX secolo, dal *Principio di Similitudine* scaturì un nuovo strumento, potentissimo, per l'indagine sperimentale su modello: l'*Analisi Dimensionale*.

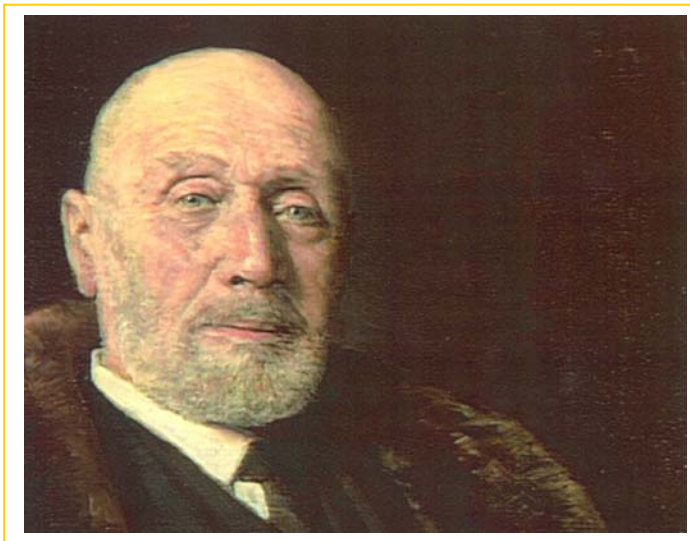
Padre di questa nuova branca della ricerca fu Edgar Buckingham (Philadelphia, Pennsylvania, 1867 – 1940), fisico e matematico statunitense, che elaborò un teorema, oggi noto come *Teorema di Buckingham* o *Teorema π* , che sta alla base dell'*Analisi Dimensionale*, procedimento della ricerca sperimentale, applicabile a qualsiasi fenomeno fisico, che definisce i rapporti funzionali tra le tante grandezze che interagiscono nel fenomeno studiato.

Il *Teorema di Buckingham* consente di ridurre il numero dei fattori fisici in gioco, raggruppandoli secondo le relazioni che li legano reciprocamente, giungendo ad analizzarli, così, per gruppi. Se n sono le grandezze che interagiscono nel processo studiato, è pari ad $(n-m)$ il numero dei gruppi funzionali delle stesse grandezze che debbono essere individuati, riducendo così i parametri indipendenti con i quali condurre la sperimentazione attraverso le reciproche combinazioni. Buckingham dimostrò che m non poteva mai essere minore di tre.

Grazie a tale Teorema, quindi, anche la modellizzazione otteneva una notevole semplificazione, pur nella garanzia di mantenere significativo il rapporto tra le grandezze in gioco rispetto alla realtà. L'*Analisi Dimensionale* assume, quantunque, carattere di complessità concettuale il cui approfondimento è escluso dagli scopi e dai limiti di questa Storia.

Approssimativamente alla svolta tra i due secoli, la prevalenza della ricerca nel campo dell'Idraulica – se non anche per l'Idrodinamica – passò definitivamente nella mani della scuola tedesca, forse a causa del sistema educativo allora seguito in Germania, nel quale lo Stato controllava le scuole di preparazione, le università e gli istituti politecnici, ma in diretta connessione con gli interessi dell'industria, in travolgente crescita; cosicché le cattedre d'insegnamento furono occupate, in maggioranza, da coloro che avevano evidenziato elevate abilità sia nella teoria sia nell'applicazione della propria conoscenza.

I contributi tedeschi all'Idraulica, nella prima parte del XX secolo, possono così essere ben illustrati discutendo di alcuni tra i massimi professori delle scuole di quella nazione.



Il primo di questi fu Hubert Engels (1854-1945) che, dopo dieci anni di ingegneria pratica presso il “*Georg und Ludwig Franzius*”, fu nominato alla cattedra di Idraulica dell'Istituto Politecnico di Brunswick e poi a quello di Dresda; qui cominciò, nel 1891, a condurre esperimenti con modelli idraulici nell'*Osservatorio di Idraulica*, realizzato dal suo predecessore Zeuner, uno studente di Julius Weisbach (incontrato nel Capitolo 17).

