

Ingegneria 2040

Contributo della Società Italiana di Elettronica (SIE)

Versione 2.3

Sommario

I prossimi anni vedranno una accelerazione dei processi evolutivi nelle discipline ingegneristiche, che porteranno le attuali figure disciplinari a ramificarsi e ad evolvere in contesti transdisciplinari. La formazione tradizionale dell'ingegnere (indipendentemente dal settore) va rivista e adeguata, puntando ad una sintesi di *hard* e *soft skill* caratterizzata da un allargamento delle discipline di base, ad una maggiore flessibilità, all'uso di attività progettuali e sperimentali, sia come strumento per migliorare le attitudini alla comunicazione e al lavoro di gruppo, che come occasione di interazione con le aziende.

Da anni la Società Italiana di Elettronica (SIE) conduce un dibattito, sia interno che allargato al mondo produttivo, sugli aspetti strategici ma anche di dettaglio della formazione accademica nell'ambito dell'elettronica. Esperienze recenti nel del mercato mondiale dei componenti a semiconduttore hanno mostrato che le competenze proprie dell'ingegneria elettronica non solo sono indispensabili nel contesto dei processi della auspicata *transizione digitale*, ma hanno una valenza strategica, che richiede investimenti continui e di lungo termine nelle risorse materiali ma anche umane.

In prospettiva, la formazione dell'ingegnere elettronico deve ampliare, fra le competenze di base, le conoscenze in ambito ICT, senza trascurare la cultura di impresa. Deve prevedere, oltre al tradizionale percorso disciplinare, figure multidisciplinari e transdisciplinari che superino le attuali divisioni rigide.

Come *case study* rappresentativo del processo di evoluzione citato, si presenta una sintesi dell'esperienza MUNER (Motorvehicle University of Emilia-Romagna): un esempio di formazione multidisciplinare, basata su attività progettuali in stretta collaborazione con le aziende.

Premessa

È un dato di fatto che gli ingegneri che oggi stanno trasformando il mondo dell'*automotive*, delle telecomunicazioni, dell'automazione, della micro- e nano-elettronica, hanno seguito un percorso formativo di impostazione *classica*, stile anni '80 o '90 per intenderci, certamente diverso da quello verso cui sta gradualmente evolvendo l'accademia di ingegneria negli ultimi anni. Quegli ingegneri stanno trasformando il mondo, e lo stanno facendo con successo, per cui è giusto riconoscere che quel modello, attuato in quel momento storico, e oggi parzialmente in crisi, ha prodotto, dopo tutto, frutti decisamente apprezzabili.

E' altrettanto evidente, d'altra parte, che le ramificazioni delle scienze e delle tecnologie ingegneristiche, nonché le loro applicazioni, si sviluppano ormai con legge esponenziale, come testimoniato dalla crescita del numero di prodotti della ricerca etichettati nella categoria *ingegneria* dei database scientifici; come non si può negare che l'industria, nel senso più ampio del termine, è ormai impostata per reagire al mercato su fronti sempre più ampi e con cicli di progettazione-produzione sempre più rapidi.

L'emergenza di entrambe queste evidenze ha imposto una riflessione a livello globale sul modello formativo delle scuole di Ingegneria. È quindi giunto il momento di assumerci la responsabilità di reimpostare i corsi di studio, avendo presente un obiettivo ben chiaro: assicurare adeguata rapidità di inserimento, o di ricollocazione, dei neo-ingegneri in contesti tecnologici che solo pochi anni addietro sarebbero stati classificati "di nicchia", o che addirittura nemmeno esistevano.

Ma, ripensando alla formazione *classica* di quegli ingegneri citati in premessa, a cui *oggi* è affidato il compito di disegnare il futuro, in realtà il nostro compito si presenta doppiamente complesso: non possiamo infatti trascurare che il nostro dovere è anche quello di fornire ragionevoli garanzie che gli studenti di oggi saranno, fra venti anni, e cioè nel 2040, a loro volta in grado di immaginare e rendere reali, nei ruoli di futuri *manager dell'innovazione*, prodotti dell'ingegno ai quali in questo momento neanche sapremmo dare un nome.

L'Ingegneria, infatti, come nessuna altra branca delle scienze, richiede necessariamente da un lato padronanza di complessi strumenti matematici, di elaborati modelli fisici, di raffinate teorie spesso espressamente formulate per la soluzione di problemi ingegneristici, e dall'altro il contatto costante con il mondo reale, che ha ovviamente le sue mutevoli esigenze. La capacità di applicare quegli strumenti, quei modelli, quelle teorie, per dare sempre la risposta migliore ad ogni *nuovo* problema reale è la sintesi dell'Ingegneria e la vera prerogativa dell'Ingegnere. Scindendo il connubio si va verso la specializzazione teorica o verso la tecnica *tout court*.

