

Insegnare la progettazione meccanica

Nell'impostare la formazione universitaria dei futuri ingegneri si incontrano varie difficoltà. In primo luogo vi è un contrasto tra l'aumento delle conoscenze da trasmettere ed il tempo e le risorse disponibili per farlo. Essendo impossibile fornire, in tempi ragionevoli, una approfondita preparazione ad ampio spettro, le Facoltà hanno via via differenziato i corsi di studio, anche con il rischio di farne proliferare eccessivamente il numero. Per ciò che riguarda il nostro punto di vista, che è quello della formazione degli allievi quali futuri progettisti a livello di sistema, tale parcellizzazione delle conoscenze di Ingegneria non è priva di inconvenienti. Il numero di esami e l'impegno richiesto all'inizio del percorso formativo sono stati ridotti tramite la riforma dell'Università, nota con la sigla "3 + 2" (vedi riquadro). Ciò ha comportato, dal nostro punto di vista, sia vantaggi che svantaggi. Da un lato è stato possibile orientare meglio la didattica. Ad esempio, in alcuni atenei all'insegnamento generale di Scienza delle costruzioni è stato sostituito quello di Tecnica delle costruzioni meccaniche⁽²⁾, mirato alle esigenze della progettazione e costruzione di macchine. È invece svantaggiosa sia la più sommaria preparazione nelle materie di base, sia la ristrettezza del tempo disponibile nel triennio. La riduzione complessiva del numero di materie ha inoltre fatto sparire vari insegnamenti di carattere applicativo progettuale (esempio: Progetto di macchine di sollevamento e trasporto).

(2) Si noti che le denominazioni dello stesso tipo di insegnamento possono essere diverse presso i vari atenei.

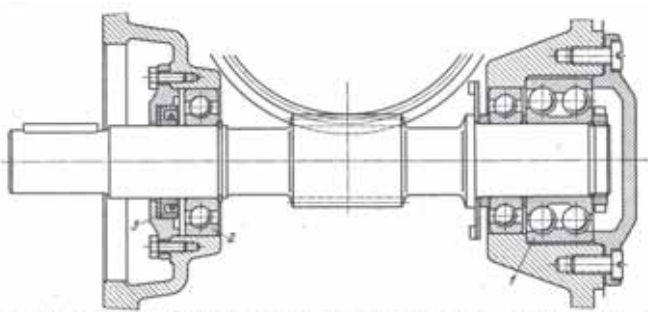
L'attuale ordinamento degli studi universitari prevede un triennio iniziale (corso di laurea), nel corso del quale si può acquisire una preparazione sufficiente all'esercizio della professione. Un successivo biennio permette di compiere studi maggiormente approfonditi (corso di laurea specialistica o magistrale). Attualmente la maggior parte degli studenti italiani in ingegneria si iscrive — dopo aver conseguito la laurea triennale — anche a questo secondo corso di studio. Vi è infine un terzo e ulteriore corso di studi, quello di dottorato di ricerca di durata triennale, che riguarda solo piccoli numeri di allievi.

Negli ultimi decenni i modi di progettare sono mutati radicalmente.

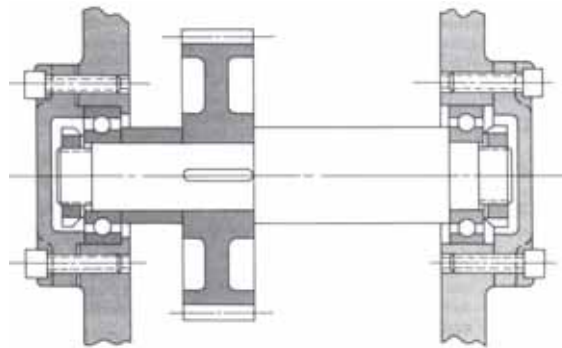
Significativi cambiamenti sono anche avvenuti nel mondo dell'Università. Presso vari atenei, in particolare laddove ci si richiama all'insegnamento di Lucio Lazzarino⁽¹⁾, la progettazione continua tuttavia a essere uno strumento essenziale per la formazione.

Alcuni esempi, le difficoltà incontrate, i meriti e i limiti di questo approccio

(1) Lucio Lazzarino (21.2.1913 † 1.6.1998) fu progettista aeronautico, studioso e docente universitario di grande prestigio ed efficacia; si vedano le *Lezioni di Costruzione di macchine* di Lucio Lazzarino ed. Plus, Pisa 2005.



