

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Scuola di Scienze
Dipartimento di Fisica e Astronomia
Corso di Laurea in Fisica

**L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE COME
CONTESTO PER UN
APPROCCIO *STEM* ALLA DIDATTICA**

Relatrice:
Prof.ssa Olivia Levrini

Presentata da:
Laura Rigotti

Correlatrice:
Dott.ssa Eleonora Barelli

Anno Accademico 2017/2018

ABSTRACT

La tesi si colloca nell'ambito della ricerca in Didattica della Fisica e, più nello specifico, nel filone di ricerca che riguarda la progettazione e sperimentazione di moduli didattici in linea con le direttive STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*) all'interno del progetto Europeo Erasmus + I SEE (www.iseeproject.eu).

Oggetto dell'elaborato è l'analisi di uno specifico modulo I SEE sul tema dell'intelligenza artificiale (IA), progettato dal gruppo di ricerca in didattica della fisica di Bologna e realizzato per la prima volta nel periodo di febbraio-marzo 2018 con un gruppo di 30 studenti, nell'ambito del progetto PLS.

Nell'elaborato, dopo un'introduzione alla *STEM education* e al problema dell'integrazione delle discipline STEM nei curricula didattici, sono descritte le attività che costituiscono il modulo sull'IA.

Il cuore del lavoro è un'analisi STEM del modulo, condotta per esplicitare le connessioni tra le diverse discipline e il modo in cui l'interdisciplinarietà è stata realizzata. Prendendo come riferimento teorico un articolo di un gruppo di ricercatori australiani, è stata realizzata un'analisi per "big ideas": sono state individuate cinque tematiche portanti all'interno del modulo – l'intelligenza artificiale, gli approcci all'IA, i paradigmi di programmazione, la complessità e il futuro – e sono state analizzate nella loro evoluzione attraverso le categorie di *big ideas* individuate dai ricercatori australiani. Lo studio ha evidenziato come alcune *big ideas* (come IA e futuro) emergessero nel modulo come chiavi trans-disciplinari (*encompassing big ideas*) di lettura della realtà; le altre invece (gli approcci all'IA, i paradigmi di programmazione, la complessità), da concetti che nascevano e si formavano all'interno delle discipline, si trasformavano progressivamente in *big ideas*, ovvero in strumenti di pensiero *tout court*.

La chiave che ha permesso questa trasformazione è stata la valorizzazione della prospettiva della complessità.

In generale, è stato interessante notare come il modulo I SEE sull'IA concretizzasse una didattica di tipo STEM, soddisfacendo gli obiettivi che tale approccio si pone.

Sommario

Capitolo 1: Quadro di riferimento.....	3
1.1 Introduzione.....	3
1.2 Una didattica per competenze	4
1.3 Council Recommendation e progetti STEM in Europa	6
1.4 Un Piano Strategico per l'educazione STEM negli Stati Uniti	8
1.5 L'approccio STEM come oggetto di ricerca	10
1.6 L'approccio del progetto I SEE.....	12
Capitolo 2: Il modulo I SEE sull'Intelligenza Artificiale	15
2.1 Primo incontro: l'IA oggi: ambiti e applicazioni	17
2.2 Secondo incontro: l'IA nella sua evoluzione storico-critica	19
2.3 Terzo incontro: insegnare ad apprendere alle macchine: sono davvero intelligenti?	21
2.4 Quarto incontro	26
2.5 Quinto incontro: scenari futuri per la città di Ada	31
2.6 Sesto incontro: dai problemi alle azioni	33
Capitolo 3: Analisi STEM del modulo sull'Intelligenza Artificiale	36
3.1 Analisi preliminare	37
3.2 Il riferimento teorico	39
3.3 Analisi del modulo tramite big ideas.....	41
3.4 Discussione dei risultati	50
Conclusioni	51
Bibliografia	53

Capitolo 1: Quadro di riferimento

1.1 Introduzione

Con il termine “*STEM education*” si fa riferimento all’insegnamento e all’apprendimento nelle discipline concernenti scienza, tecnologia, ingegneria e matematica (come si evince dallo stesso acronimo STEM, dall’inglese *Science, Technology, Engineering and Mathematics*). Tra le metodologie didattiche per le discipline STEM sono comprese attività trasversali molto diverse tra loro, progettate per studenti di tutti i livelli scolastici e in tutti gli ambienti educativi: esistono attività di didattica STEM per tutti gli ordini di scuola, dall’infanzia all’università, e per ambienti sia formali, come la classe, sia informali, come ad esempio i *Science center* (Gonzalez & Kuenzi, 2012).

La *STEM education* nacque inizialmente sotto la spinta di esigenze economiche e di mercato. A partire dagli anni 2000, infatti, negli Stati Uniti, all’interno di conferenze relative al rapporto tra istruzione e mondo del lavoro iniziò a farsi strada l’idea di un’unificazione delle discipline esplicitamente finalizzata all’innovazione e allo sviluppo, specie nell’ambito della “*new economy*”, caratterizzata dall’avvento di tecnologie informatiche e di telecomunicazione sempre più avanzate.

L’idea di un’educazione STEM si fece quindi strada anche nell’ambito formativo per rispondere a criticità individuate nella formazione di base: i risultati dei test PISA (*Programme for International Student Assessment*) e TIMSS (*Trend in International Mathematics and Science Study*), test internazionali pensati per monitorare il livello di preparazione degli studenti in scienze e matematica, avevano infatti rivelato importanti lacune disciplinari e l’incapacità, da parte di un elevato numero di studenti, di ottenere i risultati attesi. In reazione al cosiddetto “PISA shock”, si è assistito ad un progressivo orientamento delle politiche di istruzione e dei curricula verso le discipline STEM, al fine di incentivare modifiche sostanziali nello stesso approccio didattico all’interno dell’intero sistema scolastico in modo tale da fornire agli studenti un tipo di preparazione più efficiente, in linea con le richieste del mercato del lavoro.

Diversi governi dei Paesi del mondo occidentale, negli Stati Uniti e in Europa, hanno aderito alla proposta della creazione di programmi scolastici che possano fornire agli studenti maggiori strumenti di competenza per affrontare le sfide del moderno sistema economico e permettere un rapido inserimento nel mondo del lavoro. Alcune statistiche svolte negli Stati Uniti dal 2000 al 2010 hanno mostrato come effettivamente questo percorso abbia portato ad un incremento di

impieghi nei settori scientifici e tecnologici, sebbene persista ancora la difficoltà nell'inserimento dei gruppi sociali più deboli. Rimane dunque un obiettivo importante, quello dell'adozione dell'approccio STEM al fine di incentivare i gruppi sociali tendenzialmente meno presenti nelle professioni STEM, come le donne o le minoranze etniche, a intraprendere percorsi di studio in questi campi (Gonzalez & Kuenzi, 2012).

Sebbene la didattica STEM sia stata e continui ad essere affrontata tramite diversi approcci, è opportuno sottolineare sin da ora che quello adottato dal gruppo di ricerca di Bologna si contraddistingue per l'accento posto sulla ricerca di connessioni tra le diverse discipline e tra i concetti teorici e la realtà concreta. Infatti, tale prospettiva nasce esplicitamente in risposta all'esigenza, sollevata dal mondo produttivo e imprenditoriale di colmare il cosiddetto “*skill gap*” tra le nozioni apprese in ambito scolastico e universitario e le competenze richieste dal mondo del lavoro. Per far fronte a tale importante problema, l'obiettivo del nostro approccio è quello di favorire non soltanto l'apprendimento di un più ampio spettro di conoscenze disciplinari negli ambiti di scienza, tecnologia, ingegneria e matematica, ma vere e proprie competenze di interdisciplinarietà, orientate a colmare il *gap* tra i saperi, tradizionalmente intesi, e la società. Come infatti i problemi complessi del mondo odierno richiedono un approccio multi prospettico e multidisciplinare, anche le discipline STEM devono essere rilette in chiave didattica per mettere in luce le connessioni tra esse.

Nei paragrafi successivi si descriveranno i contesti in cui, negli ultimi anni, si è sviluppata l'attenzione verso la *STEM education*, presentando le principali raccomandazioni adottate dai Paesi europei e statunitensi al fine di creare progetti e programmi scolastici in linea con le direttive STEM. A seguire, si esamineranno le caratteristiche degli approcci alla didattica STEM, approfondendo quello da noi adottato.

1.2 Una didattica per competenze

Uno dei contesti di riflessione in cui si è sviluppata l'attenzione per la *STEM education* è quello della “didattica per competenze”, con un accento sulle competenze cosiddette trasversali, il cui ruolo è diventato sempre più centrale nelle riforme di istruzione degli ultimi anni. Il termine “trasversale” fa riferimento alla versatilità di una determinata competenza, indicando quindi una capacità ad ampio spettro, non specifica di un singolo ambito disciplinare di una professione o di un ambiente lavorativo ma applicabile a compiti e contesti diversi.

Lo sviluppo di tali competenze durante la formazione degli studenti sta diventando un tema sempre più cruciale, in quanto si sta sottolineando quanto sia importante che l'insegnamento e l'apprendimento in ambito scolastico e universitario non siano finalizzati soltanto all'occupazione lavorativa nel presente, ma anche e soprattutto all'acquisizione di quelle conoscenze, abilità e attitudini che influenzano il modo di agire e interagire con una società in profondo cambiamento (Kennedy & Odell, 2014).

È in questo quadro che si è fatta strada l'importanza di raggiungere un'alfabetizzazione universale STEM, definita come la capacità di adattarsi, comprendere e gestire i cambiamenti indotti dalla scienza e dalle nuove tecnologie, imparando a lavorare in gruppo, comunicare idee complesse a un vasto pubblico e trovare soluzioni misurate ma creative a problemi che sono oggi inimmaginabili (Lederman, 2008). In numerosi report e articoli internazionali che suggeriscono una didattica per competenze (Kennedy & Odell, 2014, Joyce, 2014; Branchetti, Cutler, Laherto, Levrini, Palmgren, Tasquier, & Wilson, 2018) si legge una esplicita distinzione tra “*knowledge*”, “*skill*” e “*competence*”¹:

- Con *knowledge* si intende la conoscenza come risultato dell'assimilazione di informazioni apprese;
- con *skill* si fa riferimento alla capacità di applicare le proprie conoscenze per far fronte a determinate situazioni;
- la parola *competence* indica una capacità comprovata di utilizzare ciò che si è appreso in maniera consapevole e in contesti diversi, a livello di studio o di lavoro, attestando una crescita sia personale sia professionale.

All'interno dell'ampio panorama delle *skill*, nel documento elaborato nel 2016 dal direttorato della Commissione Europea per l'educazione e la cultura, si pone un particolare accento allo sviluppo delle *Future Skill* (competenze di futuro), che hanno a che fare con la capacità di applicare le proprie conoscenze al fine di saper cogliere e gestire determinate implicazioni sociali, economiche e politiche delle tecnologie via via sviluppatesi (EC, 2016).

L'importanza che l'acquisizione di competenze trasversali ricopre in un processo educativo, non si limita all'ambito di istruzione scolastica. In Europa, data la crescente necessità di fornire ai giovani le competenze richieste dal mondo del lavoro e, più in generale, volendo rendere il processo

¹ Poiché la traduzione italiana dei termini inglesi *skill* e *competence* sarebbe la stessa (competenza), nel testo utilizzeremo i vocaboli inglesi per preservare tale distinzione.

di formazione europeo il più competitivo possibile con altre istituzioni internazionali, si aprì, nel 1999, il Processo di Bologna, un convegno a carattere internazionale volto a riformare il sistema di istruzione universitario (Ravinet, 2008).

Al fine di assicurare lo sviluppo economico, politico e sociale dell'Europa, il Processo riconosceva un ruolo chiave alla formazione culturale e sociale dei cittadini, tanto da prefiggersi di realizzare entro il 2010 uno Spazio Europeo dell'Istruzione Superiore (SEIS) ove si potesse discutere una riorganizzazione delle politiche dell'istruzione condivisa a livello comunitario. L'obiettivo del SEIS consisteva nel progettare curricula che offrirono un'ampia base di conoscenze disciplinari avanzate specialmente nell'ambito STEM, in modo da garantire una migliore spendibilità dei titoli di studio nel mercato del lavoro, in tutta l'area europea e a livello internazionale.

Nonostante le elevate aspettative del Processo e gli obiettivi prefissati, ad oggi, la realtà dell'insegnamento e apprendimento sul territorio europeo non è certo uniforme: l'implementazione dei sistemi di apprendimento è rimasta delegata ai singoli ministeri di istruzione, dando luogo a una situazione frammentata che raccoglie un insieme di raccomandazioni e buone pratiche (*best practices*) piuttosto che visioni d'insieme coerenti entro una politica condivisa. Nella direzione della raccolta di buone pratiche per lo sviluppo vanno le *Peer Learning Activities* (PLA), seminari organizzati all'interno del *Working Group on the Modernisation of Higher Education* (WG-MHE), che coinvolgono rappresentanti dai ministeri e dal mondo dell'educazione. Con l'obiettivo di condividere esperienze e identificare aree comuni di intervento, i seminari PLA hanno individuato nelle *future skill* il concetto chiave per la realizzazione del nuovo sistema di istruzione (EC, 2016). Tali *skill* sono state classificate in tre principali categorie:

1. *skill* cognitive relative al pensiero analitico, critico, creativo;
2. *skill* metodologiche riguardo i processi di risoluzione di problemi;
3. *skill* sociali concernenti la comunicazione interpersonale e la cooperazione tramite lavori di gruppo.

1.3 Council Recommendation e progetti STEM in Europa

Datato il 17.1.2018, il documento rilasciato a Bruxelles dalla Commissione europea, "Council Recommendation on Key Competences for Lifelong Learning" (EC, 2018), va ad aggiornare la raccomandazione del Parlamento europeo e del Consiglio del dicembre 2006 (EC,

2006), relativa alle competenze chiave per l'apprendimento permanente. Nel documento del 2006 erano individuate e definite otto competenze chiave, “competenze di cui ciascun individuo necessita per realizzazione personale, crescita, impiego, inclusione sociale e cittadinanza attiva” (EC, 2006):

- comunicazione nella madrelingua;
- comunicazione nelle lingue straniere;
- competenza matematica e competenze di base in scienza e tecnologia;
- competenza digitale;
- imparare ad imparare (*learning to learn*);
- competenze sociali e civiche;
- senso di iniziativa e di imprenditorialità;
- consapevolezza ed espressione culturale.

Tra esse si nota la presenza delle competenze matematiche, che sono tuttavia intese come separate da quelle scientifiche e tecnologiche.

La raccomandazione del 2018 pone un ulteriore accento su questo tipo di competenze, menzionando l'importanza delle “*STEM competences*”. Rispetto al documento del 2006, la commissione invita infatti ad “ulteriori investimenti nelle competenze STEM per promuovere la comprensione scientifica ed aumentare le motivazioni a perseguire una carriera in ambito STEM” (EC, 2018). Tali competenze sono dichiarate fondamentali non solo per i giovani ma per tutti i componenti della società. Nello spirito del *lifelong learning* infatti, il diritto a un'istruzione, ad una formazione ed un apprendimento permanente di qualità è dichiarato essere un principio alla base dei diritti sociali europei, ed è compito dei governi garantire sufficienti opportunità ai cittadini tali da consentire loro piena partecipazione alla società.

In vista del raggiungimento dell'alfabetizzazione STEM, si invita ad esplorare nuovi metodi di apprendimento e ad investire nell'istruzione di alta qualità, aumentando per esempio le attività extra-curricolari negli istituti scolastici e professionali, ma anche i corsi di aggiornamento rivolti ad adulti carenti di formazione e competenze in ambito STEM. Questa prospettiva, oltre ad incrementare l'occupazione in professioni molto richieste dal mondo del lavoro e favorire così l'inclusione sociale, è volta anche a promuovere uno sviluppo sostenibile, con un impatto su questioni etiche: dai diritti umani all'uguaglianza di genere, dalla promozione di una cultura di pace e non violenza all'apprezzamento della diversità culturale.

Un esempio di iniziativa europea nata in questa stessa prospettiva è InGenious, che, nel triennio 2011-2014 ha coinvolto più di 40 organizzazioni partner, tra cui rappresentanti dell'industria della scuola, decisori politici e ricercatori in *STEM education* (Kennedy & Odell, 2014). Il programma era pensato per raggiungere alcuni obiettivi fondamentali: coinvolgere maggiormente gli studenti nello studio delle discipline STEM a scuola; fornire informazioni su quali siano e in che cosa consistano oggi le carriere scientifiche; stimolare le qualità personali dei giovani e renderli maggiormente consapevoli di sé.

Il progetto ha stabilito collaborazioni tra scuole e industrie, sostenendo lo sviluppo e la diffusione in tutta Europa di pratiche educative innovative STEM. I risultati del progetto, conclusosi nel 2014, sono da ritenersi incoraggianti riguardo l'impatto sia sugli insegnanti sia sugli studenti: entrambi hanno mostrato segni di maggiore coscienza relativamente ai cambiamenti in atto e una disposizione nuova a voler farne parte e a trovare una propria dimensione. Tuttavia, l'impatto positivo del progetto è stato di breve termine; per ottenere effetti a lungo termine le raccomandazioni europee indicano la necessità di estrapolare le misure prese nell'ambito del progetto e implementarle per un periodo di tempo più esteso. Uno degli elementi di debolezza di esperimenti come InGenious è intrinseco alle buone pratiche che, anche se molto innovative e molto d'effetto, non riescono a diventare strutturali per mancanza di un fondamento di ricerca che le analizzi e ne studi la generalizzabilità.

