

La complessità nell'insegnamento delle materie STEM

Lorenzo Capineri, Antonio Chini

Le cosiddette materie STEM – un acronimo che sintetizza l'espressione inglese «Science, Technology, Engineering, and Mathematics» – riguardano un numero sempre maggiore di studenti. In alcuni paesi, la formazione dei laureati in STEM è vista come un *asset* strategico per l'industria e la sicurezza nazionale. Le statistiche mostrano come la distribuzione degli studenti vari a livello mondiale e come il tasso di crescita sia in generale positivo ma con differenze anche marcate tra paesi anche appartenenti allo stesso continente o alla stessa area geopolitica. In Italia la situazione corrente indica una percentuale di laureati STEM inferiore ad altri paesi europei ma con uno sbocco occupazionale solido e ben retribuito¹.

Si evince come l'attenzione alla formazione delle materie STEM stia crescendo; da questa crescita dipenderanno molteplici caratteristiche delle società del futuro.

Un dibattito sempre più ampio si svolge attorno al legame tra l'alta formazione e la complessità (Pucciarelli, Kaplan 2016). Da alcune recenti ricerche sulle metodologie di insegnamento risulta che molte istituzioni identificate come 'leader emergenti' nell'istruzione ingegneristica in genere offrono esperienze

¹ <https://en.irefeurope.org/publications/online-articles/article/stem-popularity-in-germany-a-reason-for-optimism/>

curricolari distintive e centrate sullo studente all'interno di un approccio educativo integrato e unificato².

Questo legame può essere affrontato da diversi punti di vista. Qui ci poniamo da una prospettiva determinata dalla nostra esperienza che riguarda l'insegnamento di materie STEM nell'ambito dell'ingegneria.

Le tecnologie impiegate nell'industria sono sempre più verticali e diversificate per tipo di prodotto o servizio. La verticalità richiede quindi una formazione basata su conoscenze specialistiche e capacità di ricerca all'interno di un campo professionale. La durata dell'impiego di tali tecnologie è sempre più limitata (si parla ormai di anni e non decenni). Questa differenza di scala temporale rispetto al passato rappresenta un fattore che ha una rilevanza anche sulle scelte progettuali dei percorsi formativi in cui pare necessario considerare questa dinamica.

In questo contesto si sono sviluppati percorsi formativi universitari che prevedono sin dai primi anni l'introduzione di materie specialistiche (spesso individuate come professionalizzanti) a scapito delle materie di base per il settore dell'Ingegneria considerato. Questi percorsi di base dovrebbero dare delle conoscenze trasversali, o orizzontali come complemento a quelle verticali di cui abbiamo parlato precedentemente.

Con tali scelte rivolte verso una forte specializzazione si è, forse, cercato di avvicinarsi ad un modello di master universitario di tipo anglosassone. Prendendo ad esempio gli Stati Uniti, dove sono presenti grandi aziende capaci di innovazioni tecnologiche importanti e con prodotti introdotti massivamente nel mercato a ritmi sempre più alti (ad esempio TESLA, Apple, Google, Microsoft, AT&T, Intel ecc.), si è cercato di adattare i percorsi formativi con l'intento di formare specialisti di alto livello in grado di proporsi rapidamente nelle aziende Hi-Tech.

Per introdurre il problema della complessità nell'insegnamento delle materie STEM, possiamo riportare un esempio delle scelte editoriali della rivista *Spectrum* dell'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), pubblicata e distribuita a più di 400,000 membri dell'IEEE, presenti in almeno 160 paesi del mondo; la IEEE risulta ad oggi la più grande associazione di tipo tecnico al mondo. Questa rivista viene tipicamente letta dagli studenti in tutto l'arco della loro carriera professionale. Fino a circa dieci anni fa i contenuti e i temi affrontati erano largamente connessi a quanto caratterizza l'ingegneria elettronica e quella elettrica, elementi cardinali e fondanti la IEEE, mentre già da diversi anni sono pubblicati articoli che riguardano le energie rinnovabili, la transizione verso la mobilità elettrica, le risorse idriche, l'esplorazione dello spazio, il rapporto della società con la robotica, l'intelligenza artificiale e lo sviluppo della bioingegneria. Inoltre, i problemi di genere e dell'accessibilità alle risorse su web e all'energia nei paesi a basso tasso di sviluppo sono frequentemente trattati nella rivista. Questo testimonia quanto la formazione iniziale nelle materie STEM e poi quella successiva, durante la carriera dell'Ingegnere, prevedano una

