

Scuola Officina



MUSEO DEL PATRIMONIO INDUSTRIALE DI BOLOGNA

numero **2** 2016

LUGLIO-DICEMBRE

anno XXXV

ISSN 1723-168X
Prezzo € 5,00

**COME INSEGNARE
LA MECCANICA.
IL METODO DI
FRANCESCO MASI
ALL'UNIVERSITÀ
DI BOLOGNA
E ALL'ISTITUTO
ALDINI VALERIANI**
Pier Gabriele Molari
Marco Ceccarelli

**OPERAI ED
ARTIGIANI
BOLOGNESI
NELLA NARRATIVA
DI GIUSEPPE
RAIMONDI**
Giorgio Pedrocchi



Come insegnare la Meccanica

Il metodo di Francesco Masi all'Università di Bologna e all'Istituto Aldini Valeriani

PIER GABRIELE MOLARI, già Ordinario di Costruzione di macchine, Università di Bologna
MARCO CECCARELLI, Ordinario di Meccanica applicata alle Macchine, Università di Cassino

Gli Autori ringraziano il Museo del Patrimonio Industriale di Bologna, la Fondazione del Monte di Bologna e Ravenna e l'Università di Bologna per aver permesso la consultazione e la riproduzione dei documenti a stampa, manoscritti ed iconografici utilizzati per la stesura e la pubblicazione dell'articolo.

NOTE BIOGRAFICHE

■ Francesco Masi nasce a Guastalla, Reggio Emilia, il 28 febbraio 1852. Il padre Domenico è Ingegnere Capo della Provincia di Modena (morirà a 46 anni), la madre Cornelia Sacerdoti De Castelnovo appartiene ad un'agiata famiglia di Guastalla-Carpi. Consegue la maturità presso il Liceo "Muratori" di Modena nel 1868, la Licenza di Matematica presso l'Università di Modena nel 1873; si laurea in Ingegneria Civile nel 1875 presso la Regia Scuola di Ingegneria a Torino. Ottiene subito l'insegnamento di Fisica, Elementi di Meccanica e Geografia Fisica presso il Regio Istituto Tecnico

di Cagliari, mantenendo tuttavia la residenza a Modena, in Via Canal Chiaro 14. Nel 1877 si trasferisce a Bologna mentre si sta costituendo la Regia Scuola d'Ingegneria, dove viene inquadrato dal 1877-'78 al 1890-'91 come Assistente di Idraulica e di Meccanica applicata alle macchine. Tiene per supplenza l'insegnamento di Meccanica applicata negli a.a. 1879-'80 e 1880-'81 in sostituzione del professor Giacinto Gautero prematuramente scomparso. Consegue la libera docenza in Meccanica applicata alle macchine nel 1880. Viene dichiarato "eleggibile" nel Concorso a cattedra del 1886 bandito dal Politecnico di Torino, insieme ai candidati S. Cappa, E. Cavalli, G. Sacheri. Nel 1889 si sposa con Libertà Carducci, detta Teresa o Titti, ultimogenita del poeta e senatore. Non avrà figli.

Subentra al professor Antonio Silvani dall'a.a. 1888-'89 nell'insegnamento, per incarico, di Meccanica applicata alle macchine. Nel 1890 è "ternato" al concorso a professore ordinario per la cattedra di Napoli; vincitori: E. Cavalli, F. Masi, F. Sinigaglia. Viene chiamato come professore straordinario a Bologna nel 1890, dove risiede in Via de' Gombruti 5. Finalmente nel 1897-'98 viene nominato professore ordinario di Meccanica applicata alle macchine, cattedra che terrà fino al collocamento in pensione, avvenuto nel 1927.

Tiene dall'a.a. 1903-'04 al 1919-'20 anche l'insegnamento di Meccanica agraria presso la Regia Scuola Superiore di Agraria di Bologna e per qualche anno anche un incarico presso la facoltà di Chimica Industriale dove gli verrà consegnata una medaglia d'oro al suo pensionamento. Contemporaneamente alla docenza universitaria, all'Istituto Tecnico Aldini Valeriani del Comune di Bologna insegna Fisica dal 1877 al 1884, Meccanica, Tecnologia e Disegno dal 1886 al 1892, Idraulica negli anni 1893-'94 e 1894-'95.

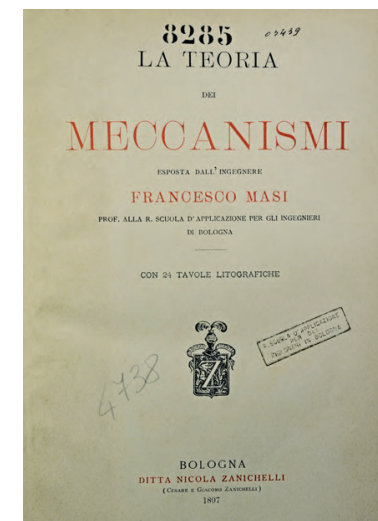
Viene nominato professore emerito con decreto del 28 agosto 1931, socio della Società di Agraria, Cavaliere della Corona d'Italia nel 1904 e Cavaliere del SS. Maurizio e Lazzaro nel 1914; Medaglia d'oro ai benemeriti della Scuola nel 1937. Nel 1882 fonda a Bologna l'Officina Meccanica e Fonderia L. Giusti & Co con sede in Via Galliera 34, della quale è anche Direttore.