1.4 Un Piano Strategico per l'educazione STEM negli Stati Uniti

“We want to make sure that we are exciting young people around math and science and technology and computer science. We don't want our kids just to be consumers of the amazing things that science generates; we want them to be producers as well. And we want to make sure that those who historically have not participated in the sciences as robustly — girls, members of minority groups here in this country — that they are encouraged as well. We've got to make sure that we're *training* great calculus and biology teachers, and encouraging students to keep up with their physics and chemistry classes [...]. It means teaching proper research methods and encouraging young people to challenge accepted *knowledge*.”

President Barack Obama
National Academy of Sciences
April 2013

Con queste parole l'allora presidente degli Stati Uniti, Barack Obama, introdusse il documento relativo alle strategie da attuare a favore di un progresso nell'approccio e nelle discipline STEM, volto a rafforzare la leadership statunitense per lo sviluppo scientifico e tecnologico. Dal 2000 al 2010 la crescita dei posti di lavoro in ambito STEM era stata tre volte superiore rispetto a quella delle occupazioni al di fuori di tale ambito (CoSTEM, 2013), e si stimava che le occupazioni di questo tipo sarebbero cresciute ulteriormente (USDC, 2012), era tuttavia diffusa la preoccupazione del governo americano, sulla base di rapporti di settore, di non essere in grado di soddisfare la crescente domanda di lavoratori con formazione e competenze appropriate. Queste le motivazioni alla base della stesura del Piano Strategico Federale quinquennale per la didattica STEM (CoSTEM, 2013) nel quale l'amministrazione, attraverso le agenzie di CoSTEM, si impegnava a porre le basi per un investimento collettivo di istruzione federale STEM coerente e di forte impatto.

Nel piano strategico venivano individuati cinque settori prioritari di investimento:

- migliorare l'istruzione nelle discipline STEM a partire dalla preparazione specifica dei docenti;
- aumentare le esperienze STEM in ambito scolastico, affinché gli studenti possano provare un'autentica esperienza STEM prima di completare la scuola superiore;
- aumentare le esperienze STEM durante i percorsi universitari;
- sostenere le minoranze storicamente sottorappresentate in ambito scientifico-tecnologico;
- fornire competenze STEM professionali e supportare esperienze di ricerca di base e applicata.

Per realizzare tali obiettivi, le agenzie del Consiglio federale hanno avviato finanziamenti a laboratori, strumenti e strutture di ricerca, e impiegato scienziati e ricercatori, collaborando anche con *stakeholder* non federali tra cui agenzie di istruzione locali e statali, istituti di istruzione superiore, fondazioni filantropiche e corporative, musei e centri scientifici.

Andando oltre anche rispetto agli obiettivi prioritari, sono stati progettati programmi per l'alfabetizzazione STEM (programmi televisivi, mostre, pubblicazioni e siti Web) rivolti non solo a studenti o lavoratori in ambito STEM, ma anche al grande pubblico.

1.5 L'approccio STEM come oggetto di ricerca

A seguito delle raccomandazioni dei governi europei e statunitensi, sono stati finanziati e sviluppati numerosi progetti pilota in ambito STEM in tutto il mondo. Tuttavia, mentre a livello teorico vi è ampia documentazione circa le riforme scolastiche e i provvedimenti per attuare un'educazione STEM efficace ed ottenere un'alfabetizzazione universale (Joyce, 2014; Gonzalez & Kuenzi, 2012; Kennedy & Odell, 2014), l'implementazione pratica di tali raccomandazioni è rimasta ancora ad uno stadio iniziale. Una delle cause del lento evolversi dei processi di riforma può essere individuata nella complessità del problema in sé: l'attuazione dei documenti ufficiali non richiede soltanto investimenti economici sulla formazione dei docenti, i quali sarebbero assicurati dai programmi di governo, ma obbliga a ripensare in modo sostanziale i curricula, scardinando abitudini e prassi consolidate (Kennedy & Odell, 2014). Anche per quanto riguarda i progetti pilota avviati sulla spinta delle raccomandazioni generali, essi hanno avuto un buon impatto sul breve termine ma necessiterebbero di una più larga diffusione, oltre la durata temporale e oltre il gruppo di beneficiari diretti di tali progetti (Joyce, 2014).

Per indagare le difficoltà nel raggiungere gli obiettivi dei piani strategici internazionali, i ricercatori nelle didattiche disciplinari di tutto il mondo si sono sempre più interessati all'analisi e al confronto dei diversi approcci alla *STEM education*.

A simbolo di una riflessione sistematica riguardo questo tema, nel 2014 è stata fondata la rivista *International Journal of STEM education*, allo scopo di stimolare ricerche multidisciplinari sul tema, farne conoscere le specificità e le problematiche ed incoraggiare la nascita di attività pratiche e progetti in ambito scolastico ed extrascolastico. Gli articoli sono consultabili online su SpringerOpen, un portfolio dedicato alla pubblicazione *open access* di riviste e libri di tutti i settori: dalle pubblicazioni scientifiche-tecnologiche all'ambito medico, dalle scienze umane a quelle sociali. L'*International Journal of STEM education*, oltre alle pubblicazioni classiche, mette a disposizione una piattaforma per poter condividere esperienze di ricerca riguardanti la progettazione e la realizzazione di ambienti di apprendimento tecnologicamente avanzati, metodi didattici innovativi e nuovi curricula per l'educazione STEM. Tramite contributi di ricerca empiricamente fondati e che si fondono con gli sforzi educativi, il giornale punta a promuovere lo sviluppo multidisciplinare, a favorire scambi accademici e lasciare spazio a discussioni su questioni emergenti e nella ricerca di frontiera dell'educazione STEM.

Oltre alla nascita di un giornale esplicitamente interdisciplinare come l'IJSTEME, negli ultimi mesi un numero sempre maggiore di riviste di ricerca didattica disciplinare hanno dedicato spazi di pubblicazione al tema della *STEM education*. Di particolare interesse è lo *special issue* dell'*International journal of Science and Mathematics Education*, presentato tramite l'analisi del ruolo chiave che l'educazione STEM gioca nella costruzione del futuro del mondo, sottolineando l'importanza di ideare metodi validi di integrazione dei curricula (Lawrence, Gravemeijer, Stephan, 2017). Viene qui ribadito come la revisione dei programmi scolastici sia finora spesso consistita, più che su un'implementazione ragionata dei programmi, pensata per favorire lo sviluppo delle capacità cognitive critiche e creative degli studenti, in un semplice innesto di nuovi "strati" di nozioni tecnologiche ed ingegneristiche nuove su curricula scientifici standard: persiste dunque un problema di compartimentalizzazione delle discipline scientifiche, che continuano ad essere studiate separatamente, senza alcun filo conduttore che ne sottolinei la continuità.

All'interno dello stesso *special issue*, si inserisce l'analisi di un gruppo di ricercatori australiani che propongono un approccio al ripensamento curriculare che vede al centro della didattica STEM le cosiddette "*Big ideas*" (Chalmers, Carter, Cooper & Nason, 2017).

Con questo termine, non nuovo alla ricerca in *STEM education* (Askew, 2013), gli studiosi fanno riferimento alle idee chiave che collegano i saperi di discipline differenti, concetti e processi che considerati insieme rappresentano veri e propri modelli del mondo visto attraverso la lente di ciascuna disciplina STEM. Il loro approccio suggerisce che il problema degli attuali curricula, che mancano di una costruzione approfondita delle singole discipline e del loro legame interdisciplinare, potrebbe essere trattato tramite una ristrutturazione dei programmi d'insegnamento mediante idee chiave: idee che comprendono sia categorie di contenuto, - come concetti, principi, teorie, strategie e modelli, - sia di processo, ovvero capacità intellettuali associate all'acquisizione e all'effettivo uso della conoscenza, come l'osservazione, la sperimentazione, il controllo di variabili, la formulazione di ipotesi e l'interpretazione di dati.

In questo modo l'educazione, da semplice acquisizione di conoscenze, si potrebbe evolvere in una continua progressione attraverso idee chiave che permettono la comprensione degli eventi e dei fenomeni rilevanti per le vite degli studenti sia durante sia dopo il periodo scolastico. L'approccio basato sulle *big ideas* è strettamente connesso, nonché supportato, al costruttivismo cognitivo di Piaget: gli studenti si fanno costruttori attivi della propria conoscenza e l'acquisizione di nuovi concetti e nuove capacità intellettive permette a nuove strutture cognitive di emergere.

“Un’educazione della scoperta attiva del vero è superiore ad un’educazione che consista unicamente nell’allenare i soggetti a volere per volontà precostituite e a sapere per verità semplicemente accettate”. (Piaget, 1973)

Un altro elemento importante di questa proposta, derivante dalle teorie del costruttivismo sociale, è il contesto socioculturale in cui avvengono i processi di apprendimento: il confronto con gli altri individui, il linguaggio e l’interazione sono ritenuti fondamentali per la crescita personale. Tra le attività previste dal gruppo di ricerca per l’apprendimento tramite *big ideas* è infatti preponderante l’aspetto della collaborazione tra studenti. Dopo un’introduzione preliminare all’argomento che si vuole trattare da parte del docente, gli studenti vengono suddivisi in team per realizzare un progetto e viene loro chiesto di esporlo di fronte alla classe, in modo da stimolare un confronto con il lavoro degli altri gruppi e discutere dei punti di forza e debolezza di ciascuna proposta.

Questa attività, unita alla successiva analisi dei concetti chiave emersi nel corso della lezione e ad una riflessione finale sulle conoscenze acquisite, facilita, secondo i ricercatori, l’acquisizione di una conoscenza più profonda degli argomenti trattati. Date le difficoltà di molti istituti scolastici a recepire ed implementare le raccomandazioni per l’insegnamento delle discipline STEM, un approccio che potenzia la comprensione delle discipline attraverso una prospettiva interdisciplinare, potrebbe rivelarsi di particolare supporto alla progettazione di unità curriculari integrate.

Nel capitolo terzo di questa tesi, dedicato all’analisi STEM su uno specifico modulo didattico sul tema dell’Intelligenza Artificiale, verranno approfondite la descrizione e la classificazione delle *big ideas* proposte da Chalmers e colleghi.

1.6 L’approccio del progetto I SEE

È all’interno del complesso ed articolato dibattito sull’integrazione delle discipline STEM che si colloca il progetto europeo I SEE, acronimo di *Inclusive STEM Education to Enhance the capacity to aspire and imagine future careers* (I SEE, 2018). Avviato nel settembre 2016 come Erasmus+ triennale, il progetto nasce dalla collaborazione entro il partenariato strategico di tre scuole secondarie ((il Liceo “A. Einstein” di Rimini, il Normal Lyceum di Helsinki e l’Hamrahlid College di Reykjavik), due università (l’Università di Bologna e l’Università di Helsinki), una ONG ambientalista islandese, un’associazione di insegnanti inglese (Association for Science Education)

ed una fondazione privata bolognese (Fondazione Golinelli), provenienti da quattro diversi Paesi: Italia, Finlandia, Islanda e Regno Unito.

Alla base della nascita del progetto vi è la consapevolezza che una delle maggiori sfide di oggi per l'umanità, e in particolare per i giovani, sia quella di recuperare un rapporto sereno con il tempo, in particolare con la percezione del futuro (Branchetti, Cutler, Laherto, Levrini, Palmgren, Tasquier & Wilson, 2018). L'obiettivo è infatti quello di fornire ai giovani conoscenza e competenze per pensare al futuro, troppo spesso percepito come minaccioso, e a comprendere come esso, nonostante le incertezze, sia influenzabile da loro, tramite un'azione attiva. Numerosi studi sociologici hanno analizzato la complessità del rapporto che le persone hanno oggi con il tempo: tutto è avvertito come puro movimento e divenire, il presente è “polvere di schegge in movimento” (Leccardi, 2009), a sottolineare il carattere di frammentarietà degli avvenimenti presenti, senza alcuna percezione di coerenza ed unitarietà, con conseguente senso di spaesamento. Anche lo studioso Hartmut Rosa descrive il presente come insieme di episodi di pura esperienza, in cui il tempo sembra non passare mai perché ci si annoia, ma è al contempo un tempo breve, poiché non lascia tracce. Infatti, se, seguendo Walter Benjamin, le esperienze possono essere classificate in *lunghe-brevi (Erlebnissen)*, cioè durature ma con poco impatto sul lungo termine, e *brevi-lunghe (Erfahrungen)*, che passano cioè in fretta ma si ricordano per sempre (Benjamin, 1974), il dramma di oggi è la prevalenza di esperienze *brevi-brevi* (Rosa, 2013).

In questa epoca dominata dall'accelerazione sociale e dall'incertezza (Rosa, 2013), la scienza viene ad occupare un duplice ruolo chiave. Da un lato, la sempre più rapida evoluzione in campo scientifico e tecnologico contribuisce alla sensazione di spaesamento, di incertezza e di mancanza di un orizzonte futuro. Dall'altro, grazie ai tipi di modellizzazione e ai concetti che ha sviluppato nel corso della sua storia, la scienza si può porre come mezzo privilegiato di raccordo tra presente e futuro. Il progetto I SEE raccoglie questa sfida proprio a partire dall'educazione STEM, interpretandola come un'occasione per trasformare il ruolo dell'istruzione in preparazione all'incertezza stessa. Si distinguono qui due livelli di contributo a questa sfida da parte dell'educazione STEM: uno epistemologico e uno tecnico/tecnologico. Da un punto di vista epistemologico, la questione dell'incertezza è insita nella scienza: la prospettiva della complessità, in particolare, permette una visione più ampia del futuro, percepito non più come un percorso unico e predeterminato ma come un insieme di orizzonti di possibilità (Barelli & Tasquier, 2018). Da un punto di vista tecnico e tecnologico, invece, le discipline STEM consentono di comprendere le innovazioni presenti e di indagarne le potenzialità, i limiti e le applicazioni, al fine di pensare al loro

possibile impatto sul futuro: in questo modo, il progetto mira anche a favorire l'immaginazione degli studenti verso nuove idee di carriere STEM (Branchetti et al., 2018).

I primi due anni di ricerca all'interno del progetto I SEE, hanno portato alla creazione e realizzazione di moduli di insegnamento e apprendimento che sono stati progettati e implementati con studenti delle scuole superiori in Italia, Finlandia ed Islanda, al fine di poterne analizzare l'impatto sulla percezione del futuro da parte dei giovani. I temi scelti ed affrontati durante i moduli didattici sono temi scientifici avanzati ed intrinsecamente interdisciplinari, nonché particolarmente adatti allo sviluppo di competenze di futuro (*future-scaffolding skill*), nel pieno spirito del progetto: sono pertanto stati costruiti materiali didattici per studenti ed insegnanti riguardo i cambiamenti climatici, l'intelligenza artificiale ed il *quantum computing*.

Nel capitolo successivo si discuterà nel dettaglio il modulo didattico I SEE sull'intelligenza artificiale, progettato dal gruppo di ricerca in didattica STEM di Bologna ed implementato con un gruppo di 30 studenti presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna, nell'ambito del progetto PLS.

Capitolo 2: Il modulo I SEE sull'Intelligenza Artificiale

A due anni dall'inizio del progetto I SEE, sono stati progettati ed implementati in vari round tre moduli di insegnamento e apprendimento: uno sul cambiamento climatico, uno sulla computazione quantistica ed uno sull'intelligenza artificiale. Tutti questi moduli condividono una struttura comune, caratterizzata da tre principali fasi nelle quali, rispettivamente, gli studenti vengono a contatto con il tema centrale del modulo, sono coinvolti in attività per far interagire idee scientifiche (conoscenza concettuale, epistemologica e laboratoriale) e futuro e, infine, sintetizzano le idee sviluppate e le mettono in pratica in progetti concreti (Branchetti et al., 2018). Una schematica rappresentazione dell'articolazione generale dei moduli I SEE è fornita in Figura 1.

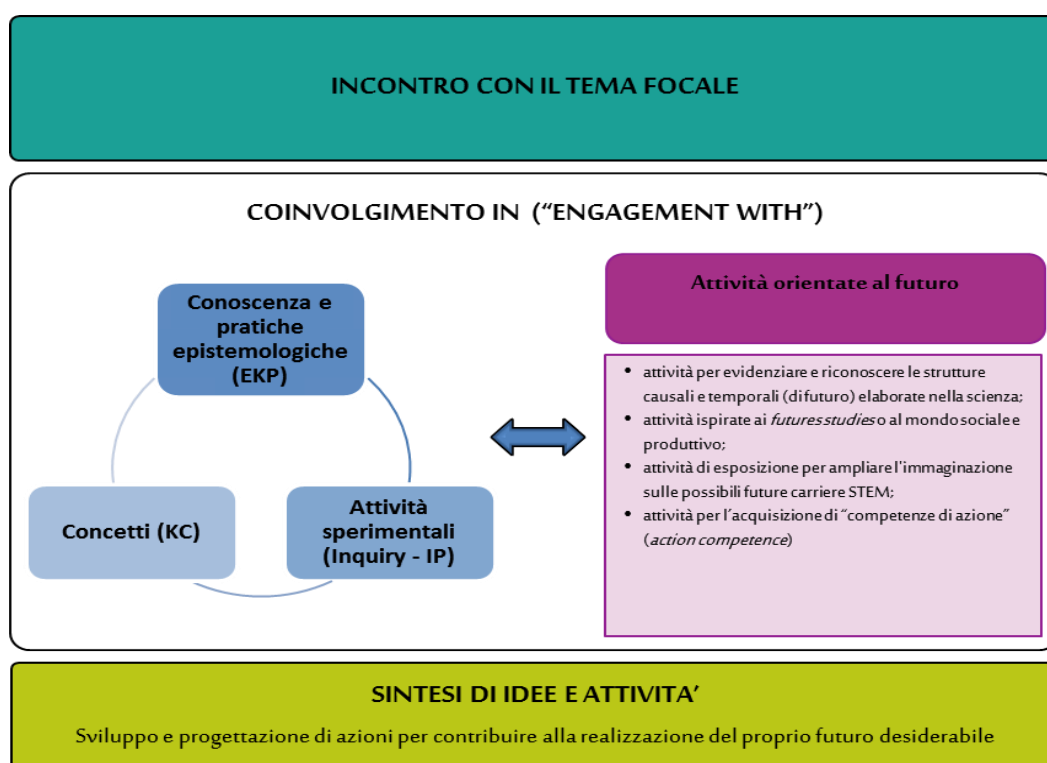


Figura 1: rappresentazione schematica delle tre fasi in cui sono articolati i moduli I SEE

Queste fasi scandiscono anche il modulo sull'Intelligenza Artificiale (IA), progettato dal gruppo di ricerca bolognese in *STEM education* e sinora implementato tre volte, due presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna, ed una presso il Liceo "Einstein" di Rimini, scuola partner nel progetto I SEE. Il tema principale del modulo, l'Intelligenza Artificiale, è stato scelto in quanto si presta particolarmente ad essere affrontato tramite l'approccio interdisciplinare caratterizzante il progetto I SEE. È infatti un tema scientifico avanzato, intrinsecamente interdisciplinare e oggetto di molte ansie e preoccupazioni riguardo il futuro: pertanto, è parso ai

ricercatori che potesse essere un buon “banco di prova” per un insegnamento fondato sugli aspetti disciplinari STEM ma al contempo rivolto allo sviluppo di competenze per una gestione razionale ed emotiva del tempo presente e futuro.