² The global state of the art in engineering education, The Global State of the Art in Engineering Education | MIT J-WEL

sensibilità e una conoscenza non rigidamente specialistica, semmai connessa a temi diversi, che spesso implicano soluzioni non esclusivamente supportate dalla scienza e dalla tecnologia altamente specializzata. Rispetto alla tradizione della rivista, è quindi evidente un incremento delle prospettive dell'IEEE, che appaiono sempre più complesse, almeno in termini di interconnessioni con campi del sapere un tempo ritenuti lontani dagli interessi tradizionalmente diretti dell'IEEE. La circostanza suggerisce come l'ingegnere contemporaneo si trovi a dover affrontare problematiche progressivamente più complesse, rispetto a quanto avveniva in passato. Di questo è necessario, quindi, tener conto nella programmazione dei percorsi educativi.

Un primo passo per fornire strumenti della conoscenza utili ad affrontare problemi complessi è la valutazione di nuovi percorsi multidisciplinari. Tale sperimentazione potrebbe essere già affrontata rimanendo in ambito limitato alle diverse branche dell'ingegneria. In questo senso si potrebbe pensare ad una figura diversa dell'ingegnere che potremmo chiamare *ingegnere umanista*, un ingegnere che progetta oggetti, prodotti, processi e servizi e processi a favore della comunità e la progettazione stessa all'interno di una comunità. In questo senso Adriano Olivetti comprese come la tecnica a servizio dell'uomo costituiva una identità unica tra progettare, produrre, fare cultura e diffondere valori estetici³.

Se questo approccio multidisciplinare fosse intrapreso, dovremmo sicuramente considerare alcuni 'nuovi' aspetti per l'insegnamento delle materie STEM.

Uno dei limiti è la difficoltà da parte dei docenti a trovare un linguaggio comune per i discenti che frequentano corsi di secondo livello (ad esempio la laurea magistrale in Italia), in quanto, a oggi, la composizione delle classi provenienti dalla formazione di primo livello contiene già un orientamento alle materie specialistiche, rivolte alla risoluzione di problemi specifici. Questa eterogeneità della formazione specialistica porta con sé la mancanza di approcci più generali e la mancanza di un 'linguaggio' e di una 'cultura' tipici di un approccio multidisciplinare alle materie STEM. Questa impostazione crea una certa difficoltà ad affrontare problemi complessi, che richiedono una formazione multidisciplinare molto ben radicata, e limita la possibilità per nuove soluzioni.

Al fine di indirizzarsi verso un'educazione universitaria che stimoli la creatività e la capacità di risolvere problemi, è importante sostenere la possibilità di realizzare, durante il periodo di formazione di base, attività di laboratorio multidisciplinari di gruppo, condividendo quindi modelli/strumenti/metodi dei diversi rami delle materie STEM. Queste attività porterebbero gli studenti a collaborare fra loro anche quando provengono da diversi orientamenti e a condividere conoscenze diverse; possiamo intravedere in questo approccio anche lo sviluppo di alcune competenze trasversali, le cosiddette *soft skill*⁴.