Nel 1898, Engels costruì il basamento per la costruzione di un nuovo laboratorio, di circa duecentoventi metri quadrati, attrezzato con un sistema di pompaggio, per alimentare le acque che poi scorrevano in un canale, specificatamente concepito per i modelli idraulici a fondo mobile, che rispecchiano, in particolare, gli alvei naturali dei corsi d'acqua. Nel 1913 questa struttura fu sostituita con un laboratorio di Idraulica Fluviale completamente nuovo, di maggiori dimensioni, nel quale Engels continuò a condurre studi sulla regolazione dei fiumi per alcuni decenni.

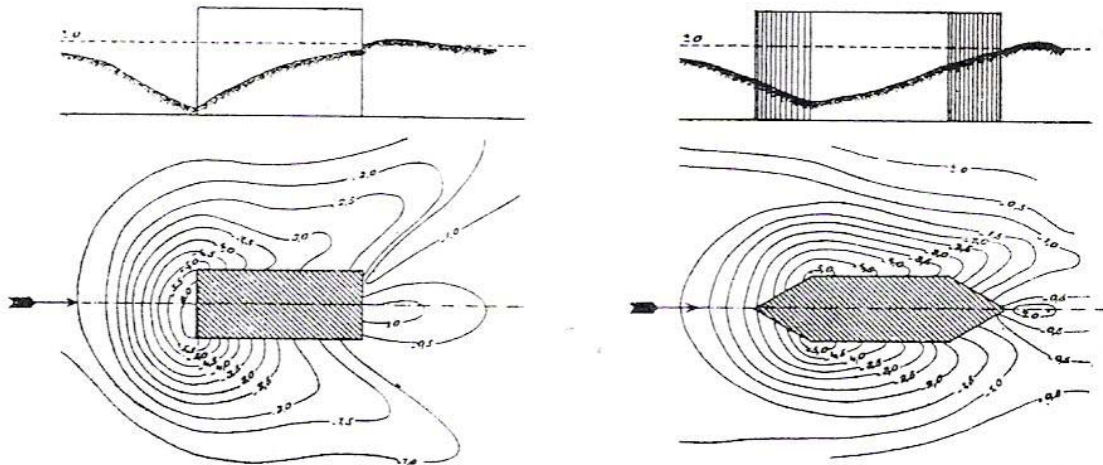
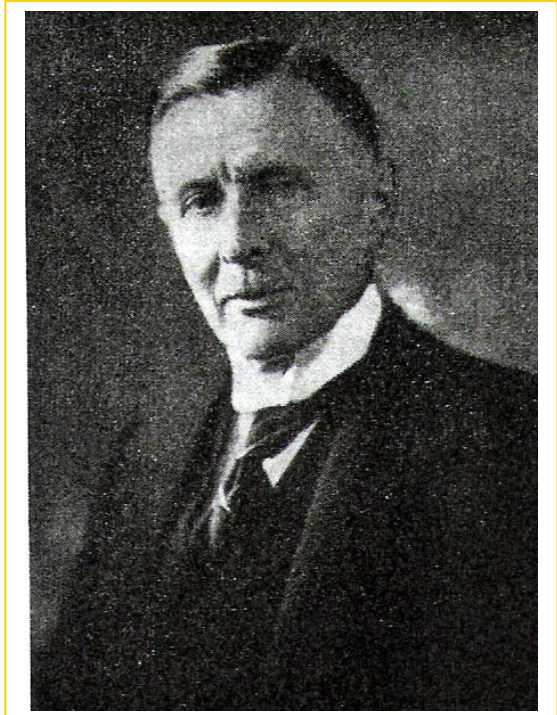


Illustrazione dei flussi e del pelo libero, osservati da Engels nel laboratorio di Zeuner, prodotti da due tipi di pile di ponte immersi in una corrente

Contemporaneo di Engels fu Theodor Rehbock (Amsterdam 1864 - 1950); nato ad Amsterdam da genitori tedeschi, iniziò l'attività come assistente ingegnere di Ludwig Franzius; si trasferì poi in Sud America e, successivamente, in Africa. Nel 1899 Rehbock accettò la nomina alla cattedra di Idraulica dell'Istituto Politecnico di Karlsruhe, con l'accordo che avrebbe personalmente finanziato la realizzazione di un laboratorio sperimentale, che venne in effetti realizzato nel 1901.