Rispecchiando la struttura generale dei moduli I SEE, anche il modulo sull’IA è costituito da una prima parte con un’attività di gruppo ed un seminario riguardo le applicazioni dell’IA in molti campi - dall’astronomia alla diagnostica per immagini -, e due conferenze sulla storia dell’IA e sulla relazione tra IA e scienza della complessità. Nella seconda fase, gli studenti hanno partecipato ad un seminario sui diversi paradigmi di programmazione per l’IA (imperativo, logico-dichiarativo, *Machine Learning*), ciascuno applicato al gioco del Tris. In connessione alla terza parte del modulo, la prospettiva della complessità è stata ripresa per collegare l’IA ai nuovi modi di pensare al futuro offerti dalla disciplina dei *Future Studies*. Infine, l’ultima fase è consistita in un’attività di gruppo sull’immaginazione di un’ideale città futura e la progettazione di un’azione da compiere nel presente per favorire l’attuazione dello scenario futuro desiderato. Un elenco delle attività del modulo, comprensivo della numerazione che verrà utilizzata nel seguito dell’elaborato è fornito in Tabella 1.

Tabella 1: Attività del modulo IA

Attività 1	Storia dell’IA e applicazioni in fisica
Attività 2	IA everywhere!
Attività 3	Bit bang
Attività 4	Introduzione all’IA
Attività 5	Introduzione al paradigma imperativo
Attività 6	Tris imperativo in Python
Attività 7	Introduzione al paradigma logico-dichiarativo
Attività 8	Tris logico in Prolog
Attività 9	Introduzione al paradigma del <i>Machine Learning</i>
Attività 10	Tris con rete neurale in Matlab
Attività 11	Prevedere, ipotizzare e immaginare il Futuro: dalla Fisica ai <i>Future Studies</i>
Attività 12	La città di Ada

Nei paragrafi successivi verranno espone nel dettaglio le attività caratterizzanti il modulo implementato a Bologna, presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia, e svoltosi in sei incontri pomeridiani di tre ore ciascuno, nel periodo di febbraio-marzo 2018. Il corso era rivolto a studenti dell’ultimo biennio della scuola secondaria e ha visto coinvolti 15 ragazze e 15 ragazzi, provenienti

dai licei ed istituti tecnici di tutta l'Emilia Romagna. L'iniziativa si è collocata nell'ambito del Piano Nazionale Lauree Scientifiche (PLS), un progetto di collaborazione tra istituti secondari superiori ed università volto a combattere la crescente disaffezione dei giovani verso le discipline scientifiche. Ad oggi, il modulo è stato replicato altre due volte: a Rimini presso il Liceo "Einstein" (partner nel progetto I SEE) nel periodo di febbraio-marzo 2018 e durante la scuola estiva del progetto PLS, svoltasi presso il Dipartimento nel giugno 2018 (PLS, 2018).

2.1 Primo incontro: l'IA oggi: ambiti e applicazioni

Attività 1: Storia dell'IA e applicazioni in fisica – prof. N. Lanconelli

Dopo un'introduzione da parte della prof.ssa Levrini al progetto I SEE e alle motivazioni che avevano spinto il gruppo di ricerca ad affrontare un tema come quello dell'IA, il corso è iniziato con un intervento del prof. Lanconelli, professore presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia, mirato, da un lato, ad introdurre il tema dell'IA in generale, dall'altro, a mostrare le applicazioni alla fisica.

Se il test di Turing (1950) può essere considerato il primo tentativo di costruire un'intelligenza artificiale, l'evento ufficiale che segnò la nascita vera e propria dell'IA come campo di ricerca fu tuttavia il successivo convegno di Dartmouth (1956), durante il quale diverse personalità del mondo accademico dell'epoca si ritrovarono a discutere della possibilità di riprodurre artificialmente i meccanismi alla base dell'apprendimento e dell'intelligenza umani. Alla conferenza seguì un periodo di grande entusiasmo: si pensava di poter progettare in meno di un decennio un sistema che potesse fornire soluzioni a qualsivoglia problema e che potesse poi adattarsi anche allo svolgimento di compiti avanzati, tra cui quello di giocare a scacchi. In realtà Deep Blue, la macchina che sconfisse a scacchi l'allora campione mondiale Kasparov, venne elaborata solo 40 anni dopo. Oltre ad un ottimismo a livello di tempistiche, anche altri diversi aspetti fortemente caratterizzanti l'intelligenza umana erano stati sottovalutati nella prima analisi del convegno di Dartmouth: se per il gioco degli scacchi si era rivelata sufficiente l'implementazione, su macchine adeguatamente potenti, di un algoritmo che analizzasse sulla base di funzioni euristiche tutte le possibilità di mosse dell'avversario, un sistema simile non poteva funzionare in un ambito che richiedesse anche una componente più istintiva, come quella riguardante appunto il linguaggio e la visione. Lo studio e la conoscenza dei processi conoscitivi e

percettivi divennero a questo punto di primaria importanza e nei sistemi computazionali si cercò di imitare il comportamento del cervello umano: sono nate così le reti neurali, dando il via alle discipline di “*Machine Learning*” e “*Pattern Recognition*”.

La seconda parte dell'intervento verteva sulle applicazioni dell'IA, con particolare riferimento all'ambito della fisica. Anche restringendo il campo di indagine a questa disciplina, si rintracciano applicazioni dell'IA in ogni settore: dalla fisica di base per la ricerca di leggi fisiche descrittive di fenomeni a partire dai dati sperimentali, alla fisica sperimentale per ricreare l'esperimento sul condensato di Bose-Einstein, che aveva valso il Nobel nel 2001 a Cornell, Wieman e Ketterle; dalla fisica della materia per la progettazione di un materiale a partire dalle sue proprietà, alla fisica medica per analizzare masse e microcalcificazioni.

Attività 2: IA everywhere!

Questa attività era mirata a coinvolgere gli studenti mettendoli a contatto con le applicazioni di frontiera dell'IA. A tal proposito sono state preparate sei schede riguardanti diversi ambiti di applicazione dell'IA: arte, archeologia, veicoli autonomi, ricerca scientifica, osservazioni astronomiche, servizi. In ogni scheda, erano elencate definizioni di processi di elaborazione tramite sistemi informatici ed esempi di applicazione pratica. Tra queste, i sistemi Cyborg per le osservazioni astronomiche, il Continuator che improvvisa sullo stile musicale della persona che lo istruisce, ArchAide per il riconoscimento dell'epoca e della tipologia di reperti trovati in siti archeologici.

Dopo aver letto le schede, agli studenti è stato chiesto di riflettere su quali fossero gli aspetti che maggiormente li avevano colpiti, sorpresi e spaventati, soffermandosi sulle potenzialità e i rischi che tali avanzamenti potevano avere nella ricerca scientifica, in ambito sociale, personale, professionale ed etico. Da un'analisi preliminare delle loro risposte, è risultato che l'IA, ritenuta necessaria in ambito di ricerca scientifica e osservazioni astronomiche, è fonte di preoccupazione quando si teme che possa prendere il sopravvento anche in attività umane quotidiane, intaccandole sia da un punto di vista etico, sia lavorativo, andando a sostituire molti operai e creando di fatto disoccupazione.

2.2 Secondo incontro: l'IA nella sua evoluzione storico-critica

Attività 3: Bit bang - prof. G. Zanarini

L'intervento che ha aperto il secondo incontro del corso è stato tenuto dal prof. Zanarini, professore presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia, esperto ed autore di numerosi volumi sul tema della complessità; proprio questo è stato il tema della conferenza, in relazione all'IA.

Il prof. Zanarini ha iniziato il discorso parlando dell'evoluzione nel corso dei secoli della concezione del mondo come macchina, da Lucrezio ad Einstein, passando per Galileo e Copernico: il mondo era inteso come una grande macchina, un orologio, un'immagine plastica per dare corpo e struttura ad un mondo intrinsecamente matematico.

Fino a metà del '900 tale visione di mondo ordinato e regolare permase, finché l'invenzione di una nuova macchina non la rivoluzionò: questa macchina, nata come calcolatrice, era completamente diversa da quelle precedenti poiché non la si limitava alla risoluzione numerica di equazioni ma aveva come scopo ultimo l'elaborazione di informazioni. Erano nati i computer, nuove macchine che potevano creare mondi virtuali complessi, impossibili da spiegare in termini di causalità semplici. Un esempio di macchina di questo tipo è l'automa cellulare, un sistema che crea strutture ignote ai singoli componenti ma al contempo indubbiamente dipendenti dall'evoluzione dei componenti stessi.

L'importanza dell'innovazione portata da queste nuove macchine consiste nella possibilità di creare dei modelli del mondo nella sua complessità, ricavare attraverso questi modelli la struttura del mondo e farne delle previsioni reali. Le rotonde nelle grandi città, gli stormi di uccelli che formano figure inconsapevolmente, le ordinatissime colonie di formiche sono tutti esempi di sistemi complessi esistenti in natura che possono essere riprodotti tramite computer che divengono così simulatori virtuali. Tra i sistemi cui si aspira maggiormente a simulare vi è il cervello umano, e proprio dal tentativo di emulare il comportamento cerebrale sono nate le cosiddette reti neurali, modelli matematici composti di neuroni artificiali che modellizzano lo scambio di informazioni tra i neuroni in un modo simile a quanto avviene nel cervello umano.

Attività 4: Introduzione all'Intelligenza Artificiale - Prof.ssa P. Mello

La prof.ssa Mello, docente presso il Dipartimento di Ingegneria Informatica all'Università di Bologna e presidentessa dell'Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale (AIXIA), ha delineato una breve storia dell'IA, caratterizzando in particolare i principali approcci ad essa.

Pur non esistendo una definizione di Intelligenza universalmente accettata, con questo termine si indica di norma quel complesso di facoltà psichiche e mentali che consentono all'uomo di pensare, comprendere o spiegare fatti e azioni. Ma possono le macchine pensare?

Il primo banco di prova per tentare una risposta a questa domanda fu il test escogitato da Turing: si immagina di interagire con un'entità senza poterla vedere; se dopo un certo tempo non si è in grado di stabilire se l'entità in questione sia un uomo o una macchina, si può dire di avere a che fare con una macchina intelligente. Per affrontare e superare il test di Turing, il computer dovrebbe essere dotato di capacità di elaborazione del linguaggio naturale, rappresentazione della conoscenza, ragionamento e apprendimento automatico.

Il test di Turing è stato tuttavia molto criticato per la sua limitatezza: sebbene in alcuni casi funzioni, certifica solo l'emulazione, non la simulazione dell'intelligenza, poiché non sappiamo in effetti come ragioni davvero la mente umana.

A seguito di queste obiezioni, si è distinto tra IA debole e forte: mentre la prima, quella attualmente maggiormente diffusa, cerca di emulare comportamenti intelligenti, la seconda mira a ricreare un'intelligenza a tutti gli effetti, comprendendo anche gli aspetti legati alla volontà, ai sentimenti e all'istinto.

Tra gli approcci utilizzati per portare le macchine ad apprendere, si distinguono principalmente due filoni: quello *top down* o simbolico, a partire dalle conoscenze teoriche "dall'alto", e quello *bottom up* o connessionista, che parte dall'analisi di esempi "dal basso". Se si desidera ad esempio far costruire alla macchina una circonferenza, utilizzando l'approccio *top down* la si descrive in base alle sue proprietà matematiche (linguaggio dichiarativo), oppure mediante un metodo per disegnarla col compasso (linguaggio procedurale). L'approccio *bottom up* prevede invece che il concetto di circonferenza venga appreso in modo implicito a partire da esempi. Le reti neurali si basano sull'apprendimento di tipo *bottom up*: apprendono in modo implicito dagli esempi, non sono consapevoli dello scopo dell'apprendimento, non hanno conoscenze teoriche ma osservando gli esempi che hanno a disposizione nel *dataset* imparano a fare qualcosa.

Per rispondere al quesito iniziale (Possono le macchine pensare?), la relatrice ha terminato il suo intervento mostrando celebri esempi di applicazione dell'IA: nel 1997 Deep Blue sconfisse a scacchi il campione mondiale Kasparov; nel 2011 il supercomputer Watson batté gli avversari umani a Jeopardy, un famoso quiz televisivo caratterizzato dal dover formulare la risposta sotto forma di domanda più appropriata (es. Dato: “Presidente degli Stati Uniti negli anni 60”. Risposta: “Chi è Kennedy”); nel 2014, AlphaGo vinse contro il campione mondiale nel complesso gioco del Go. In tutti e tre i casi, si è trattato di applicazioni di reti neurali che, sebbene abbiano appreso dall'esperienza senza avere conoscenze “teoriche”, hanno trovato il modo di attuare nuove strategie e vincere contro campioni molto esperti. È difficile stabilire se questo tipo di apprendimento sia davvero paragonabile a quella del cervello umano, tuttavia, se anche non si può parlare di intelligenza secondo un'accezione umana, è evidente che queste siano forme di apprendimento artificiale piuttosto avanzate.

2.3 Terzo incontro: insegnare ad apprendere alle macchine: sono davvero intelligenti?

Durante le 6 attività che seguono (dalla 5 alla 10), la domanda a cui si è tentato di rispondere era la seguente: le macchine sono davvero intelligenti? Per farlo, è stato trattato un problema tipico dell'IA ma al contempo semplice, il gioco del tris, affrontandolo secondo tre tra i principali paradigmi di programmazione: imperativo procedurale, logico dichiarativo e *Machine Learning* con rete neurale. Nelle attività contrassegnate da numeri dispari (5, 7 e 9), sono stati introdotti i caratteri generali del paradigma di programmazione di volta in volta esaminato, mentre, nelle attività contrassegnate da numeri pari (6, 8 e 10), si sono applicati tali concetti alla realizzazione rispettivamente in Python, Prolog e Matlab dell'algoritmo per il gioco del tris.

Attività 5 e 6: Introduzione al paradigma imperativo e tris imperativo in Python – dott. M. Lodi

Il dott. Lodi, dottorando in *Computer Science* presso l'Università di Bologna, ha esordito il suo intervento invitando gli studenti a ragionare in coppia per formulare una strategia vincente tale che potesse poi essere usata per istruire una robottina ipotetica di nome Lucy. Dopo un brainstorming sulle tecniche ipotizzate, il dott. Lodi, riprendendo quanto già accennato dalla prof.ssa Mello nell'attività 4, ha offerto una panoramica sui tre paradigmi di programmazione che

possono essere utilizzati per insegnare alle macchine: procedurale-imperativo, dichiarativo-logico e *Machine Learning*. Il paradigma imperativo, nella categoria degli approcci simbolici, consiste nello spiegare alla macchina come giocare e vincere a tris tramite una sequenza di mosse successive. Il paradigma logico, ancora nella categoria di approcci simbolici, consiste nell'esprimere la conoscenza sul problema ("base di conoscenza"), lo stato iniziale e l'obiettivo, lasciando che sia il linguaggio, tramite il proprio motore di inferenza a trovare l'algoritmo migliore per risolvere il problema. Il terzo paradigma, quello del *Machine Learning*, è invece basato su un vero e proprio algoritmo di apprendimento: tramite l'inserimento di esempi di mosse vincenti la rete neurale rinforza le connessioni che le permettono di dare output corretti, quindi vincenti, anche in situazioni che la scacchiera non ha mai visto.

Nella seconda parte del suo intervento, come attività 6, il relatore ha mostrato direttamente cosa significhi per il computer, in particolare secondo un paradigma imperativo, leggere e interpretare le istruzioni che le sono fornite. Dopo aver discusso la strategia vincente per la vincita al gioco del tris, il dott. Lodi ha utilizzato il sito Python Tutor per mostrare come le funzioni "vincere", "prossima mossa" scritte dal programmatore vengano memorizzate nella memoria della macchina ed eseguite quando richiesto.

