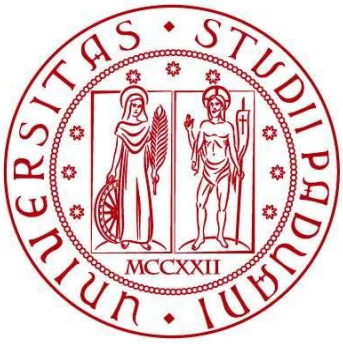
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
EDILE E AMBIENTALE

Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA

L'introduzione dell'IA nel settore delle costruzioni. Un'analisi critica dello stato dell'arte.

Relatore: Prof. LIVIO PETRICCIONE

Correlatrice: Dott.ssa ELEONORA FILIRA

Laureando: ALESSANDRO MISSIROLI

ANNO ACCADEMICO 2024-2025

A Mamma e Papà,

A Federico e Francesco,

Alla mia Famiglia,

A Flora,

Ai miei Amici,

A Tutti quelli che non credevano fosse possibile.

SOMMARIO

INTRODUZIONE 1
CAPITOLO 1 INTRODUZIONE ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE 5
1.1 DEFINIZIONE ED ELEMENTI DELL'IA 5
1.2 MODELLI DI PREVISIONE BASATI SULL'IA 7
1.2.1 MODELLI DI PREVISIONE SINGOLA 8
1.2.2 MODELLI DI PREVISIONE D'INSIEME 9
1.4 PROBLEMATICHE E SVILUPPI FUTURI DELL'IA 12
CAPITOLO 2 QUADRO NORMATIVO SULL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE 13
2.1 REGOLAMENTAZIONI E DIREZIONI FUTURE DELL'IA 13
2.2 LEGISLAZIONE AMERICANA 14
2.2.1 LEGGE SULL'INIZIATIVA NAZIONALE SULL'IA (NAII) 15
2.2.2 ORDINE ESECUTIVO 14179 16
2.2.3 COLORADO AI ACT 16
2.3 LEGISLAZIONE INGLESE 17
2.4 LEGISLAZIONE EUROPEA 18
2.5 LEGISLAZIONE ITALIANA 20
2.5.1 DDL IA 20
CAPITOLO 3 INTELLIGENZA ARTIFICIALE NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI (CEM) 23
3.1 ARTICOLI SCIENTIFICI IA-CEM 23
3.2 IA NELL'AMBITO DEL CEM 24
3.3 VANTAGGI DELL'IA NEL CEM 25
3.4 CONOSCENZA E RAGIONAMENTO DELL'IA 27
3.5 VISIONE ARTIFICIALE ED ESTRAZIONE DEI PROCESSI 28
CAPITOLO 4 ESEMPI DI APPLICAZIONI IA-CEM 31
4.1 STIME COSTI PER SISTEMI DI PAVIMENTAZIONE 31
4.2 PREVISIONE DEL CONSUMO ENERGETICO DI UN EDIFICIO 34
4.2.1 TIPOLOGIA DI INPUT 36
4.2.2 METODO DI PREVISIONE 37
4.3 INTELLIGENZA ARTIFICIALE NELLA PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA 38
4.3.1 CASI STUDIO 39
4.4 ANALISI CRITICA DELLE APPLICAZIONI 41
CAPITOLO 5 COSTRUZIONE DI UN'ASSISTENTE VIRTUALE 43

5.1 SCELTA DEL MODELLO DI IA 43
5.2 SETTORE DI APPLICAZIONE DI IA 43
5.3 COSA È UN'ASSISTENTE VIRTUALE 44
5.4 IMPLEMENTAZIONE PRIMO ASSISTENTE 45
5.5 IMPLEMENTAZIONE SECONDO ASSISTENTE 49
5.6 ESEMPIO PRATICO DI APPLICAZIONE MEDIANTE ASSISTENTE VIRTUALE CHATGPT 52
5.7 DIFFERENZE TRA L'INTERAZIONE CON CHATGPT E CON UN ASSISTENTE VIRTUALE GPT ADDESTRATO 60
CONCLUSIONI 69
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 71

INTRODUZIONE

L’intelligenza artificiale (IA) è un campo dell’informatica che si focalizza sullo sviluppo di macchine e sistemi capaci di simulare l’intelligenza umana. L’utilizzo e studio della IA nell’ultimo periodo è cresciuto notevolmente poiché ci sono notevoli vantaggi che derivano dal suo utilizzo [1] tra i quali:

- Automazione di processi;
- riduzione degli errori;
- analisi avanzata di dati;
- miglioramento dell’esperienza del cliente;
- supporto continuo.

Nel settore delle costruzioni l’impiego della IA è ancora nelle fasi iniziali ma si presuppone che il suo utilizzo possa portare notevoli benefici [1]. Tuttavia, essendo un argomento moderno e in continua mutazione vi sono delle evidenti mancanze di analisi e discussione. Questa lacuna nel campo scientifico porta a delle informazioni o studi non strutturati che quindi rendono arduo il compito di evoluzione e utilizzo dell’IA in questo campo.

Le caratteristiche distintive del settore edilizio sono: coordinazione, eterogeneità delle opere, sequenzialità dei lavori, variabilità temporale e rispetto delle normative [1]. Tali caratteristiche rendono il settore edilizio complesso da gestire, causando notevoli problemi di controllo, sicurezza e rispetto delle tempistiche. Solamente nel 2024 in Europa secondo i dati Eurostat i decessi sul lavoro in questo settore sono stati 754, che corrispondono a 22,9% di tutti i decessi sul lavoro [2]. Anche in Italia secondo l’INAIL, il settore delle costruzioni ha il primato di essere quello maggiormente pericoloso. Nel 2024 nel periodo gennaio-ottobre, i decessi sono stati 176 che corrispondono al 16,5% del totale [3]. Questo è scaturito da mancanza di formazione sulla sicurezza, assenza di dispositivi di protezione individuale e scarsa supervisione [4]. Un altro dato allarmante rilasciato dalla ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo economico sostenibile) afferma che gli edifici consumano il 40% dell’energia finale totale. La causa del consumo energetico così elevato è dovuta alla dispersione termica dell’involucro dell’edificio e bassa efficienza degli impianti [5]. Per questi fattori è importante l’organizzazione e la pianificazione dei lavori che possono comportare numerosi problemi nelle fasi progettuali e di realizzazione dell’opera come si denota nella tabella 0-1. Alcuni tra gli esempi più eclatanti in Europa sono: l’aeroporto di Berlino-Brandeburgo con decine di anni di ritardi nella costruzione e sforamento dei costi preventivati [6], linee metro di Amsterdam [7] e quella di Salonicco (Grecia) [8] che con tecniche inefficienti, ritardi e raddoppi dei costi rendono i cantieri ancora più complessi. L’Italia non è esente da queste criticità come: il crollo del cantiere Esselunga 2024 [9] causa progettazione errata, crollo del ponte Morandi 2018 [10] causa carenza di manutenzione e molti altri cantieri o opere.

Tabella 0-1, descrizione concisa di problematiche con esempi (produzione propria, 2025)

AMBITO	DATI PRINCIPALI	CAUSE RILEVATE
Sicurezza sul lavoro Europa (2024)	754 decessi nel settore costruzioni = 22,9% di tutti i decessi sul lavoro	• Carenza di formazione • Assenza di DPI • Scarsa supervisione
Sicurezza sul lavoro Italia (2024, gen-ott)	176 decessi nel settore costruzioni = 16,5% del totale nazionale	• Deficit organizzativo • Errori procedurali • Insufficiente cultura della sicurezza
Consumi energetici edilizia Europa/Italia	Consumo energetico edifici ≈40% consumo energia finale totale	• Dispersione termica involucro • Impianti a bassa efficienza
Problematiche gestionali Grandi opere europee	• Aeroporto Berlino-Brandeburgo → ritardi pluriennali e sforamento costi • Linea metro Amsterdam e Salonicco → raddoppio costi, inefficienze	• Pianificazione inadeguata • Tecniche costruttive inefficienti • Gestione cantieri complessa
Problematiche gestionali Italia	• Crollo cantiere Esselunga (2024) → errori progettuali • Ponte Morandi (2018) → carenza manutenzione • Altri cantieri con ritardi/sforamenti.	• Errata progettazione • Deficit manutentivo • Carenze di controllo e pianificazione

Per sovvenire a queste problematiche negli ultimi anni è aumentato notevolmente l’interesse per il tema dell’utilizzo dell’intelligenza artificiale nel campo delle costruzioni. Il procedimento per la progettazione e costruzione di un’opera è suddivisibile in tre parti: progettazione concettuale, progettazione dettagliata ed esecuzione ed infine mantenimento dell’immobile. L’utilizzo della IA, come si vedrà poi all’interno della tesi, si può applicare in ogni fase progettuale andando a collaborare in simbiosi o autonomamente con la componente umana. Durante la progettazione iniziale l’affiancamento della IA con l’uomo può incrementare la capacità estetica e creativa andando così a realizzare un progetto innovativo e allo stesso tempo efficace. La previsione dei costi e dei tempi di realizzazione può essere aggiornata e misurata con maggior accuratezza grazie a capacità di calcolo superiori aventi un numero indefinito di parametri che possono elaborare simultaneamente. Nella fase di esecuzione, l’IA può apportare innovazioni ancora più significative come una corretta automazione delle attività e una gestione intelligente del cantiere. Con questo si intende una accurata programmazione dei lavori che vanno ad eseguirsi in cantiere mantenendo una elevata capacità ed indipendenza gli uni dagli altri nelle corrette norme e tempistiche previste nella fase di progetto precedente. Nella fase di mantenimento dell’opera invece, l’IA può essere utilizzata come manutenzione predittiva mediante sistemi di rilevamento di cedimenti, ponti termici o altri elementi che causano danno nel tempo all’opera [11]. Viene quindi sviluppato un *digital twin* (gemello digitale), il quale è una rappresentazione virtuale di un oggetto o di un’opera che riflette accuratamente un oggetto fisico; il *digital twin* copre il ciclo di vita dell'opera, viene aggiornato dai dati in tempo reale provenienti dai sensori e utilizza

la simulazione, l'apprendimento automatico e il ragionamento per aiutare a prendere decisioni tecniche necessarie dell’opera per un futuro ripristino o restauro.

Fig. 0-1: Rappresentazione schematica dei vantaggi dell’IA nel CEM (produzione dell’autore mediante ChatGPT)

La tesi in prima istanza intende sviluppare un’analisi bibliografica sullo stato dell’arte dell’IA con particolare attenzione al settore delle costruzioni. Gli articoli dopo essere stati analizzati e organizzati forniranno le informazioni necessarie all’utilizzo e all’utilità dell’IA nel campo delle costruzioni. Nella parte finale dell’elaborato si andranno invece ad analizzare alcune applicazioni della IA in questo settore ed un esempio pratico di come una corretta e mirata IA può aiutare un settore affine alle costruzioni.

Il primo capitolo andrà a definire il termine IA nella sua onnicomprensività e successivamente ricercherà i modelli che possono essere utilizzati nel mondo edilizio. Definirà ciò che forma una IA e ciò che necessita per essere definita tale. I diversi tipi di IA, le classificazioni in base agli obiettivi, tecnologie e programmazioni in modo tale da comprendere in modo maggiormente accorto i dati tecnici successivi. Inoltre, ci si soffermerà brevemente sui diversi tipi di IA nelle costruzioni con una breve descrizione di questi e i possibili vantaggi che possono apportare a questo campo.

Il secondo capitolo analizzerà le diverse normative e regolamentazioni che riguardano l’utilizzo e l’archiviazione dei dati riguardanti l’IA. Essendo un tema nuovo vi sono poche e generiche normative che però devono essere seguite e controllate ai fini dell’utilizzo della IA. Per comprendere appieno lo sviluppo della legislazione relativa si farà un confronto con le normative tra USA e UK che sono state le prime regolamentazioni in ambito globale, ed infine tra quelle Europee e quelle italiane. Le normative europee e italiane si stanno sviluppando in questo periodo e risulteranno molto simili per riuscire così in futuro ad avere un utilizzo maggiormente omogeneo. Le normative andranno a descrivere le diverse IA in modo più generale con una breve accezione al settore delle costruzioni poiché, limitando e controllando l’utilizzo iniziale della IA l’implementazione nel campo delle costruzioni sarà a sua volta normato.

Il terzo capitolo descriverà in modo approfondito le diverse IA presenti e utilizzate nel mondo delle costruzioni, con i relativi pro e contro, che derivano sia da uno studio dei diversi articoli scientifici che dall’applicazione reale. Si andrà quindi ad analizzare la formazione, il prompt (istruzione), la banca dati dalla quale l’IA prende informazioni per fornire una risposta dettagliata e precisa relativa alla domanda o alla necessità richiesta. È il capitolo maggiormente tecnico e si andrà ad elencare nello specifico la formazione e differenze di queste IA che, avendo ruoli e funzioni diverse hanno anche delle caratteristiche uniche. Dati utilizzati, capacità di calcolo e finalità sono solo alcuni degli elementi che le contraddistinguono e che, se effettuati in modo appropriato fanno sì che le IA possano lavorare indipendentemente fornendo risposte ingegneristiche adeguate.