Il laboratorio, costruito da Rehbock a Karlsruhe, era molto simile a quello che Engels aveva realizzato a Dresda, ma nel primo ventennio di attività subì molti miglioramenti ed innovazioni; tra queste venne realizzato un canale con pareti di vetro, cosa oggi consuetudinaria in ogni laboratorio di Idraulica, nonché modelli di dighe in terra, di scaricatori di piena, di sifoni, di gallerie di ingresso, di sezioni ristrette per la presenza di pile di ponti, osservando, con particolare enfasi, la zona dove si formano i vortici.

Purtuttavia, nel 1921, l'Istituto Politecnico di Karlsruhe dovette prendere atto che il laboratorio era diventato inadeguato per la quantità di lavoro che si doveva in esso svolgere e quindi venne abbandonato e sostituito da una nuova struttura, che andò a formare l'intera nuova ala del palazzo della facoltà di Ingegneria Civile.



Nal 'suo' laboratorio, Rehbock condusse numerosi esperimenti su moltéplici aspetti dell'Idraulica e dell'Idrodinàmica: di lui si ricordano, portandone ancor oggi il nome, i *Denti di Rehbock*, blocchi fissati, in sequenza alternata, al piede degli scivoli degli scaricatori e dovunque vi sia la necessità di dissipare l'energia della corrente, a tutela dell'álveo che deve poi ricevere le acque dopo lo smorzamento.



Mentre Engels può propriamente essere considerato il padre dei laboratori di Idraulica Fluviale, Rehbock fu il primo che li utilizzò massicciamente, dimostrandone la grande utilità, diremmo l'irrinunciabile necessità, nell'affrontare numerosi problemi di Idraulica e, soprattutto, di Idrodinàmica.

Grazie all'impetuoso impegno di entrambi, la pratica di condurre studi di fenomeni e strutture idraulici attraverso modellizzazione in scala ridotta si diffuse largamente in Germania, anche se, curiosamente, la più importante di queste strutture sperimentali non sorse all'interno di una organizzazione scolastica, bensì nella *Preussische Versuchsanalt für Wasserbau und Schiffbau*, fondata a Berlino nel 1903 come Centro federale di sperimentazione per studi con modelli, sia su strutture idrauliche che su scafi navali; laboratorio che ottenne grandi riconoscimenti sotto la guida di Hans Detlef Krey (1866-1928), che ne assunse la direzione nel 1910.

Sebbene in misura minore, la scuola tedesca ebbe un ruolo di riferimento anche nello sviluppo di laboratorî per lo studio e la progettazione delle macchine idrauliche; il principale tra questi fu quello costruito, nel 1904, all'Istituto Politecnico di Charlottenburg da Hermann Foettinger (1877-1945), che contribuì notevolmente alle ricerche sul fenomeno della cavitazione nelle pompe e nelle turbine, ma il cui nome è associato in particolare al convertitore di coppia