Muore il 30 novembre 1944, nel periodo bellico, proprio quando il fronte passa per Bologna.



ATTIVITÀ DIDATTICA E DI RICERCA PRESSO L'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

■ La più importante area di attività di Francesco Masi, tanto in didattica come in ricerca, con esperienze applicative e professionali, è senz'altro la Teoria dei Meccanismi, che abbraccia temi teorici della Cinematica e Dinamica del corpo rigido insieme a problematiche più applicative come l'Analisi e la Sintesi dei meccanismi, con attenzione a tutte le tipologie di macchine e meccanismi (Ceccarelli, 2010). In Italia la visione di Monge, trasmessa da Bognis (1818-1821) e maturata da Giulio (1846) ha pervaso tutte le esperienze italiane, ma, come nel caso dell'opera di Francesco Masi, con contenuti di originale evoluzione (Ceccarelli, 2005). I risultati degli studi, delle ricerche e delle progettazioni di Francesco Masi sono sintetizzate brillantemente nel



le sue opere *Manuale di Cinematica Applicata* del 1883 e *La Teoria dei Meccanismi* del 1897. Tali opere sono rimaste un importante riferimento in ambito italiano, determinando un approccio alla materia tutt'ora persistente. Entrambi i testi, pur non essendo esplicitamente indirizzati per la didattica in corsi universitari, hanno un'evidente finalità per la formazione teorico-scientifica di ingegneri con elevate capacità di progetto e di gestione delle macchine. Infatti, oltre ad un sostanzioso corpo di trattazioni teoriche, entrambi i testi riportano procedure progettuali e analisi funzionali di una grande varietà di meccanismi che sono alla base della costruzione delle macchine.

La notazione di Reuleaux (1875), basata sul tipo di coppia cinematica e sulla forma degli elementi cinematici che la formano, viene ulteriormente sviluppata da Masi per una più agevole utilizzazione. Facendo permutare il corpo con-

Ritratto di Francesco Masi
Casa Carducci di Bologna,
Archivio fotografico

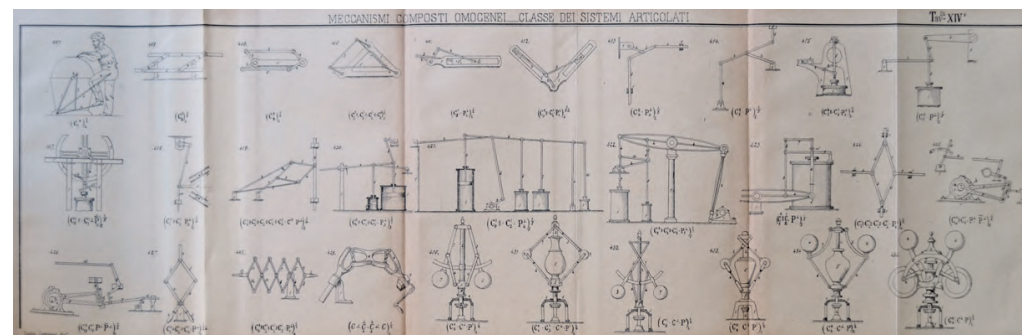
Frontespizio del volume *La Teoria dei Meccanismi* di Francesco Masi conservato nella Biblioteca di Ingegneria "G. P. Dore" di Bologna

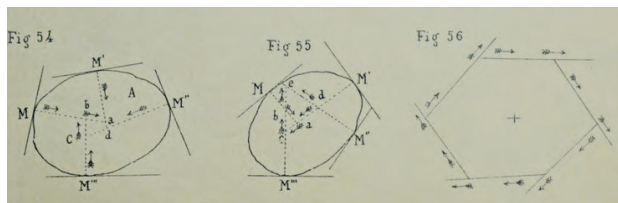
Nella pagina accanto:

Francesco Masi e la moglie Libertà Carducci nella loro residenza di Montecuccolino, sui colli bolognesi, l'1 luglio 1913

Casa Carducci di Bologna,
Archivio fotografico

Esempi di notazione e formulazione matematica, in *Teoria dei Meccanismi*





Studio di analisi statica di corpo con contatti multipli, in Francesco Masi, *Teoria dei Meccanismi*

considerato telaio ottiene la formula di nuovi meccanismi a partire dalla generatrice e, soprattutto, identifica con certezza tutte le possibilità funzionali della catena cinematica (fig. a p. 5 in basso). Il secondo dei volumi sopra citati, più consistente in contenuti e risultati, ha una evidente finalità didattica, già indicata nel titolo, ma con una valenza tecnico-professionale a forma di manuale. Il testo è corredato da numerose tabelle che riportano risultati per un'ampia panoramica di meccanismi e situazioni, secondo le varie teorie esposte anche in conseguenza di esperienze ed estensioni proprie.