La sintesi fra le due esigenze è un problema enormemente complesso, ma alcune possibili soluzioni iniziano ad emergere. Ciò che è certo, è che i nuovi percorsi di studio necessitano di essere riprogettati dalle fondamenta: ad esempio coinvolgendo tutti gli insegnamenti, dalle materie di base a quelle di indirizzo, affinché il trasferimento di *hard skill* e *soft skill* proceda di pari passo; o introducendo l'obbligo di insegnamenti dedicati allo sviluppo di progetti in *team working*; o in alternativa assicurando adeguato spazio per tesi di natura progettuale da svolgere in collaborazione con aziende o teams inquadrati in altre aree scientifiche.

La figura dell'ingegnere (in particolare elettronico) dovrebbe pertanto in primo luogo comprendere solide conoscenze di base che consentano di affrontare le diverse sfide in maniera efficiente (e riconfigurarsi facilmente per evitare la rapida obsolescenza) acquisendo soprattutto la necessaria capacità di ragionare e risolvere problemi complessi. Dovrebbe poi specializzarsi in alcune delle *Key Enabling Technologies* per poter essere rapidamente operativo almeno in settori specifici. La "superspecializzazione" non appare vincente, visto che sempre più spesso ci si trova ad affrontare questioni che riguardano integrazione di sistema.

Da ultimo, la classificazione delle professioni ingegneristiche in emergenti e non, per quanto importante dal punto di vista del mercato del lavoro, nasconde il fatto che alcune professioni, tra cui vi è anche l'ingegnere elettronico specializzato nello sviluppo di hardware, sono portatrici di *conoscenze strategiche* in ambito nazionale ed europeo. Si veda, nel settore elettronico, la crisi nei settori informatico e automobilistico attualmente (Maggio 2021) legata alla carenza internazionale dell'offerta di circuiti integrati sul mercato a fronte di una domanda sempre crescente.

La Società Italiana di Elettronica (SIE) dedica dal 2016 un convegno annuale SIE-EDU¹ alla discussione dei modelli formativi, dei curricula e dei contenuti dei corsi implementati nei corsi di laurea e laurea magistrale in Elettronica e più in generale dei corsi di Elettronica forniti a lauree nel settore dell'informazione. Molte delle riflessioni contenute nel presente documento sono il risultato delle discussioni che si sono sviluppate, nel corso degli anni, in tale convegno.

¹ https://www.associazione-sie.it/index.php?option=com_content&view=article&id=125&Itemid=246

Le professioni del futuro e le sfide per l'ingegneria

Un ruolo importante dell'ingegnere del futuro sarà quello di sviluppare nuove tecnologie abilitanti che le sfide continue della "digitalizzazione" richiederanno. Ad esempio, secondo *Semiconductor Research Corporation*, cinque innovazioni fondamentali nel settore dei semiconduttori saranno necessarie per definire le tecnologie dell'informazione e della comunicazione del prossimo decennio [1]:

- 1) Interfacce macchina-mondo più intelligenti in grado di rilevare, percepire e ragionare, per perseguire una compressione *analogico-informazione* con un rapporto pratico di 105:1, analogo al cervello umano;
- 2) Soluzioni e tecnologie di memoria e archiviazione radicalmente nuove con capacità di densità di archiviazione maggiori di 100 volte rispetto all'attuale stato dell'arte;
- 3) Soluzioni hardware per le comunicazioni dati in grado di colmare lo squilibrio tra la capacità di comunicazione rispetto alle velocità di generazione dei dati (100-1000 zettabyte/anno, alla velocità di picco di 1 Tbps);
- 4) Piattaforme hardware sicure e algoritmi di crittografia *post-quantum* e distribuiti per affrontare le sfide emergenti in materia di sicurezza in sistemi di intelligenza artificiale affidabili altamente interconnessi;
- 5) Nuovi paradigmi di elaborazione che dimostrino un notevole miglioramento ($>10^6$ volte) per soddisfare la domanda di energia per l'elaborazione (cioè energy-efficient), in continua crescita rispetto alla produzione di energia globale [2].