Il quarto capitolo si strutturerà analizzando le diverse applicazioni delle IA nelle costruzioni come elemento di calcolo, aiuto logistico e progettazione che affianca il tecnico. Poiché l’applicazione per ora è molto limitata, i dati analizzati da articoli scientifici che descrivono ciò, spaziano molto come finalità di utilizzo all’interno del settore e quindi è difficile focalizzarsi su un solo tipo di applicazione elaborando i vantaggi e svantaggi sull’impiego di diversi tipi di IA. Dalla gestione amministrativa, progettuale nelle fasi iniziali e organizzativa durante la realizzazione dell’opera, l’IA può aiutare notevolmente il lavoro umano. Le cause di primato del settore, precedentemente descritte, possono essere limitate e in alcuni casi abbattute con l’utilizzo di queste nuove tecnologie.

Il quinto capitolo sarà composto da un esempio pratico di creazione di un assistente virtuale *ad hoc* eseguito e implementato dall’autore al fine di dimostrare il metodo e la descrizione di un corretto prompt e utilizzo nell’ambito lavorativo. È possibile costruire un assistente virtuale specializzato e settorializzato mediante un’intelligenza artificiale generale utilizzando lo stesso modello informatico. Inizialmente è necessario prefissare un obiettivo o un compito che l’assistente dovrà eseguire; in base alla funzione scelta si devono implementare le informazioni e capacità che serviranno per cogliere l’obiettivo così da ottenere un vantaggio e aiuto nel settore designato. L’assistente che si andrà ad analizzare, utilizzando l’IA ChatGPT è stato creato per aiutare nella fase di progettazione, il tecnico nell’ambito illuminotecnico. Per una corretta realizzazione di un assistente le tempistiche ridotte, ottimizzazione e precisione del lavoro sono alcuni degli obiettivi da raggiungere al fine di renderlo utile all’attività lavorativa. Ci sono numerose utilità che una IA può fornire ad un tecnico, ma l’assistente ha la funzione di analizzare i dati forniti e successivamente fornire in modo accurato una progettazione illuminotecnica approssimativa ma allo stesso tempo precisa. L’intelligenza artificiale è spesso approssimativa, ma la creazione di un assistente virtuale con le conoscenze fornite si avvicina alle conoscenze di un illuminotecnico. L’output fornito quindi sarà maggiormente preciso, tecnico ed esauriente in base alle informazioni fornite precedentemente e dal numero di iterazioni effettuate.

Infine, nell’ultimo capitolo si trarranno le conclusioni sull’inevitabile utilizzo della IA nelle costruzioni per far fronte in modo accorto e preparato, mediante le informazioni fornite nella tesi, alle modifiche che questa rivoluzione porterà. Valutazioni mediante l’utilizzo di articoli scientifici e pareri personali che analizzeranno i vantaggi e svantaggi dell’impiego dell’IA nelle costruzioni.

CAPITOLO 1
INTRODUZIONE ALL’INTELLIGENZA ARTIFICIALE

1.1 DEFINIZIONE ED ELEMENTI DELL’IA

Vi sono diverse definizioni che specificano cosa sia l’intelligenza artificiale, come riportato dal sito del Parlamento Europeo: “L’intelligenza artificiale (IA) è l’abilità di una macchina di mostrare capacità umane quali il ragionamento, l’apprendimento, la pianificazione e la creatività. L’intelligenza artificiale permette ai sistemi di capire il proprio ambiente, mettersi in relazione con quello che percepisce e risolvere problemi, e agire verso un obiettivo specifico. Il computer riceve i dati (già preparati o raccolti tramite sensori, come una videocamera), li processa e risponde. I sistemi di IA sono capaci di adattare il proprio comportamento analizzando gli effetti delle azioni precedenti e lavorando in autonomia.” [12]. Quindi l’IA si può definire come un sistema che comprende ed analizza il linguaggio, che può essere scritto, parlato o definito a priori al fine di risolvere problemi.

L’intelligenza artificiale non è unica, a utilizzo specifico corrisponde un’IA specifica che, in base al tipo e alla qualità di soluzione richiesta è necessario servirsi di IA più o meno complesse che hanno diverse capacità di apprendimento, ragionamento e autonomia. Come affermato da IBM (International Business Machin Corporation) si denota che l’IA si suddivide in tre diverse classificazioni: per capacità, per funzionalità e per tecnologia [13]. Suddivisione per capacità:

- **IA ristretta:** la più limitata poiché è capace di svolgere un compito specifico e ristretto ma al di fuori di questo compito non è capace di dare risposte.
- **IA generale:** che “può utilizzare apprendimenti e competenze precedenti per svolgere nuove attività in un contesto diverso, senza che gli esseri umani addestrino i modelli sottostanti.” [13]. Questo tipo di IA non è ancora operativa in quanto è ancora necessario l’addestramento umano.
- **Super IA:** capace ipoteticamente di provare ed esprimere emozioni e bisogni ma ancora teorica.

Suddivisione per funzionalità:

- **Reattiva:** IA progettate per svolgere compiti specifici e non capaci di ricordare input e output (informazioni fornite iniziali e finali) precedenti.
- **Memoria limitata:** capace di ricordare input e output per un periodo limitato.
- **Teoria della mente:** con capacità deduttiva umana riguardante emozioni, opere d’arte, ecc (ancora teorica).
- **Consapevole:** capace di provare emozioni, bisogni (ancora teorica).

Suddivisione per tecnologia [14]:

- **Machine learning:** insieme di algoritmi che propone alla IA di apprendere come un essere umano mediante informazioni, errori e iterazioni.
- **Deep learning:** sottoinsieme del machine learning ma utilizza pattern più complessi.

Avendo definito le diverse tipologie di IA che si possono implementare o sviluppare, ora si analizzano gli elementi che formano e compongono un’IA per definirla tale.
“Le cinque parti chiare della tecnologia artificiale e dello sviluppo tecnologico” [15], scompone la formazione di una IA in cinque elementi chiave:

- **Apprendimento:** come accade all’uomo inizialmente le informazioni sono nulle, ma aumentando la banca dati (informazioni che si forniscono all’IA) e utilizzando un processo iterativo (a tentativi) l’intelligenza artificiale impara gradualmente le regole e le tecniche necessarie per eseguire il compito in modo efficiente e corretto.
- **Ragionamento:** in base alle informazioni in possesso della IA e agli input forniti, l’intelligenza artificiale è capace di trarre conclusioni o compiere un pensiero senza l’intervento umano.
- **Risoluzione dei problemi:** è l’obiettivo ultimo della creazione di un’intelligenza artificiale, ossia risolvere problemi, che possono essere dai più semplici ai più complessi con un intervento minimo o assente dell’uomo.
- **Percezione:** che si ottiene mediante degli organi di senso che possono essere reali o artificiali così da avere maggiori dati e maggiore autonomia della IA.
- **Comprensione della lingua:** per fornire una risposta deve comprendere gli input immessi che possono essere vocali o scritti secondo parole o codici definiti a priori.

In modo maggiormente dettagliato per lo sviluppo e l’implementazione di soluzioni di IA per problemi ingegneristici è la componente chiave “ABCDE” [16].

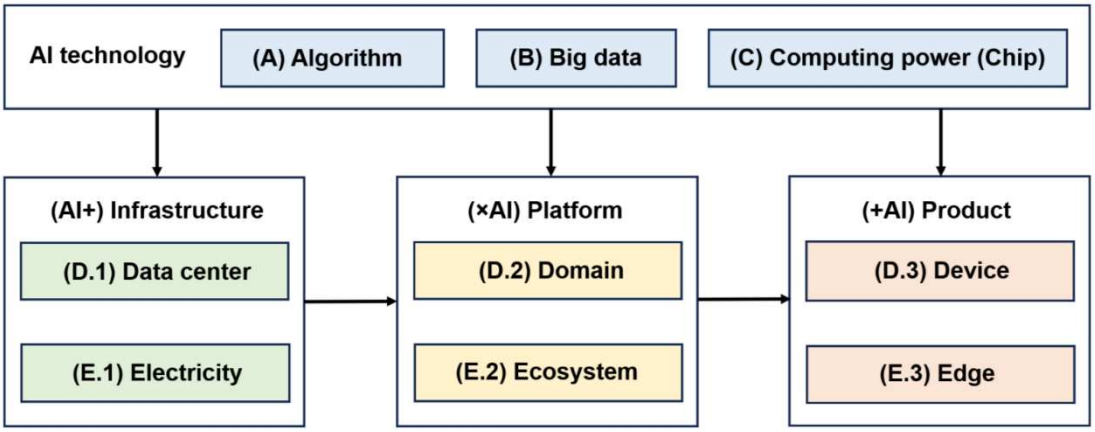


Fig. 1-1: Raffigurazione e descrizione schematica della tecnica “ABCDE”. Immagine tratta da [16].

L’acronimo “ABCDE” rispettivamente sta per:

- A (algoritmo): si riferisce ai metodi utilizzati di programmazione per l’apprendimento automatico.
- B (banca dati): raccolta dati, archiviazione ed elaborazione di dati.
- C (potenza di calcolo): infrastrutture e capacità di calcolo, alte prestazioni e risorse cloud (in rete).
- D e E si suddividono a loro volta in base a: infrastruttura, piattaforma IA e prodotto.

L’infrastruttura dell’IA si suddivide in:

- D.1 (centrale dati): che supporta l’archiviazione e l’elaborazione di dati.
- E.1 (elettricità): alimentazione della IA.

Piattaforma IA:

- D.2 (dominio): conoscenza del dominio industriale.
- E.2 (ecosistema): nei diversi ambiti dell’ingegneria vengono sviluppati ecosistemi di IA.

Prodotto IA:

- D.3 (dispositivo): visualizza i dispositivi basati sull’IA.
- E.3 (edge): *edge computing*. Ossia “L'*edge computing* consente ai dispositivi in posizioni remote di elaborare i dati nel "perimetro" della rete, dal dispositivo o da un server locale. E quando i dati devono essere elaborati nel data center centrale, vengono trasmessi solo i dati più importanti, riducendo al minimo la latenza” [16].

Il modello appena descritto è solo il primo passo per una corretta progettazione di una IA. Un altro importante elemento per una progettazione corretta di IA è il *framework* ingegneristico [16]; il *framework* si divide a sua volta in otto livelli di progettazione, implementazione e perfezionamento delle soluzioni di IA. Per *framework* si intende “una raccolta di componenti software riutilizzabili che rendono più efficiente lo sviluppo di nuove applicazioni” [17]. Gli otto livelli di progettazione [16] sono:

1) **Livello di identificazione del problema:** descrive il quesito ingegneristico.
2) **Livello infrastrutturale IA:** fornisce le risorse hardware (CPU, TPU, banca dati, ecc.).
3) **Livello di base dei dati:** organizza la raccolta e l’archiviazione dei dati.
4) **Livello di integrazione della conoscenza:** unisce le competenze di dominio con i modelli di IA utilizzando procedimenti complessi e con elevati calcoli e iterazioni.
5) **Livello di affidabilità:** ossia la formazione di modelli di IA mediante altri modelli di IA mediante apprendimento automatico o probabilità.
6) **Livello di sviluppo del modello di IA:** addestramento e certificazione di modelli di IA per fini ingegneristici utilizzando algoritmi complessi.
7) **Livello di valutazione e feedback:** utilizzato da utenti esperti che valutano le risposte dell’IA per essere così successivamente più accurate e utili per l’utente finale.
8) **Livello di distribuzione e integrazione:** monitora e ottimizza le prestazioni.

1.2 MODELLI DI PREVISIONE BASATI SULL’IA

I modelli di previsione sono l’ossatura principale dell’utilizzo e delle capacità dell’IA nelle costruzioni e possono essere classificati in due distinte categorie: metodi di previsione singoli e d’insieme [18]. La principale differenza consiste che il metodo di previsione singola utilizza un singolo algoritmo di apprendimento e invece il modello d’insieme, oltre a comprendere più modelli, prevede un processo di integrazione dei modelli durante l’output dei dati. Il metodo di previsione singola a sua volta è possibile definirlo con tre diversi modelli che sono applicati basati sull’IA ossia: MLR, ANN e SVR.