³ E. Garroni, *Ritratti contemporanei 1960: Adriano Olivetti*, <https://www.teche.rai.it/personaggi/emilio-garroni/>

⁴ Defining the skills citizens will need in the future world of work defining-the-skills-citizens-will-need-in-the-future-of-work-final.pdf (ic3institute.org)

La curiosità di approfondire temi e conoscenze su campi affini in modo libero e spontaneo è certamente una qualità che, se guidata da tutor e docenti, permetterebbe di stimolare un continuo aggiornamento sulle tecnologie e sui metodi che vengono introdotti con una rapidità finora sconosciuta. La formazione multidisciplinare, la formazione continua e le interazioni tra gruppi, applicate allo sviluppo di progetti comuni anche complessi, permetterebbero ai futuri ingegneri di utilizzare strumenti e conoscenze che hanno validità in un orizzonte temporale di lungo termine, in quanto si evolvono nel contesto del progresso della cultura scientifica e tecnologica.

L'approccio alla gestione della complessità dovrebbe essere adottato a livello strutturale nel percorso formativo; ad esempio alcune esperienze sperimentali potrebbero essere effettuate già durante il periodo della formazione di base e potrebbero essere realizzate in attività di laboratorio condividendo la conoscenza dei diversi rami dell'ingegneria (ICT, meccanica, civile, industriale, gestionale) e in generale delle materie STEM (fisica, chimica, matematica, informatica, ingegneria).

La necessità di un rinnovamento della formazione degli ingegneri è un tema attuale ed impone la ricerca di nuovi metodi tesi a stimolare l'approfondimento e la curiosità a imparare per affrontare la complessità dei problemi posti agli ingegneri che, già oggi, ricoprono ruoli apicali nella gestione e nell'organizzazione delle aziende che operano in una società soggetta a rapidi cambiamenti nei contesti nazionali e in quelli internazionali. È utile, quindi, una riflessione sulla possibilità di rivedere un percorso di formazione per le materie STEM, con un confronto ampio non solo su diversi settori delle discipline tecnico scientifiche, ma anche quelle economiche, umanistiche e sociali⁵.

È probabile che nella revisione della formazione dell'ingegnere del XXI secolo vadano sostituiti vecchi modelli di insegnamento basati su silos disciplinari slegati dalle dinamiche e dalle organizzazioni dei luoghi di lavoro. Lo sviluppo delle *soft skills* deve essere incorporato anche nella formazione ingegneristica, alla pari delle competenze scientifiche e tecniche (*hard skills*)⁶.

Il rischio attuale è quello di avere una classe di laureati che non sono pronti ad affrontare la complessità dei problemi in modo virtuoso e a dominare la rapida evoluzione degli strumenti progressivamente necessari al loro lavoro. In questo processo di rinnovamento della formazione dell'Ingegnere, anche le grandi aziende potrebbero avere un utile ruolo, portando esempi di approcci multidisciplinari e stimolando l'attenzione verso di essi.

In questa prospettiva, nella nostra esperienza didattica abbiamo sviluppato attività concrete di sperimentazione sul tema della complessità con analisi e prospettive tratte dall'esperienze del gruppo di lavoro denominato LEAF (La-

⁵ Ingegneria 2040, <https://www.ingegneria.unipd.it/progetto-ingegneria-2040>

⁶ Innovations in Engineering Education Inspiring & Preparing Our Engineers for the 21st Century, https://www.ucl.ac.uk/centre-for-engineering-education/sites/centre-for-engineering-education/files/ucl_cee_lrf_report_0.pdf

boratorio Elettronico Apprendere Facendo), che è stato coordinato nell'ambito dell'Unità di Ricerca interdipartimentale "Il Rinascimento dell'Ingegnere" dell'Università di Firenze⁷. I lavori prodotti da diversi gruppi di volontari sono stati riportati all'interno della giornata di studio in onore di Adriano Olivetti, ingegnere, nel 120° anniversario dalla nascita⁸. È utile ricordare che Adriano Olivetti, nella sua visione ampia e tecnologicamente innovativa da imprenditore illuminato, fu il primo a definire l'importanza dell'Ingegnere Umanista in un'azienda che doveva affrontare la complessità di un forte cambiamento della società e dell'industria italiana. Nel dopoguerra, accelerò il rinnovamento delle macchine per scrivere e le macchine da calcolo meccaniche e poi elettroniche da tavolo con l'introduzione di nuove tecnologie (elettronica, informatica e telecomunicazioni, automatica, biomedica) (Perotto 2015).