Inoltre, uno sguardo alle priorità emerse da uno studio della Gartner [3], vedi Fig. 1, nell'ambito delle tecnologie a semiconduttore e della sensoristica, fornisce un quadro ancora più ampio delle sfide future alle quali saranno chiamati gli ingegneri elettronici.

Sarebbe estremamente pericoloso pensare di rimanere meri acquirenti o fruitori di queste tecnologie, come tutto il mondo occidentale -e non solo- si è reso conto in queste ultime settimane. Infatti, la produzione mondiale (di computer, automobili, consolle per giochi, ecc.) è stata rallentata e persino sospesa a causa della mancanza di circuiti integrati, ormai per la maggior parte realizzati nell'est dell'Asia. Gli USA stanno cercando di porre rimedio a questo problema in modo strutturale realizzando nuovi impianti e anche l'UE se ne sta occupando. Non è però sufficiente disporre solo di ingenti risorse economiche e di impianti industriali, le competenze necessarie non si improvvisano ma si costruiscono in decenni, a partire dalle università. L'Europa e l'Italia da questo punto di vista non sono in una posizione di debolezza.

La breve e incompleta lista appena riportata, già definisce alcune aree che potrebbero diventare, o permanere, importanti per l'ingegnere dei prossimi anni. La vera sfida è forse quella di cercare di estendere il campo di conoscenze, senza però sacrificare le proprie specificità.

Nel contesto italiano, le competenze dei laureati in ingegneria elettronica sono ora - e saranno sempre più in futuro - fondamentali e necessarie a quanto il nostro paese affronterà nella sua transizione digitale, alla quale è stato recentemente dedicato un ministero di nuova istituzione. Per poter procedere in questa direzione è necessario che il paese si doti delle necessarie "infrastrutture digitali" su cui costruire le innovazioni e che sono alla base dei corsi di studi in ingegneria elettronica.

Priority Matrix for Semiconductors and Electronics Technologies, 2020

benefit	years to mainstream adoption			
	less than two years	two to five years	five to 10 years	more than 10 years
transformational		Edge AI Phase Change Memory	Neuromorphic Hardware Next-Generation Transistors	
high	Cognitive Radio	Deep Neural Network ASICs eFPGA Embedded AI SDR Sensor Fusion SiC Transistors	Carbon-Based Transistors Chip-to-Chip Silicon Photonics GaN-on-Silicon Transistors NRAM	GaO Transistors Quantum Computing
moderate		Energy Harvesting From Radio Waves FPGA Accelerators mmWave RISC-V STT-MRAM	ReRAM Terahertz Waves	Ternary Logic
low				

As of July 2020

Source: Gartner
ID: 441655

Priority Matrix for Sensing Technologies and Applications, 2020

benefit	years to mainstream adoption			
	less than two years	two to five years	five to 10 years	more than 10 years
transformational			Emotion AI Quantum Sensor	Smart Dust
high		3D Sensing Cameras 5G Position Sensing Biochips Printed Electronics Radar Sensing Sensor Fusion Solid-State 3D Flash Lidar Solid-State MEMS Scanning Lidar	Lensless Camera	Biodegradable Sensors
moderate	In-Display Optical Fingerprint	Ambient Radio Monitoring Bioacoustic Sensing ToF MEMS-Based Ultrasonic Sensor Ultrasonic Fingerprint Sensors	Conductive and Contactless EEG Devices Distributed Fiber Optic Sensing Electromyography Wearables Electrovibration Galvanic Skin Response Devices Smart Fabric	
low	Surface Acoustic Wave (SAW)-Based Sensors			

As of July 2020

Source: Gartner
ID: 441514

Fig. 1 – Matrice di priorità per le tecnologie dei semiconduttori e la sensoristica [3].

I modelli formativi

È stato più volte sottolineato come nei modelli formativi dell'ingegnere del futuro non possa mancare una certa dose di soft skill mirate ad accrescere l'attitudine dell'ingegnere a comunicare in modo efficace con tecnici appartenenti a diverse filiere produttive all'interno e all'esterno dell'ingegneria. In tale contesto i soft skill si pongono come strumenti destinati a migliorare e a rendere più efficace la comunicazione e l'interazione, indipendentemente dai contenuti specifici. Tale necessità si accompagna spesso alla richiesta di una formazione ingegneristica maggiormente ampia nel contesto disciplinare, spesso indicata con i termini multidisciplinare, trasversale o interdisciplinare. Per chiarezza, sarebbe tuttavia opportuno distinguere fra questi termini, che fanno riferimento a contesti alquanto diversi.