1.2.1 MODELLI DI PREVISIONE SINGOLA

La **regressione lineare multipla** (MLR) è un modello che pone in relazione la variabile indipendente e le diverse variabili indipendenti [19]. L'MLR è uno strumento di previsione semplice ma efficiente che, come principale vantaggio, ha che non richiede la regolazione di nessun parametro che quindi comporterebbe tempo di risposta e incertezze. Il limite di questo modello consiste nell'incapacità di gestire i problemi non lineari e quindi con maggiore complessità ed incertezze.

La **rete neurale artificiale** (ANN) è una tecnica di apprendimento statistico non lineare ispirata alle reti neurali biologiche [19]. È possibile suddividere l'ANN in tre livelli: input, hidden e output che sono tutti interconnessi. Ogni singolo di questi livelli è costituito da "neuroni" interconnessi che fungono da attivazione. I parametri utilizzati per l'ANN sono:

- Il modello di interconnessione tra i diversi "neuroni".
- Il processo di apprendimento di aggiornamento.
- La funzione di attivazione che converte gli input in attivazione di output.

Secondo gli studi di Zhang et al. E Farzana et al. [18] affermano che l'ANN potrebbe funzionare meglio dei metodi di regressione per le previsioni a breve termine. Il principale vantaggio dell'ANN è la capacità di correlare con complesse relazioni non lineari input e output rendendo così i dati raccolti utilizzabili istantaneamente ed è quindi questo il motivo per cui viene utilizzata per il monitoraggio in tempo reale. Lo svantaggio principale dell'ANN è che non è capace di stabilire relazioni di interconnessione tra i diversi parametri fisici dell'edificio e quindi limita l'impiego di questo modello quando vengono apportate modifiche ad elementi o componenti dello stabile.

La **regressione lineare del vettore di supporto** (SVR) "deriva dal calcolo di una funzione di regressione lineare in uno spazio di caratteristiche ad alta dimensione in cui i dati di input vengono mappati tramite una funzione non lineare" [18]. Il fine della SVR consiste nell'identificare una funzione che abbia escursioni minori possibili tra le variazioni di tutti i dati misurati. In base alla funzione si costruisce il modello SVR e quindi influisce le capacità di apprendimento e sulla capacità do generalizzazione del modello. Diversi studi citati affermano che l'utilizzo della SVR ha migliorato la precisione dei dati rispetto agli altri metodi citati in precedenza ma allo stesso tempo si stanno effettuando ricerche approfondite sulle diverse applicazioni tra SVR e ANN con i relativi vantaggi di ogni tipo di modello [18]. Oltre a minimizzare l'errore di addestramento, il modello SVR ha un processo di ottimizzazione basato sulla minimizzazione del rischio strutturale che ha lo scopo di minimizzare il limite superiore dell'errore generale costituito dalla somma degli errori di addestramento [19]. Un altro vantaggio della SVR consiste nel miglior equilibrio tra accuratezza dei dati e velocità di calcolo rispetto agli altri modelli. Il limite del modello SVR invece consiste nella funzione stessa; la funzione non ha uno standard uniforme e quindi potrebbe rendere il modello molto accurato o con dati imprecisi.

1.2.2 MODELLI DI PREVISIONE D'INSIEME

Il concetto di modelli di previsione d'insieme è l'apprendimento d'insieme che annulla i limiti di ogni singolo modello di previsione singolo poiché incorpora più modelli che quindi riescono a colmare gli svantaggi con i vantaggi gli uni degli altri. I modelli di previsione d'insieme hanno mostrato una maggiore accuratezza in diversi ambiti e in particolare nella classificazione dei dati [18].

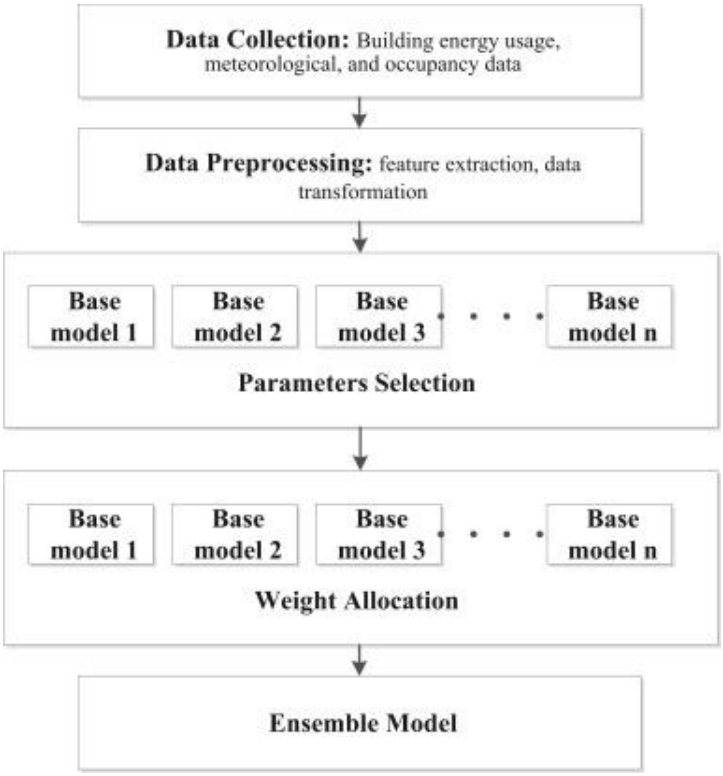


Fig. 1-2: Esempio di un modello d'insieme. Descrive i dati necessari al modello che inizialmente fanno parte della banca dati e successivamente processati; successivamente vengono rappresentati i parametri utilizzati che poi vengono soppesati al fine di costruire un modello d'insieme. Immagine tratta da [18].

I modelli di base utilizzati per i modelli d'insieme vengono sviluppati mediante ricampionamento o randomizzazione dei dati d'addestramento. In base ai modelli base, i modelli d'insieme possono essere classificati in omogenei ed eterogenei. I modelli d'insieme omogenei utilizzano un modello di base che funge da istruttore per gli altri modelli base. Questo modello funziona bene per gli apprendimenti instabili ossia se gli input sono simili e gli output sono variabili. Il modello d'insieme eterogeneo invece è costituito da diversi modelli di base addestrati dallo stesso set di dati [19]. I modelli d'insieme sono implementati mediante questi passaggi:

1. **Identificazione degli input**: individuare i diversi dati che verranno poi utilizzati come base di informazioni per l'implementazione del modello.
2. **Monitoraggio e preelaborazione dati**: attraverso i sensori che acquisiscono dati è necessario raccogliere questi dati in modo efficiente e in contemporanea così d'avere meno parametri indipendenti. La preelaborazione dei dati è necessaria causa imprecisione sensori o intervalli temporali significativi.
3. **Selezione dell'algoritmo d'apprendimento**: la scelta di più algoritmi diminuisce la possibilità di imprecisione poiché ogni diverso algoritmo ha il suo settore d'applicazione il loro lavoro simultaneo risulta quindi maggiormente

preciso e totale. Nella figura 1-3 e 1-4 si identificano i framework (struttura software che fornisce una base per lo sviluppo di applicazioni) per i modelli d’insieme eterogenei e omogenei. I due diversi framework come si può notare dalle figure hanno diversi processi di selezione del modello di base. Il modello d’insieme omogeneo ha i modelli di base che provengono dallo stesso algoritmo d’apprendimento e quindi il modello d’insieme sceglie solo un algoritmo tra le “tecniche di apprendimento automatico attualmente disponibili” [18]. Il modello d’insieme eterogeno invece ha una ampia raccolta di algoritmi di apprendimento automatico che fungono come da modelli di base e pertanto, è necessario scegliere un numero adeguato di modelli di base per migliorare la diversità e quindi l’accuratezza dei modelli di base.

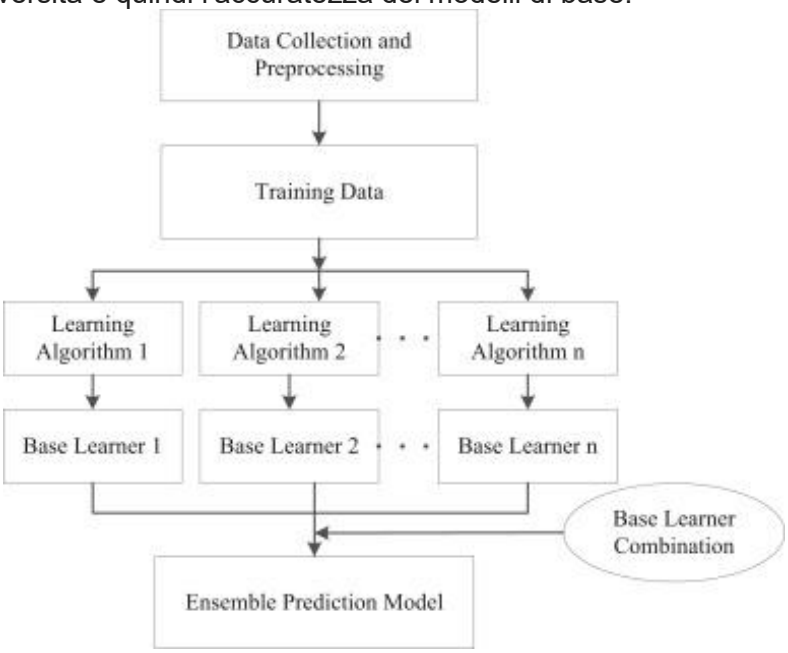


Fig. 1-3: Framework di modello d’insieme eterogeneo. Algoritmi diversi fungono come da modelli di base ma sono indipendenti e imparano in modo indipendente gli uni dagli altri e successivamente forniscono modelli di base diversi che vengono combinati per formare un modello predittivo. Immagine tratta da [18].

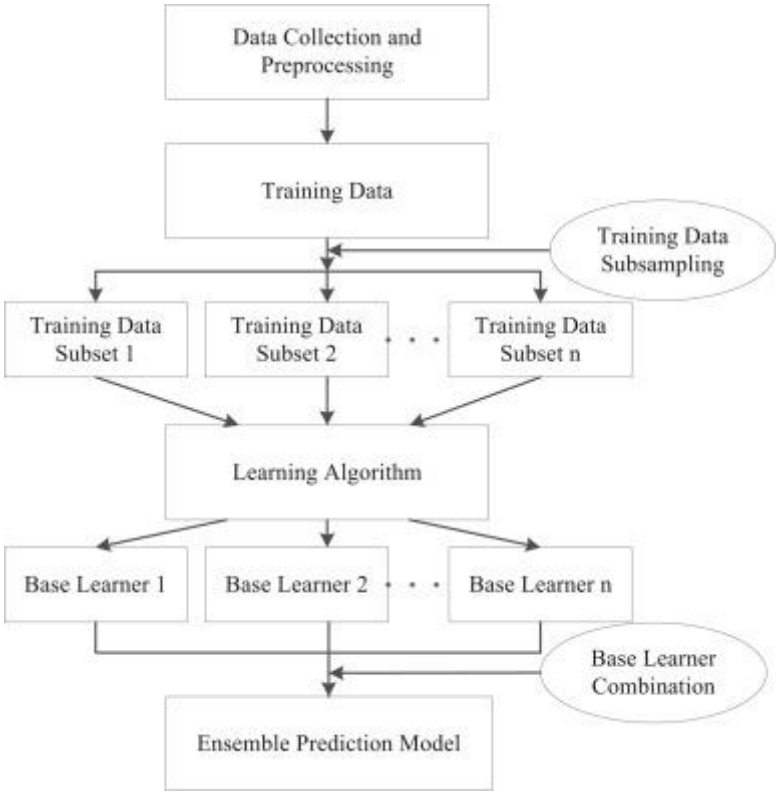


Fig. 1-4: Framework di modello d'insieme omogeneo. Algoritmi diversi fungono come da modelli di base e sono indipendenti ma imparano iterando in modo congiunto e successivamente forniscono modelli di base diversi che vengono combinati per formare una modello predittivo.
Immagine tratta da [18].

4. **Generazione del modello di base**: dopo aver scelto gli algoritmi, successivamente è necessario addestrare i modelli di base. Per il modello d'insieme omogeneo, ogni modello di base ha dati di addestramento diversi ma stesso algoritmo. Il procedimento d'addestramento per il modello eterogeneo invece utilizza gli stessi set di dati per addestrare ogni algoritmo individualmente.
5. **Integrazione del modello**: integrare tutti i modelli di base per ottenere i risultati di previsione finale è l'obiettivo di questi modelli e questo passaggio è fondamentale. Il problema che potrebbe sorgere se l'integrazione del modello non fosse eseguito correttamente è il problema di regressione. La regressione aumenta l'errore di previsione complessivo del modello che quindi diminuisce l'efficacia del modello.