Attività 7 e 8: Introduzione al paradigma logico-dichiarativo e tris logico in Prolog – dott.ssa L. Branchetti e dott. M. Lodi

Il secondo intervento era incentrato sul secondo paradigma di programmazione: quello logico e inferenziale. "Cos'è un'inferenza?", "Cosa si intende per logica?" sono state le domande con cui la relatrice dott.ssa Laura Branchetti, assegnista di ricerca in didattica della matematica presso l'Università di Parma, ha introdotto l'argomento cercando di coinvolgere attivamente gli studenti durante tutto il corso della lezione. Innanzitutto, sono stati distinti i concetti di proposizione logica e formula: la proposizione, basandosi sull'esperienza o su una teoria, assume i valori vero o falso, indipendentemente da una variabile (ad esempio, "Il mio maglioncino è verde" è vero o falso a seconda dell'esperienza, mentre "2 è un numero pari" è vero o falso sulla base di una teoria), mentre nella formula ci sono variabili e la verità e falsità dipendono da esse (ad esempio, "X è un maglioncino verde", "X è un numero pari" sono vere o false a seconda di X). La logica matematica è governata da regole e sillogismi stringenti che solo in parte regolano il linguaggio naturale, caratterizzato anche da forme di ambiguità e da affermazioni di cui non si può stabilire la verità o la falsità (es. la frase "tutte le donne mentono", qualora pronunciata da una donna). Adottando un

paradigma di tipo logico per istruire una macchina è tuttavia necessario fornire al computer una base di conoscenza priva di ambiguità: se non si dimostra la verità di una data affermazione, la macchina registra automaticamente vera la sua negazione. Questo ragionamento molto rigido, così lontano dalla logica umana, è quello che tuttavia permette anche al programmatore di controllare la macchina.

Dopo un'introduzione alla logica matematica, argomento nuovo per la maggior parte degli studenti, si è entrati nello specifico di un linguaggio di programmazione logica: il Prolog. Questa seconda parte della lezione è stata svolta "a due voci", dalla dott.ssa Branchetti, per gli aspetti di logica matematica, e dal dott. Lodi, per la descrizione degli algoritmi.

Il linguaggio Prolog è caratterizzato da un ragionamento positivo (*modus ponens*): da premesse vere, l'insieme dei fatti che costituiscono la cosiddetta "base di conoscenza", si deducono conclusioni vere, tramite l'applicazione di regole dichiarate.

Come primo esempio, è stato presentato un problema e la sua implementazione in Prolog:

Fatti (base di conoscenza): "Giovanni è padre di Anna", "Carlo è padre di Antonio", "Andrea è padre di Carlo", "Andrea è padre di Giovanni".

Regole: implicazioni che considero corrette (es. "Se – se è vero che... – X è padre di Y e Y è padre di Z, allora X è nonno di Z"). X, Y, Z variabili.

Conclusioni: Risposte V/F a domande relative a "essere nonno di" (es. "è vero che Andrea è nonno di Anna?"). Falso è ciò che non è dedotto come vero a partire dall'assunzione di verità dei fatti.

Domanda: "Andrea è nonno di Anna?"

Il "ragionamento" del computer per rispondere alla domanda è: perché la risposta alla domanda sia "vero", deve essere vero che Andrea è padre di qualcuno; qui la macchina vede, scorrendo la base di conoscenza, che Andrea è padre di Carlo. Ora: Carlo è padre di Anna? Non è specificato, dunque la macchina considera come risposta "falso". La macchina allora scorre di nuovo nella base di conoscenza, per vedere se Andrea è padre di qualcun altro e trova che è dato per vero che Andrea sia padre di Giovanni; inoltre, Giovanni è padre di Anna, quindi Andrea è il nonno di Anna. In questo modo, tramite il motore inferenziale del linguaggio Prolog (scritto a sua volta in paradigma procedurale), la macchina è arrivata alla risposta.

Dopo aver illustrato l'esempio precedente, si è ripreso il caso del tris, nell'attività 8, questa volta seguendo il paradigma logico. A differenza del programma scritto in Python, dove si istruiva passo per passo la macchina sulle azioni da eseguire, alla macchina viene qui insegnato a giocare fornendole direttamente la strategia, espressa come fatti e regole, variabili e combinazioni di vittoria. Si tratta di un modo diverso di affrontare il problema rispetto all'approccio procedurale e la formulazione è molto più rapida perché non sono da descrivere tutte le mosse caratterizzanti la strategia. La lezione è terminata sottolineando le similarità tra i paradigmi procedurale e dichiarativo: in entrambi i linguaggi, che aderiscono ad approcci simbolici, sono trasparenti le motivazioni ed i "ragionamenti" che stanno dietro alla scelta, da parte della macchina, di una mossa rispetto a un'altra. Nel terzo paradigma, come si vedrà a partire dalla prossima attività, non è altrettanto semplice.

Attività 9: Introduzione al paradigma del *Machine Learning* - Dott.ssa E. Barelli

L'intervento, svolto dalla dott.ssa Barelli, dottoranda in *Data Science and Computation* presso l'Università di Bologna, è stato incentrato sul paradigma di programmazione tipico del *Machine Learning* ed in particolare sulle reti neurali.

La prima definizione non formale di *Machine Learning* risale alla fine degli anni '50, quando Arthur Samuel la definì come "la scienza che dà ai computer la capacità di imparare senza che questi siano programmati esplicitamente". Nel 1998 venne elaborata una definizione più formale: un programma impara dall'esperienza rispetto a un compito e a un misuratore di performance se questa performance misurata migliora con l'esperienza. Applicando questa definizione al tris, è possibile valutare in modo specifico il significato di esperienza, compito e performance. Il compito è vincere; il misuratore di performance è la misura in percentuale di successi; l'esperienza è quella acquisita dal programma nel vedere esempi di molte partite e del loro esito.

Dopo aver dato una definizione di *Machine Learning*, si è distinto tra due principali categorie di apprendimento - supervisionato e non supervisionato – per poi concentrarsi su quello supervisionato nel quale i dati, con le *features* che li descrivono, sono accompagnati da etichette di verità. Tipici problemi di apprendimento supervisionato sono i problemi di regressione: ad esempio, a partire da un set di dati riguardo delle abitazioni di cui si conoscono dimensione (*feature*) e prezzo (*label*), si vuole trovare una funzione che permetta di fittarli, in modo da poter poi prevedere il prezzo di abitazioni al di fuori del *dataset*. Un'altra categoria di problemi è invece quella di

classificazione, in cui l'output non è un prezzo che può crescere in maniera continua ma un sì/no, uno 0/1, un benigno/maligno nel caso di classificazione di tumori in base alle loro caratteristiche.

La lezione è proseguita con la descrizione di un generico algoritmo di apprendimento supervisionato. Considerato un data-set di allenamento, tale algoritmo deve essere capace di costruire una funzione previsore – chiamata funzione ipotesi - che, considerati i dati in input, predica il risultato in output. Per la regressione lineare, la funzione ipotesi è:

$$h_{\theta}(x) = \theta_0 + \theta_1 x;$$

mentre nel caso del problema della classificazione logistica la si definisce come:

$$h_{\theta}(x) = \frac{1}{1+e^{-\theta^T x}} = g(\theta^T x).$$

Anche queste funzioni ipotesi elementari dipendono da un set di parametri θ , la cui scelta è il cuore di tutti gli algoritmi di *Machine Learning*. Per determinare i parametri ottimali, viene definita una funzione costo, immaginabile come differenza tra valore predetto e valore reale dato dalla *label*, da minimizzare, in quanto si vuole che il valore restituito dalla funzione ipotesi sia il più vicino possibile all'etichetta data per gli esempi di *training*. Mentre per i problemi di regressione lineare e logistica, è possibile ottenere soluzioni numeriche molto facilmente, ciò non è possibile per problemi più complessi, tra cui quelli percettivi, come il riconoscimento di immagini in cui il numero di *features* è molto alto: è qui che entrano in gioco le reti neurali. Esse sono costituite da strati di neuroni che funzionano come unità computazionali: ricevono un certo numero di input dai dendriti, li elaborano svolgendo dei calcoli (funzione sigmoide) e inviano tramite i propri assoni i risultati ad altri neuroni. Questo processo di calcolo dell'output prende il nome di “*forward propagation*” perché consiste in una propagazione in avanti, dalle *features* in input all'output calcolato, attraverso successivi strati della rete. L'allenamento vero e proprio della rete avviene tramite la determinazione dei pesi caratterizzanti le connessioni tra i vari neuroni: per fare ciò viene utilizzato l'algoritmo di “*error back-propagation*” che funziona secondo i seguenti step: prima di iniziare l'apprendimento, si dispone la rete con pesi casuali; dopo essere arrivati al primo output si calcola l'errore δ tra l'output ottenuto e l'output desiderato (il valore vero della *label*); tale errore viene retropropagato, aggiornando tutti i pesi partendo dall'ultimo strato e proseguendo verso i primi. Il modello di rete allenata deve essere poi validato e testato su esempi nuovi per poterne valutare l'accuratezza. Al termine della lezione è stato sottolineato che tramite le reti neurali, per via del loro carattere sub-simbolico, è possibile risolvere problemi non descrivibili a priori, per i quali non si è a conoscenza di una “strategia” intesa in senso imperativo né di una base di conoscenza esplicita in senso dichiarativo. Infine, gli studenti sono stati invitati a riconoscere nella

rete neurale alcune caratteristiche che possono portare ad interpretarla come un sistema complesso: la capacità di imparare della rete è un processo *bottom up* comparabile ad una proprietà emergente; le regole che ogni singolo neurone, come agente della rete, deve seguire sono molto semplici e specifiche; una minima variazione di pesi critici della rete può portare ad una grande differenza nei valori predetti e questo comportamento è assimilabile all'effetto farfalla; i pesi della rete sono determinati con un processo circolare tra il calcolo *feed-forward* degli input e l'algoritmo di *error back-propagation* in cui i risultati in output modificano la struttura stessa della rete.

2.4 Quarto incontro

Attività 10: Tris con rete neurale in Matlab – dott. G. Ravaioli

L'intervento preparato per il quarto incontro era basato su un'applicazione pratica al gioco del tris di quanto già introdotto dalla dott.ssa Barelli nel precedente incontro: il dott. Ravaioli, dottorando in Fisica presso l'Università di Bologna, ha mostrato un'implementazione di rete neurale "capace di giocare a tris" scritta nel linguaggio Matlab.

Inizialmente, sono stati riassunti gli step necessari ad istruire una rete al compito di giocare a tris; la costruzione di un database di esempi di partite, la scelta di una struttura di rete neurale; l'allenamento della rete ed il test.

Per trattare il problema di costruzione del database, sono state registrate sotto forma di array le partite tra un algoritmo imperativo (come quello costruito nell'attività 6) ed un algoritmo randomico (data una certa configurazione della scacchiera, esso compie una mossa casuale), lasciate eseguire autonomamente; le mosse vincenti sono state considerate nel database di esempi. È stato sottolineato che questa procedura caratterizza la risoluzione di problemi strategici; sarebbe diversa qualora si prendessero in considerazione problemi di tipo percettivo o comportamentale poiché in quel caso si dovrebbero estrarre *features*, proprietà caratteristiche degli oggetti da identificare.

Il passo successivo è stata la scelta della struttura della rete neurale, ricaduta sulla rete *feed-forward*, già descritta durante l'attività 9 e la cui struttura è riportata in Figura 2.

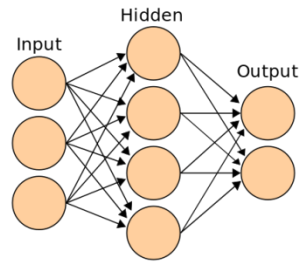


Figura 2: struttura della rete neurale feed-forward

Stabilita la struttura della rete, devono essere scelti il numero di livelli di input e di output, entrambi pari a 9 nel caso del tris, e il numero di strati intermedi della rete (detti anche “nascosti”) e dei rispettivi neuroni; per il tris si è rivelato sufficiente un solo strato nascosto, costituito da 50 neuroni. Per vedere in atto il procedimento di allenamento della rete e valutarne la performance, sono stati realizzati diversi database. Inizialmente sono stati scelti due algoritmi random come avversari per la costruzione di un database formato da 100 partite; così allenata, la rete è risultata vincitrice 48 volte, perdendone 40, su un totale di 100 partite. Aumentando gradualmente il numero di partite giocate durante l’allenamento, si è visto come aumentasse anche il numero di partite vinte. Al fine di perfezionare il database, la rete è stata successivamente allenata scegliendo come avversari prima due algoritmi imperativi, poi un imperativo e un random; dopo il primo allenamento la rete ha pareggiato tutte le partite giocate contro un algoritmo imperativo, ma ne ha perse molte contro un random. Al secondo allenamento, invece, la rete è arrivata a risultati ottimali, vincendo il 90% delle partite giocate, contro entrambi gli algoritmi. Il relatore ha qui sottolineato come l’importanza dell’allenamento consista nell’avere a disposizione una varietà notevole di esempi, al di là del loro numero: infatti, la rete neurale apprende unicamente dagli esempi, dunque soltanto con un insieme di dati di *training* vasto, ma soprattutto vario, funziona efficientemente.

Il punto cruciale, sottolineato dal relatore, è che la rete non sa nulla, non conosce le regole del gioco né le strategie utili per vincere, ma apprende autonomamente i meccanismi di gioco, e di fatto le strategie, in base agli esempi che le vengono forniti. Si può così evidenziare una componente di creatività nel comportamento della rete neurale che riesce ad apprendere dagli esempi strategie anche migliori di quelle che osserva (come nel caso dell’allenamento tramite due algoritmi random). Questa componente creativa è stata evidenziata non solo in questo specifico esempio del tris ma anche in altri ambiti del *Machine Learning*, stimolando non poche questioni ed interrogativi riguardo i possibili risvolti dell’evoluzione delle IA, in quanto, per via della subsimbolicità dell’approccio, non è possibile determinare “come e perché” effettivamente le reti arrivino a tali soluzioni creative.

Attività 11: Prevedere, ipotizzare e immaginare il futuro: dalla Fisica ai *Future Studies* – Dott.ssa E. Barelli

Il secondo intervento, a cura della dott.ssa Barelli, è servito a introdurre il tema della complessità come nesso tra la parte concettuale del modulo e la dimensione più esplicitamente di futuro.

Il confronto tra i diversi paradigmi di programmazione ha messo in risalto il profondo cambiamento di prospettiva che ha caratterizzato il passaggio tra i tre approcci, in particolare tra il procedurale e il dichiarativo, fortemente legati ad un modello di determinismo e di causalità lineare, e quello del *Machine Learning*, in cui si riconosce un principio di causalità non più lineare ma circolare. Questo confronto ha permesso di ripercorrere nel modulo la storia della scienza stessa e di riconoscere come il suo progresso non sia stato legato soltanto un crescente sviluppo tecnologico ma anche e soprattutto ad un progresso concettuale. Così come il passaggio dalla concezione deterministica della scienza a quella probabilistica è stato il punto di partenza dell'evoluzione scientifica dalla meccanica classica alla meccanica quantistica, anche la nascita dei sistemi complessi ha obbligato ad un cambio di approccio verso il futuro.

“Futuro” è una parola intrinsecamente insita nella scienza e in particolare nella fisica, che nasce anche per gestire razionalmente l'incertezza del futuro. Se però tale futuro era sempre stato considerato prevedibile e l'incertezza era attribuita esclusivamente all'incapacità sperimentale di effettuare misure perfettamente accurate, la scienza della complessità offre un patrimonio di concetti nuovi. Non si parla più di linearità causale ma di causalità circolare e feedback; viene introdotto il concetto di auto-organizzazione di un sistema complesso, in cui ciascuna delle sue componenti si auto-organizza seguendo semplici regole e dando luogo a proprietà che caratterizzano solo il sistema nella sua totalità; sorge l'impossibilità di predire l'evoluzione futura di un sistema a causa dell'alta sensibilità alle condizioni iniziali che porta al caos deterministico.

Ad esemplificazione di modelli che tentano di descrivere sistemi complessi, è stato introdotto in particolare il modello di Schelling, valso il Nobel a Schelling nel 1979 per aver modellizzato la segregazione sociale di due popolazioni di individui che possono muoversi all'interno di una città obbedendo a poche semplici regole: ciascun agente è soddisfatto della propria posizione se attorno a lui vi è almeno 1/3 di vicini come lui; altrimenti, si sposta. Lasciando evolvere il sistema secondo queste regole, si mostra che, a partire da una popolazione mista, si ottiene una città segregata in quartieri in cui sono presenti individui di una sola popolazione. Questo

fenomeno è stato interpretato come proprietà emergente in quanto è tipica della scala macro del sistema, non è dovuta ad alcun controllo centralizzato né a decisioni esplicite d'insieme dei due gruppi e non vi è un legame causale diretto tra le regole sui singoli agenti (micro) e il risultato aggregato dell'evoluzione del sistema (macro).

Il cambiamento di paradigma offerto dalla scienza della complessità è stato alla base anche della nascita, in sociologia, della disciplina dei *Future Studies* (studi di futuri), che studia i diversi tipi di futuro e i modi per prevederli (*forecast*), ipotizzarli (*foresight*) o anticiparli (*anticipation*). Mentre la previsione del *forecast* è intesa come risultato univoco dell'applicazione di un modello, sulla base dei trend passati e della situazione presente, con il *foresight* si inizia a parlare di proiezioni intese come un ventaglio di possibilità, tanto ampio quanto sono numerosi e vari gli scenari futuri. In questa nuova prospettiva è possibile introdurre diversi tipi di futuro; in Figura 3 è mostrato il cono dei futuri di Voros.