LEAF, inteso come una Comunità di Pratica (Wenger 2006), sta ad indicare l'attività sperimentale svolta nel Laboratorio Elettronico durante il corso di Elettronica dei Sistemi Analogici e Sensori della Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Firenze.

Il percorso didattico è legato al concetto di formazione come educazione e a sostegno del processo di modernizzazione della professione dell'ingegnere. LEAF è un laboratorio didattico nel campo della progettazione e della realizzazione dei sistemi elettronici; si basa sull'apprendimento riflessivo dello studente e la sperimentazione di nuove metodologie educative da parte del docente. Nella parte finale del corso gli studenti divisi in gruppi (tipicamente tre o quattro membri per gruppo) propongono il progetto e la realizzazione di un sistema elettronico di loro interesse oppure integrano e migliorano le caratteristiche di un progetto svolto nell'anno accademico precedente.

Le diverse fasi progettuali vengono elaborate autonomamente dal gruppo e a ogni gruppo viene assegnato un tutor che segue lo svolgimento di ciascun progetto.

In base alle loro competenze disciplinari, gli studenti partono dalla descrizione di uno schema a blocchi funzionale e da uno schema circuitale da loro liberamente scelto.

Dopo la revisione del progetto, e accertata la sua fattibilità, si passa alla realizzazione del prototipo del sistema elettronico. Già in questa fase si riscontra una forte interazione fra il docente, i tutor, gli allievi e le allieve. Successivamente, gli studenti predispongono il banco di misura per l'analisi e la verifica delle prestazioni dell'apparecchiatura, ponendo attenzione anche al suo consumo energetico. Lo studente mostra le proprie capacità di indagine e progettazione, le abilità manuali, le competenze digitali nell'utilizzo della strumentazione e del software di simulazione elettronica.

Dopo il controllo del funzionamento e la raccolta dei dati delle misure, gli studenti affrontano l'impostazione della relazione finale prestando particolar-

⁷ Progetto UNIFI su Adriano Olivetti <https://www.adrianoolivettiingegnere.unifi.it/>

⁸ *Ibidem*.

mente attenzione sia alla correttezza dei calcoli progettuali sia ad un corretto linguaggio e proprietà di sintesi. Nelle conclusioni, gli allievi riportano le criticità incontrate nello sviluppo del progetto e del collaudo, la descrizione dei possibili miglioramenti e applicazioni del prototipo, molto spesso legate ai loro interessi extracurricolari.

Durante l'attività di laboratorio lo studente rafforza la propria preparazione teorica e pratica, acquisendo la consapevolezza dei propri punti di forza e di debolezza.

Sono i principali momenti del percorso universitario dove si incontrano (o si scontrano) teoria e pratica, il sapere ed il saper fare. Per questo possiamo dire che l'attività di laboratorio così concepita si configura nell'approccio Learn-By-Doing, teorizzato dal filosofo americano John Dewey e sperimentato nei corsi di formazione tecnica superiore.

Successivamente viene organizzata una giornata conclusiva di fine corso con la collaborazione di una o più aziende leader del settore.

Gli studenti descrivono i loro progetti attraverso la presentazione di una sintesi del progetto e mostrano il funzionamento di ogni circuito agli ingegneri dell'azienda invitata all'evento conclusivo. In ogni gruppo si apre una discussione critica sulla valutazione delle prestazioni delle singole apparecchiature che prevedono dispositivi dal sensore ai circuiti di elaborazione, memorizzazione e trasmissione dei dati.