Il professore Dietterich, emerito di informatica presso la *Oregon State University,* ha identificato che nei modelli d'insieme i dati di addestramento potrebbero non fornire le informazioni sufficienti per scegliere adeguatamente un algoritmo d'apprendimento efficace e a loro volta gli algoritmi potrebbero non essere in grado di risolvere i problemi posti al modello [18]. Quindi il modello d'insieme diventa vantaggioso se il set di dati fornito è organizzato e molto ricco di informazioni.

1.4 PROBLEMATICHE E SVILUPPI FUTURI DELL’IA

La creazione, utilizzo e implementazione dell’intelligenza artificiale presenta le sue complicanze e quindi è necessario anche un’attenta analisi alle problematiche comuni riscontrate per una IA [18]. Il principale problema che affronta una IA è la qualità dei dati. I dati o banca dati sono le fondazioni su cui si basa una intelligenza artificiale, dati incompleti comporteranno risposte incomplete, dati approfonditi e specifici comporteranno risposte analoghe.

I dati potrebbero essere solamente mancanti oppure in contrasto l’uno con l’altro, non capaci di essere letti da una IA o sporcati. Per dati sporchi si intende che possono essere contaminati dalla ricerca web della IA se ne ha la capacità, poiché se la domanda richiesta è al di fuori dalle competenze o dati inizialmente concessi, allora l’intelligenza artificiale riuscirà a generare una risposta ma essa sarà stata creata in collaborazione tra l’algoritmo e le informazioni estranee.

Come detto in precedenza i dati devono essere letti e capiti dall’IA per essere poi reperibili e consultati durante i processi di risposta. I dati possono provenire da diverse fonti come immagini, sensori e testo in base al livello e alla programmazione dell’IA. L’intelligenza artificiale però, se non creata in modo preciso potrebbe riuscire a capire e comprendere i dati solo parzialmente. I dati migliori che possono essere forniti ad un’IA in base a velocità di calcolo e comprensione completa sono quelli di testo e numerici [18]. Un’alternativa ai dati di testo e quelli numerici è la creazione di linguaggi specifici come: Large Language Model (LLM) e Industrial Large Knowledge Model (ILKM) che permettono di comunicare con l’IA con linguaggi diversi costruiti appositamente. Questo permette di ottimizzare il tempo e avvantaggiare sia l’IA che il generatore nella lettura dei dati forniti o ricevuti [18]. Un altro elemento fondamentale per l’utilizzo della IA è la comprensione del modello che si va ad utilizzare in quanto, conoscendo le potenzialità e i limiti si possono formulare le domande in modo maggiormente accurato. I modelli vengono anche definite scatole nere perché sono costruiti e formati da centinaia o migliaia di comandi che formano e perfezionano l’IA in modo da fornire la risposta più adatta [18]. Poiché il tema dell’intelligenza artificiale è un tema oggi molto trattato, si è chiesto quali siano le direzioni future che questo cambiamento porterà nell’imminente o lontano futuro. Per la facilitazione di creazione di IA, l’obiettivo finale è l’applicazione e l’addestramento di modelli tra domini e compiti diversi così da poter utilizzare singoli o gruppi di IA trasversalmente in modi più completi possibili [18]. Un elemento fondamentale già menzionato in precedenza sono le banche dati che vengono utilizzate dalle IA. Stream-of-Quality e Stream-of-X (flussi di dati o informazioni x) hanno la funzione di monitorare e ottimizzare i dati fornendo così all’IA dati precisi e in continuo aggiornamento senza intermediario umano ma direttamente dal misuratore all’organismo di calcolo. Nel prossimo futuro si ipotizza inoltre che l’IA possa utilizzare modelli mediante similarità per aggiornarsi autonomamente senza dover iterare e quindi fornire risposte errate poiché queste sono state già effettuate precedentemente.

CAPITOLO 2
QUADRO NORMATIVO SULL’INTELLIGENZA ARTIFICIALE

2.1 REGOLAMENTAZIONI E DIREZIONI FUTURE DELL’IA

L’IA è un tema nuovo e in continua mutazione ma vi è la necessità di normarla e limitarla in quanto ha e avrà un impatto enorme per persone, aziende e società. Globalmente la classe politica è in ritardo rispetto alla rapida evoluzione dell’IA perché, oltre alla lenta macchina burocratica che deve smuovere, la politica in questo periodo sta affrontando diversi problemi geopolitici ed economici enormi che quindi pongono in secondo piano la regolamentazione dell’IA [20]. Altri aspetti che incrementano il ritardo e la mancanza di coordinazione della classe politica con norme relative alla IA sono [20]:

- La tecnologia si evolve troppo velocemente;
- timore di frenare la crescita che l’IA sta apportando;
- interessi economici contrastanti.

A discapito di questi aspetti elencati, è necessario normare l’IA, e la politica ha affrontato questo nuovo ambito indagando principalmente su [21]:

- tutela dei diritti fondamentali;
- sicurezza;
- responsabilità;
- trasparenza;
- monopolio.

La tutela dei diritti fondamentali è la base della società e dell’economia europea e mondiale; quindi, anche l’avvento della IA deve sottostare a queste linee guida. Come già scritto precedentemente un’intelligenza artificiale, per essere efficiente, necessita di un’enorme banca dati e questa potrebbe attingere ad informazioni personali e quindi violare la privacy oppure, la banca dati potrebbe essere limitata nelle informazioni e fornire quindi mediante l’IA delle informazioni limitate che causerebbero una manipolazione delle informazioni [21]. Un altro tema oggi molto importante è la sicurezza. L’utilizzo della IA dilagherà in ogni campo come quello medico, energetico e di difesa. Errori o attacchi informatici mirati porterebbero a conseguenze gravissime. Con responsabilità si intende ciò che viene causato dall’utilizzo dell’IA. Se avviene un incidente o danni a persone o cose dovuti ad errori dell’IA, chi è il responsabile? Un esempio pratico è un ipotetico incidente durante la guida autonoma di un veicolo (che utilizza IA), oppure il crollo di un edificio con progetto strutturale fatto da un’IA in modo errato [21]. Senza la trasparenza, gli utenti o coloro che utilizzano il servizio non sarebbero consapevoli di quando stiano utilizzando un’IA e come vengano utilizzati i propri dati. Il monopolio di una tecnologia (come in questo caso l’IA) non è mai auspicabile in quanto: innovazione, accesso ed altri elementi sarebbero limitati e controllati da un solo ente pubblico o privato. Oggi, molti stati per non dipendere da privati stanno sviluppando IA capaci di essere competitive e per limitare il monopolio di grandi aziende [22].

Lo studio delle normative riguardanti l’IA verrà analizzato limitatamente alle norme vigenti o in fase di elaborazione di: USA, UK, UE e Italia. Poiché il mondo

anglosassone (USA e UK) è stato promotore della prima creazione di IA, è stato il primo a normarla o porre delle limitazioni e quindi le normative saranno più specifiche e dettagliate rispetto a quelle europee e italiane.

2.2 LEGISLAZIONE AMERICANA

Gli Stati uniti stanno introducendo un numero crescente di proposte di legge riguardo all’IA, queste vengono redatte sia a livello federale che statale [23]. Questa velocità e prontezza di risposta però è stata notevolmente rallentata dal passaggio di carica avvenuto tra l’ex presidente Biden e il nuovo presidente americano Trump. Trump ha revocato o riscritto alcune leggi inerenti all’IA e quindi ha cambiato notevolmente l’assetto degli USA in risposta alle intelligenze artificiali.

Oggi, gli Stati Uniti non dispongono di una legge completa sull’intelligenza artificiale poiché “la loro strategia ruota invece attorno a politiche frammentate volte a promuovere l’innovazione e gestire rischi” [23]. Per comprendere appieno gli sviluppi che stanno seguendo le normative delle IA negli USA è necessario analizzare prima le indicazioni eseguite da Biden e successivamente da Trump. La politica seguita da Biden principalmente si focalizzava sulla sicurezza, gestione e privacy riguardanti l’IA. I principali ordini esecutivi approvati dall’ex presidente americano nel periodo 2023-2025 in merito all’intelligenza artificiale sono stati:

- Sviluppo e utilizzo sicuro, protezione e affidabilità della IA.
- Carta dei diritti della IA.
- Ordine esecutivo 14141.
- Ordine esecutivo 14144.

I primi due ordini esecutivi riguardano l’impiego e la gestione della IA, limitandone i rischi e incoraggiando contemporaneamente l’uso etico. L’ordine esecutivo 14141 invece riguarda l’interconnessione tra le infrastrutture e le IA. L’ultimo ordine esecutivo approvato da Biden in questo ambito invece è stato il 14144 che invece evidenziava la necessità di una sicurezza informatica limitante l’utilizzo della IA [23]. Successivamente al cambio del governo politico americano, vi sono stati notevoli cambiamenti. Ora si analizzerà in generale gli atti e normative promulgate dal presidente Trump per poi andarle a studiare singolarmente in modo maggiormente accorto. Le prime azioni del neo-governo americano in ambito dell’IA norme state la revoca delle precedenti leggi in questo ambito. Il 23 gennaio 2025 Trump ha emanato il “Rimozione degli ostacoli alla leadership americana nell’intelligenza artificiale” limitando le restrizioni vigenti sulla IA che avrebbero ridotto l’evoluzione delle IA in America. Uno degli elementi cardine delle legislazioni approvate dal presidente è stata il “National Artificial Intelligence Initiative Act” del 2020. Questo atto promuove gli sforzi all’innovazione tecnologia mediante l’utilizzo delle IA nelle principali agenzie federali come il Dipartimento della Difesa, Dipartimento del Tesoro e la Nasa [23]. Come già sopracitato, gli USA stanno riscrivendo a livello nazionale le normative riguardanti l’IA, ma data la natura decentralizzata del governo americano, vi sono alcuni stati federati che stanno emergendo riscrivendone parzialmente alcuni aspetti. Un esempio di legislazione federale è il “Colorado AI act” del 2024, che utilizza un approccio “basato sul rischio per regolamentare l’implementazione di sistemi IA ad alto rischio” [23]. Questo atto enfatizza la trasparenza, la corretta documentazione e la mitigazione del rischio dovuta ai sistemi di sviluppo della IA.

Anche nell’ambito giudiziario vi è stata una modifica del sistema legislativo; a partire dal 1° gennaio 2025 la corte suprema dell’Illinois si è concentrata sull’integrazione responsabile dell’IA rendendo così l’Illinois leader nella governance giudiziaria dell’IA. Questi sforzi da parte di stati federali evidenziano carenza dal punto di vista nazionale di normative chiare e previdenti che inoltre sarebbero necessarie ad aziende per conformità e mitigazione di potenziali rischi [23].

La regolamentazione è necessaria perché l’IA è la tecnologia aziendale adottata con più rapidità nella storia. Oggi, negli USA un quarto delle aziende sta utilizzando e integrando l’IA e un ulteriore 43% si sta adoperando per utilizzarla nell’immediato futuro. La politica americana pur avendo cambiato direzione rispetto all’indirizzo scelto dall’ex presidente Biden, come il precedente governo ha riconosciuto che l’IA è “molto pericolosa” e ha stanziato notevoli fondi al fine di gestirla e svilupparla [23]. Trump ha utilizzato un approccio all’IA meno restrittivo dal punto di vista burocratico al fine di lasciare libera crescita di questo ramo ma allo stesso tempo ha stanziato numerosi fondi come il “Progetto Stargate” con OpenAI con una cifra di 500 000 000$ che ha il compito di integrare l’IA con i principali enti governativi e militari come il dipartimento del tesoro e l’FBI. Gli USA cercano mediante l’attuazione delle leggi e gli incentivi in questo campo di imporsi nel mercato globale diventando simbolo di sicurezza nazionale e prosperità lavorativa [23].

2.2.1 LEGGE SULL’INIZIATIVA NAZIONALE SULL’IA (NAII)

Emanata dal primo governo Trump del 2020, la legge è una dei primi sforzi mirati alla normativa dell’IA. L’atto mira a promuovere la ricerca, lo sviluppo del settore e consolidare la posizione americana come leader globale nel mercato dell’IA [23]. Per comprendere appieno lo scopo dell’amministrazione americana per l’IA, Trump ha affermato: “una filosofia politica più distaccata e orientata al libero mercato e l’imperativo geopolitico percepito nel guidare l’IA”. L’impatto della NAII (National Artificial Intelligence Initiative), oltre a suscitare una ricerca nel medesimo ambito globale, è stata fondamentale per il coordinamento delle attività di intelligenza artificiale tra le diverse agenzie federali [23]. Le principali agenzie interessate da questa normativa sono state:

- Consiglio nazionale per la scienza e la tecnologia che sta istituendo un comitato per coordinare le attività federali a sostegno dello sviluppo delle IA.
- Dipartimento dell’Energia (DOE) che rappresenta il consultivo nazionale sull’IA.
- Dipartimento dell’energia che sta attuando un programma di ricerca e sviluppo per: promuovere strumenti, capacità nell’IA e migliorare l’affidabilità dei metodi utilizzati per l’emissione del *United States Department of energy* DOE (programma degli esperimenti).
- *National science foundation* NSF (fondazione nazionale per la scienza) che dovrà stipulare un contratto con l’accademia nazionale delle scienze, medicina ed ingegneria per redigere uno studio sull’impatto della IA attuale e futuro nella forza lavoro.
- National Institute of Standards and Technology che svilupperà IA capaci di competere e primeggiare a livello globale.