BHM 14/0. Einzelbeispiel. Lagerung einer Schneckenwelle, 1 Festlager, 2 Loslager, 3 Abdichtung. Innenring



1. Illustrazioni tratte da due noti testi di Costruzione di macchine, il primo dei quali (a) risalente agli anni '50.

Gli allievi e i docenti

Gli allievi giungono all'Università spesso con carenze di preparazione, rilevate anche dai test di ingresso⁽³⁾. Anche per tale motivo la didattica universitaria si è modificata, tramite corsi di ambientamento ("precorsi"), prove di verifica intermedie, creazione di strutture di supporto⁽⁴⁾, ricorso a collaudati testi di studio "di primo livello". Dal punto di vista della progettazione questa ultima scelta non si rivela sempre positiva (figura 1).

Per quanto riguarda la vocazione e la preparazione pratica iniziale dei giovani, vi sono ulteriori problemi. Infatti, il design, inteso spesso come creazione di forme accattivanti (esempio: di carrozzeria), riceve ovunque più attenzione degli aspetti progettuali tecnici. Inoltre, l'immagine dei settori maturi della tecnica, tra cui la meccanica, è offuscata dai progressi nei settori più recenti. Pertanto, se in passato era facile trovare, tra gli studenti di Ingegneria, coloro che tentavano di costruirsi un go-cart o di "truccare" un motore a scoppio, oggi ciò è relativamente raro. Le conseguenti lacune di conoscenza pratica sono colmabili con difficoltà presso l'università italiana, dove i laboratori didattici

sono penalizzati dalle difficoltà economiche e dal progressivo ridursi, senza rimpiazzi, del numero di quei tecnici di laboratorio e di officina, che erano anche fonti preziose di ammaestramenti. Si noti che per le stesse ragioni, gli apporti didattici di professionisti o di tecnici dell'Industria sono per lo più assai limitati⁽⁵⁾.

Occorre infine considerare il corpo docente. Nel corso degli anni, si è indubbiamente creato un crescente divario tra la figura dell'ingegnere che opera nell'industria o nella professione e quella dell'ingegnere che opera presso l'università.

Paradossalmente, ciò si spiega, almeno in parte, con il ricorso a criteri di selezione ispirati agli standard internazionali. Almeno per ciò che riguarda le Facoltà scientifiche e tecniche l'imperativo è: *publish or perish!* I giovani docenti ed aspiranti tali sono perciò tenuti a pubblicare spesso ed a fare ciò su riviste internazionali, di carattere specialistico ed estremamente selettive⁽⁶⁾. Per questa ragione la ricerca universitaria, anche in Ingegneria, si è sempre più orientata verso indirizzi considerati validi a livello internazionale. Infatti, la presenza di autori italiani sulle riviste

di prestigio è cresciuta⁽⁷⁾. Ne consegue tuttavia che, anche nell'approccio didattico, gli aspetti teorici, di modellazione o di simulazione tendono a prevalere sugli aspetti pratici della professione di ingegnere. Gli allievi, a loro volta, sono spesso portati a considerare le capacità di calcolo e di analisi tramite l'elaboratore quali l'essenza stessa della propria professionalità. Vi è perciò il concreto rischio di non coltivare adeguatamente la capacità di sintesi degli allievi, dote essenziale per la progettazione.

Nonostante le limitazioni e le difficoltà sopra delineate, le Università devono continuare a fornire una preparazione adeguata anche nel campo della progettazione. Nel seguito si indica l'approccio generalmente seguito ed alcune specifiche iniziative didattiche adottate in varie sedi, tra cui l'Università di Pisa.

Progettare come esercizio

Nel corso degli studi per la laurea triennale sono previsti vari passi per avvicinare gli allievi alla progettazione meccanica. Si inizia, al primo anno, con l'insegnamento di Disegno, dove sono introdotti gli elementi di macchina più comuni e si apprende ad usare software CAD (esempio: ProEngineer). Nell'anno seguente, specie tramite la Meccanica applicata alle macchine e la Tecnica delle costruzioni meccaniche⁽²⁾, si impara ad effettuare corrette analisi di meccanismi e di strutture, rappresentati per mezzo di semplici

(3) Si veda: <http://www.cisiaonline.it/>

(4) Si veda ad esempio:

<http://coordinamento.ing.unipi.it>

(5) E. Manfredi, P. Salvini: "Indagine sulla didattica universitaria nel Settore scientifico disciplinare Progettazione meccanica e costruzione di macchine", Giornata di studio presso la Università di Roma III, 11.6.2007.