Apprendere Facendo è un laboratorio attivo che, partendo dalle conoscenze già acquisite dagli studenti, ha avuto lo scopo di ampliare le competenze interdisciplinari e di rafforzare quelle disciplinari, l'autonomia, l'attitudine al lavoro di gruppo, a valorizzare l'impegno, le potenzialità e la responsabilità del singolo studente e del gruppo.

Il lavoro di gruppo stimola la curiosità ed il pensiero critico, suscita fiducia e la fattiva collaborazione non solo fra gli studenti del gruppo ma anche fra gli studenti di gruppi diversi. Il lavoro di gruppo incoraggia il confronto con il docente, i tutor e i tecnici del laboratorio; favorisce la ricerca di base e applicata e la condivisione delle conoscenze.

Dall'ascolto e dallo scambio delle idee e dei consigli si decidono insieme le azioni più opportune per affrontare le varie fasi del progetto, dalla ricerca dei componenti più recenti alla correzione delle eventuali anomalie di funzionamento dei prototipi elettronici.

Gli allievi imparano ad organizzare il lavoro per finalità condivise; le competenze trasversali e personali si integrano con le conoscenze e le competenze disciplinari; migliorano le capacità relazionali e comunicative, imparano ad esprimersi correttamente nella discussione e nella presentazione di quello che hanno realizzato, stadio dopo stadio. Gli allievi imparano anche a sviluppare la capacità di gestione del tempo e delle priorità nelle fasi di ideazione-progettazione-realizzazione e collaudo del sistema elettronico. Si crea una comunità di apprendimento dove si valorizzano le diverse abilità sperimentali/manuali e le diverse competenze disciplinari. Le esperienze del laboratorio consentono di attivare processi didattici in cui gli allievi diventano protagonisti e superano

l'atteggiamento di passività e di estraneità che caratterizza, alcune volte, il loro atteggiamento di fronte alle lezioni frontali.

Il laboratorio è il terreno privilegiato per stimolare la capacità di ragionamento degli studenti e attiva il processo di saper imparare, competenza chiave nella società globale e nella prospettiva di un aggiornamento continuo durante il percorso di studio e della vita lavorativa. È necessario un ripensamento dell'attività di laboratorio nel tentativo di offrire più risorse finanziarie e un maggior spazio e tempo all'interno dei corsi universitari. Il rinnovamento dei laboratori è sempre più indispensabile per aggiornare la formazione culturale e professionale dell'ingegnere.

Oggi più che una preparazione specialistica e rigida degli ingegneri, conta possedere la flessibilità professionale necessaria per essere impiegato in diversi settori e ruoli siano essi organizzativi, gestionali o di progettazione.

Tutto si rinnova velocemente: le tecnologie, le tecniche, le competenze; ne consegue la necessità di possedere capacità di apprendere durante l'intera vita lavorativa.

Nelle attività del laboratorio elettronico gli studenti trovano l'applicazione delle indicazioni per una rinnovata formazione degli ingegneri riportate nel Report Ingegneria 2040 della Conferenza per l'Ingegneria (COPI)⁹.

Diventa basilare l'acquisizione di capacità di saper fare attraverso lo sviluppo e la realizzazione di progetti reali e lo sviluppo di nuove tecnologie didattiche; nel rapporto citato viene ribadita la necessità di passare da una società della conoscenza a una società dell'apprendimento. Si deve potenziare l'apprendimento attivo degli studenti che comporta non solo conoscenza ma anche sviluppo della creatività, delle capacità critiche, dell'autonomia e della collaborazione. Abbiamo realizzato questo obiettivo con un percorso laboratoriale che racchiude le diverse metodologie (*learning by doing, learning group e task-based learning*) (Ghislandi 2005).

Come già detto nel precedente paragrafo, la formazione attuale dell'ingegnere è concepita per ruoli diversi: non solo di progettista ma di esecutore, gestore della sicurezza e analista economico. Inoltre, oggi, l'ingegnere copre ruoli strategici ed è sempre più richiesto l'allargamento della formazione verso una cultura generale.