2.2.2 ORDINE ESECUTIVO 14179

Firmato il 23 gennaio 2025, come suggerisce il nome dell’ordine esecutivo “Rimuovere gli ostacoli alla leadership americana nell’IA”, ha il compito di rafforzare il potere globale degli USA nell’ambito delle IA. Ci sono alcuni aspetti chiave di questa normativa tra cui [23]:

- Sviluppo di un piano d’azione per l’IA, entro 180 giorni dalla proclamazione dell’ordine i consulenti ed esperti nell’ambito devono creare e presentare al presidente americano un piano che segue come linee guida il punto successivo dell’elenco.
- Attuazione della revoca dell’ordine, i consulenti sopracitati hanno il compito di esaminare revocando o modificando gli ordini emanati sulla IA precedentemente. In caso di impossibilità di attuazione immediata verranno applicate esenzioni fino alla realizzazione di queste modifiche.

Il 17 dicembre 2024 la Camera dei rappresentanti uniti ha pubblicato il suo “Rapporto Bipartisan sull’IA” implementando con l’ordine esecutivo al favore della leadership americana che sarebbe uscito dopo un mese circa. Questo rapporto ha il fine di fungere da direttiva guida per il Congresso per far fronte alle innovazioni apportate dalla IA. Il rapporto è suddiviso in 66 conclusioni, 89 raccomandazioni tutto organizzato in 15 capitoli [23]; la direttiva non rappresenta la risposta finale del governo americano ma, è uno strumento che identifica e valuta le future proposte politiche rispetto alla IA. I temi principali trattati dal rapporto sono:

- Identificazione del problema dell’IA.
- Promuovere l’innovazione dell’IA.
- Protezione dai rischi e dai danni causati dalla IA.
- Leadership governativa nell’uso responsabile.
- Sostenere politiche settoriali specifiche.
- Adottare un approccio incrementale (si sviluppa in concomitanza con l’IA).
- Mantenere l’uomo al centro della politica sull’IA.

2.2.3 COLORADO AI ACT

Fondamentale per un completo US AI act, si è ispirato all’EU AI act (norma europea per l’IA) e come principi adotta un approccio alla IA basato sul rischio indirizzando l’attenzione agli sviluppatori e utilizzatori del sistema di IA [23]. Le norme che i leader aziendali devono eseguire sono:

- Garantire la trasparenza di informazioni all’utente.
- Stabilire a priori l’utilizzo e il fine della IA regolamentata dalle direttive statali.
- Fornire documentazioni relative ai vantaggi, applicazioni attuali o future e rischi dovuti ad un inappropriato sistema.
- Stabilire delle procedure per limitare i possibili rischi.
- Fornire istruzioni agli utenti finali su come utilizzare e monitorare le IA.
- Implementare le procedure di gestione del rischio come il AI Risk Management Framework (organo per analizzare i rischi IA) o gli ISO pertinenti.

- Pubblicare documenti che forniscono la conformità della IA secondo la discriminazione algoritmica.

Questi fattori rendono quindi la California e la relativa legge uno dei capisaldi delle future normative riguardanti l’IA [23]. Per quanto riguarda le implicazioni per le imprese dovute a questo atto e all’utilizzo dell’IA, secondo il National Law Review (NLR): “Le aziende dovrebbero tenersi informate sugli sviluppi politici, mantenendo al contempo solidi quadri di governance e conformità dell’IA in grado di adattarsi alle mutevoli priorità federali, garantendone al contempo la conformità a tutti gli obblighi e gli standard legali e normativi applicabili” [23].

2.3 LEGISLAZIONE INGLESE

Nel Regno Unito non esiste una regolamentazione legale generale riguardante l’intelligenza artificiale ma diversi ambiti di diritto descrivono parzialmente la regolamentazione pratica dell’IA [24].

La *General Data Protection Regulation* GDPR (regolamentazione generale sulla protezione dei dati) norma la raccolta e l’utilizzo dei dati ai fini di usofrutto dell’IA, inoltre la regolamentazione impone alcune restrizioni al processo decisionale automatizzato che inciderebbe in modo critico sulla vita dell’utente [24]. Il Regno Unito ha pubblicato il “white paper” nel marzo 2023:” Un approccio pro-innovazione alla regolamentazione dell’IA che è uno dei capisaldi della futura stesura di normative e leggi che regolamentano lo sviluppo e l’uso responsabile dell’IA. Anche il discorso del re del luglio 2024 accentua maggiormente l’impegno britannico nella corsa alla limitazione legislativa dell’intelligenza artificiale affermando: “il governo sfrutterà il potere dell’IA e cercherà di rafforzare i quadri di sicurezza”. Il comitato scientifico inglese in risposta al “white paper” ha osservato che il Regno Unito potrebbe diventare il leader globale per lo sviluppo dell’IA ma che il governo, incapace e intimorito di comprendere questa rivoluzione attende gli standard americani e dell’UE [24]. Una ricerca commissionata da Microsoft ha affermato che l’innovazione dovuta all’IA porterebbe al Regno Unito un valore economico di oltre 550 miliardi di sterline entro il 2035 [24]. Il KPMG (una rete di società indipendenti) ha previsto che il 2,5% delle attività totali potrebbe essere svolto da una IA con un potenziale aumento della produttività del 1,2% [24]. Un’attenzione particolare del governo britannico rispetto all’avvento dell’IA va al lavoro del cittadino come, ad esempio, al lavoro d’ufficio che è svolto principalmente da donne e alcuni rapporti affermano che potrebbe diventare ridondante a causa dell’IA. Inoltre, le disparità regionali potrebbero portare ad un aumento delle disuguaglianze economiche che sono già presenti. Questo è stato anche sottolineato dal discorso del re inglese: “imporre requisiti a coloro che lavorano per sviluppare i modelli di intelligenza artificiale più potenti”. D’altro canto, l’esclusione digitale comporterebbe altre disuguaglianze come quelle finanziarie, sociali e sanitarie [24]. Il governo britannico per la formulazione delle leggi inerenti all’IA seguiranno alcune raccomandazioni tra cui:

- Limitazione e controllo della decisione automatizzata delle IA.
- Consentire accesso libero e trasparenze alle IA.
- Imposizione alle aziende di redigere delle valutazioni in base alle decisioni automatizzate.

- Creazione di banche dati per la consultazione degli enti regolatori per una corretta analisi e valutazione delle IA.

Sul sito del Parlamento inglese, inoltre il governo si è posto alcuni interrogativi riguardo il futuro approccio all’IA e quelli più significativi rispettivamente sono [24]:

- Quale tipo di regime normativo dovrebbe adottare il Regno Unito nei confronti dell'intelligenza artificiale? Comporterebbe una maggiore o minore supervisione centralizzata?
- Il governo dovrebbe sviluppare un sistema di verifica o certificazione per i sistemi di intelligenza artificiale?
- Come dovrebbe adattarsi il diritto del lavoro all’uso del processo decisionale automatizzato da parte del management in settori quali il reclutamento o la gestione delle prestazioni?
- Come devono adattarsi le leggi sulla protezione dei dati? Quale proprietà e controllo dovrebbero avere le persone sui dati che generano?
- Se e come il Regno Unito dovrebbe collaborare con altri Paesi per lo sviluppo di un'IA sicura e responsabile? Dovrebbe cercare di collaborare con altri Paesi per definire standard globali o adottare un approccio normativo specifico?

2.4 LEGISLAZIONE EUROPEA

Nell’Aprile del 2021, la Commissione europea ha proposto la prima legge UE riguardante l’IA [25]. Questa legge istituisce oltre ad una definizione dell’IA, anche una classificazione dell’IA basata sul rischio. Gli obiettivi che cerca di raggiungere questa legge sono l’assicurarsi che lo sviluppo dell’IA abbia dei freni e limitazioni come:

- Trasparenza dei dati.
- Rispettosa dell’ambiente.
- Tracciabilità.
- Aspetti non discriminatori.
- Supervisione assoluta umana.

La classificazione del tipo di IA effettuata nell’Unione Europea fa sì che ci siano limitazioni e accortezze differenti in base al diverso uso e meccanismo di creazione delle IA. La classificazione iniziale dell’intelligenza artificiale si struttura in due diverse categorie di rischi: rischio inaccettabile e alto rischio. Il rischio inaccettabile derivante dall’uso o implementazione dell’intelligenza artificiale può essere suddivisibile in diverse applicazioni come:

- Manipolazione cognitiva di persone o gruppi mediante informazioni mirate.
- Classificazione sociale mediante IA in base al livello socioeconomico, comportamentali e caratteristiche personali.
- Identificazione biometrica per categorizzare le persone.
- Identificazione biometrica in tempo reale come il riconoscimento facciale.

Il Parlamento europeo precisa che alcune di queste limitazioni potrebbero essere revocate ai fini di applicazione della legge come, ad esempio, per l’utilizzo di difesa [25]. L’IA è ad alto rischio se non rispetta i diritti fondamentali dell’uomo e le intelligenze artificiali saranno quindi suddivisi in due diverse categorie:

- IA utilizzata in prodotti soggetti alla direttiva dell’UE sulla sicurezza generale dei prodotti come veicoli, aviazione, ecc.
- I rimanenti sistemi di IA che a sua volta saranno suddivisi in otto aree specifiche che dovranno essere registrati in un database dell’UE.
    - Gestione e funzionamento di infrastrutture critiche.
    - Istruzione e funzionamento professionale.
    - Occupazione, gestione dei lavori e accesso all’autoimpiego.
    - Accesso e fruizione di servizi privati essenziali e servizi pubblici.
    - Forze dell’ordine.
    - Gestione delle migrazioni, asilo e controllo delle frontiere.
    - Assistenza nell’interpretazione e applicazione legale della legge.

Tutti questi sistemi ad alto rischio, quindi dovranno essere controllati e approvati prima dell’immissione nel mercato al fine di tutelare l’utente e il cittadino europeo [25]. Con requisiti di trasparenza, precedentemente citati, si intende che l’IA dovrà rispettare alcuni criteri che tutelano la privacy anche se l’intelligenza artificiale non è classificata ad alto rischio come ad esempio l’IA ChatGPT. Questi criteri sono:

- Rivelare se il contenuto è stato generato da una IA.
- Progettare un modello finalizzato alla generazione di contenuti illegali.
- Pubblicare i dati necessari per l’addestramento citando i diritti d’autore.

Per regolamentare e affrontare l’innovazione tecnologica derivante dall’IA, l’unione europea ha creato un gruppo di lavoro di professionisti per elaborare e verificare le normative sull’IA in concomitanza con lo sviluppo di questa. Nel giugno 2024 l’UE ha adottato le prime regole per l’IA e, anche se alcune sono in vigore da giugno 2025 [25] altre sono state già applicate nel 2024 come:

- Il divieto per sistemi IA che presentano rischi inaccettabili (in vigore dal 2.02.2025).
- Regole sui sistemi di IA per trasparenza e privacy.

Come altri paesi, alcuni organi dell’UE si sono posti un programma da seguire per l’avvenire e il futuro dell’IA. Questo programma è dovuto alla relazione finale della Commissione speciale artificiale in un’era digitale (AIDA) che dopo aver raccolto dati per 18 mesi sull’IA ha proposto questo approccio che indirizzerà l’UE nell’era digitale [25]. Secondo la relazione, l’UE è in ritardo rispetto allo sviluppo dell’IA poiché c’è mancanza di investimenti e piani a lungo termine anche se l’uso dell’intelligenza artificiale sarà sempre maggiore. Nella relazione si pone attenzione alle norme, salvaguardie e regolamenti UE dovrebbero garantire all’IA libero mercato così da aiutare l’industria, produttività del lavoro, agricolture e altri settori in difficoltà [26]. Inoltre, come raccomandazione per l’avvenire l’UE si è prefissata delle scadenze per fissare standard chiari per evitare che questi vengano definiti altrove [26]. Dato che tecnologie dell’IA necessitano di una enorme banca dati, l’UE dovrà mettere in condivisione i dati in modo da integrare e armonizzare il mercato unico digitale favorendo inoltre in questo modo gli scambi transfrontalieri e l’innovazione. Nella parte finale della relazione, l’UE sta valutando gli aspetti militari e di sicurezza dovuti all’impiego dell’IA che dovrebbe cooperare a livello internazionale tra i partner promuovendo la visione umanistica basata sui valori europei [26].