(6) Si veda: www.isiknowledge.com

(7) La percentuale di citazioni

di lavori italiani sulle riviste

scientifiche più importanti

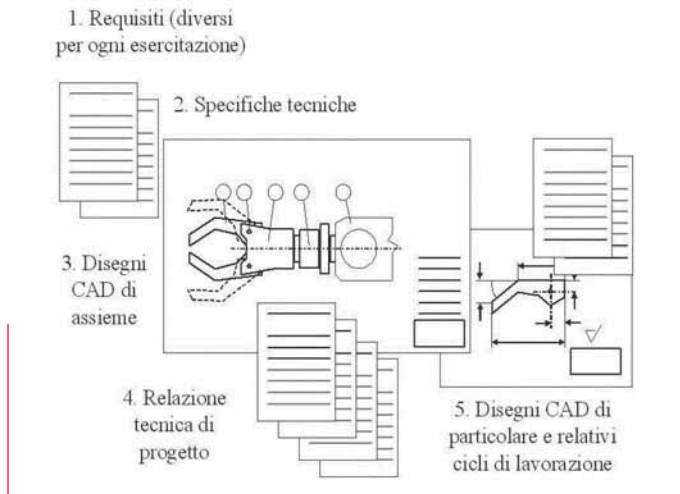
è passata da circa il 2% nel 1992

a circa il 3,5%

nel 2005 (Università notizie,

n. 2, 2008, pag. 12).

2. Schema della esercitazione di progetto.

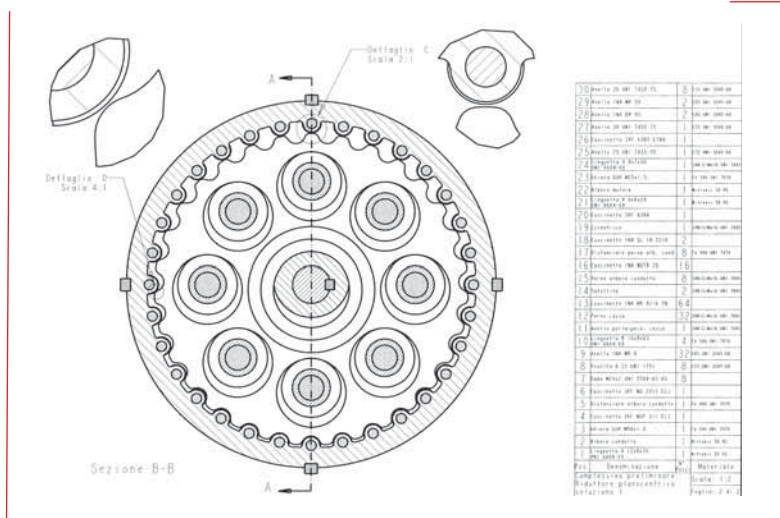


schemi. Un ulteriore passo consiste nell'aprendere a ricondurre la realtà a schemi idonei per l'analisi. Questo è infatti uno degli obiettivi dell'insegnamento di Elementi costruttivi delle macchine⁽²⁾. I disegni di assieme, usati per questo e per altri scopi, possono inoltre fornire validi esempi di "buona meccanica". È infine possibile introdurre gli allievi all'uso di software per il calcolo strutturale (esempio: Ansys), lasciando a un successivo insegnamento di progettazione assistita dall'elaboratore⁽²⁾ l'eventuale approfondimento della materia.

In vari casi gli studi di laurea triennale in Ingegneria si concludono con un tirocinio presso un'azienda, tuttavia solo alcuni degli allievi vi trovano l'occasione per partecipare ad attività di progettazione. Una approfondita esperienza di progettazione è, per molti di essi, rimandata al biennio finale degli studi universitari. In particolare, nell'ambito dell'insegnamento di costruzione di macchine, presso varie sedi le esercitazioni coincidono con l'esecuzione di un progetto meccanico, tipicamente svolto da gruppi di 2-4 allievi secondo l'impostazione riassunta in figura 2. Si tratta di una esercitazione lunga e impegnativa, sia per gli allievi che per i docenti, in quanto richiede di attraversare - sia pure con finalità didattiche - le fasi di elaborazione delle specifiche e quelle di progettazione concettuale, costruttiva concreta e - almeno in parte - produttiva. Questo tipo di esercitazione, che prevede svariate revisioni progettuali, termina con la stesura di un fascicolo tecnico, comprendente la specifica (cir-

ca 10 pagine), la relazione tecnica di progetto (circa 100 pagine), i disegni di assieme (figura 3) e quelli di alcuni particolari, unitamente a uno studio preliminare circa la fattibilità tecnologica (Dfma). È inoltre richiesto di utilizzare, a un livello relativamente avanzato, moderni strumenti software di progettazione e di eseguire alcune valutazioni affidabilistiche (Fmeca, Fta). In alcuni casi i temi di progetto sono scelti in collaborazione con l'industria oppure rientrano tra gli obiettivi di Tesi di Laurea specialistica (figure 4 e 5).