Masi individua 25.200 meccanismi binari e 10.362.600 meccanismi quaternari, ben oltre le attuali valutazioni con sistemi esperti informatici! La visione enciclopedica riportata nella descrizione specifica dei vari tipi di meccanismi, catalogati in categorie e classi, completa il suo lavoro, tanto nel trattato del 1883 come nel compendio didattico del 1897. L'approccio è meglio chiarito dagli esempi che seguono nei vari capitoli, relativi a soluzioni sia tradizionali sia innovative.

Nello studio teorico dell'effetto del numero e della tipologia dei contatti piani sulla stabilità di posizionamento di un corpo (fig. a p. 6 in alto), si possono facilmente riconoscere le implicazioni per la progettazione e la gestione della presa con organi meccanici, così d'attualità, con condizioni di equilibrio statico e dinamico

oggi formulate per le mani artificiali di tipo robotico. La condizione di stabilità è determinata dalla direzione delle forze di contatto che identificano un poligono ancora oggi utilizzato in procedimenti computerizzati.

Nel lavoro *Proprietà della curva di Watt* Masi ricerca una procedura grafica per il tracciamento delle traiettorie dei punti di biella per progettare, in modo approssimato, una guida rettilinea. Utilizzando le proprietà grafiche può dimostrare il sesto grado della curva di biella ed anche valutare il grado di errore dalla retta di progetto (fig. a p. 6 in basso).

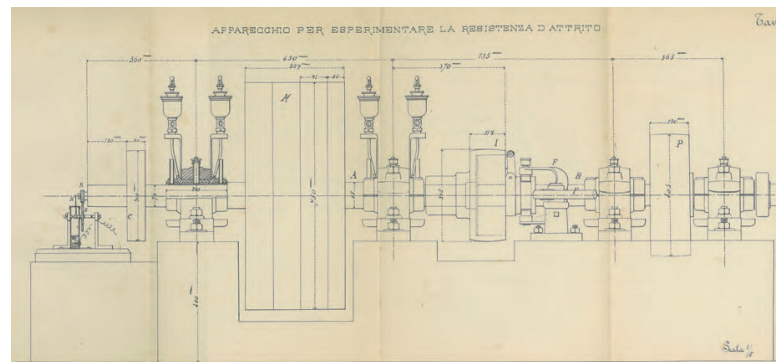
L'interesse di Masi sull'attrito è strettamente legato allo sviluppo e alla progettazione di macchine più efficienti. Ottiene risultati di grande rilievo che possono essere considerati il fondamento della moderna Lubrificazione e Tribologia con sviluppi tutti italiani. Tali risultati, pubblicati in due opuscoli, nel 1897, sono redatti con caratteristiche complementari. *Esperienze d'Attrito* riporta i primi risultati di attività sperimentali per la determinazione dei parametri di attrito su perni, al variare del carico e del mezzo di sostentamento impiegato, il secondo, *Le nuove vedute...*, è più ampio e riporta lo stato dell'arte del settore discutendo le espressioni più usate e la loro verifica sperimentale sui dati ottenuti da Morin, Hirn, Kinkhewer, Thurston e da Petrov.

I risultati sperimentali sono ottenuti su di una macchina, espressamente costruita dalla Calzoni di Bologna, che consiste in un albero sostenuto da due cuscini lubrificati, sul quale possono essere calettate varie masse. L'albero viene portato ad una certa velocità e quindi rilasciato. I dati richiedono una notevole rielaborazione perché ottenuti a velocità non costante. Masi misura il tempo e gli angoli spazzati nel transitorio d'arresto. Per ricavare questi dati, e calcolare quindi la derivata della velocità angolare, impiega una particolare attrezzatura. Le prove sono tanto numerose che Masi sente il dovere di ringraziare il Preside J. Benetti per aver permesso che queste esperienze venissero inserite nelle esercitazioni per gli studenti.

La sperimentazione fu eseguita su tre differenti oli: olio minerale per motori a gas, olio per bocche ferroviarie, "olio minerale scuro". I risultati sono ottenuti a diverse temperature e a diversi carichi sui perni.

Il testo di *Meccanica Agraria* del 1926 riporta le lezioni tenute da Francesco Masi presso il Regio Istituto di Agraria di Bologna sin dal 1903 e fino al suo collocamento in pensione nel 1927. Egli stesso lo cita, in una nota bibliografica, ma gli Autori non hanno trovato nessun esemplare stampato. Sono però conservati presso la Fondazione del Monte di Bologna e Ravenna gli appunti originali con il titolo *Principi di Meccanica Agraria*. Rimane inoltre una dispensa ciclostilata – con il nome del professore errato: Vincenzo anziché Francesco Masi – senza data, *Appunti di Meccanica Agraria e Topografia* raccolti da due studenti, Perdisa e Fabbri, che si basa su gran parte degli appunti citati, comprese le figure e le correzioni.