Occorre formare una figura professionale che sappia governare l'intero processo che va dalla ideazione fino alla realizzazione del prodotto, con capacità di saper attrarre le fonti di finanziamento e gestire l'intera commessa nello spazio temporale assegnato. È necessario ripensare e riprogettare le diverse specializzazioni dell'ingegnere attraverso una formazione multidimensionale e multidisciplinare. Ruolo essenziale per approfondire le conoscenze specialistiche diventa l'interazione tra docenti di diverse discipline al fine di offrire allo studente una visione interdisciplinare anche grazie all'utilizzazione di strumenti didattici digitali.

⁹ Ingegneria 2040, <https://www.ingegneria.unipd.it/progetto-ingegneria-2040>

Dove l'esperienza può essere oggi attualizzata in nuovi approcci alla formazione dell'Ingegnere?

Il laboratorio elettronico dei sistemi analogici e sensori è inteso come una comunità olivettiana dove il percorso esperienziale è centrato sull'apprendimento degli studenti e sull'insegnamento riflessivo del docente.

Nell'esperienza laboratoriale si possono riscontrare alcuni segni distintivi del pensiero e dell'impegno imprenditoriale e sociale di Adriano Olivetti, ovvero la complessità virtuosa (Ochetto 2013)¹⁰. Si ritrovano le parole della sua identità: Appartenenza, Attaccamento, Inclusione, Rispetto, Comprensione, Solidarietà, Partecipazione e Responsabilità, Innovazione ed Educazione (Giuliana 2014).

Adriano Olivetti riuscì a combinare teoria e pratica anche nelle aule-laboratorio, costituite da armadi con vetrinette piene di pezzi meccanici e di utensili, di apparecchiature per esperimenti di fisica, di chimica e di strumentazione elettrica.

Adriano Olivetti apprezzò le capacità di organizzazione del lavoro e le capacità di leadership autorevoli e collaborativi. Valorizzò l'impegno, la responsabilità e spirito di iniziativa del gruppo di lavoro dove si confrontavano le conoscenze e le diverse competenze fra operai/tecnici/dirigenti per realizzare prodotti di qualità. Nella attività formativa e lavorativa alla Olivetti di Adriano si promuovono comportamenti di una corretta competizione, da *cum petere*, come osservato da Carlo Odoardi (Odoardi 2014, 205-26), che non significa antagonismo: la competizione significa andare insieme verso un obiettivo comune.

Potremmo dire in conclusione che il nostro obiettivo comune è quello di progettare l'insegnamento delle materie STEM in modo da preparare i discendenti ad affrontare la complessità introducendo elementi di cultura umanistica nei percorsi di alta formazione.

Bibliografia

- Ghislandi, P. 2005. *DIDATTICHE per l'Università*. Trento: Editrice Università degli Studi di Trento.
- Giuliana, G. 2014. *Il regno di Proteo. Ingegneria e scienze umane nel percorso di Adriano Olivetti*. Bologna: Bononia University Press.
- Ochetto, V. 2013. *Adriano Olivetti. La biografia*. Roma: Edizioni di Comunità.
- Odoardi, C. (a cura di). 2014. *Capacità di innovazione organizzativa. Strategie di ricerca-intervento*. Firenze: Hogrefe.
- Perotto, P. G. 2015. *P101*. Roma: Edizioni di Comunità.
- Pucciarelli, F., Kaplan, A. 2016. "Competition and strategy in higher education: Managing complexity and uncertainty." *Business Horizons* 59: 311-20.
- Wenger, E. 2006. *Comunità di pratica. Apprendimento, significato e identità*. Milano: Raffaello Cortina Editore.

¹⁰ Quando l'Italia inventò il PC e superò l'America: l'utopia di Adriano Olivetti <https://www.youtube.com/watch?v=eEtM9nCrZCk>