Dal punto di vista della formazione in elettronica, si può sintetizzare dicendo che una formazione *multidisciplinare* consiste in una copertura approfondita dell'elettronica e di uno o più settori contigui o anche distanti. Ad esempio un ingegnere elettronico e meccanico, che peraltro già esiste come ingegnere mecatronico, o un ingegnere elettrico ed elettronico, o informatico ed elettronico. Dato che il numero di crediti allocabili alla formazione di un ingegnere triennale o magistrale sono limitati, questo tipo di *multidisciplinarietà* si traduce in una figura di ingegnere *transdisciplinare*, ossia con competenze centrate su un nuovo settore a cavallo fra due o più settori tradizionali. Appare evidente come l'evoluzione del panorama tecnologico porti naturalmente ad uno spostamento di confini rispetto alle aree tradizionali dell'ingegneria: un esempio è la figura, a lungo proposta da SIE, di *ingegnere elettronico industriale*, come tecnico a metà strada fra il settore elettrico e l'elettronico. Anche restando alla figura dell'ingegnere elettronico disciplinare attualmente implementata, vi è piena consapevolezza che un ingegnere elettronico debba saper programmare e avere adeguate conoscenze di telecomunicazioni, elettrotecnica, automazione, anche a parziale discapito della formazione disciplinare tradizionale. Questo costituisce una grande opportunità, in relazione alle tipologie di ingegneri richieste oggi dalle PMI, ed alle professioni del futuro.

Allo sviluppo di figure professionali *transdisciplinari* (ossia non più strettamente baricentrate sui settori tradizionali dell'ingegneria) si oppone peraltro una certa rigidità nelle discipline che possono entrare nella definizione delle attuali lauree disciplinari. Il termine *interdisciplinare* invece spesso nasconde una formazione focalizzata su un settore tradizionale ma con una spolveratura di informazioni su settori affini o anche distanti. Utilizzando il consueto modello di "piramide della conoscenza" a tre livelli (conoscenza / informazione / dati) si può dire che una formazione interdisciplinare incide poco sul primo livello, molto sul secondo e soprattutto sul terzo. Sarebbe ovviamente desiderabile agire su questi senza depauperare il primo livello dove si collocano le *hard skill*.

Una possibile via di uscita rispetto alle difficoltà di conciliare le limitazioni temporali dell'offerta formativa è quella di assecondare le esigenze di maggiore trasversalità e interdisciplinarietà della formazione non solo attraverso l'offerta didattica dei percorsi formativi, ma soprattutto favorendo le esperienze applicative degli studenti. Queste devono prevedere esperienze formative basate sullo sviluppo di **attività progettuali** che coinvolgano in serie/parallelo più insegnamenti. In un approccio *project-based* viene proposto agli studenti, fino dall'inizio del loro percorso, un problema su cui lavorare sfruttando le competenze acquisite nei vari insegnamenti. Tale contesto si presta inoltre a sviluppare *soft skill* (ad esempio nella comunicazione interpersonale e dei risultati del lavoro svolto) nell'ambito di collaborazioni di gruppo. Questo eviterebbe di perpetuare anche nella acquisizione di tali competenze *soft* un modello di apprendimento astratto e tradizionale, che si è dimostrato in passato ben poco efficace. Ovviamente la ideazione e proposta di progetti trans-disciplinari e multidisciplinari richiede uno sforzo di collaborazione non facile da parte dei docenti, che devono anche possedere competenze adeguate a livello sistemistico. Nello stesso contesto è anche opportuno segnalare come le attività in collaborazione siano particolarmente adatte nel contesto dei **laboratori sperimentali**, che da sempre hanno caratterizzato gli insegnamenti di Elettronica. I laboratori possono

rappresentare una grande opportunità in termini di modello formativo ma, ovviamente, a condizione che le politiche di reclutamento di personale tecnico siano adeguatamente incentivate.

Nei limiti della coerenza didattica e formativa, dovrebbe infine essere consentita agli studenti una ampia **flessibilità** nel costruirsi percorsi formativi in linea con le proprie attitudini e interessi. Sicuramente questo comporta indubbe difficoltà e forti ripensamenti nell'organizzazione della didattica, ma rappresenterebbe anche un fortissimo stimolo al cambiamento e al continuo adeguamento all'evolversi delle nuove sfide ingegneristiche.