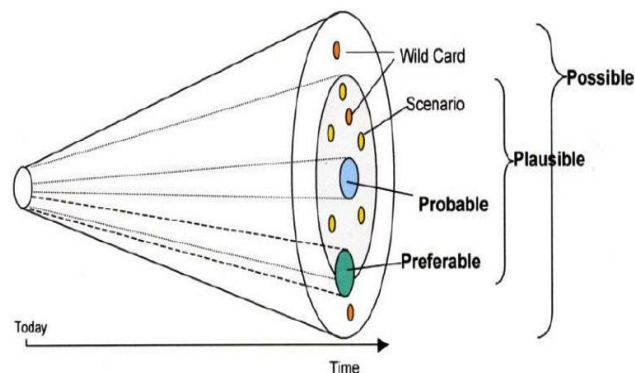


Figura 3: Cono dei futuri

Si identificano quattro tipi di futuri: probabili, plausibili, possibili e preferibili o desiderabili. Nell'elenco che segue verranno distinti in base alle loro caratteristiche e alla conoscenza necessaria per formularli:

- futuri probabili: quelli che è probabile che accadano, sulla base dei trend osservati a partire dal passato; per determinarli, la conoscenza impiegata non è solo quella del presente, ma anche quella del passato;
- futuri plausibili: quelli che potrebbero accadere in base alla nostra conoscenza attuale, senza considerare i trend passati;
- futuri possibili: tutti i futuri che possiamo immaginare, anche quelli improbabili; la conoscenza impiegata è anche quella che ancora non possediamo (si possono ipotizzare violazioni di leggi o principi fisici attualmente accettati). In questo contesto si può parlare di "possibili scenari", dove con il termine scenario si fa riferimento ad una descrizione di una possibile situazione futura, incluso il percorso di sviluppo che porta a quella situazione.

- futuri preferibili o desiderabili: quelli che vengono scelti sulla base delle aspirazioni, dei valori e dei desideri di ciascuno. La procedura per identificarli non segue alcun percorso in avanti, dal presente al futuro, ma consiste nel collocarsi nel futuro voluto e poi procedere tramite un'operazione di *backcasting*, andando a rintracciare, dal futuro al presente, gli eventi che possono aver portato a quel futuro voluto.

Attività 12: La città di Ada

Dopo aver introdotto il tema del futuro nella precedente attività, durante l'attività 12 è stato consegnato agli studenti un testo, elaborato appositamente dal gruppo di ricerca, che descrive la città di Ada, un piccolo centro urbano in espansione, abbastanza lontano dalle grandi metropoli. Una delle sue aziende, la Babbage, ha recentemente avuto un impulso dovuto alle intuizioni di due giovani ingegneri che hanno brevettato il microprocessore Zx2000, cuore dell'intelligenza artificiale Pensiero Profondo. Questo fatto ha attirato molti investitori interessati agli sviluppi potenziali e innovativi del sistema, e posto sotto i riflettori la Babbage, la quale ha avanzato una proposta all'Amministrazione Comunale che favorirebbe lo sviluppo di Ada elevandola a modello di riferimento per altri centri urbani e contemporaneamente permetterebbe all'azienda di espandere il suo mercato. Il progetto prevede da un lato lo sviluppo di assi portanti come trasporti, turismo, servizi, e dall'altro una distribuzione di microchip o badge personalizzati che permettano una connessione ai servizi sanitari, ricreativi ed educativi. I cittadini di Ada potranno conoscere in tempo reale la disponibilità dei servizi. Questo tipo di connettività prevede un sistema innovativo che richiede la distribuzione di *device* in grado di connettersi e inviare informazioni a Pensiero Profondo, che gestirà tutte le problematiche riguardanti la distribuzione dei servizi, la manutenzione degli impianti elettrici, idraulici, etc.

Agli studenti sono state proposte tre attività, che sono state sviluppate negli incontri successivi. La prima richiedeva loro, divisi in gruppo, di analizzare la situazione esposta nel testo riconoscendo a) gli attori coinvolti (*stakeholder*), b) le loro esigenze ed interessi, c) le interazioni esistenti tra loro. Come seconda attività è stato invece richiesto loro di riflettere su come rispondere alla proposta dell'azienda. Come terza attività è stato richiesto di analizzare tre possibili scenari futuri preformulati e di individuare, per ciascuno, gli aspetti più interessanti e positivi e quelli più preoccupanti e negativi:

- **Scenario A:** Pensiero Profondo gestisce l'Amministrazione di Ada, dai servizi della città, al flusso di turisti, al traffico da e verso Ada. Monitora i livelli nell'aria delle polveri sottili, il livello dei corsi d'acqua, lo stato delle coltivazioni e regola le attività dei cittadini per

rispettare criteri di sostenibilità ambientale. L'IA è in grado anche di organizzare la vita di ogni cittadino rendendo più semplici le attività di routine e ricavando tempo libero da dedicare a sé stessi o alla comunità. La giornata del cittadino è gestita da Pensiero Profondo che tiene conto delle abitudini e dei desideri di ognuno.

- **Scenario B:** il piano di sviluppo di Ada è continuamente monitorato da un team multidisciplinare di ricercatori che utilizzano Pensiero Profondo per analizzare le problematiche economiche, culturali e sociali della città, individuare opportunità e suggerire azioni di sviluppo. Si sono formate diverse startup legate all'industria creativa e alla formazione. Alcuni software implementati grazie a Pensiero Profondo consentono di monitorare gli equilibri della città in termini di pluralità etnica e sociale in base a modelli socioeconomici e vengono proposte attività di integrazione e ristrutturazione urbanistica per ottimizzare la convivenza cittadina.
- **Scenario C:** le persone che vivono ad Ada conducono una vita raccolta e svolgono professioni che non prevedono grandi spostamenti. La centralità della persona e delle relazioni umane ha fatto sì che le innovazioni proposte dalla Babbage, come Pensiero profondo, siano state guardate con sospetto e via via accantonate, per il timore che potessero causare isolamento e deresponsabilizzazione. Ci sono molti centri culturali in cui si discute di tematiche sociali, scientifiche, economiche e filosofiche con adulti esperti. Sono organizzate conferenze con esperti provenienti da università e enti importanti, ma anche persone che hanno portato avanti percorsi di ricerca alternativi.

2.5 Quinto incontro: scenari futuri per la città di Ada

Nel quinto incontro, proseguimento dell'attività 12 sulla città di Ada, sono state riportate dagli studenti le riflessioni riguardo la loro analisi degli scenari.

La maggioranza dei ragazzi (10) ha scelto lo scenario B mentre le preferenze per gli scenari A e C sono state rispettivamente 3 e 3. Due ragazzi non hanno espresso una preferenza per uno scenario in particolare, ma hanno entrambi sottolineato il rischio, nel caso dello scenario A, di limitare il libero arbitrio dei singoli.

Lo scenario B è stato favorito in quanto è stato considerato una "via di mezzo" tra le due prospettive estreme offerte dagli scenari A e C. In questo scenario infatti, l'IA viene sfruttata a vantaggio dei cittadini soprattutto in ambito economico e di sviluppo, si offrono molte opportunità

ai giovani e viene lasciato molto spazio all'arte e alla creatività; si riconosce in questa situazione un giusto equilibrio tra l'aspetto umano e quello tecnologico, si mantiene la responsabilizzazione dei cittadini e si esalta la possibilità di espressione da parte dei singoli. Lo scenario A è invece quello ritenuto più preoccupante, in quanto vengono affidate troppe responsabilità all'IA tendendo ad una deresponsabilizzazione e passività dei cittadini. Il terzo scenario è stato apprezzato per la biodiversità e per le diverse potenzialità che una città del genere, molto diversa dalle metropoli odierne, potrebbe avere: i cittadini hanno a disposizione tutto ciò che è necessario per i bisogni primari, per lo svago e allo stesso tempo possono partecipare a conferenze per essere aggiornati su questioni di ogni genere; si teme tuttavia un isolamento rispetto al resto del mondo per il modo in cui si vive ed inoltre è stato criticato il mancato utilizzo dell'IA, anche in contesti che ne sarebbero grandemente avvantaggiati.

Dopo aver condiviso le analisi e riflessioni sugli scenari, i ragazzi sono stati divisi in cinque gruppi, in base alla similarità delle loro posizioni rispetto agli scenari, ed è stato loro chiesto di discutere per immaginare uno "scenario desiderabile" e per trovare uno slogan che caratterizzasse Ada come la città ideale in cui vivere o da visitare nel 2040. È stato inoltre loro chiesto di progettare un'azione da intraprendere nel presente, come singoli e/o come gruppo, allo scopo di favorire l'attuazione dello scenario desiderato. Al termine dell'incontro, gli studenti hanno esposto i loro scenari all'intero gruppo; un riassunto delle loro presentazioni, in cui emergono specialmente forti sensibilità riguardo l'educazione e i cambiamenti sociali, è fornito a seguire.

Gruppo 1 - "Ada: la città ottimizzata"

L'Intelligenza Artificiale si occupa della gestione dell'intera città, dall'amministrazione alle attività dei singoli che sono seguiti dall'IA sin dall'infanzia. La domotica è altamente sviluppata. Ogni individuo è schedato in modo tale da poterne valorizzare le capacità e poterlo indirizzare nell'attività o nel mestiere considerato migliore per lui.

Gruppo 2 - "Ada: Armiamoci Di Avanguardia"

L'Intelligenza Artificiale viene sfruttata per ottimizzare la gestione di alcuni servizi tra cui i trasporti, i centri di assistenza e di approfondimento culturale. Le abitazioni e i luoghi pubblici sono dotati di sistemi di sicurezza avanzati. Come azione, i membri dell'Amministrazione si impegnano a organizzare corsi di formazione e aggiornamento sull'IA e sul suo utilizzo in modo da garantire che in futuro vi siano persone in grado di utilizzare efficientemente e responsabilmente le Intelligenze.

Gruppo 3 - "L'uomo il fondamento, l'IA lo strumento"

L'IA è pensata in questo scenario soltanto come ausilio per l'uomo, non come sostituto. Essa si occupa della monitoraggio dei parametri ambientali per migliorare la qualità dell'aria e aumentare gli spazi aperti e verdi e gestisce alcuni servizi al fine di favorire maggiori comodità, specialmente per portatori di handicap. A fianco dell'IA è tuttavia prevista la presenza costante di esperti che controllino il funzionamento dei

sistemi. Come azione si punta tutto sull'educazione civica, secondo l'opinione che i cittadini debbano formarsi in modo da non avere mai un atteggiamento passivo nei confronti della comunità.

Gruppo 4 - "Io ci sono nel circuito sociale del futuro"

In questo scenario, si promuove lo sviluppo tecnologico senza limitare la volontà e l'arbitrio dell'essere umano nella società. I cittadini sono attivi nella comunità e l'IA è uno strumento di espressione culturale. Grazie a questo equilibrio tra IA e spazi per l'umano, Ada è rimasta sempre al passo con le nuove tecnologie, salvo per i settori in cui è previsto il diretto intervento dell'uomo, in ambito artistico o nelle interazioni sociali in attività commerciali. Come azione, si è deciso di scommettere sull'educazione alla cittadinanza e alle nuove tecnologie; viene promossa una campagna di attività culturali non obbligatoria per sensibilizzare i cittadini.

Gruppo 5 - "Fermati, *carpe diem*"

Nella città, la tecnologia è pensata unicamente come supporto per le attività della vita quotidiana. Le persone conducono un'esistenza tranquilla e semplice, dedicandosi ad attività di studio e culturali. È molto forte l'aspetto dell'educazione, che si basa sulla valorizzazione del pensiero critico, della storia e dell'autonomia di pensiero dell'individuo. Come azione, si vuole promuovere l'educazione e la valorizzazione del pensiero critico sviluppando il concetto di responsabilità personale, insegnando ai cittadini a vivere in modo semplice, accontentandosi di ciò che hanno.

2.6 Sesto incontro: dai problemi alle azioni

Durante il sesto incontro, come ultima attività proposta, è stato chiesto ai ragazzi di identificare un problema importante della città di Ada e cercarne una possibile soluzione in termini di azioni. È stata riproposta la divisione in gruppi in base ai problemi individuati, in modo tale che potesse essere più semplice per gli studenti giungere ad un accordo, evitando le divergenze più esplicite. Come problemi sono state individuati la passività dei cittadini, la mancanza di meritocrazia intesa come connessione tra le proprie capacità e i propri studi e l'attività lavorativa che si intraprende; la continua sensazione di ansia; l'individualismo; la crisi sociale e governativa della classe dirigente. Ad ogni gruppo è stato chiesto di trovare, tra le varie strategie risolutive, quella all'apparenza più accattivante e quella meno interessante e svilupparle, tenendo conto anche di *stakeholder* positivi o negativi. A questo punto, immaginando di essere nel 2040, è stato chiesto come fossero stati risolti effettivamente i problemi, spingendo gli studenti a svolgere un pensiero di *backcasting*. Al termine dell'incontro, gli studenti hanno presentato i loro progetti immaginandosi coinvolti in prima persona nella comunità di Ada.

Gruppo 1 – *Il problema della passività*

In seguito alla proposta fatta dall'azienda Babbage, in ambito universitario nasce l'idea di sviluppare un progetto di sensibilizzazione dei cittadini riguardo le nuove tecnologie e l'IA. Il Comune di Ada, vedendo questo progetto come una sorta di primo faro per una rivoluzione culturale, promuove le proposte di attività

culturali e organizza assemblee rivolte ai cittadini. Altri Comuni seguono l'esempio del primo e il progetto si espande fino ad arrivare all'attenzione del governo e dei mass media. Viene chiamato il gruppo iniziale di docenti per parlare dell'argomento e vengono pubblicati diversi articoli a riguardo, inizialmente soltanto in alcune riviste di settore, poi nei quotidiani. Da parte della popolazione le reazioni sono le più diverse ma predominano i timori di perdere non solo posti lavoro, ma anche costumi e tradizioni. Con il tempo tuttavia si stemperano le opinioni conservatrici e si porta avanti il progetto tecnologico culturale, organizzando anche corsi di formazione di IA aperti a tutti. Nel 2040 l'informatica è alla portata di tutti, i cittadini seguono corsi di aggiornamento accrescendo le proprie conoscenze e scostandosi dalle pubblicità devianti delle multinazionali. Si evidenzia una maggiore partecipazione nella vita quotidiana e nella società da parte di tutti i cittadini.

Gruppo 2 – *Il problema dell'ansia*

L'Amministrazione di Ada aderisce alla proposta della Babbage e Pensiero Profondo diventa il centro della gestione della città. Con il passare del tempo, tuttavia, l'entusiasmo scema e nascono malcontenti tra i cittadini che portano alla formazione di un gruppo di opposizione. Nel 2027 nasce un nuovo partito, i cui componenti si candidano perché la situazione è degenerata e i cittadini necessitano di una nuova identità; il partito, che viene eletto, sostiene l'utilizzo dell'IA soltanto come supporto per l'uomo, non come sostituto. Viene fondato un programma *eco green* basato sul senso civico e sull'istruzione. Fino al 2035 le riforme portano a risultati pratici: i cittadini mostrano maggiore consapevolezza, maturità e responsabilità nei confronti della città stessa, il clima che si respira diventa più disteso, la vita è più serena e il livello di stress e le tensioni calano notevolmente. A Pensiero Profondo è affidata soltanto la parte gestionale dei servizi. Nel 2040 le statistiche mostrano meno stress e ansia in generale, Ada è una città ecologica, costituita sia da una parte urbana sia da spazi verdi; molti servizi si basano sull'aiuto reciproco tra i cittadini e in generale si percepisce un'atmosfera di maggiore fiducia. Ci sono tanti liberi professionisti e questo crea maggiore tranquillità in ambito lavorativo. L'istruzione è migliorata grandemente e nelle scuole viene data molta importanza all'insegnamento del senso civico e del rispetto reciproco.

Gruppo 3 - *Crisi sociale e governativa*

Dal 2018 l'Amministrazione è poco attiva, il Sindaco e gli assessori non hanno idee né capacità per apportare migliorie alla gestione della città. Si registra una crisi economica dovuta all'aumento delle tasse, soprattutto sulle aziende, la maggioranza delle quali si è spostata verso "paradisi fiscali", creando malcontento e perdite di posti di lavoro ad Ada. Il problema di fondo è la mancanza di un percorso culturale e formativo per le persone al governo. Nel 2022 nasce l'idea di Pensiero Profondo, un sistema IA che, tramite un complesso algoritmo, gestisca la città per quanto riguarda l'organizzazione dei servizi e delle attività e indirizzi anche i cittadini verso i mestieri più indicati per loro, senza tuttavia imporli. L'ideatore di Pensiero Profondo è un giovane cittadino che, con l'idea di utilizzare un'IA per tentare di risollevere le sorti della società ha intrapreso studi e ricerche approfonditi arrivando a creare un algoritmo che tenga conto delle capacità e attitudini delle persone. Il rappresentante esecutivo del progetto cerca uno sponsor per la sua attuazione e trova un magnate, ma solo nel 2028, in seguito al crollo economico e sociale, si passa alla parte esecutiva. Per tre anni l'IA viene testata su volontari, poi nel 2031 il test viene aperto completamente al pubblico. Dagli abitanti di Ada viene la richiesta di un referendum per attuare il progetto Pensiero Profondo. Dal 2032 il progetto comincia e si basa sulla meritocrazia intesa come connessione tra le proprie capacità e i propri studi e l'attività lavorativa che si intraprende; la macchina si occupa della gestione dell'intera città ma è costantemente controllata nel suo funzionamento da responsabili e delegati che correggono eventuali errori nell'algoritmo. Nel 2040 la crisi è stata completamente risanata, le aziende tornano ad essere fiorenti nella produzione e l'ideatore di Pensiero Profondo vince il premio Nobel.