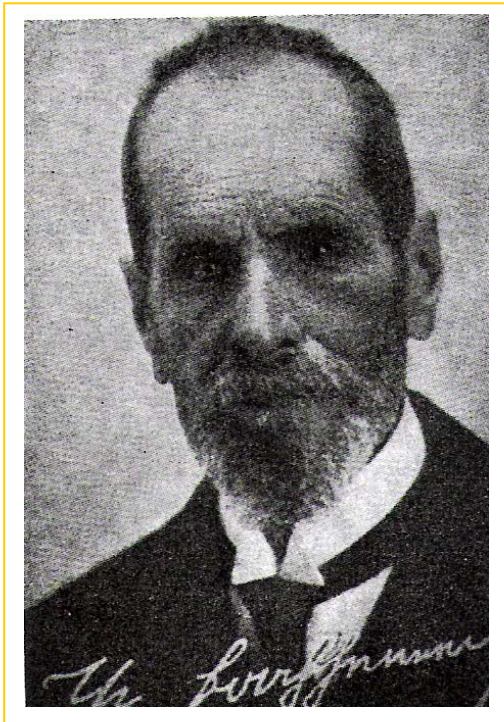
idraulico, dispositivo oleodinamico che accoppia organi di trasmissione meccanici assorbendo, attraverso la circolazione dell'olio, gli sforzi prodotti dalla variazione del carico o della potenza: è uno strumento sul quale si basa, per esempio, il cambio automatico delle automobili.

Un altro laboratorio d'eccellenza fu quello di Dietrich Thoma (1881-1943), dell'Istituto Politecnico di Monaco di Baviera, che ne fu il Direttore dopo aver costruito e diretto, per circa un decennio, il centro di prova di una industria manifatturiera a Gotha.

Il nome di Thoma è oggi frequentemente citato per indicare il parametro di cavitazione usato nelle macchine idrauliche.

Un tedesco, anche se non di nascita, ben degno di menzione in questa Storia, fu il professore Victor Kaplan (Brün 1876 – Berlino 1934); nato a Brün, in Cecoslovacchia, dove costruì, tra il 1910 ed il 1924, le prime turbine ad élische con pale regolabili, oggi chiamate *Turbine Kaplan*, particolarmente adatte per sfruttare al meglio salti idraulici non elevati e grandi portate, queste ultime anche dal valore sensibilmente variabile.

Giocoforza il grande fervore della ricerca, tra la fine del XIX secolo e l'inizio del XX, comparvero numerosi trattati in lingua tedesca sui vari aspetti dell'Idraulica; due di questi meritano d'essere ricordati a questo punto, per il singolare contributo che diedero alla ricerca.



Il primo, di gran lunga superiore a tutti gli altri, fu redatto da Philip Forcheneimer (Vienna 1852 – Graz 1933); nativo di Vienna, professore di Idraulica all'Università di Aachen e poi a quella di Graz.

L'opera *Idraulica* di Forcheneimer, la cui prima edizione fu pubblicata nel 1914, rimane ancora oggi il riferimento principale delle teorie e delle osservazioni in questa scienza; forse, questo testo è il più rilevante di tutti i tempi.

Il secondo trattato che non si può omettere di citare è quello di Alexander Koch (Steinach 1853 - Berlino 1923), che lo compose durante la sua attività all'Istituto Politecnico di Darmstadt nel 1909, operando principalmente in un piccolo laboratorio utilizzato sia per l'insegnamento che per la ricerca. In esso Koch affronta, con particolare attenzione, la necessaria correlazione dell'analisi con la sperimentazione:

“Noi abbiamo bisogno“, scrisse Koch, “al posto di una *Idrodinamica matematica e di una empirica Idraulica di una chiara e pratica Idrodinamica.*”

Negli scritti di Koch vi sono molte considerazioni sulla *Legge delle forze portanti*, che oggi chiamiamo *Principio della quantità di moto*; di grande rilievo è l'utilizzazione, per la prima volta ad opera di Koch, della *Linea dell'energia del flusso*, oggi detta *Linea dei Carichi Totali* (nata con Daniel Bernoulli, ma solo ora giunta al corrente utilizzo) e del diagramma della perdita di carico.