Il testo illustra in modo particolarmente semplice, ma rigoroso, i principi fondamentali della meccanica delle macchine e del terreno. Particolare spazio viene dato alle unità di misura, quasi raccontate con esempi ap-



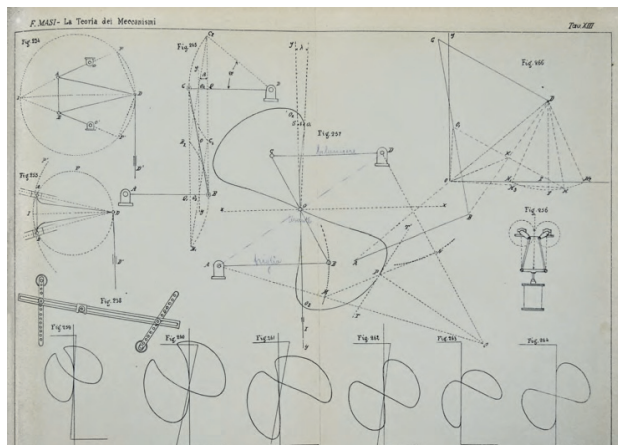
plicativi. Le forze, il lavoro, la potenza, le forze vive, la forza d'inerzia, la forza centrifuga, l'attrito e i modi per renderlo minimo sono alcuni dei punti trattati; segue poi una classificazione delle macchine agricole motrici ed operatrici. Vengono studiati in modo diffuso, con introduzioni storiche, l'aratro e le interazioni con il terreno; su questo attrezzo Masi introduce lo studio scrivendo: "Poco si sa sull'aratro e quel poco è da pochi conosciuto" (foglio 113). Il libro termina poi con lo studio del trattore, della seminatrice, della falciatrice, del trebbiatore, sempre analizzando le forze che si sviluppano con esempi numerici e con la valutazione del lavoro prodotto.

L'INSEGNAMENTO ALL'ISTITUTO ALDINI VALERIANI DI BOLOGNA

■ Francesco Masi svolge un'intensa attività didattica, con finalità sempre applicative, già dal suo primo incarico di insegnamento presso l'Istituto Tecnico di Cagliari, rivolgendosi contemporaneamente alla formazione di ingegneri all'Università e di periti negli Istituti Tecnici. Presso l'Istituto Tecnico Aldini Valeriani di Bologna, dove insegna fino all'anno 1906, dedica grande interesse alla Costruzione di Macchine tramite il Disegno Tecnico. Insegna partendo dall'osservazione diretta dei fenomeni fisici e costruendo attrezzature ad hoc che presenta alle Esposizioni Universale di Anversa del 1885 ed Emiliana di Bologna del 1888. Raccoglie le immagini di queste attrezzature in due album, *Esperienze meccaniche e Saggio del Metodo Sperimentale ... nell'insegnamento della Meccanica*. È infatti convinto che agli allievi dell'Istituto Tecnico non debbano essere insegnate queste materie attraverso modelli matematici e formule astratte ma attraverso l'osservazione diretta dei fenomeni fisici sui quali si basa la meccanica, quali l'equilibrio fra forze, le traiettorie dei proietti e la dinamica dei corpi rotanti. Per la parte più applicativa parte dall'osservazione delle macchine, passa attraverso l'analisi degli elementi delle macchine, visti mediante la finestra del "modulo", per arrivare alla progettazione

Disegno dell'attrezzatura progettata da Masi e costruita dalla ditta Calzoni di Bologna per le esperienze sull'attrito, in Francesco Masi, *Esperienze sull'attrito*

Schemi cinematici per lo studio del parallelogramma di Watt, in Francesco Masi, *Teoria dei Meccanismi*



A sinistra, frontespizio degli appunti manoscritti poi utilizzati da Francesco Masi per il testo di *Meccanica Agraria*

Biblioteca della Fondazione del Monte di Bologna e Ravenna, Fondo Santi, Carte Masi

A destra, dispensa per gli studenti il cui testo ricalca in gran parte gli appunti di Francesco Masi, *Principi di Meccanica Agraria*

Biblioteca della Facoltà di Agraria di Bologna



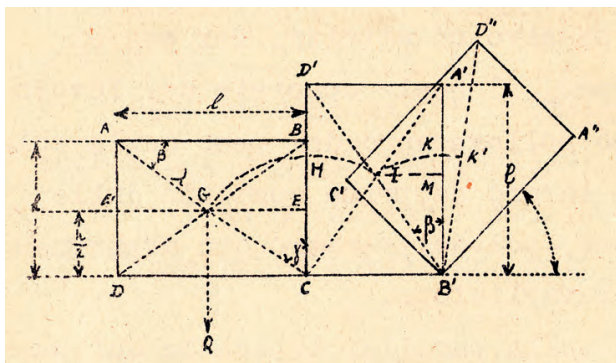
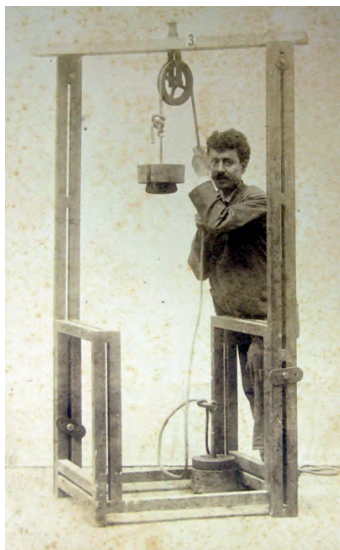


Figura che riguarda il lavoro di rivolgimento della zolla, in Francesco Masi, *Lezioni di Meccanica Agraria* ...