Gruppo 4 - *Problema amministrativo*

L'Amministrazione sta cercando di prendere una decisione riguardo la proposta della Babbage. Si riflette sul ruolo chiave dell'istruzione e sull'importanza di dare spazio alle attitudini dei cittadini; l'IA si occuperebbe poi di stabilire se effettivamente ogni persona possa o meno seguire le proprie inclinazioni. Si organizzano test di prova sia nella gestione dei servizi sia nei lavori individuali, in modo da poter analizzare la situazione e le sue conseguenze prima di metterla effettivamente in atto. Vengono attivati corsi di formazione di informatica aperti a tutti i cittadini. Si comprendono concetti importanti, come lo stretto legame tra la realizzazione della persona e la sua soddisfazione in ambito lavorativo. I risultati dei test sono positivi e si decide di attivare il progetto. Nel 2040 la gestione di Ada è affidata alle macchine, la situazione urbana è migliorata così come quella ecologica.

Gruppo 5 - *Problematiche sociali*

La proposta della Babbage non viene rifiutata ma revisionata. Lo slogan dell'Amministrazione è "l'uomo il fondamento, IA lo strumento": l'IA viene sfruttata come ausilio per l'uomo. Vengono ideati prototipi di carrozzine intelligenti per disabili e di scale mobili adattabili (2028), quindi si passa allo sviluppo nella domotica. Nel 2040 i prototipi sono stati realizzati e diffusi. Le carrozzine sono dotate di promemoria per le necessità dell'individuo, possono mostrare i tragitti più brevi e agili da percorrere e sono costruite in materiali molto leggeri. Edifici pubblici e privati vengono dotati di scale mobili intelligenti per fronteggiare le disabilità motorie; le scale hanno segmenti di materiale pieghevole in grado di estendersi o ritirarsi a seconda delle necessità, percepite da sensori incorporati. Tutte le abitazioni sono dotate di sistemi di domotica evoluti.

L'ultima parte dell'incontro è stata dedicata alle riflessioni dei ragazzi sul corso, su ciò che hanno appreso dai seminari e dalle attività svolte. È emerso un interesse condiviso nei confronti dei sistemi complessi e delle reti neurali, argomenti di grande spessore ma che raramente vengono affrontati in un ambiente scolastico. I ragazzi si sono riconosciuti più consapevoli dei cambiamenti sociali e di come dalla scienza nascano categorie e concetti di notevole impatto sulla società. Hanno inoltre mostrato di aver compreso a fondo l'importanza di agire nel proprio piccolo per poter arrivare a grandi cambiamenti: agire sul locale significa tenere conto del globale e viceversa in quanto ogni azione ha implicazioni a largo spettro. Un ruolo chiave in tutto questo è stato identificato nell'istruzione poiché, per pensare e creare scenari futuri, è necessaria un'ampia visuale sul mondo e sulle sue dinamiche. Seppure alcuni studenti abbiano ammesso di avere aspettative connesse ad attività più esplicitamente "*hands-on*", complessivamente i ragazzi si sono mostrati entusiasti e soddisfatti del corso, soprattutto dal punto di vista della maggior consapevolezza circa le problematiche affrontate. Hanno apprezzato l'apertura di una finestra sul futuro, il fatto di aver potuto discutere, analizzare e confrontarsi su tematiche come quella degli scenari e dei possibili risvolti della società in relazione allo sviluppo dell'IA.

Capitolo 3: Analisi STEM del modulo sull'Intelligenza Artificiale

Con analisi STEM si fa riferimento ad una valutazione attenta ed accurata di un determinato argomento scientifico, in termini di identificazione delle principali tematiche, concetti e pratiche delle discipline scienza, tecnologia, ingegneria e matematica, al fine di mettere in luce le connessioni interdisciplinari presenti e le tematiche trasversali.

Non vi è un unico metodo per eseguire questo tipo di analisi e la ricerca in didattica ha negli ultimi anni fornito diversi esempi: è possibile svolgere un'analisi per concetti separandoli dalle pratiche epistemiche, oppure possibile analizzare i curricula *tout court* dei corsi di studio.

Un esempio di analisi STEM è quello fornito da due ricercatori in didattica dell'informatica (Barr & Stephenson, 2011), trattando il tema del pensiero computazionale. Nell'articolo, al fine di individuare i concetti e le procedure chiave del pensiero computazionale da insegnare durante la scuola primaria, è costruita una tabella in cui tali aspetti chiave sono declinati nelle discipline di informatica (CS), matematica (M), scienza (S), studi sociali (SS) e arti e linguaggio (LA). Per rendere più esplicito il tipo ed il contenuto dell'analisi si riporta un esempio concreto in Tabella 2, mostrando la declinazione di un concetto (simulazione) e di una procedura (raccolta di dati) in questi cinque ambiti.

Tabella 2: Esempio di declinazione di un concetto e di una procedura nell'analisi STEM sul pensiero computazionale.

CT Concetto e procedura	Informatica	Matematica	Scienze	Studi sociali	Arti e linguaggio
Simulazione	Animazioni, aggiustamento dei parametri	Fare un grafico di una funzione in un piano cartesiano e modificare i valori delle variabili	Simulare il movimento del sistema solare	Giocare a "Age of Empires" o "Oregon trail" (videogiochi di strategia)	Fare una rievocazione storica
Raccolta dei dati	Trovare una fonte di dati per la categoria di problema	Trovare una fonte di dati per la categoria di problema, per esempio lanciare monete o dadi	Raccogliere dati da un esperimento	Studiare le statistiche di battaglia o i dati di popolazione	Fare analisi linguistiche e delle frasi

L'analisi presentata in questo elaborato consiste non in un'identificazione a priori di concetti chiave ma in una rilettura del modulo I SEE sull'Intelligenza Artificiale presentato nel capitolo 2. La scelta di svolgere un'analisi a posteriori di questo tipo è stata guidata dal tentativo di capire se e come il modulo I SEE concretizzasse un approccio STEM. L'analisi si è svolta in due fasi: una preliminare, la cui metodologia è esposta nel paragrafo successivo 3.1, in cui si è analizzata separatamente ciascuna attività del modulo, e poi l'analisi vera e propria, esposta nel paragrafo 3.3, in cui ci si è serviti del riferimento teorico delle *big ideas*, che sarà introdotto nel paragrafo 3.2.

3.1 Analisi preliminare

Inizialmente si è pensato di svolgere un'analisi STEM per ciascuna attività costituente il modulo sull'IA, individuando gli aspetti chiave introdotti e la loro declinazione STEM e riportando tale analisi in una griglia, come mostrato in Tabella 3. In tale griglia, è stata considerata un'ulteriore distinzione tra aspetti concettuali, epistemologici e socio/emotivi. Dietro a questa scelta vi era la volontà di rendere l'analisi più completa, dal momento che gli aspetti concettuali riguardavano propriamente l'identificazione dei concetti chiave del modulo e la collocazione degli stessi nelle relative discipline di appartenenza; la dimensione epistemologica, entro la quale sono stati interpretati tali concetti, ha consentito l'individuazione – se non addirittura la creazione – degli aspetti di interdisciplinarietà e del livello di trasversalità dei temi; la prospettiva socio/emotiva ha permesso infine di tenere conto dell'impatto che l'apprendimento di questi concetti e delle tematiche affrontate ha avuto sulle funzioni cognitive personali.

Tabella 3: Struttura della griglia utilizzata per l'analisi preliminare del modulo.

	Concetti e temi trasversali	S	T	E	M
Aspetti concettuali					
Aspetti epistemologici					
Aspetti socio/emotivi					

Tramite questa metodologia di analisi è stato possibile estrapolare i concetti focus di ogni attività e studiarne le caratteristiche; si sono distinte principalmente due categorie di concetti:

1. Concetti disciplinari provenienti da una specifica disciplina e poi declinabili per alcune caratteristiche in una o più delle altre STEM. A questa categoria, nell'ambito degli aspetti concettuali, apparteneva ad esempio il concetto di rete neurale, appartenente all'ambito scientifico ma declinabile anche in quello tecnologico per quanto riguardava le sue applicazioni, in ambito ingegneristico per formulazione a livello di codice ed anche a quello matematico per l'interpretazione di rete come modello matematico;
2. concetti trasversali non riconducibili ad una disciplina specifica né declinabili in quanto appartenenti ad un livello "meta", oltre la disciplina stessa, caratterizzabili come esplicitamente epistemologici; concetti di questo tipo sono stati individuati soprattutto nelle attività che proponevano un confronto tra i paradigmi imperativo, logico e di *Machine Learning*, ad esempio la tipologia di problemi affrontabili tramite l'uno o l'altro approccio.

Tale analisi preliminare ha permesso il riconoscimento di importanti aspetti disciplinari e della loro distinzione rispetto ad aspetti trasversali meta disciplinari. Inoltre, la prima categorizzazione grazie alla griglia STEM ha obbligato a chiarire la distinzione tra discipline: a tal proposito, una difficoltà importante si è riscontrata nel tentativo di distinguere tra *Engineering*, *Technology* e *Computer Science* (S), poiché sembrava che per certi aspetti, come quelli di costruzione hardware e di applicazione delle AI, le discipline si compenetrassero. Si è scelto quindi di attribuire all'ambito ingegneristico tutti gli aspetti di costruzione hardware e di formulazione del codice in uno specifico linguaggio, ma non gli aspetti algoritmici che sono invece appannaggio della *computer science*; all'ambito tecnologico sono invece stati ascritti gli aspetti legati alle applicazioni dell'IA in dispositivi di vario genere.

Se tale analisi si è mostrata un punto di partenza necessario per sciogliere alcuni nodi metodologici importanti dell'analisi STEM, sono state tuttavia riscontrate alcune importanti difficoltà. L'analisi eseguita distinguendo tra le diverse attività creava una compartimentazione del modulo in cui gli intrecci interdisciplinari non venivano messi sufficientemente in risalto: venivano così a perdersi i fili conduttori che avevano contraddistinto il modulo sia in fase di progettazione sia di implementazione. Inoltre, il tipo di rappresentazione grafica scelta, ovvero la griglia esemplificata in Tabella 3, non consentiva una distinzione a livello di rilevanza dei concetti: gli aspetti erano posti sullo stesso livello, senza che si potesse riconoscere una struttura che permettesse di evidenziare gli aspetti chiave, distinguendoli da quelli molto specifici e ristretti ad un singolo ambito applicativo. Tali difficoltà incontrate durante l'analisi preliminare hanno spinto all'elaborazione di un secondo tipo di analisi, che ha usato come riferimento teorico le "*Big ideas*" (Chalmers, Carter, Cooper & Nason, 2017); tramite tale analisi, i concetti già individuati tramite

l'analisi preliminare hanno subito un'ulteriore selezione affinché emergessero le tematiche più importanti e portanti nel modulo. In tal modo, si è rivelato più semplice valorizzare le caratteristiche di ciascuna disciplina e di ciascun tema per capire quale contributo dessero allo sviluppo dei due macro-temi (che verranno classificati come *content encompassing big ideas*) del modulo: l'IA e il futuro.

3.2 Il riferimento teorico

Per l'analisi STEM del modulo è stato scelto il riferimento dello studio del 2017 di Chalmers e colleghi, in modo tale da collocare la nostra analisi con gli studi già avviati in ambito STEM relativamente alla riprogettazione dei curricula scolastici. Il punto di partenza della loro analisi è che, nonostante la ricerca in didattica abbia sottolineato ampiamente l'importanza di creare unità curriculari integrate tra scienza, tecnologia, ingegneria e matematica, un esame della letteratura rivela che molto spesso tali unità curriculari non portano alla costruzione di una vera e profonda conoscenza STEM. A fronte di questa constatazione, Chalmers e colleghi propongono di puntare ad un apprendimento STEM profondo e autentico tramite la costruzione di unità curriculari basate su tre categorie di *big ideas*, definite come idee chiave che collegano le numerose comprensioni ed interpretazioni disciplinari entro visioni globali coerenti.

Gli autori distinguono tre categorie di *big ideas*:

within-discipline big ideas;

cross-discipline big ideas;

encompassing big-ideas;

all'interno di ciascuna categoria è possibile inoltre identificare due sottocategorie complementari e interdipendenti: le *content big ideas* e le *process big ideas*. Le *content big ideas* sono relative ai contenuti e i concetti veri e propri di una determinata disciplina (ad esempio il concetto di spazio in fisica), i principi, le teorie, le strategie e i modelli. Le *process big ideas* sono le pratiche epistemiche associate all'acquisizione e all'effettivo uso della conoscenza: l'osservazione, la sperimentazione, il controllo di variabili, la formulazione di ipotesi e l'interpretazione di dati. A seguire, si forniranno le definizioni delle tre macro categorie di *big ideas* identificate nell'articolo:

Within-discipline big ideas: si tratta di concetti propri di un'unica disciplina, cioè idee, nozioni, teorie che hanno avuto origine in un contesto disciplinare specifico. Si tratta ad ogni

modo di *big ideas* di tipo STEM in quanto trovano applicazioni anche in altri ambiti. Esempio di questa categoria nell'articolo di Chalmers è il ragionamento proporzionale che nasce all'interno della matematica ma che trova applicazione nella formulazione delle leggi fisiche e anche nel contesto di design di oggetti ingegneristici e tecnologici.

Cross-discipline big ideas: in questa categoria sono comprese le idee che appartengono nativamente a due o più discipline STEM, come i concetti di variabile, pattern, modello che si ritrovano equivalentemente presenti a livello fondamentale (non solo applicativo) in scienza e matematica. Un esempio particolarmente significativo fornito nell'articolo è quello della nozione di "prova" (*proof*). Questa è un aspetto importante del pensiero matematico e scientifico: in entrambe le discipline, un concetto può inizialmente essere sviluppato da osservazioni empiriche portando, attraverso un processo induttivo, all'identificazione di un *pattern* che è descritto in uno *statement* detto congettura in matematica e teoria in fisica. Tale affermazione può essere testata e falsificata tramite un controesempio. In matematica, se la congettura resiste alla falsificazione, il passaggio successivo è solitamente un processo deduttivo che porta alla dimostrazione. In fisica, dove la numerosità di evidenze di conferma empirica non può provare una teoria, la sua accettazione è probabilistica, basata sull'incapacità di trovare un controesempio, sull'appropriato uso del metodo scientifico e su evidenze sufficienti a supporto tali da eliminare teorie alternative. Per questo motivo, i matematici parlano di congetture e di prove, mentre gli scienziati di teorie e accettazione.

Encompassing big ideas: le idee appartenenti a questa categoria sono quelle che fanno da connettori tra tutte le discipline, idee declinabili in tanti ambiti disciplinari. Utilizzando un'immagine evocativa, le *encompassing big ideas* si possono immaginare come un ombrello che racchiude tutto. Si distinguono *conceptual encompassing big ideas* e *content encompassing big ideas*. Le prime sono concetti, principi, teorie, strategie o modelli condivisi tra tutte le discipline STEM che permettono di integrare insiemi di *big ideas* più specifiche e localizzate; ad esempio, una *big idea* di questo tipo è quella di rappresentazione: sotto l'ombrello della rappresentazione vi sono artefatti fisici, simboli, tabelle, grafici, diagrammi e modelli. Le seconde, invece, sono temi che richiedono lenti interdisciplinari dalle discipline STEM per essere affrontati; esempi di *big ideas* di questo tipo, forniti nell'articolo, sono l'idea di causa ed effetto, di innovazione e progresso, di sistemi sostenibili.

Sulla base di queste definizioni si può pensare alle categorie di *big ideas* come collegate tra loro in una sorta di gerarchia piramidale (rappresentata in Figura 4): alla base vi sono le *content encompassing big ideas* mentre in cima vi sono le *within-discipline big ideas*.

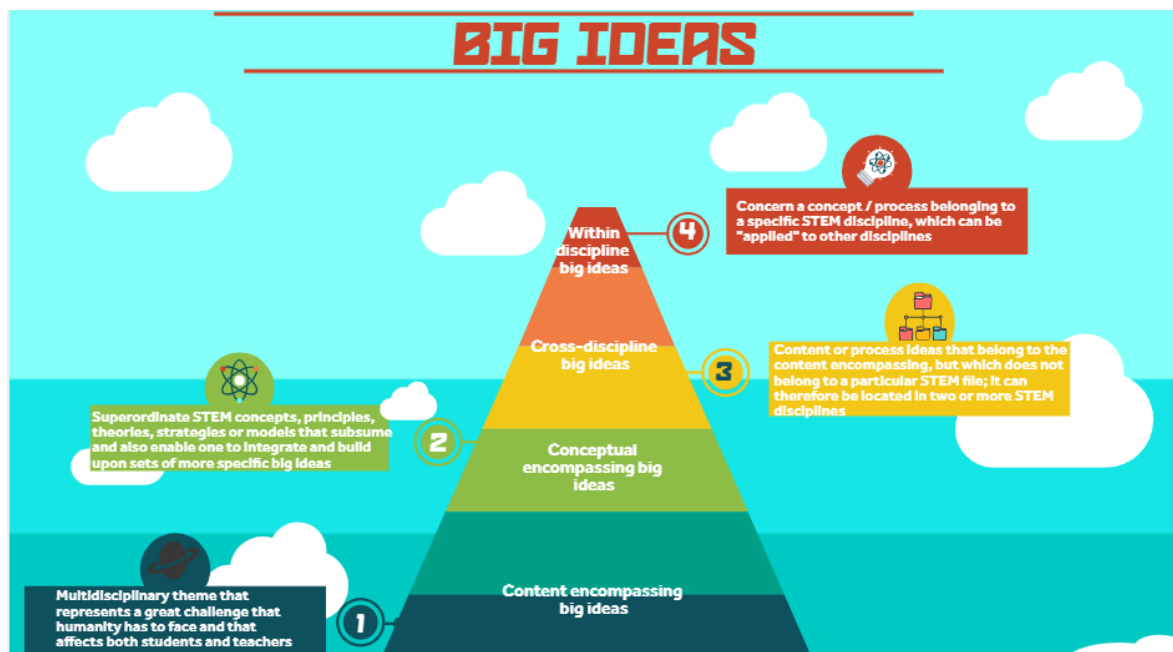


Figura 4: Rappresentazione tramite struttura piramidale delle categorie di Big ideas

3.3 Analisi del modulo tramite big ideas

La principale big idea, a partire dalla quale si è svolta l'analisi, è stata identificata nel tema dell'Intelligenza Artificiale; essa stessa è stata considerata come *content encompassing big idea*, dal momento che si tratta di una tematica complessa che richiede di utilizzare le discipline di scienza, tecnologia, ingegneria e matematica per far luce su di essa.