2.5 LEGISLAZIONE ITALIANA

In Italia la risposta all’arrivo dell’IA è giunta successivamente rispetto all’AI Act europeo descritto precedentemente. Il governo italiano inizialmente ha recepito le direttive europee mediante il DDL AI (disegno di legge in merito all’intelligenza artificiale) in data 23.04.2023 [27]. Successivamente lo ha integrato con le norme italiane vigenti con i margini di autonomia consentiti con il dossier n.289/1, ad oggi ancora provvisorio [28]. Il DDL IA è suddiviso in diversi articoli che promuovono gli stessi valori europei andando ad indagare ulteriormente gli effetti che l’IA apporterebbe al contesto italiano.

2.5.1 DDL IA

L’articolo 1 afferma che il DDL IA nasce sotto le direttive europee secondo la direzione imposta dall’UE [27] ma allo stesso tempo rivendica l’indipendenza decisionale italiana in:

- Giustizia.
- Sanità.
- Lavoro.
- Pubblica amministrazione.
- Sicurezza e difesa.

Gli articoli dal 3-6 descrivono i principi generali dell’IA stabilendo le limitazioni dovute dalla progettazione all’uso come: trasparenza, protezione dati e persone, supervisione umana e libertà di espressione. Poiché l’IA è una tecnologia con possibili implicazioni dannose c’è una limitazione degli utenti che impone ai bambini di età di 14 anni o inferiore il divieto di utilizzo se non consensuale dei genitori. Una particolare attenzione si riscontra nell’articolo 6 che impone l’installazione e monitoraggio dei server di banche dati in Italia se non con qualche eccezione al fine di favorire i diritti fondamentali del cittadino come il corretto uso dei dati privati.

Gli articoli 7-9 sono specifici e trattano l’impiego dell’IA nella sanità e disabilità. L’IA ha il compito di: supportare, migliorare l’accessibilità e la ricerca scientifica in questi campi.

Gli articoli 10-12 riguardano il rapporto tra l’IA e lavoro. Un’attenzione è rivolta verso le professioni intellettuali che potrebbero subire delle modifiche dovute all’avvento della nuova tecnologia e, inoltre negli articoli viene istituito un osservatorio nazionale che monitora il rapporto IA e lavoro al fine di monitorarne l’operato.

Gli articoli 13-15 trattano della pubblica amministrazione e la giustizia mediante l’utilizzo dell’IA. La sicurezza dei dati e delle motivazioni decisionali dell’IA sono garantite, come avviene in Europa, con la verifica umana. Analogamente l’articolo 16 che tratta della cybersicurezza si focalizza sul tema della resilienza cibernetica a favore dei diritti dell’uomo.

Gli articoli 17-20 e 22 invece, descrivono che il governo italiano ha recepito le direttive europee ma che ha diritto a legiferare e adeguare l’IA Act europeo mediante le norme italiane.

Gli articoli successivi ad eccezione del 21 tutelano i diritti d’autore per le opere generate dalle IA e introducono le aggravanti al Codice penale come le frodi o manipolazione del mercato mediante l'utilizzo di IA.

L'articolo 21 tratta i finanziamenti statali che cercano con una cifra di 1 000 000€ di rendere l’Italia competitiva in questo settore mediante: progettazione di IA, progettazione infrastrutturale digitale, calcolo quantistico e sicurezza cibernetica.

In conclusione, il DDL IA è la prima concreta attuazione dell’IA ACT europeo di uno stato membro dell’UE; l’Italia ha adottato così un approccio che sarà seguito successivamente dagli altri paesi membri. Il DDL IA riesce quindi a prendere atto delle indicazioni e accortezze europee e allo stesso tempo essere indipendente e innovativo a livello nazionale.

CAPITOLO 3
INTELLIGENZA ARTIFICIALE NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI (CEM)

3.1 ARTICOLI SCIENTIFICI IA-CEM

Dal 1997 al 2020 il numero di pubblicazioni che trattano il tema dell’uso dell’IA nel settore edile è in continuo aumento. Secondo gli studi effettuati, circa l’84% degli articoli in questo ambito è stato pubblicato dal 2010 in poi [1].

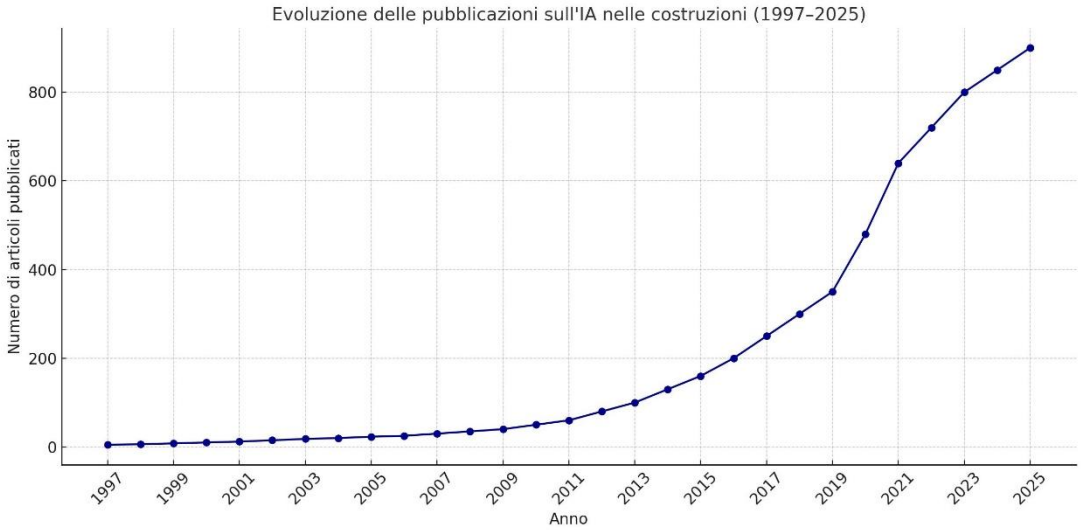


Fig. 3-1: Raffigura l’evoluzione di numero degli articoli scientifici 1997-2025, (produzione propria 2025 basata sui dati di [1]).

Nella figura 3-1 si può notare che nel periodo 2019-2020 gli articoli pubblicati riguardanti l’IA hanno avuto un’impennata significativa e hanno accresciuto così la conoscenza del rapporto tra l’IA e le costruzioni nel mondo accademico. Le riviste che trattano dell’IA che maggiormente vengono citate sono quelle più pertinenti al CEM (Construction Engineering Management) e con un’applicazione pratica immediata. Mediante la figura 3-2 si possono notare le 10 riviste che detengono gli articoli più citati nel set di dati analizzati.

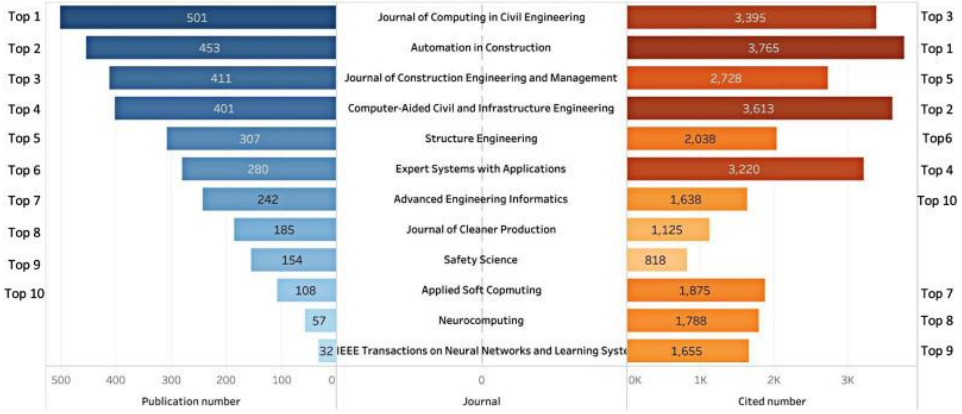


Fig. 3-2: Raffigura le 10 riviste più citate con tematica IA-CEM nel 2020. Immagine tratta da [1].

3.2 IA NELL’AMBITO DEL CEM

Nell’ultimo periodo vi è una notevole crescita di interesse e applicazione dell’IA nel settore delle costruzioni. Sono state pubblicate numerose riviste nell’ambito scientifico ma in maggior parte nella specifica sotto area dell’ingegneria strutturale, BIM (*building information modeling*), produzione edile automatizzata e la visione artificiale [1]. Ossia, vi è una particolare limitazione dell’applicazione dell’IA all’interno del CEM. CEM (*construction engineering management*) è il ramo dell’ingegneria che gestisce progetti edilizi e infrastrutturali. È necessaria una comprensione del CEM per poter poi andare ad indagare sull’utilizzo della IA e i suoi vantaggi che può apportare a questo campo. Come afferma l’articolo “Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends”, afferma: “ogni fase del progetto vengono raccolti grandi volumi di dati eterogenei, soprattutto con l'avvento del BIM e delle reti di sensori wireless (WSN), rendendo il CEM un campo ad alta intensità di dati.” [1]. Quindi è necessario sviluppare diverse IA con tecniche differenti per fare fronte a questa eterogeneità di dati utilizzandoli in diversi modi. Il CEM si suddivide in due parti [29]: l’ingegneria edile e la gestione della costruzione. Nella prima si include la progettazione, la pianificazione con la definizione del budget e la realizzazione dell’opera. Nella seconda invece si monitora e controlla l’opera durante la sua costruzione. Un controllo programmato di ogni porzione di vita dell’opera fa sì che l’opera si possa definire un successo. Controllo dei tempi, della manodopera, dei materiali e interazione di tutti gli elementi che collaborano nella creazione della struttura se rispettati sono dovuti ad una corretta gestione e pianificazione a monte. Le caratteristiche del CEM sono definite in cinque punti:

1) Unicità.
2) Ad alta intensità di manodopera.
3) Dinamica.
4) Complessità.
5) Incertezza.

Con unicità si intende che ogni progetto è unico per natura. Le condizioni ambientali, materiali ed esigenze del committente sono variabili che portano delle modifiche al progetto e che rendono quindi necessaria un’accurata progettazione. L’intensità di manodopera è un fattore che distingue questo settore poiché molte attività non sono ancora automatizzate o automatizzabili e che richiedono quindi interventi di personale qualificato con esperienza e competenza elevata. Ogni progetto è dinamico, ossia in continua evoluzione nel tempo. Questo è dovuto a variabili e problematiche che sono inevitabili in questo settore ma che un’accurata programmazione possono essere prevenute e limitate. Poiché questo ramo coinvolge notevoli tecnici, committenti, imprese e non solo, la coordinazione è necessaria in quanto la complessità è elevata. L’incertezza è dovuta principalmente a tre fattori: condizioni metereologiche, errori progettuali e variazione del committente. Questi elementi rendono quindi il progetto maggiormente incerto e labile nelle tempistiche e nei costi.

Nel mondo ingegneristico vengono applicati diversi approcci al fine di elaborare i dati [30]. Un esempio pratico è l’approccio utilizzato per controllare e diminuire i consumi energetici degli edifici. Il metodo che viene utilizzato per rappresentare il comportamento fisico dei sistemi mediante dati è definito “scatola bianca”. Questo metodo si differisce dal metodo “scatola nera” in quanto è nota la logica interna. Il secondo metodo, “scatola nera”, è basato sulla IA mediante l’utilizzo di dati

provenienti da relazioni interne all’edifici e dai suoi singoli componenti. Il terzo metodo invece è il metodo ibrido o “scatola grigia” che integra entrambi i metodi precedenti allo scopo di eliminare i limiti di ciascun metodo. Entrambi i metodi (bianco e nero) necessitano di informazioni dettagliate dell’edificio per emulare il consumo energetico e quindi necessitano di maggiori dati e tempistiche per fornire un modello preciso per le successive analisi. Per lo studio di edifici esistenti l’uso di questi modelli risulta inefficiente per ora poiché [30] “raccogliere con precisione le specifiche dell'involucro edilizio e dei sistemi meccanici, ostacolando così l'uso diffuso di questi metodi per il patrimonio edilizio esistente.