Foto dall'Album di esperienze meccaniche del prof. Ing. Francesco Masi conservato nell'Archivio fotografico del Museo del Patrimonio Industriale.

A sinistra: "Dinamica. L'inerzia è una forza, principio del maglio". A destra: "Dinamica. La curva descritta da un grave proietto è una parabola"



dell'album *Saggio del Metodo Sperimentale*... chiarisce il suo pensiero sull'insegnamento nelle scuole tecniche: "Per lo scopo che ha l'Istituto Aldini-Valeriani di Bologna di istruire giovani che si dedicano alle arti e ai mestieri, parmi che il miglior metodo di adottarsi nell'insegnamento della Meccanica in questa Scuola, anziché il rigoroso e scientifico, sia il pratico e sperimentale. Le dimostrazioni rigorose, anche elementari, richiedono certe cognizioni matematiche che non si possono pretendere dall'operaio e di cui gli allievi dell'Istituto Aldini non sono sufficientemente preparati, perciò distruggono ed affaticano chi non è coscientemente preparato

e gli fanno perdere di vista la parte più importante e cioè il principio a cui mirano. Parlando invece agli occhi per mezzo di un esperimento, illustrato con esempi ed applicazioni, meglio e più efficacemente si raggiunge il fine di infondere chiaramente e con sicurezza i principi della Meccanica anche se sono di qualche elevatezza. Questo Atlante di dodici tavole fotografiche porge un saggio del metodo sperimentale da me seguito nell'insegnamento della Meccanica all'Istituto Aldini-Valeriani: ed è stato pubblicato in occasione dell'Esposizione tenutasi in Bologna nel 1888".

Concetti che ripete nell'introduzione del *Corso di disegno degli organi delle macchine* ... con applicazione ad una locomobile di 10 cavalli. Eccone alcuni passi che ci permettono di comprendere l'attualità del suo insegnamento e la sua opera di semplificazione e di standardizzazione (Ceccarelli, Cigola, 2009).

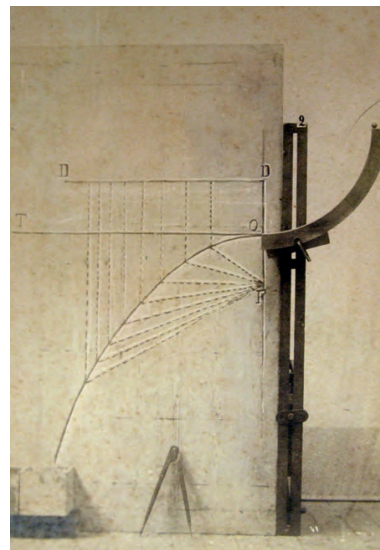
"In questo lavoro è mio intendimento di porgere, particolarmente agli allievi delle scuole industriali, una

guida al disegno di macchine, indirizzandoli secondo quel metodo pratico e razionale che viene seguito nelle officine. A tale scopo sono raccolti in 60 tavole i principali organi delle macchine, e vi sono rappresentati con quel numero di proiezioni e sezioni necessarie per costruirli. (...) È dunque della massima importanza mettere le quote nei disegni; anzi bisognerà porre ogni studio sia per scegliere le più importanti, sia ancora per disporle con ordine e chiarezza in modo che siano facilmente lette.

La parte artistica nel nostro disegno è affatto accessoria; perciò sono omesse le ombre e le tinte, e solamente per distinguere i materiali, onde sono formate le diverse parti degli organi, si è fatto uso di un tratteggio convenzionale per le sezioni; e perché i disegni non siano affatto disadorni, sono tracciati i chiaroscuri o tratti di forza

Quanto al modo di eseguire bene e facilmente un disegno, poche regole si possono dare: innanzi tutto sarà necessario avere una chiara idea di ciò che si vuole disegnare; bisognerà che tutte le linee delle proiezioni e sezioni si corrispondano; non saranno mai abbastanza raccomandate l'esattezza e la cura; e molto varranno il lungo esercizio ed il grande amore".

La locomobile da 10 cavalli è un lucido esempio per insegnare agli allievi il modo nel quale progettare una macchina partendo da pochi dati iniziali e dalla conoscenza di una macchina già costruita. Fra le sue carte conservate presso la Fondazione del Monte di Bologna e Ravenna si trova il pieghevole *Crespin & Marteau*, 1875. *Locomobiles économiques* dal quale si ispira per i disegni della locomobile presenti nel volume.