Di seguito, sono elencati quattro aspetti che, durante il modulo, sono stati affrontati da diversi punti di vista disciplinari tramite attività specifiche e che si è scelto di identificare come *big ideas* relative al tema dell'IA: i) approcci all'IA (simbolici e sub-simbolici); ii) paradigmi di programmazione (imperativo procedurale, logico dichiarativo e *Machine Learning*); iii) complessità; iv) futuro. Come si vedrà, la *big idea* di futuro, evolvendosi nel corso del modulo, diventerà come l'IA una *content encompassing big idea*, rappresentando una nuova chiave di lettura della realtà: IA e futuro si distinguono come macro-temi del modulo.

Nei paragrafi seguenti, verranno specificate le categorizzazioni di ogni *big idea* (*within-discipline*, *cross-discipline*, *conceptual encompassing*, *content encompassing*) e il modo in cui sono state introdotte e sviluppate nel corso del modulo, attraverso le varie attività, rendendo esplicita la loro

“evoluzione” da *big ideas* specifiche di una o poche discipline a lenti interdisciplinari che fanno luce sul modo di pensare e di guardare alle STEM. Per specificare il ruolo delle varie attività nell’evoluzione delle *big ideas*, ci si riferirà ad esse tramite note a piè di pagina (la numerazione fa riferimento all’elenco delle attività riportato nel capitolo 2, in Tabella 1).

Approcci all'IA

Per progettare i sistemi di intelligenza artificiale, sono distinguibili due principali categorie di approcci²: simbolico e sub-simbolico.

L'approccio simbolico è stato il paradigma dominante della ricerca sull'intelligenza artificiale dalla metà degli anni '50 fino alla fine degli anni '80 e prevede un alto livello di intellegibilità umana (questa è l’accezione del termine “simbolico” in questo caso) nella rappresentazioni di problemi; si tratta di un approccio *top down*. L'approccio sub-simbolico mira invece a costruire macchine “intelligenti” utilizzando solo in minima parte una rappresentazione simbolica; si tratta di un approccio *bottom up* a più basso livello, utilizzato in particolare per le attività relative ai problemi di percezione sensoriale, non adatti ad essere formulati tramite un ragionamento formale. Per rendere più esplicita la distinzione tra i due, si può immaginare di volere disegnare una circonferenza: utilizzando un approccio simbolico, la circonferenza verrebbe descritta in base alle sue proprietà matematiche oppure attraverso una serie di istruzioni per costruirla con matita e compasso; tramite un approccio sub-simbolico, il compito di disegnare una circonferenza sarebbe appreso osservando molti esempi di circonferenze.

Per il momento, in tale prospettiva disciplinare, si può interpretare la distinzione tra i due approcci come una *within discipline big idea* che appartiene al campo della *Computer Science* (S). Le applicazioni vanno da E (*Engineering*) a M (*Mathematics*): dal punto di vista ingegneristico, la scelta dell'uno o dell'altro approccio porta a diverse implementazioni di algoritmi nei codici; dal punto di vista matematico, gli strumenti utilizzati variano a seconda dell'approccio scelto.

Un esempio di questo è fornito dalle reti neurali³, un insieme di algoritmi che seguono un approccio sub-simbolico. Nella rete, né la sua struttura ingegneristica (costituita da un certo numero di strati e di neuroni per ogni strato) né i valori dei pesi (numeri float) associati alle connessioni tra i neuroni sono interpretabili dall’uomo in termini di strategia, come sarebbe per un algoritmo che segue un approccio simbolico.

² Attività n.4 = introduzione all’IA

³ Attività n.10 = tris con rete neurale in Matlab

Durante il modulo, attività per attività, la distinzione tra i due tipi di approccio diventa sempre più cruciale da un punto di vista epistemologico, specialmente quando sono interpretati tramite la lente della complessità⁴. Essendo l'approccio simbolico di tipo *top down*, quando una macchina è progettata secondo questo approccio, il programmatore deve conoscere la strategia per risolvere il compito o le sue regole; inoltre, questa base di conoscenza esplicita e intellegibile porta alla soluzione del compito in modo deterministico, risultando essere una "intelligenza" artificiale che è, di fatto, una macchina che esegue in modo rapido e autonomo un insieme preordinato di istruzioni⁵. Al contrario, il carattere *bottom up* dell'approccio sub-simbolico porta a considerare l'intelligenza della macchina come una proprietà emergente: sebbene sia il risultato dell'esecuzione di operazioni e del calcolo di molte funzioni, tutte queste minime componenti non hanno alcun significato simbolico interpretabile dall'uomo. A causa di questo comportamento, non è possibile collegare l'intelligenza emergente a una serie specifica di cause: quando si ha a che fare con l'approccio sub-simbolico, i paradigmi classici di causalità e determinismo falliscono⁶.

Il valore epistemologico di questa distinzione, attraverso la prospettiva di sistemi complessi, eleva questa *big idea* dal rango di *within discipline* a quello di *conceptual encompassing big idea*, dal momento che, da mezzo per studiare semplici applicazioni in altre discipline, diventa veicolo di diversi modi di guardare ai problemi in termini di interpretabilità o non interpretabilità delle varie implementazioni.

In Figura 5 è riportato lo schema rappresentante l'evoluzione di questa big idea, da *within discipline* a *conceptual encompassing big idea*.

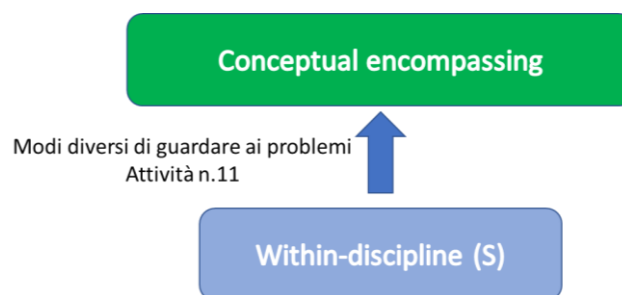


Figura 5: Rappresentazione dell'evoluzione della big idea "approcci all'IA"

⁴ Attività n.3 = Bit bang

⁵ Attività n.5-6-7-8 = introduzione al paradigma imperativo, tris imperativo con Python, introduzione al paradigma logico-dichiarativo, tris logico in Prolog

⁶ Attività n. 9-11 = introduzione al paradigma del *Machine Learning*; prevedere, ipotizzare e immaginare il futuro: dalla Fisica ai *Future Studies*

Paradigmi di programmazione (procedurale imperativo, logico dichiarativo e *Machine Learning*)

Con il termine paradigma di programmazione, si intende un modo per classificare i linguaggi di programmazione in base alle loro caratteristiche. Nel modulo sono stati introdotti tre paradigmi di programmazione particolarmente importanti per la progettazione di sistemi di IA⁷:

1. paradigma imperativo-procedurale: il programmatore istruisce la macchina con una sequenza non ambigua di istruzioni (procedure) rappresentate da passaggi computazionali da eseguire⁸; nel nostro modulo sull'IA, il linguaggio di programmazione introdotto per questa categoria è Python⁹;
2. paradigma logico-dichiarativo: il programmatore dichiara le proprietà (fatti e regole) del risultato desiderato, ma non fornisce alcuna strategia per arrivarvi¹⁰; nel nostro modulo sull'IA, il linguaggio di programmazione introdotto per questa categoria è Prolog¹¹;
3. paradigma del *Machine Learning*: il programmatore invia alla macchina un *dataset* di esempi tramite cui imparare ad eseguire un compito definito in precedenza¹²; nel nostro modulo sull'IA, il linguaggio di programmazione introdotto per questa categoria è Matlab¹³.

Per il momento, l'esistenza di tre diversi paradigmi di programmazione può essere interpretata come una *within discipline big idea* che appartiene al campo dell'informatica (S) dal momento che si tratta di un modo per classificare i linguaggi di programmazione.

Andando avanti con le attività del modulo, questa *big idea* evolve e diventa una *cross-discipline big idea* tra i campi dell'informatica (S) e della matematica (M). Per quanto riguarda l'informatica, se ne è già discusso; gli aspetti matematici emergono invece soprattutto nel paradigma logico dichiarativo¹⁴, in cui la distinzione tra le tipologie di ragionamento cioè deduttivo, induttivo e abduttivo diventa cruciale attraverso la disciplina della logica.

Come *cross-discipline*, questa *big idea* ha applicazioni anche nel campo dell'ingegneria e della tecnologia: l'aspetto ingegneristico riguarda la realizzazione di codici in linguaggi di

⁷ Attività n.4-5/10 = introduzione all'IA; introduzione al paradigma imperativo; tris imperativo in Python; introduzione al paradigma logico-dichiarativo; tris logico in Prolog, introduzione al paradigma del *Machine Learning*; tris con rete neurale in Matlab

⁸ Attività n.4-5 = introduzione all'IA; introduzione al paradigma imperativo

⁹ Attività n.6 = tris imperativo in Python

¹⁰ Attività n.4-7 = introduzione all'IA; introduzione al paradigma logico-dichiarativo

¹¹ Attività n.8 = tris logico in Prolog

¹² Attività n.4-9 = introduzione all'IA; introduzione al paradigma del *Machine Learning*

¹³ Attività n.10 = tris con rete neurale in Matlab

¹⁴ Attività n.7 = introduzione al paradigma logico-dichiarativo

programmazione specifici (es. Matlab, Prolog e Python)¹⁵, mentre quello tecnologico è correlato alla soluzione di problemi specifici con l'uno o l'altro approccio: ad esempio, giocare a Tris è un compito che viene solitamente affrontato attraverso un paradigma imperativo-procedurale o dichiarativo-logico, mentre i compiti legati alla percezione sensoriale sono spesso affrontati con approcci di apprendimento automatico¹⁶.

Nel corso del modulo la distinzione tra i paradigmi è diventata via via sempre più cruciale, specialmente quando interpretata da un punto di vista epistemologico che consente di evidenziare diverse strutture causali e temporali collegate a ciascun paradigma:

1. paradigma imperativo-procedurale: la macchina esegue le istruzioni elencate nell'algoritmo secondo una sequenza rigida e prestabilita; questo può essere letto come una struttura causale lineare in cui ogni azione è causa della seguente. Inoltre, le azioni eseguite dalla macchina sono sequenziali; l'algoritmo "srotola" le azioni nel tempo così come una traiettoria fisico matematica "si srotola" nel tempo¹⁷;
2. paradigma logico-dichiarativo: la macchina applica le regole di inferenza per eseguire il compito; anche se il motore di inferenza è nascosto al programmatore, la struttura causale è, ancora una volta, lineare poiché l'applicazione di una regola è causa dell'applicazione di quella successiva. Gli step del ragionamento vengono seguiti dalla macchina in modo sequenziale attraverso l'albero decisionale; le regole "srotolano" la deduzione nel tempo¹⁸;
3. paradigma del *Machine Learning*: la macchina esegue calcoli statistici e analisi sul database fornito; di conseguenza, viene introdotto il concetto di incertezza degli output, assente nei paradigmi precedenti, interpretabile come non determinismo. Nelle reti neurali, l'algoritmo di *error back-propagation* prevede una valutazione degli output per reimpostare i pesi e la struttura della rete: questo può essere interpretato in una prospettiva epistemologica come una causalità circolare tra input e output¹⁹.

Il valore epistemologico della distinzione tra i tre paradigmi eleva questa *big idea*, dal rango di *cross-discipline* a quello di *conceptual encompassing big idea*, dal momento che veicola diversi modi di guardare ai problemi in termini di strutture causali e temporali che vanno ben oltre gli specifici ambiti disciplinari.

¹⁵ Attività n.6-8-10 = tris imperativo in Python; tris logico in Prolog; tris con rete neurale in Matlab

¹⁶ Attività n.10 = tris con rete neurale in Matlab

¹⁷ Attività n.5 = introduzione al paradigma imperativo

¹⁸ Attività n.7 = introduzione al paradigma logico-dichiarativo

¹⁹ Attività n.9 = introduzione al paradigma del *Machine Learning*

In Figura 6 è mostrata una rappresentazione dell'evoluzione di questa big idea, da *within discipline*, a *cross-discipline*, a *conceptual encompassing* big idea.

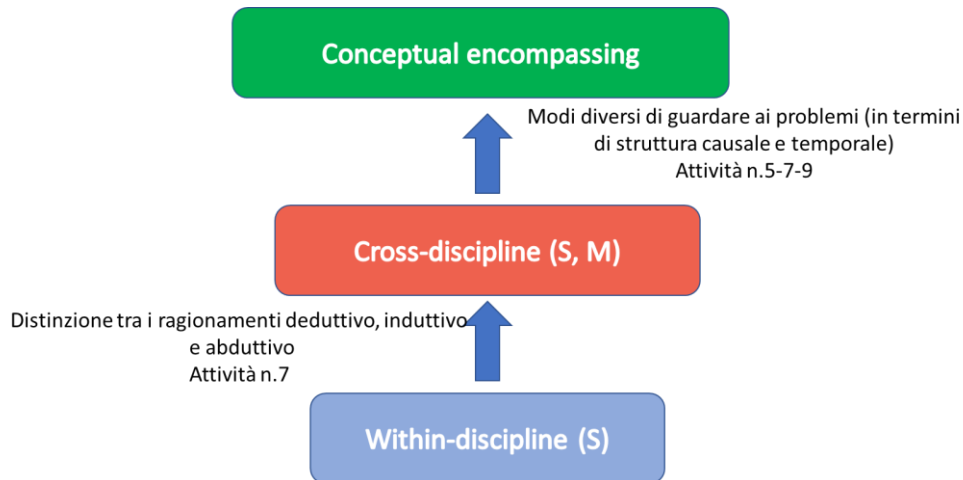


Figura 6: Rappresentazione dell'evoluzione della big idea "paradigmi di programmazione"

Complessità

La scienza della complessità a cui si fa riferimento è anche chiamata scienza dei sistemi complessi. Sebbene non sia stata ancora trovata una definizione univoca e condivisa di sistema complesso, esso può essere definito come un sistema costituito da diversi elementi individuali (agenti) che, interagendo tra loro in base a relazioni non lineari, conferiscono al sistema complesso alcune proprietà che i sistemi classici non hanno²⁰.

Secondo questa definizione, è possibile identificare la complessità come una *cross-discipline big idea* tra scienza (S), perché descrive i sistemi fisici, biologici, sociali, e matematica (M), perché per questa descrizione la non linearità della formulazione matematica è cruciale. Questa *big idea* ha applicazioni nei campi di T ed E per via degli strumenti di simulazione al computer che consentono la costruzione di laboratori virtuali in cui poter simulare gli esperimenti e valutarne le conseguenze, prima di realizzarli effettivamente.

Procedendo con le attività del modulo, la *big idea* della complessità viene utilizzata per la prima volta come strumento per reinterpretare uno dei più importanti contenuti disciplinari della

²⁰ Attività n.3 = Bit bang

computer science: le reti neurali²¹. Una rete neurale può essere infatti vista come un sistema complesso, poiché mostra alcune proprietà tipiche di questi sistemi; in particolare:

- la capacità di apprendere o di eseguire un compito di una rete neurale è un processo *bottom up* paragonabile a una proprietà emergente;
- le regole che ogni singolo neurone (agente) della rete deve seguire sono molto semplici e specifiche;
- una piccola variazione di un peso critico della rete può portare ad una grande differenza nel risultato previsto e questo comportamento è paragonabile ad una sorta di effetto farfalla e interpretabile come caos deterministico;
- i pesi della rete sono valutati con un processo circolare di propagazione in avanti degli input (*feed-forward*) e propagazione all'indietro dell'errore (*error back-propagation*) in cui i risultati dell'output modificano la struttura della rete stessa.

Il valore epistemologico dell'interpretazione di un contenuto disciplinare così specifico, all'interno della prospettiva della complessità eleva questa *big idea*, dal rango di *cross-discipline* a quello di *conceptual encompassing*, poiché, declinandosi nelle diverse discipline STEM, la complessità va ad abbracciare tutto il tema dell'IA.

L'evoluzione di questa *big idea* continua in tutto il modulo, in particolare quando la prospettiva epistemologica della complessità si concentra sui nuovi modi in cui porta a pensare al futuro²². Questi modi sono completamente nuovi rispetto all'approccio ai problemi tipico della fisica classica; infatti, nella fisica classica, a causa della linearità dei sistemi, il futuro è deterministicamente e univocamente prevedibile a partire dalle condizioni iniziali e l'incertezza della previsione è tanto minore quanto è maggiore l'accuratezza nella misurazione delle condizioni iniziali.