Le note al lavoro di Koch furono, su iniziativa di Max Carstanjen, ampliate e pubblicate postume, a Berlino, nel 1926 sotto il nome dello stesso Koch, con il titolo "*Von der Bewegung des Wasser und den dabei auftretenden Kräften*". In questo testo furono descritti accuratamente numerosi profili idraulici del pelo libero nonché la distribuzione della pressione del flusso tracimante su traverse, sotto le paratoie e nei canali di raccordo. Resta di maggior significatività in quest'opera il continuo richiamo alla necessità di procedere con rigorosi metodi di analisi, anche se non ne definì di nuovi.



Sull'esempio della Germania, nei paesi ad essa limitrofi si diffusero rapidamente numerosi nuovi laboratori di Idraulica, non sempre e non soltanto utilizzati per lo studio dei fenomeni naturali; tra questi: a Leningrado nel 1907 da Victor E. Timonoff (1862-1936); a Tolosa nel 1908 da Charles Camichel (1877), a Padova nel 1910 da Ettore Scimeni (1895-1952); a Vienna nel 1912, poi diretto da Friederich Schaffernak; a Stoccolma nel 1917, dove lavorò Thomas Theodor Thijssse (1893).

Il laboratorio originale di Osborne Reynolds, a Manchester, fu riattivato ed ampliato durante questo periodo ad opera di Arnold Hartley Gibson (1878 - ?), il cui libro "*L'Idraulica e le sue applicazioni*", venne ampiamente utilizzato nei paesi di lingua inglese.

Durante la metà degli anni Venti, largamente stimolati dal lavoro di Rehbock e d'altri, furono condotti notevoli sforzi per far sorgere un'organizzazione tra coloro che lavoravano in questi laboratori, soprattutto in quelli particolarmente dedicati all'Idraulica Fluviale. I tentativi non ebbero un grande successo e trovarono, tra l'altro, anche alcune opposizioni; fu soltanto nel 1935, nel corso di un congresso sulla navigazione a Bruxelles, che venne impostata la struttura della "*Associazione internazionale di ricerca in Idraulica*", rivolta al principale fine di unire gli sforzi per risolvere i problemi ingegneristici delle opere e degli interventi idraulici. L'Associazione di fatto poté realizzare un solo congresso, nel 1937, a Berlino prima che la tragedia della Seconda Guerra Mondiale travolgesse tutto e tutti.

Il primo laboratorio di Idraulica di scuola americana fu fondato nel 1887 alla *Lehigh University* da Mansfield Merriman (1848-1925); era un piccolo edificio, non più di centotrenta metri quadrati su un solo piano, alimentato con una portata di circa cinquanta litri al secondo, grazie alla derivazione da un vicino torrente.

Il secondo laboratorio statunitense fu costruito, soprattutto a scopo didattico, presso l'Istituto Politecnico di Worcester nel 1894, ad òpera di Charles Metcalf Allen (1871-1950) che, nello stesso anno, ricevette l'incarico di professore di Ingegneria Meccanica.

Attraverso l'iniziativa di Allen, il laboratorio si sviluppò in dimensioni ed in attività; in aggiunta ai *test* sulle macchine a fluido, sui misuratori di flusso e sulle strutture idrauliche; fu in questa struttura che venne sviluppato, agli inizi degli anni Venti, il metodo della variazione della velocità per la misura delle perdite di carico.

Un terzo laboratorio, anch'esso come quello di Allen dedicato principalmente all'attività scolastica, fu costruito nel 1899 alla *Cornwell University*, dove si formò la gran parte dei migliori studiosi di Idraulica americani del successivo quarto di secolo. All'inizio del Novecento, questo laboratorio fu diretto da Ernest William Schoder (1879 - ?), che collaborò, mentre era ancora giovane assistente, alle numerose misure sulla resistenza delle tubazioni.