3.3 VANTAGGI DELL’IA NEL CEM

L’utilizzo dell’IA nel mondo delle costruzioni può portare cambiamenti senza precedenti aiutando il settore edile che ha una natura unica, laboriosa, dinamica e complessa. I vantaggi che l’IA può apportare al settore edile sono [1]:

- **Automazione:** dal punto di vista tecnico, il processo di gestione del progetto con l’IA risulta più automatizzabile riuscendo così a sovvenire alle mancanze umane basate sull’osservazione e funzionamenti umani. Gli algoritmi apprendono in modo automatico e mediante i dati raccolti aumentano la capacità di scoperta di “conoscenze nascoste” (input non dati inizialmente ma ricavati dal ragionamento IA) che poi utilizzano nei processi di ragionamento futuri. Le informazioni che vengono raccolte, anziché utilizzare osservazioni manuali, presenza di errori e noiosità elevata, possono essere surclassate dall’utilizzo di droni o sensori che utilizzati in loco forniscono istantaneamente e in modo preciso i dati all’IA relativa.
- **Mitigazione del rischio:** l’IA può monitorare e valutare in termini di sicurezza la qualità ed efficienza del *team* o aree di lavoro adottando un modello probabilistico che permette di prevenire e attenuare i rischi sul lavoro. La teoria *fuzzy*, di apprendimento automatico, ha implementato cause e tipi di incidenti dovuti a diversi tipi di lavori di cantiere e misura la probabilità di guasti categorizzando tutti i dati sia in modo quantitativo che qualitativo. In base a questa capacità predittiva probabilistica l’IA offre opportunità per la risoluzione precoce di problemi che potrebbero ancora verificarsi e in questo modo può semplificare le operazioni di cantiere, tempistiche e budget.
- **Elevata efficienza:** l’IA renderà il progetto di costruzione maggiormente fluido ed efficiente poiché ha una efficienza e velocità di soluzione di problemi molto elevata. Il *process mining* è un processo adottato dall’IA che permette di diminuire i ritardi “restringimento a collo di bottiglia” dovuti ai flussi elevati di lavori chiave che concorrono in cantiere. Alcuni fattori che l’IA può ottimizzare, nelle fasi iniziali del cantiere e non solo, sono i processi di lavoro che, se organizzati aumentano l’efficienza costruttiva dell’operativa. Altri vantaggi dell’IA è la presenza di alcuni tipi di algoritmi che possono fornire valutazioni istantanee di piani di costruzione differenti per l’opera aumentando così le capacità di adattabilità di ogni edificio al territorio e al committente.
- **Digitalizzazione:** mediante il BIM (*Building Information Modeling*) il livello di digitalizzazione degli edifici è accresciuto notevolmente. Oltre alla modellazione 3D, sono accresciute anche le informazioni riguardanti l’intero ciclo di vita dell’edificio. Una corretta collaborazione tra IA e BIM potrebbe

apportare al CEM notevoli vantaggi poiché le informazioni fornite e condivise dal BIM rendono l’IA capace di elaborarle. I dati proveniente dal BIM rendono l’IA ancora più accurata in quanto le analisi sono fatte in tempo reale sull’edificio e quindi facilita la capacità dell’IA di fornire stime sui tempi operativi, tagli dei costi, riduzione dei rischi e flusso di lavoro.

- **Visione artificiale:** le laboriose e inaffidabili ispezioni visive e valutazioni delle condizioni delle infrastrutture civili da parte umana saranno gradualmente sostituite dalla visione artificiale che hanno un metodo di apprendimento profondo per elaborare, analizzare e comprendere i dati mediante immagini e video. Con visione artificiale si intendono i rilevamenti automatici dei danni ai componenti strutturali e architettonici mediante il controllo delle condizioni in tempo reale della struttura. In questo modo i dati poi recepiti e forniti dall’IA saranno oggettivi, accurati ed efficienti che rendono così maggiormente sicura la costruzione.

Le tecniche di ricerca dell’IA sviluppate sono state classificare in quattro gruppi: sistema esperto, logica *fuzzy*, apprendimento automatico e algoritmo di ottimizzazione [29]. Un sistema aperto è un processo decisionale intelligente semplice e comprensibile capace di affrontare problemi complessi mediante conoscenze specialistiche. La logica *fuzzy* invece, gestisce i dati input che sono imprecisi e incompleti convertendoli in forme comprensibili in informatica e quindi che possano essere implementati da altre IA. L’apprendimento automatico insegna alle macchine come scoprire i modelli nascosti in elevate quantità di dati realizzando previsioni future basate su questi dati. L’algoritmo di ottimizzazione mediante il *process mining* pur essendo ancora nelle fasi iniziali “mira a colmare il divario tra la gestione dei processi e la scienza dei dati” [1].

In base agli approcci di IA appena affrontati, ci sono sei temi di ricerca che sono i più studiati che trattano il rapporto IA-CEM come riassunto nella figura 3-3. Gli argomenti di ricerca sono: rappresentazione e ragionamento in base alla conoscenza, fusione informatica, *computer vision* (interpretazione di immagini o video), processo del linguaggio naturale, ottimizzazione intelligente e comprensione dei processi. A loro volta gli argomenti rappresentati dalla figura 3-3 si suddividono in altre ricerche che indagano più nello specifico l’argomento relativo. Gli scopi dei temi di ricerca sono principalmente: mitigazione del rischio, comprensione del progetto e adattamento; queste informazioni sono derivanti da pubblicazioni provenienti da gruppi di ricerca effettuate negli ultimi dieci anni.

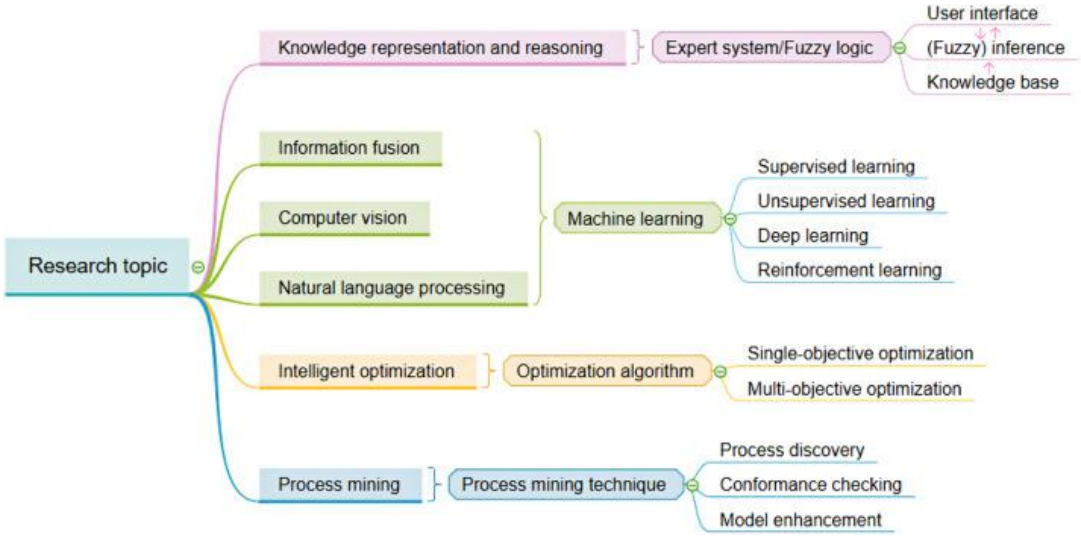


Fig. 3-3: Raffigura i temi principali trattati IA-CEM. Immagine tratta da [1].

3.4 CONOSCENZA E RAGIONAMENTO DELL'IA

La conoscenza e il ragionamento sono le prime forme di IA che usano una rappresentazione simbolica secondo regole basate sulla conoscenza. La modellazione di equazioni strutturali (SEM) e la rete bayesiana sono modelli semplici capaci di rappresentare la conoscenza. La SEM, nata negli anni '80, usa un diagramma schematico capace di descrivere azioni e relazioni complesse utilizzando delle stime con i relativi coefficienti associati. Un esempio di applicazione della SEM per riconoscere le pratiche più efficaci relative alla sicurezza dei lavoratori è stato effettuato da Zaira e Hadiskumo [1]. Inoltre, Liu et al. [1] hanno applicato nuovamente la SEM per monitorare il progetto di costruzione di una metropolitana. La rete bayesiana invece è un modello probabilistico con nodi come variabili e collegamenti come causalità. Per costruire una accurata rete bayesiana è necessario avere elevati dati storici ed è stata utilizzata in termini di salute strutturale, ambiente di costruzione e qualità operativa. Un esempio di applicazione è Wu et al. [1] che hanno eseguito analisi predittive prima che si verifichino eventi pericolosi in cantiere. Inoltre, Leu e Chang [1] hanno sviluppato una valutazione del rischio di sicurezza esaminando le cause di incidenti nella costruzione di edifici in acciaio. Utilizzando diversi dati provenienti da diversi sensori, è necessario per effettuare una buona lettura di dati eseguire un'unione delle informazioni per migliorare il rivelamento, l'interferenza e la loro caratterizzazione [1]. Le tecniche di unione o fusione dei dati sono necessarie perché i dati eterogenei sono influenzati da errori di misurazione, accuratezza e dai fattori ambientali. Unendo i dati invece, si riducono i problemi di ambiguità, incertezza, accuratezza dei dati e migliore valutazione di ogni sensore in modo indipendente. La fusione dei dati si divide in tre livelli:

- Livello dati: fusione delle informazioni partendo da dati grezzi fino a raffinarli in modo che l'IA possa recepirli con maggiore velocità.
- Livello feature: le caratteristiche dei dati grezzi vengono fuse in un singolo vettore feature.

- Livello decisionale: le decisioni che provengono dai dati vengono integrate secondo determinate regole per generare delle valutazioni più solide e accurate.

L'unione dei dati è utilizzata in due metodi: teoria delle prove di Dempster-Shafer (DS) e l'apprendimento automatico. La teoria DS è un metodo matematico capace di combinare i dati multisensoriali adottando la probabilità di base, la funzione di credenza e la funzione di plausibilità in modo da quantificare le prove per la loro incertezza. Una delle sue applicazioni è stata quella del monitoraggio della salute strutturale di un edificio effettuato da Guo et al. [8] identificando i lievi danni a piastre e travi in ambienti rumorosi. Poiché questa teoria è molto semplice potrebbe mancare di accuratezza e flessibilità di formule per problemi maggiormente complessi vengono utilizzati gli algoritmi di apprendimento automatico che sono sempre più performanti e incrementano le loro conoscenze con l'utilizzo e una vasta gamma di banca dati.

3.5 VISIONE ARTIFICIALE ED ESTRAZIONE DEI PROCESSI

Per i progetti relativi all'edilizia già negli ultimi anni è accresciuto l'interesse per la visione artificiale [1]. Il monitoraggio dei progetti viene gestito da apparecchi di acquisizione, come UAV (veicoli aerei senza pilota), che interagiscono tra loro mediante la visione artificiale. Le informazioni e le tecnologie che sono supportate dalla visione artificiale sono necessarie per una visione affidabile dell'edificio rendendo gli output rapidi ed economici. Lo stato dell'edificio delle condizioni o dei comportamenti non sicuri nell'infrastruttura o nel cantiere può essere quindi facilmente identificato e valutato mediante la visione artificiale della costruzione. La visione artificiale supporta l'automazione di rilevamento e valutazione di danni o difetti presenti nelle diverse strutture come: ponti, edifici, strade, condotte, ecc. Quindi la visione artificiale funge da controllo di qualità della costruzione in sé durante il cantiere ma anche dopo come collaudo o ispezione post-disastro [30].

Un esempio di applicazione della visione digitale è lo studio effettuato da Fang et al. [1] che hanno riassunto le aree di applicazione dell'utilizzo dell'IA nel rilevamento dell'uso improprio dei DPI (dispositivi di protezione individuale), rischio caduta o rispetto delle procedure di sicurezza. Lo studio afferma che la sicurezza e la salute sul lavoro durante la procedura di costruzione impiegando la visione artificiale ha diminuito notevolmente il numero di rischi e quindi di infortuni.

L'applicazione della visione artificiale e dell'utilizzo dell'IA oggi è basata notevolmente sul deep learning che è responsabile di tre compiti:

- Classificazione delle immagini.
- Rilevamento degli oggetti.
- Segmentazione semantica.

La classificazione delle immagini consiste nell'identificare le immagini ed etichettarle per un corretto uso futuro. La classificazione è svolta dalla rete neurale convoluzionali (CNN) che si suddivide a sua volta in diversi livelli neurali [1]:

- Livelli convoluzionali per la generazione di mappe di caratteristiche.
- Livelli di *pooling* per la riduzione delle dimensioni spaziali degli input.
- Livelli completamente connessi per la creazione di vettori di caratteristiche 1D per la classificazione.