Non c'è tuttavia da meravigliarsi come il metodo didattico, espressamente rivolto agli studenti e alla professione, sia stato in gran parte minimizzato dagli studenti universitari, tanto che i suoi allievi dopo 50 anni di laurea lo ricordano in questo modo:

"Fra i nostri docenti FRANCESCO MASI. Noi con oltre cinquant'anni di laurea ricordiamo il prof. Francesco Masi, detto irriverentemente Bullone, docente di Meccanica applicata alle Macchine, o di "macchinette" in contrapposizione al più difficile esame di Macchine termiche o Macchine per antonomasia ..." (A.N., 1977).

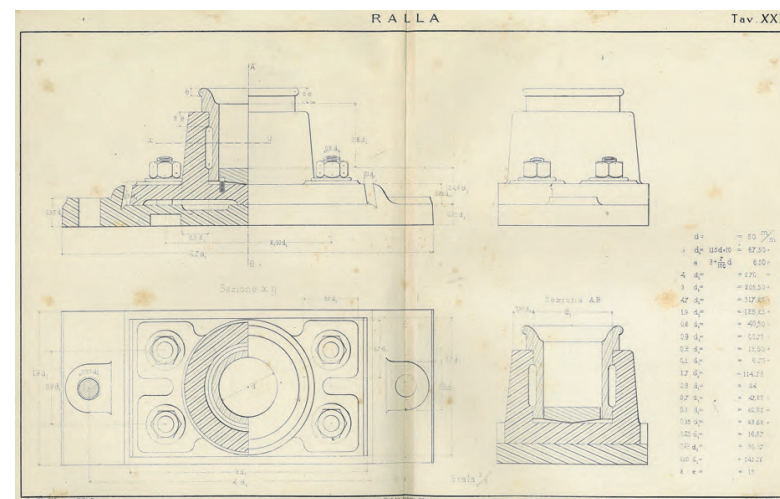
Masi commemorò il professor Antonio Silvani alla Società agraria di Bologna nell'adunanza del 13 dicembre 1929. Questo scritto è particolarmente significativo perché mette in luce le peculiarità del carattere e della figura professionale di Silvani "che - scrive Masi - mi fu maestro e predecessore nella Cattedra di Meccanica applicata alle Macchine"; e più avanti, quasi per confermare la continuità con il suo lavoro: "fece parte del Consiglio di Amministrazione dell'Istituto Aldini Valeriani per le arti e mestieri".

Queste caratteristiche sembrano confondersi con le sue stesse e con i punti più importanti della sua vita: "Figura preclara per virtù di mente e di cuore, scienziato vero e modestissimo, dotto e versato in molte branche dell'ingegneria e delle matematiche, insegnante valoroso e chiarissimo, lavoratore indefesso e disinteressato, nobile nell'animo come nell'aspetto (...) nutrito di severi studi in questo importantissimo ramo della tecnica, in possesso di più lingue estere, abbandonati i vecchi programmi, diede al suo corso un indirizzo affatto moderno, seguendo le nuove vedute nelle ricerche teoriche e sperimentali della meccanica delle macchine".

Sulla vita di Silvani mette in evidenza una particolarità:



"...ma per desiderio di perfezionarsi nella Meccanica Pratica, nel 1864 frequentò un corso speciale al Valentino di Torino; compiuto il quale su consiglio di Quintino Sella e dell'ing. Sommeiller, nello stesso anno si recò in Belgio a Seraign presso il grande stabilimento metallurgico I Cockerill, ove lavorando manualmente come operaio, passò per tutti i reparti della fabbrica, successivamente dal falegname e modellatore, all'aggiustatore e disegnatore di macchine ..." (Masi, 1930).

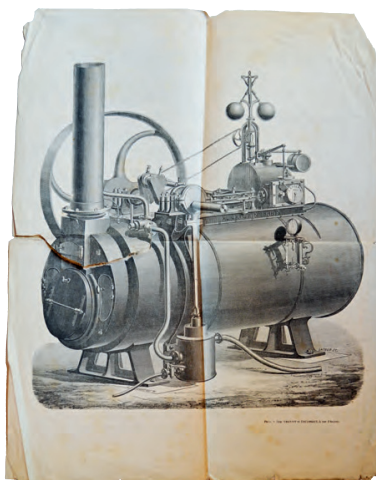


Frontespizio del volume *Corso di disegno degli organi delle macchine* di Francesco Masi conservato nella Biblioteca del Museo del Patrimonio Industriale

Tavola che riporta un esempio di ralla con le sue dimensioni rapportate al diametro dell'albero da sostenere, preso come modulo. In Francesco Masi, *Corso di Disegno degli organi delle macchine*

Disegno di una locomobile da 10 cavalli nel pieghevole della Ditta Crespin & Marteau di Parigi, *Locomobiles économiques*, 1875, appartenuto a Francesco Masi

Biblioteca della Fondazione del Monte di Bologna e Ravenna, Fondo Santi, Carte Masi