In alternativa, è possibile ricorrere alla pratica dello smontaggio e del rilievo dal vero di un componente meccanico, quale punto di



3. Esempio di disegno di assieme di un riduttore cicloidale ideato e sviluppato nel corso di una esercitazione (cortesia: A. Cini, R. Del Duca e V. Peselli, a.a. 2003).

inizio per uno studio di reverse engineering orientato a ricostruirne la documentazione tecnica, sotto forma sia di disegni CAD (figura 6) sia di relazione di calcolo. Il punto di arrivo è la redazione di una specifica tecnica compatibile sia con i risultati dell'ana-



4. Progetto per una automobile da competizione formula SAE o Student.



5. Studenti dell'Università di Pisa attorno all'auto formula SAE da essi realizzata.



6. Esercitazione di reverse engineering: unità pick up

del disco rigido del computer Digital PDP 11: fotografia (a) e disegno CAD3D (b) (cortesia: M. De Tata e E. Dini, a.a. 2005).

lisi che con il tipo d'impiego, assunto ai fini dell'esercitazione o noto per altra via. In queste esercitazioni, che comportano anche attività manuali, non sono trascurati gli aspetti di impostazione concettuale del progetto se, ad esempio, si analizzano anche soluzioni alternative a quelle rilevate dal vero.

È doveroso infine ricordare che in vari altri insegnamenti, quali costruzione di autoveicoli, costruzione di apparecchiature chimiche, costruzioni aeronautiche e così via, si perseguono analoghe finalità, anche tramite lo strumento dell'esercitazione di progetto.

(8) Si veda ad esempio: R. Nordmann, H. Birkhofer *Elementi di macchine e mecatronica: la progettazione dei sistemi tecnici*, McGraw Hill, 2004.

Conclusioni

La pratica della progettazione concorre in modo determinante alla formazione di un ingegnere. Indagini svolte presso neolaureati in ingegneria meccanica od aerospaziale dimostrano che essi considerano da "importante" a "molto importante" l'esperienza di progettazione svolta durante i loro studi, a prescindere dai ruoli lavorativi successivamente ricoperti.

Questo tipo di didattica ha una ricaduta utile anche sui docenti, in quanto li costringe ad approfondire vari problemi, anche pratici, che emergono nel corso delle esercitazioni.

Negli ultimi decenni le ristrettezze del tempo, l'ampliarsi delle conoscenze, l'affinamento degli strumenti di indagine oltre alla carenza di personale idoneo a svolgere il ruolo di tutore nelle esercitazioni hanno creato più di una difficoltà.

La maggiore difficoltà è tuttavia costituita dal fatto che negli attuali sistemi meccanici vi deve essere una stretta integrazione tra elettromeccanica, elettronica ed informatica. Una e-

sercitazione di progetto che riguardi lo studio, il proporzionamento e la costruzione di parti unicamente meccaniche rischia perciò di essere meno utile che in passato o perfino di essere giudicata obsoleta.

Sarà compito delle nuove generazioni di docenti universitari rinnovare anche questo aspetto della didattica, sfruttando le analoghe esperienze compiute all'estero, in particolare in Germania.

Nella nazione dove la Maschinenbau è nata, si sperimenta di già una nuova didattica di questa disciplina. Secondo l'approccio della Neue Lehre, in una prima parte del corso si

introducono infatti, pariteticamente, elementi base non solo di Costruzione di macchine ma anche di Oleoidraulica e pneumatica, di Elettrotecnica, di Elettronica e di Controlli automatici. Nella seconda parte del corso si approfondi-

scono invece gli argomenti classici della costruzione meccanica. Anche grazie a nuovi testi didattici⁽⁸⁾, gli allievi sono così stimolati a pensare in termini "di sistema" e l'esercitazione di progetto può costituire una efficace occasione per apprendere non solo a lavorare in gruppo, ma anche ad integrare gli apporti di svariate competenze.

Ringraziamenti

Si ringraziano il prof. ing. Massimo Guiggiani, il dott. ing. Francesco Frenzo e tutti i componenti dello E-TEAM (<http://www.eteam-unipi.it/>) per le immagini relative all'auto da competizione formula SAE.

E. Manfredi, Dipartimento Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione, Università di Pisa.

Il prof. ing. Enrico Manfredi, chiamato a coprire una cattedra di Progettazione meccanica e Costruzione di macchine presso l'Università di Pisa nel 1980, svolge insegnamenti presso i corsi di Laurea in Ingegneria aerospaziale e in Ingegneria meccanica.