Nel 1908 vennero installate attrezzature provvisorie all'Università della California dal Servizio Geologico Federale, per lo specifico studio del trasporto solido e dei sedimenti sotto la direzione di Grove Karl Gilbert (1843-1918). Furono allestiti tre canali di legno, uno dei quali aveva una parete di vetro; con essi si condussero numerosi esperimenti sul movimento iniziale e sul susseguente trasporto, simulato per diversi tipi di materiali, ghiaie e sabbie, depositate su àlvei sia lisci che caratterizzati da differenti gradi di rugosità. Sebbene ostacolato dalla malferma salute, Gilbert riuscì a portare le ricerche sino a dove si era prefissato, presentando i propri risultati nel *USGS Professionale Paper* n. 86 del 1914; risultati che ancor oggi continuano ad essere quelli più spesso utilizzati quale riferimento per lo studio del trasporto solido delle correnti in fiumi e canali.

Un altro laboratorio di rilievo fu quello del Distretto di Tutela di Miami, una organizzazione nata nel sud-ovest dell'Ohio per pianificare un sistema generale di previsione e controllo delle inondazioni in quella regione. Grandemente determinato dalle pressioni di Sherman Melville Woodward (1871-1953), un professore di Idraulica dell'Università dell'Iowa che era impiegato come consulente nel Distretto, furono condotti *test* di simulazione nel 1915 per gli studi del Risalto Idraulico (o Salto di Bidone) e per la progettazione delle *Vasche di Dissipazione* e delle *Vasche di Calma*, utilizzate per dissipare l'energia cinética delle correnti veloci prodotte dagli scivoli e dagli scaricatori dei bacini di ritenuta.

Melville Woodward fu anche l'artefice della nascita dell'Istituto di Ricerca dell'Iowa che permise l'arrivo di Floyd August Nagler (1892-1933), che ne fu, nel 1918, il primo Direttore, e David Ray Yarnell (1833-1937), inviato in Iowa dal *US Department of Agriculture* dove rimase dal 1922 sino alla fine; i tre collaborarono in molte indagini sperimentali. Un notevole risultato dell'istituto dell'Iowa fu la prima correlazione dimostrata tra le misure da modello e quelle da prototipo, nel caso dell'efflusso da uno scaricatore di piena.

Sebbene l'uso dei laboratori per la ricerca idraulica si diffuse grandemente all'inizio degli anni Venti del Novecento, non cessarono le ricerche teoriche e pratiche che non utilizzavano modelli in scala, anche perché questi non potevano certo esaurire tutte le problematiche della scienza dei fluidi.

Solidamente affiancate troviamo pratica e teoria nella notevole serie di *test* condotti, per conto del *U.S.D. of Agriculture*, da Fred Charles Scoley (1880), i cui risultati, pubblicati nel 1915, contengono dettagliate osservazioni sulla resistenza del flusso nei canali di Irrigazione; lo stesso autore, nel 1916, pubblicò gli éstiti di altre prove ed analisi sul comportamento delle tubazioni in legno.

David Ray Yarnell, prima di giungere in Iowa, presentò nel 1917 dati prodotti dalle osservazioni sui sistemi di drenaggio di terreni acquitrinosi, realizzati con tubazioni forate in laterizio di diverse misure commerciali. Ancora Yarnell, nel 1915, avviò studi su un canale artificiale, dotato di un restringimento ispirato al venturimetro, per la misura dell'acqua di

irrigazione, primo passo per giungere al più moderno edificio di misura della corrente a pelo libero, il Misuratore a Risalto, definitivamente codificato, nel 1948, dal prof. Duilio Citrini (Milano 1913 – 2006), del Politecnico di Milano.

Precedentemente al risultato degli studi in campo furono importanti le serie delle analisi condotte nelle Indie Britanniche sull'equilibrio del flusso nei canali scavati in terreni soggetti ad erosione. Questi dati, forniti dagli sforzi di Robert Gregg Kennedy (1851-1920), condotti verso la fine del XIX secolo, giunsero alla formulazione dei requisiti geometrici ed idraulici per evitare l'insorgere di azioni di erosione o di deposito nei canali di Irrigazione non rivestiti, cioè, come suol dirsi, 'in terra'.

Il lavoro di Kennedy venne poi seguito, con notevoli ampliamenti, da Edward Seales Lundley (1882) e da Gerald Lacey (1887).