CONCLUSIONI

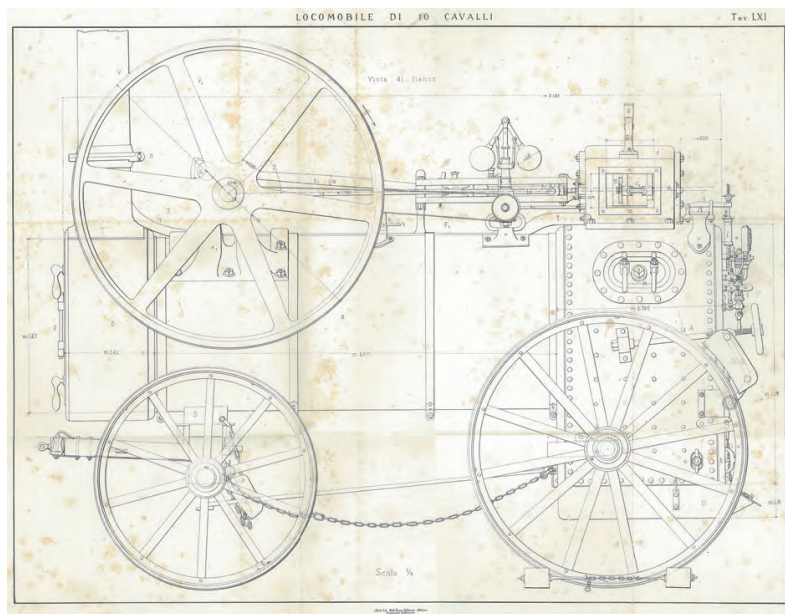
■ L'opera di Francesco Masi è stata, sulla scia della scuola del Politecnico di Torino e del Reuleaux, ma anche

nella scia applicativa dei suoi predecessori nella cattedra di Meccanica applicata all'Università di Bologna come Filopanti (Molari, 2012) e Silvani (Masi, Antonio Silvani...), pionieristica nella ricerca di contributi industrialmente utili per la progettazione delle macchine: nella scelta dei meccanismi più adatti ad eseguire particolari movimenti, nella ricerca dell'efficienza delle macchine riducendo le perdite per attrito e in particolare nell'insegnamento attivo della meccanica negli Istituti tecnici. Questa opera, in seguito, ha sicuramente permesso all'industria bolognese di raggiungere gli alti livelli dei quali ora gode. All'Università, gli studi di Masi hanno influito sulla formazione in Italia, all'interno della Meccanica applicata alle macchine, di quel senso pratico che spesso mancava, dando origine anche nel nostro paese, partendo dal disegno degli organi delle macchine, allo studio sistematico di essi e quindi a quella che sarà poi la Costruzione delle Macchine. La memoria della persona di Francesco Masi è ancora persistente presso la comunità accademica di Bologna ed è stata recentemente ricordata nel contesto dell'impegno didattico degli allievi ingegneri di quegli anni (Meneghetti, 2016). Una borsa di dottorato a lui intitolata viene erogata dall'Università su fondi ricavati dal suo cospicuo lascito. Nel terreno adiacente alla Villa Masi di Montecuccolino sui colli Bolognesi – facente parte del lascito ed ora alienata – vi è un edificio a lui intitolato, già sede di un Centro studi per l'energia nucleare ed ora dell'indirizzo di Fisica Tecnica del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Bologna.

HOW TEACHING MECHANICS. THE METHOD OF FRANCESCO MASI

Between the XIX and XX century Francesco Masi taught Applied Mechanics at Bologna University and at the Aldini Valeriani Technical Institute, the most prestigious in town. His peculiar method of teaching was based upon the experimentation in order to fix in mind the fundamental concepts of Mechanics. This method has marked the way of teaching Applied Mechanics for a very long time and it was very useful for the students.

Tavola di rappresentazione grafica di un progetto di locomobile a vapore, in Francesco Masi, *Corso di Disegno degli organi delle macchine*



OPERE DI FRANCESCO MASI

I titoli della prima parte fanno riferimento ad un elenco nella sua cartella giacente nell'Archivio del Personale dell'Università di Bologna, compilato, verosimilmente da Masi stesso, il 7 maggio 1927, data del suo pensionamento.

Il ponte sul Panaro presso Vignola, Toschi, Modena, 1875

Il Canepificio della Canonica presso Bologna, in "Il politecnico. Giornale dell'ingegnere architetto civile ed industriale", 1880, pp. 644-657

Dei giunti derivati dal quadrilatero sferico, Gamberini e Parmeggiani, Bologna, 1880 (*)

L'irrigazione nel Modenese ed il canale Masi, estratto dal "Campagnolo", Società tip. dei compositori, Bologna, 1882 (*)

Manuale di Cinematica applicata. Nuova classificazione dei meccanismi, Zanichelli, Bologna, 1883

Sulla determinazione della luce libera dei ponti, Tip. Fava e Garagnani, Bologna, 1885 (*)

Dell'uso dei molli nella difesa delle corrosioni, Tip. Fava e Garagnani, Bologna, 1885

Alcune proprietà della curva di Watt, Bologna, Zanichelli Bologna, 1890 (*)

Lezioni di Idraulica date alla R. Scuola d'Ingegneria di Bologna, 1893

Saggio sperimentale seguito dall'ing. Francesco Masi nell'insegnamento della Meccanica all'Istituto Aldini-Valeriani per le Arti e Mestieri, [Bologna], 1890 (*)

Trattato generale teorico-pratico dell'arte dell'ingegnere civile [Collaborazione all], industriale ed architetto, Vallardi, Milano, 1890-segg.