La prospettiva della complessità offre invece un vero e proprio cambiamento di paradigma, caratterizzato principalmente da causalità circolare e caos deterministico. In questa nuova prospettiva epistemologica, il termine “previsione” assume un nuovo significato: il futuro non può essere “previsto” in modo classico a causa dell'impossibilità di misurare con precisione le condizioni iniziali e a causa della presenza di meccanismi di feedback. Invece di utilizzare il termine “previsione”, si inizia pertanto a parlare di “proiezioni” per indicare la molteplicità e la pluralità degli scenari possibili.

²¹ Attività n.9 = introduzione al paradigma del *Machine Learning*

²² Attività n.11 = prevedere, ipotizzare e immaginare il Futuro: dalla Fisica ai *Future Studies*

Analizzando la *big idea* della complessità come un patrimonio epistemologico per pensare al futuro, essa può essere elevata ulteriormente al grado di *content encompassing big idea*, la più ampia categoria di *big idea*, poiché diventa un tema di per sé, nonché il punto di leva, nel modulo sull'IA, per effettuare la transizione tra gli aspetti più propriamente disciplinari dell'Intelligenza Artificiale e il futuro. È importante sottolineare che, anche come *content encompassing*, rimane una *STEM big idea* perché richiede una prospettiva interdisciplinare tra scienza, tecnologia, ingegneria e matematica per essere compresa.

In Figura 7 è rappresentata l'evoluzione di questa big idea, da *cross-discipline*, a *conceptual encompassing*, a *content encompassing big idea*.

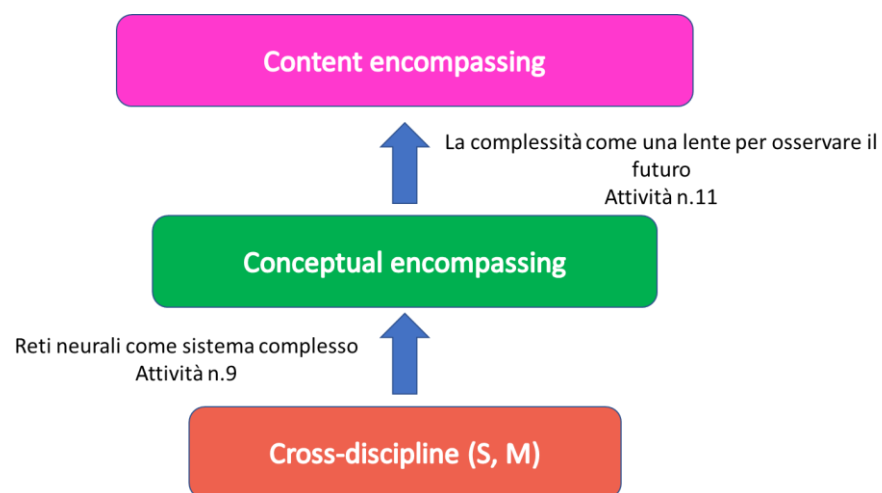


Figura 7: rappresentazione dell'evoluzione della big idea "complessità"

Futuro

Nel modulo, la dimensione del futuro è introdotta fin dall'inizio come grande tema che va ad inquadrare la discussione dell'IA. Dopo l'introduzione come *content encompassing big idea*, è trattata per la prima volta nello specifico in relazione allo sviluppo ingegneristico dei sistemi di IA²³, principalmente in riferimento ai progressi nel campo della robotica e alle implicazioni etiche delle rivoluzioni tecnologiche. In questo contesto, il tema del futuro può essere considerato una *cross-discipline big idea* tra E e T.

Procedendo con le attività, la dimensione del futuro si arricchisce di una prospettiva scientifica (S) quando vengono evidenziate le diverse strutture causali che sottendono i sistemi

²³ Attività n.4 = introduzione all'IA

classici e quelli complessi²⁴. In quest'ottica, questa *big idea* si rafforza come *cross-discipline big idea* tra E, T ed S. Lo spettro delle discipline correlate alla dimensione del futuro viene ampliato a M quando vengono introdotti i modelli matematici di alcuni sistemi complessi di base, come ad esempio il modello ad agenti di Schelling oppure il modello aggregato di Lotka-Volterra, descritto da equazioni differenziali²⁵.

Il passaggio da previsione a proiezione si traduce nei *Future Studies* nella distinzione omologa tra *forecast* e *foresight*: invece di un risultato univoco e predeterminato dell'applicazione di un modello, le proiezioni rappresentano un ventaglio di possibilità tanto numerose quanto diversi sono gli scenari futuri²⁶. In questo modo, il futuro diventa intrinsecamente plurale, invece che singolare, e tali futuri possono essere rappresentati nel cono di Voros (riportato nel Capitolo 2 in Figura 3). In tale raffigurazione, sono distinguibili quattro tipi di futuro:

1. i futuri probabili sono quelli che possono accadere, sulla base delle tendenze passate osservate e della situazione attuale;
2. i futuri plausibili sono quelli che potrebbero realizzarsi sulla base delle nostre attuali conoscenze;
3. i futuri possibili sono tutti quelli che possiamo immaginare, anche quelli improbabili;
4. i futuri preferibili sono quelli che ciascuno di noi desidera realizzare, in base ai propri valori e obiettivi, alla propria identità, alle proprie competenze e ai propri punti di vista culturali.

Da questa prospettiva, il futuro si arricchisce di una dimensione personale - in cui il coinvolgimento dell'individuo è centrale - assente nella visione tradizionale della previsione scientifica.

Reinterpretando la *big idea* del futuro al termine delle attività del modulo, è possibile riconoscere come abbia agito in qualità di *content encompassing big idea* - in maniera differente rispetto all'inizio in quanto arricchita dalle prospettive disciplinari che hanno fornito i passaggi a cross - rappresentando una nuova chiave di lettura della realtà, un mezzo tramite cui affrontare le sfide sociali, personali, politiche e scientifiche a partire dalle prospettive disciplinari offerte da scienza, tecnologia, ingegneria e matematica.

In Figura 8 è riportato lo schema rappresentante l'evoluzione di questa *big idea*, da *within discipline*, a *cross-discipline*, a *content encompassing big idea*.

²⁴ Attività n.3 = Bit bang

²⁵ Attività n.11 = prevedere, ipotizzare e immaginare il Futuro: dalla Fisica ai *Future Studies* (parte 1)

²⁶ Attività n.11 = prevedere, ipotizzare e immaginare il Futuro: dalla Fisica ai *Future Studies* (parte 2)

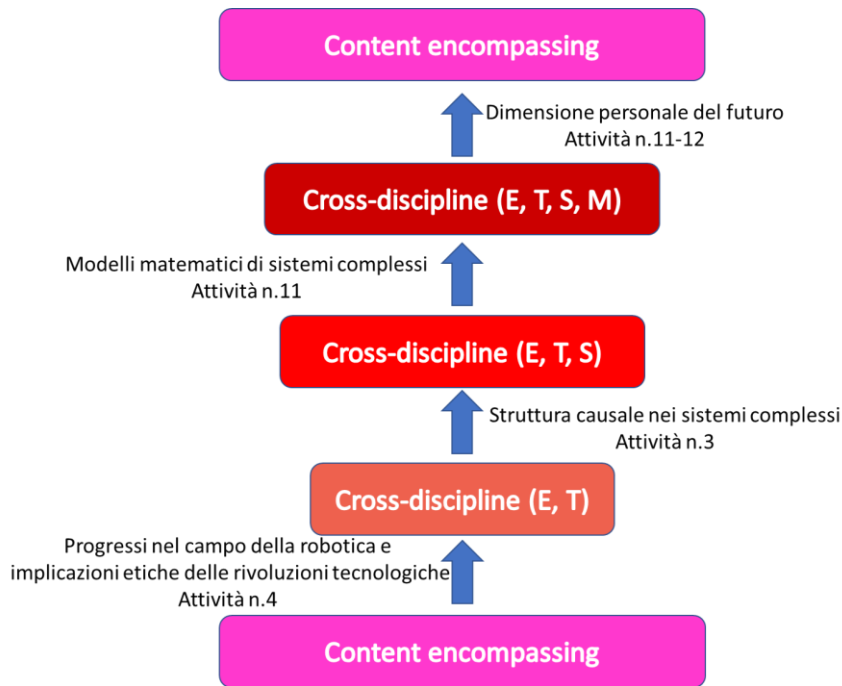


Figura 8: rappresentazione dell'evoluzione della big idea "futuro"

3.4 Discussione dei risultati

Svolgendo un'analisi di questo tipo, è stato possibile riconoscere, all'interno del modulo sull'IA, i principali temi, caratterizzanti dello stesso e collocarli nelle categorie differenti di *big ideas*. Sono state individuate cinque importanti *big ideas*: l'intelligenza artificiale, gli approcci all'IA (simbolico e sub-simbolico), i paradigmi di programmazione (imperativo procedurale, dichiarativo logico e di *Machine Learning*), la complessità e il futuro. L'importanza di questo studio risiede non solo nell'aver identificato i temi principali ma soprattutto nell'aver potuto analizzare la trasformazione degli stessi, da una categoria di big idea a un'altra, in base alla prospettiva entro cui venivano considerate. In particolare, la trasformazione degli approcci e dei linguaggi relativi ai paradigmi di programmazione ha mostrato come la scienza sia una sorgente di conoscenze che, se opportunamente trattate, ovvero valorizzando cioè la prospettiva della complessità, possono diventare strumenti di pensiero *tout court* e competenze di tipo trasversale.

Conclusioni

Dopo un'introduzione al concetto di *STEM education*, si è discusso su cosa possa significare un approccio STEM e sulla necessità di progettare moduli di didattica innovativa basati sull'interdisciplinarietà e orientati a colmare il *gap* tra saperi e società. L'approccio STEM viene dall'ambito politico e da quello lavorativo come risposta a due esigenze: i) la necessità di rivedere le discipline e i loro legami per affrontare problemi complessi, non affrontabili a "separazione delle variabili"; ii) lo *skill gap* e le nuove competenze richieste dal mondo del lavoro. Tali esigenze hanno stimolato l'avvio di ricerche per studiare delle modalità didattiche innovative in grado di individuare, interpretare e applicare criteri di interdisciplinarietà per affrontare problemi complessi e sviluppare nuove competenze: si è parlato in questo senso di una didattica per competenze. Nel 2014, è stata lanciata da SpringerOpen la rivista *International Journal of STEM education*, allo scopo di stimolare ricerche multidisciplinari sul tema della didattica STEM e favorire la nascita, la diffusione e la condivisione di esperienze didattiche, di attività pratiche e progetti in ambito scolastico ed extrascolastico.

Il progetto I SEE si colloca in questo quadro in quanto ha l'obiettivo di produrre moduli didattici innovativi su temi complessi e interdisciplinari, come i cambiamenti climatici, l'intelligenza artificiale, il *quantum computing*, che permettano lo sviluppo di competenze di analisi del presente per costruire e immaginare scenari futuri.

Nel secondo capitolo dell'elaborato è stato descritto nel dettaglio il modulo I SEE sull'IA elaborato dal gruppo di ricerca in didattica di Bologna, in termini di obiettivi e report degli incontri e delle attività che sono stati proposti agli studenti che hanno seguito il corso.

Il terzo capitolo, cuore dell'elaborato, è stato dedicato all'analisi del modulo sull'IA; a partire dalle lezioni frontali e dalle attività sperimentali, sono stati individuati i temi focali del modulo e studiati in due modi differenti. Un'analisi preliminare ha contribuito a individuare alcuni concetti chiave nell'evoluzione dei temi affrontati nel modulo e a declinarli nelle differenti discipline STEM. Dal momento che questo tipo di approccio creava tuttavia una compartimentazione del modulo in cui gli intrecci interdisciplinari non venivano messi sufficientemente in risalto, si è stabilito di analizzare i temi principali prendendo come riferimento teorico un articolo di un gruppo di ricercatori (Chalmers et al., 2017) basato sulla classificazione in *big ideas*. Questo approccio ha permesso un'analisi critica efficace del nostro modulo sull'IA e una riflessione sul ruolo dell'epistemologia, o più nello specifico della prospettiva epistemologica nello studio delle discipline STEM. Interpretando infatti le tematiche centrali in un'ottica epistemologica è stato possibile riconoscere un'evoluzione intrinseca alle tematiche in termini di categorie di *big*

ideas, da concetti appartenenti ad ambiti specifici o a poche discipline (*within discipline* o *cross-discipline big ideas*), a temi connettori tra tutte le discipline, che veicolano diversi modi di guardare ai problemi in termini di strutture causali e temporali che vanno oltre gli specifici ambiti disciplinari (*encompassing big ideas*). La prospettiva epistemologica che ha consentito questo passaggio è stata quella della complessità, tramite la quale è stato possibile elevare il rango delle *big ideas* da mezzi per studiare semplici applicazioni nelle singole discipline STEM a veicoli di diversi modi di guardare ai problemi, in termini di interpretabilità o non interpretabilità delle loro implementazioni e di strutture causali e temporali. Il contenuto disciplinare che ha svolto il ruolo di cerniera e ha permesso questa evoluzione entro la prospettiva della complessità è quello delle reti neurali: è stato infatti il paradigma del *Machine Learning* a far scaturire il passaggio dal principio di causalità lineare e quello di causalità circolare e dal concetto di previsione a quello di proiezione, introducendo il concetto di non determinismo e la pluralità dei futuri, in modo analogo al passaggio dal comportamento deterministico delle particelle classiche a quello probabilistico in meccanica statistica.

L'approccio STEM è interessante perché ha permesso di riflettere sulle discipline in modo tale da renderle capaci di contribuire ai grandi temi conoscitivi, colmare il *gap* tra scienza e società e formare competenze: si è effettivamente dimostrato come il modulo I SEE sull'IA e la relativa analisi abbiano potuto soddisfare gli obiettivi previsti dallo svolgersi di una didattica STEM.

Bibliografia

Askew, M. (2013). Big ideas in primary mathematics: Issues and directions. *Perspectives in Education*, 31(3), 5–18.

Barelli, E., Tasquier, G. (2017). Scrivere il futuro per abitare il presente. Prefazione a ‘Futuro in... Corso’. Centro Culturale “Lucio Lombardo Radice” Edizioni, Correggio (RE)

Barr, V., Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12. *ACM Inroads*, 2(1), 48.

Benjamin, W. (1974). *Gesammelte Schriften*, vol.1, Frankfurt: Suhrkamp.

Branchetti, L., Cutler, M., Laherto, A., Levrini, O., Palmgren, E. K., Tasquier, G., Wilson, C. (2018). The I SEE project: An approach to futurize STEM education. *Visions for Sustainability*, (9).

Chalmers, C., Carter, M. L., Cooper, T., Nason, R. (2017). Implementing “big ideas” to advance the teaching and learning of Science, technology, Engineering, and mathematics (STEM). *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(1), 25-43.

CoSTEM (2013). Federal Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) education 5-year strategic plan: a Report from the Committee on STEM education National Science and Technology Council, Washington, D.C.
https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/stem_stratplan_2013.pdf

Gonzalez, H. B., Kuenzi, J. J. (2012). Science, technology, Engineering, and Mathematics (STEM) education: A primer. Congressional Research Service, Library of Congress.

EC (2016). Developing future skills in higher education, ET2020-Peer Learning Activity (PLA).

EC (2018). Proposal for a council recommendation on Key Competences for Lifelong Learning.

EPC (2006). Recommendation of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 on key competences for lifelong learning. Official Journal of the European Union. L394/10.
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006H0962&from=EN>

I SEE (2018).
<https://iseeproject.eu/>

Joyce, A. (2014). Stimulating interest in STEM careers among students in Europe: Supporting career choice and giving a more realistic view of STEM at work. European Schoolnet, Brussels. In 3rd Education and Employers Taskforce Research Conference: Exploring School-to-Work Transitions in International Perspectives. London, England.

Kennedy, T. J., & Odell, M. R. L. (2014). Engaging students in STEM education. *Science Education International*, 25(3), 246-258.

Lawrence, F., Gravemeijer, K., Stephan, M. (2017). Introduction to this Special Issue. *International journal of Science and Mathematics Education*, 15(1), 1-4.

Leccardi, C. (2014). *Sociologie del tempo: soggetti e tempo nella società dell'accelerazione*. Gius. Laterza & Figli Spa.

Lederman, L. M. (2008). Scientists and 21st century science education. *Technology in Society*, 30(3), 397-400. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2008.04.014>

Levrini, O., Tasquier, G., & Branchetti, L (in revisione). Developing future-scaffolding skills through Science education. Submitted to *International Journal of Science Education*.

Piaget J. (1973). *Psicologia e pedagogia*, Loescher, Torino.

PLS (2018). <http://www.pls.unibo.it/it/index.html>

Ravinet, P. (2008). From Voluntary Participation to Monitored Coordination: why European countries feel increasingly bound by their commitment to the Bologna Process. *European journal of education*, 43(3), 353-367.

Rosa, H. (2013). *Beschleunigung und Entfremdung - Entwurf einer kritischen Theorie spätmoderner eitlichkeit*, (Eng. Trans: *Acceleration and Alienation - Towards a Critical Theory of Late-Modern Temporality*, 2015). Berlin: Suhrkamp Verlag AG.

U.S. Department of Commerce (January, 2012). *The competitiveness and innovative capacity of the United States*.

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare in primis la mia relatrice, la prof.ssa Olivia Levrini, per avermi coinvolta così attivamente nel progetto di ricerca e avermi dato la fiducia e lo stimolo necessari per la realizzazione di questo elaborato.

Ringrazio la mia correlatrice, Eleonora, per il supporto fornitomi, la disponibilità e la pazienza che mi ha riservato.

Desidero inoltre ringraziare gli altri membri del gruppo di ricerca, in particolare Sara, Giovanni, Laura e Michael, che con il loro entusiasmo e la loro dedizione mi hanno trasmesso l'interesse per questo tipo di ricerca.