Studi analoghi vennero condotti, nel medesimo periodo, in Egitto.

Tuttavia fu soltanto all'inizio degli anni Trenta che i grandi problemi della sedimentazione ricevettero, negli USA, le necessarie attenzioni quantitative, non limitate, quindi, ai soli aspetti qualitativi, principalmente presso il *Corps of Engineers*, il *Bureau of Reclamation* ed il *Soil Conservation Service*.

La produzione di energia idroelettrica subì un rapidissimo sviluppo tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, enfatizzando la necessità di disporre di una accurata misurazione della perdita di carico per valutare con precisione il rendimento delle differenti forme e tipologie di turbina.

Negli USA si svilupparono due differenti tecniche: la prima fu il metodo che sfrutta il processo di diluizione del sale nella corrente, applicato nel 1916 da Benjamin Feland Groat (1867-1949); il secondo fu il principio della misura congiunta di pressione e quantità di moto, sviluppato nel 1923 da Norman Rothwell Gibson (1880).

Inoltre, Lewis Ferry Moody (1880-1953), noto per il perfezionamento dei condotti di scarico delle turbine, per primo introdusse, nel 1922, i parametri di progetto per evitare il pericoloso fenomeno della cavitazione nelle giranti delle turbine; parametri poi associati al nome di Thoma.

John R. Freeman (? – 1932), un anziano ingegnere dedito alla politica, oggi ricordato anche per i suoi progressi sperimentali alla fine del XIX secolo, fu profondamente colpito, all'inizio degli anni Venti, constatando l'avanzato stadio di sviluppo della pratica di laboratorio in Germania ed in altri paesi europei.

Sfruttando la propria influenza politica, Freeman cominciò a premere affinché il Governo degli Stati Uniti sostenesse la realizzazione di un grande laboratorio di Idraulica.

In secondo luogo, egli persuase i più importanti scienziati europei, sotto gli auspici del *Verein Deutscher Ingegnerie*, a preparare un trattato che descrivesse nel dettaglio tutta l'attività dei laboratori tedeschi; in terzo luogo contribuì, anche con proprie risorse, nell'organizzare viaggi di studio, in Europa, per numerosi giovani ingegneri americani, che poterono così visitare le più importanti istituzioni scientifiche del Vecchio Continente.

Una quarta iniziativa dello 'scienziato-politico', fu l'invitare numerosi direttori dei principali laboratori tedeschi (inclusi Rehbock e Thoma) in America, per visite e per prolusioni e

letture. Freeman, inoltre, tradusse i trattati tedeschi sulle attività di laboratorio, che vennero così pubblicati, a volte con notevoli ampliamenti scientifici ma anche a scopo didattico, in inglese.

La grande influenza, nella scienza Idraulica che ebbe l'attività di Freeman negli USA, se non anche altrove, non potrà mai essere pienamente apprezzata; attraverso la sua lungimirante perspicacia, unita ad una rara umiltà nel riconoscere il maggior valore dell'altrui conoscenza, consentì a molti idraulici americani, in particolare quelli facenti parte dell'esercito degli Stati Uniti d'America di stanza a Vicksburg, di avvicinare ed assimilare le conoscenze e le esperienze delle migliori scuole d'Europa.

Così è che all'inizio degli anni Trenta, le attività dei laboratori delle Università americane crebbero assai, in qualità ed in quantità.

Appena prima della morte di Freeman, nel 1932, fu fondato il *National Hydraulic Laboratory* presso il *U.S. Bureau of Standard*.

È evidente che la ricerca idraulica, nella prima parte del XX secolo, enfatizzò l'approccio sperimentale a scapito dell'approccio analitico, che aveva fortemente caratterizzato gli ultimi idraulici francesi nel secolo precedente.

Son poche ricerche non sperimentali di questo periodo, meritano d'essere citate.

Una di queste fu proposta dallo stesso Freeman, sulla suggestione che a lui produsse la pubblicazione, ad opera di Raymond Deloraine Johnson, nel 1908, delle equazioni differenziali del *Pozzo Piezométrico*.