La progettazione dei programmi formativi

Come spesso evidenziato nell'ambito dei convegni SIE-EDU organizzati annualmente dalla Società Italiana di Elettronica, la progettazione e manutenzione dei programmi formativi è un processo complesso rispondente a logiche sia interne che esterne, e che deve tenere conto dell'evoluzione delle discipline, della formazione dei docenti dello specifico ambito disciplinare, ma anche del confronto con altri ambiti disciplinari e, in misura possibilmente non incidentale, con il mondo del lavoro. Vi è anche, come ovvio nella gestione dei programmi formativi, un qualche elemento di inerzia di sistema: si tende a perpetuare scelte operate in determinati momenti storici ad esempio nell'identificazione di quali siano le cosiddette *discipline di base* propedeutiche a tutti i settori dell'ingegneria e di quali siano le *discipline caratterizzanti* relative a questa o quella figura. Si noti a tale proposito che l'introduzione dell'Informatica come disciplina di base (avvenuta negli anni '80) non pare più sufficiente alle esigenze di numerosi settori dell'ingegneria dell'informazione e industriale, che ormai necessitano di competenze di base in ambito ICT molto più trasversali della mera programmazione (si pensi ad esempio alla esigenza, comune a tutti i settori dell'ingegneria, di possedere i fondamenti delle tecniche di rappresentazione 3D). Fra le competenze di base, andrebbe inoltre considerata la cultura di impresa – la figura dell'ingegnere attuale non si limita all'ambito del tecnologo o del progettista, ma prevede anche ruoli di leadership in ambito aziendale.

Si può infine qui osservare che le tematiche dell'elettronica, che rappresentano le basi per la costruzione dell'infrastruttura della futura transizione digitale del paese, siano negli attuali ordinamenti caratterizzanti solo per il corso di laurea in ingegneria elettronica, mentre elementi di elettronica dovrebbero utilmente essere presenti nella formazione di tutti gli ingegneri del settore dell'informazione ed industriale.

Riportiamo nel seguito, a titolo di contributo alla discussione sul tema specifico, un *case study* derivato dall'esperienza di alcuni docenti del SSD ING-INF/01 relativa ad un corso di laurea progettato con l'obiettivo di offrire un percorso perfettamente integrato in un contesto di grande attualità industriale, fortemente interdisciplinare, e con una notevole componente di partecipazione degli studenti ad attività progettuali.

Come ben descritto nel documento "Ingegneria 2040" [4], e come ribadito nelle sezioni precedenti, molte delle professioni che possono essere considerate strategiche nel futuro sono riconducibili all'ambito dell'ingegneria ma non trovano una corrispondenza chiara e diretta con un percorso di studi ben definito. Nell'ultimo decennio e nei prossimi andremo incontro a una evoluzione poco prevedibile del mondo del lavoro che, però, porta naturalmente a cercare di individuare dei percorsi di formazione "noti e consolidati" per le nuove figure che saranno necessarie e che risponderanno alla rapidissima evoluzione della società. Questo disallineamento tra richiesta di nuove professioni e solidità del percorso di formazione è noto da tempo, e si sta ulteriormente accentuando visti i rapidi cambiamenti in atto.

Una possibile soluzione al problema è nata in Emilia-Romagna dalla stretta interazione tra le Università regionali (Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia, Parma) e le aziende della Motor Valley (MUNER, Motorvehicle University of Emilia-Romagna, www.motorvehicleuniversity.com). In particolare, dalla analisi delle richieste delle aziende e dalla conoscenza delle competenze fondamentali è nato il corso di Laurea Magistrale *Advanced Automotive Electronic Engineering* che propone la formazione di un ingegnere che è in grado di progettare un sistema elettronico per il mondo automotive e che può inserirsi rapidamente in un contesto industriale dove la progettazione elettronica non è al momento ancora diventato un *core business*, anche se è chiaro a tutti che l'elettronica giocherà in futuro un ruolo molto importante per il successo del prodotto.