Corso di disegno degli organi delle macchine per uso delle scuole industriali con applicazione ad una locomobile di 10 cavalli, Vallardi, Milano, 1891 (*)

Studio della vena contratta mediante le proiezioni luminose, Tip. e Lit. degli ingegneri, Milano, 1895

La teoria dei Meccanismi, Zanichelli, Bologna, 1897

Esperienze sull'attrito, Zanichelli, Bologna, 1897 (Rist. an. Kessinger Publishing, Whitefish, 2010) (*)

Le nuove vedute nelle ricerche teoriche ed sperimentali sull'attrito, Zanichelli, Bologna, 1897 (Rist. an. Kessinger Publishing, Whitefish, 2010) (*)

Cinematica dei Meccanismi e Cinetica delle Macchine, 1920

Aratro riportatore per collina [Brevetto], 1920

Principi di Meccanica Agraria, appunti manoscritti, s.d. (**)

Lezioni di Meccanica Agraria all'Istituto Superiore Agrario di Bologna, 1926

ALTRI LAVORI

Album di esperienze meccaniche del prof. Ing. Francesco Masi, [Bologna], 1885 (*)

Schizzi di meccanismi copiati dal vero Sotto la direzione del prof. Francesco Masi, Aldini Valeriani anno, s.d. (*)

Corso di Disegno di macchine del prof Francesco Masi, Aldini Valeriani, 1887 (*)

Saggio sperimentale seguito dall'ing. Francesco Masi nell'insegnamento della Meccanica all'Istituto Aldini-Valeriani per le Arti e Mestieri, [Bologna], 1888 (*)

Antonio Silvani. Commemorazione letta alla Società Agraria di Bologna nell'adunanza del 13 dicembre 1929, Tip. Cuppini, Bologna, 1930

Nuovo sistema di aratura in collina. L'aratura a dentiera e l'aratro riportatore, Cuppini, Bologna 1931 (anche in "Annali della Società agraria di Bologna", 1931, Vol. 59, p. 61-74 e in *Rapports. Congres International de Génie Rural*, Impr. Duculot, Liegi, 1930)

Immagini scientifiche nella Divina Commedia, Manoscritto inedito in 33 capitoli, 1943 (**)

(*) Biblioteca e Archivio del Museo del Patrimonio Industriale di Bologna

(**) Biblioteca della Fondazione del Monte di Bologna e Ravenna, fondo Santi, Carte Masi

BIBLIOGRAFIA

A.N., 1977, *Francesco Masi*, in "Notiziario Associazione Laureati della Facoltà di Ingegneria di Bologna", n. 56, p. 5

Borgnis G.A., 1818-1821, *Traité complet de mecanique appliquee aux Arts*, Bachelier, Paris, 9 Volumes

Ceccarelli M., 2005, *Work and influence of Francesco Masi in Italy at the end of 19-th century*, Proc. of 3rd Int. Workshop on History of Machines and Mechanisms, Moscow, pp. 34-47

Ceccarelli M., Cigola M., 2009, *Descriptive Geometry and the Theory of Mechanisms in nineteenth century Italian engineering: similarities and interrelationship*, in "Disegnare", Vol. XX, n. 39, pp. 12-25

Ceccarelli M., 2010, *Francesco Masi (1852-1944)*, in *Distinguished Figures in Mechanism and Machine Science. Their Contributions and Legacies*, Part 2, Vol. 7, Springer, Dordrecht, pp.141-162

Giulio C.I., 1846, *Sunti delle Lezioni di Meccanica applicata alle arti*, Tipografia Pomba, Torino

Guzzoni A. L., Maraldi M., Molari P. G., 2012, *Review: A historical review of the modulus concept and its relevance to mechanical engineering design today*, Mechanism and Machine Theory 50 pp.1-14

Meneghetti U., 2016, *La didattica ai tempi di Masi*, presentazione alla X giornata "Ettore Funaioli", Bologna, 16 luglio 2016

Molari P. G., 2012, *Quirico Filopanti professore di meccanica applicata e il Corso di Meccanica applicata da lui tenuto nell'Università di Bologna dal 1848 al 1850 e dal 1862 al 1864*, in Mesini E., Mirri D. (a cura di), *Scienza e tecnica nel Settecento e nell'Ottocento. La rivoluzione industriale vista dagli ingegneri*, Facoltà di Ingegneria, Bologna

Perdisa L., Fabbri A., s.d., *Appunti di Meccanica Agraria e Topografia secondo le lezioni di Chiar.mo Prof. Vincenzo Masi*, 21 fascicoli, Grafolito, Bologna

Reuleaux F., 1875, *Theoretische Kinematic*, Braunschweig

Reuleaux F., 1875, *Le Constructeur*, Savy, Paris