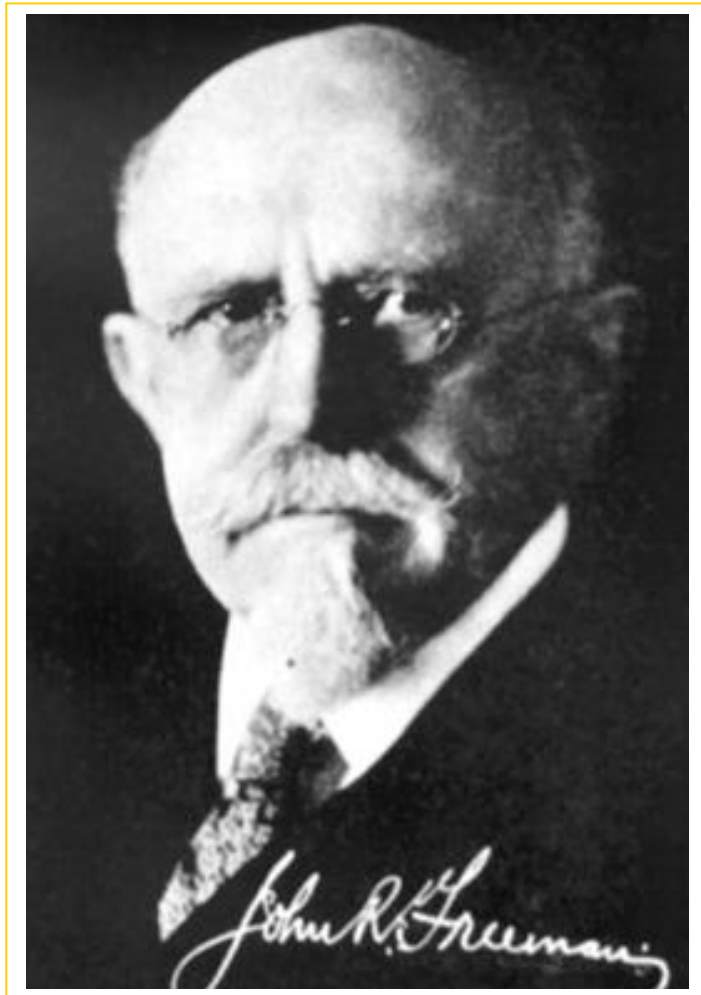
Due anni dopo, Thoma formulò un parametro per la stabilità dei Pozzi Piezométrici in sistemi autoregolanti.

Durante questo stesso periodo, l'idraulico italiano Lorenzo Allevi (1856-1941) estese ampiamente l'analisi di Jouwkowsky del colpo d'ariete.

Procedendo da proprie indipendenti derivate delle equazioni fondamentali, Allevi pubblicò, nel 1913, un trattato matematico e grafico che è considerato il fondamento di tutti i successivi sviluppi in questo campo.

Il metodo grafico fu, in seguito, adattato all'uso pratico da Omar Shjder (1904), svizzero, e da Louis Bergeron (1878-1948), francese.

Il progresso della ricerca scientifica mai s'arresta, ma spesso nelle singole discipline e, all'interno di ciascuna di



esse, nei singoli argomenti può subire accelerazioni o rallentamenti, a volte soltanto apparenti, che possono caratterizzare interi periodi, in passato anche assai lunghi e poi, via via, sempre più brevi.

Così avvenne, almeno noi riteniamo, agli inizi del XX secolo per la scienza dei fluidi, quando al grande sviluppo delle tecniche sperimentali di laboratorio non corrispose un altrettanto progresso delle ricerche teoriche e, soprattutto, analitiche. Non sarà un ritardo patologico, ma la naturale fisiologia del processo virtuoso che accomuna, con alterne vicende, tutte le menti che lavorano alla scoperta delle infinite ed appassionanti leggi della Natura.

* * *