L'offerta formativa di questo corso è organizzata su tre pacchetti di insegnamenti. Un primo pacchetto dedicato all'approfondimento di conoscenze fondamentali che, aggiunte a quelle già acquisite durante la Laurea, permettono di comprendere aspetti avanzati di Elettronica, Telecomunicazioni, Informatica, Controlli Automatici e Misure Elettroniche. Esiste inoltre un secondo pacchetto che permette allo

studente di seguire la personale predisposizione e di conoscere alcuni sviluppi che la tecnologia propone in questo periodo. Un terzo e importante pacchetto di attività formative è dedicato alla progettazione di sistemi e alla interazione con le aziende. Questo tipo di attività è progettata e realizzata insieme alle aziende che propongono i progetti e ne seguono lo sviluppo con il docente. Gli studenti passano molto tempo in gruppo e in laboratorio per portare a termine il progetto da presentare pubblicamente in aula alla fine del semestre sia all'azienda che ai colleghi. Docente, esperti aziendali, studenti partecipano collettivamente anche alla valutazione finale del progetto. Attraverso questi corsi basati sul *learning by doing* si acquisiscono conoscenze interdisciplinari e si sviluppano le capacità relazionali (*soft skill*) che sempre più sono richieste ai giovani ingegneri e che sono ben rappresentate nella Fig. 1 del documento "Ingegneria 2024" [4] e qui riportata per comodità di lettura nella Fig. 2.

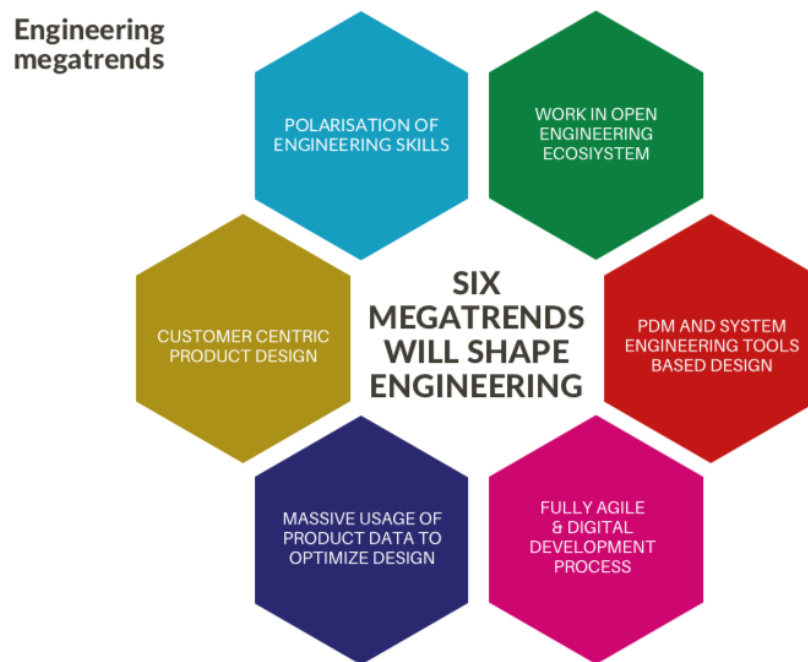


Fig. 2 – Trend & Challenges per l'Ingegneria [4, Fig.1].

In questo terzo pacchetto è incluso anche un insegnamento di *Industrial co-teaching* nel quale, di anno in anno e d'accordo con una azienda partner, gli speaker aziendali approfondiscono una tematica importante e trasmettono la metodologia di lavoro e di progettazione che viene utilizzata.

Questo corso di Laurea Magistrale è attivo da pochi anni e vanta già un discreto numero di laureati che sono stati assunti dalle aziende del settore con soddisfazione. L'ingegnere di MUNER è capace di mettersi all'opera da subito e di affrontare i primi compiti proposti dall'azienda in modo autonomo. Le aziende sono molto soddisfatte da questi neolaureati che hanno una giusta miscela di competenze tecniche e di capacità di relazione e lavoro.

Questo modello di Corso di Laurea Magistrale rappresenta una buona combinazione di formazione tradizionale e di formazione trasversale pur rimanendo interamente all'interno della cornice normativa attualmente in vigore.

Riferimenti

- [1] Semiconductor Research Corporation, "The Decadal Plan for Semiconductors: a Pivotal Roadmap Outlining Research Priorities," Oct. 2020. <https://www.src.org/about/decadal-plan/>
- [2] Spelda et al., The future of human-artificial intelligence nexus and its environmental costs, Futures, Volume 117, 2020, 102531, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102531>
- [3] Report "Hype Cycle for Semiconductors and Electronics Technologies", 2020, 06 July 2020 G00441655 - Analyst(s): Gaurav Gupta; "Hype Cycle for Sensing Technologies and Applications", 2020, 07 July 2020 G00441514 - Analyst(s): Anushree Verma. <https://www.gartner.com>
- [4] Ingegneria 2040 – Gennaio 2021. http://www.conferenzaingegneria.it/mamawp/wp-content/uploads/2021/02/Ingegneria_2040_new_links.pdf