Il rilevamento degli oggetti consiste nell’identificare e localizzare una o più condizioni di non sicurezza di un’immagine. Invece, l’obiettivo della segmentazione semantica è quello di capire il significato di ogni pixel dell’immagine e a ciascuno dei pixel viene contrassegnato da un’etichetta per identificare con precisione la posizione e la forma del danno. L‘implementazione e l’analisi di un’immagine si è evoluta con il tempo fino a identificare con i dati prelevati una nuvola di punti in 3D che cattura in modo ancora più preciso le informazioni fornite dai rilevatori [30]. Molti algoritmi basati sui punti sono stati sviluppati in modo da analizzare numeri elevatissimi di dati in poco tempo in modo, inoltre, da identificare le densità variabili dei punti posti nello spazio tridimensionale mediante un campionamento regolare in modo efficiente e accurato. Questi algoritmi sono stati applicati all’intero ciclo di vita dell’edificio per ricavare in modo automatico e continuo i benefici che queste misurazioni comportano per ottenere una gestione intelligente del progetto. Il *process mining* è una sotto area dell’IA ed è una connessione tra i log degli eventi e il processo operativo [30]. Il tema del *process mining* può essere suddiviso in tre diverse tipologie: individuazione, conformità e miglioramento dei processi. I log di eventi dunque “possono essere appresi per creare automaticamente modelli di processo che riflettono il processo effettivo e calcolare le metriche di processo” [1]. Il *process mining* può aiutare il manager a identificare velocemente delle parti fondamentali del processo e informare in base ai dati determinate operazioni accelerando il processo decisionale e quindi poi esecutivo. Esistono alcuni software per il *process* mining che tramutano in modo efficace eventi in analisi approfondite come ad esempio i *framework* Celonis e Myivenio [1]. L’obiettivo dei software è quello di redigere una mappa visiva procedendo in base ai dati ottenuti, quindi passo a passo, al fine di realizzare delle funzioni di diagnosi, controllo, previsione etc. Mediante i software, il *process mining* è utilizzato nella pratica industriale come nel settore ospedaliero, istruzione, produttivo etc. I principali vantaggi del *process mining* consistono nella velocità esecutiva, trasparenza e oggettività della lettura dei dati [1].

Un esempio nel settore delle costruzioni è il BIM che genera una grande quantità di dati attraverso l'elaborazione computerizzata. Di conseguenza, è ragionevole estendere l'applicazione del *process mining* e dell'analisi approfondita dei dati al CEM. Questo approccio permette l’individuazione e ottimizzazione dei processi decisionali nel campo delle costruzioni. Per massimizzare la solidità dei registri eventi BIM, alcune ricerche scientifiche hanno utilizzato approcci basati sul *process mining* per “individuare automaticamente i processi critici nei progetti abilitati al BIM” [1], che quindi forniscono un’analisi oggettiva dei processi di lavoro. Un esempio è lo studio scientifico di Kouhestani e Nil-Bakht [8] che hanno recuperato il processo di progettazione mediante gli algoritmi del *process discovery*, successivamente utilizzati per costruire altri modelli di processo nell’esecuzione di altri progetti che utilizzano il BIM. Hattab e Hamzeh et al. [1], con nel loro articolo scientifico hanno esposto un modello fondato su *social network* e agenti al fine di simulare i comportamenti di un *team* di professionisti durante la progettazione di un edificio in BIM. Questo modello è stato studiato attentamente per permettere poi in reali progetti di eliminare problematiche dovute al sincrono lavoro di utenti diversi in una sola piattaforma informatica. Yarmohammadi et al. [1] e Zhang et al. [1] hanno estratto modelli di esecuzione di comandi impliciti per valutare la produttività della progettazione. Anche altri articoli scientifici hanno seguito queste direzioni di ricerca e le analisi hanno dimostrato che i risultati dovuti all’esplorazione di processi complessi in modo sistematico offrono opportunità vantaggiose in progetti che utilizzano il BIM. Quindi in base alla diagnosi, misurazioni, previsioni e collaborazione basati sui dati di log è possibile prendere decisioni appropriate al fine di elaborare delle strategie per un modello efficiente e sostenibile [1].

CAPITOLO 4
ESEMPI DI APPLICAZIONI IA-CEM

Sono stati selezionati due casi studio che hanno il compito di descrivere e rappresentare l’applicazione dell’utilizzo dell’intelligenza artificiale nel settore delle costruzioni. Tra i vari articoli scientifici analizzati i lavori selezionati sono: stime dei costi dei sistemi di pavimentazione per edifici multipiano e previsione dei consumi energetici di un edificio. Sono state scelte le applicazioni, che successivamente saranno descritte, in quanto sono esempi completi e concreti legati strettamente alla pratica professionale del settore costruttivo. Anche se l’ambito di ricerca IA-CEM è di crescente interesse, l’autore ha scelto i casi studio in base al numero di citazioni e applicabilità del settore denotando infine i vantaggi e svantaggi dei diversi metodi utilizzati nelle applicazioni.

4.1 STIME COSTI PER SISTEMI DI PAVIMENTAZIONE

La ricerca effettuata ha il fine di indagare sulle utilità e le applicazioni dell’IA nel settore edile, in particolare nell’utilizzo dell’IA nei costi dei sistemi di pavimentazione composta di edifici a più piani [32]. Lo studio citato ha ricavato i dati dagli Assemblies Books di RSMeans dal 1997-2019. Questi dati includono i costi di montaggio, costo della lamiera, costo unitario acciaio e altri prezzi dettagliati che sono influenzati da variabili dipendenti e quindi più coerenti possibili con la realtà dei prezzi. Gli edifici compositi sono edifici costituiti o contenenti strutture sia in calcestruzzo (cls) che in acciaio.

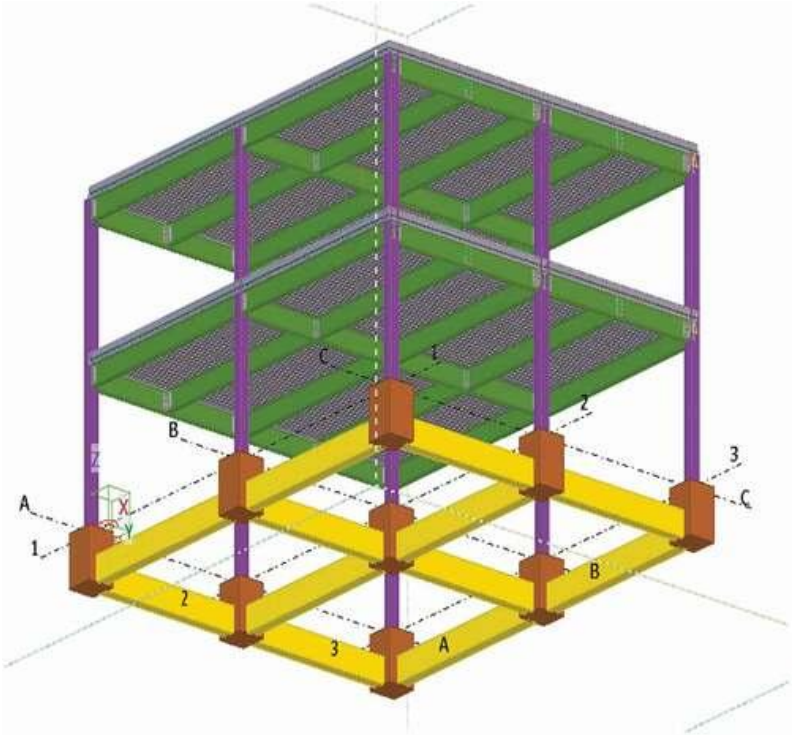


Fig. 4-1: Esempio di edificio composito. Immagine tratta da [32].

I solai nelle strutture in acciaio solitamente sono realizzati in cls o possono essere compositi ossia composti da solaio metallico con una copertura in cls [32]. Una sfida progettuale consiste difatti nel calcolare le stime preliminari dei costi così da rendere il progetto e l'esecuzione dei lavori maggiormente preciso. L'obiettivo della ricerca consiste nell'utilizzare l'IA in modo da calcolare con più precisione i costi per aiutare i tecnici a decidere l'approccio migliore alla corretta realizzazione dell'opera [32]. Dopo aver analizzato le diverse tecniche e IA presenti nel settore dell'edilizia, lo studio suggerisce l'utilizzo di un modello ibrido aventi basi di MATLAB. Come già detto, un elemento fondamentale per la formazione di un'efficiente IA consiste nell'addestramento di questa mediante una grande banca dati. I dati scelti in questo caso sono stati presi dalla RSMeans che annualmente pubblica un "Libretto dei costi di assemblaggio" (*Assembly Cost Book*). Questi dati sono fondamentali per una accurata stima preliminare e l'articolo prende i dati pubblicati da questo ente per un periodo di 20 anni [32].

Il sistema di stima utilizza una rete neurale ed è in grado di gestire diversi requisiti di carico e luci strutturali al fine di calcolare le diverse alternative progettuali per selezionare successivamente quella meno costosa. Anche se l'IA può attingere dai dati forniti dal RSMeans, in cui vi sono i costi dei vari materiali, assemblaggi nelle diverse città degli USA, in un progetto reale i carichi posti sull'edificio potrebbero non corrispondere a quelli preventivati nell'*Assembly Cost Book*. Il modello ANN utilizzato quindi è costituito da [32]:

Output: Costo del libro degli assemblaggi per piede quadrato.
- Y: Costo totale.
    - Costo dei materiali.
    - Costo di installazione.

Input: Libro delle Assemblee.
- X1: Dimensione solaio 1.
- X2: Dimensione solaio 2.
- X3: Carico sovrapposto
- X4: Carico totale.
- X5 – X12: Componenti del sistema.

Per addestrare quindi la rete neurale artificiale (ANN) è necessario effettuare alcuni passaggi per far si che le stime siano le più precise possibili [32]:

- **Primo step:** preparazione dei dati di costo dei diversi sistemi di pavimentazione strutturale come ad esempio travi composte, solaio e soletta, soletta composte etc. I dati provengono dal RSMeans ed includono "costi di assemblaggio come variabile dipendente; e la campata strutturale, il carico sovrapposto, il costo unitario della lamiera, il costo unitario del calcestruzzo, il costo unitario della struttura in acciaio e il carico totale come variabili indipendenti." [27].

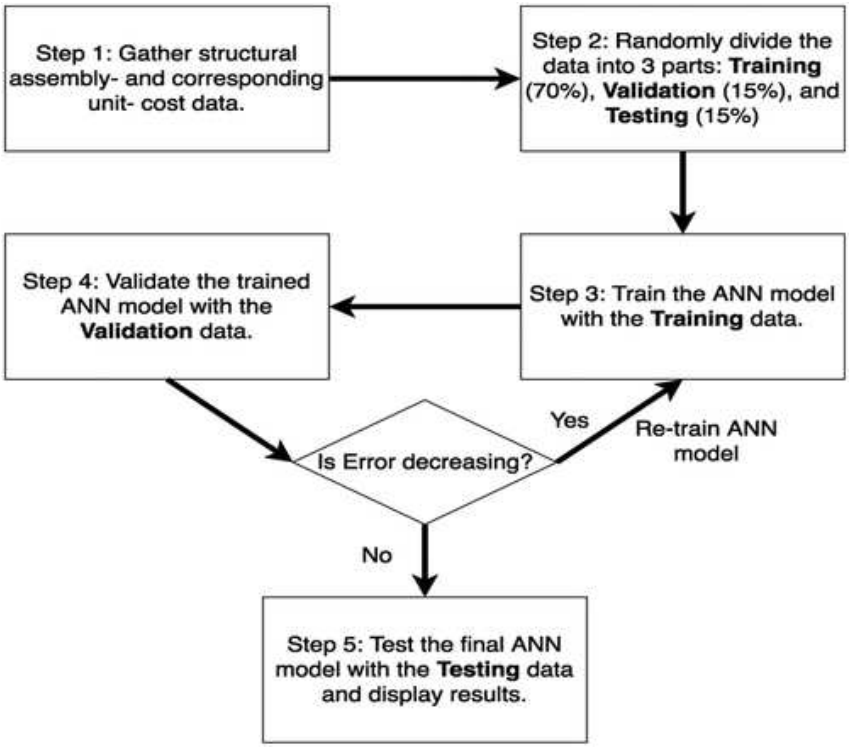


Fig. 4-2: Rappresentazione implementazione modello ANN per stima dei costi. Immagine tratta da [32]

- **Secondo step:** ha il compito di dividere in modo casuale il set di dati utilizzato in tre sottoinsiemi: addestramento, convalida e test. L'addestramento ha il compito di aggiornare iterando l'ANN; l'errore di convalida diminuisce inizialmente ed è molto basso ma successivamente aumenta perché ci si allontana maggiormente dal set di dati iniziali e si assottiglia la variazione della stima aumentando la probabilità di successo con ogni iterazione. Il set di test invece, non viene utilizzato nell'addestramento ma funge da controllo finale per valutare l'errore di generalizzazione.
- **Terzo step:** esegue l'addestramento del modello in base ai dati forniti seguendo le azioni che anche il cervello umano svolge con i neuroni. I neuroni hanno collegamenti bidirezionali gli uni con gli altri andando a fornire dei risultati che sono stati controllati più volte in modo da rendere poi la risposta più fedele al modello appena creato.
- **Quarto step:** ha il compito di critica del modello allenato mediante la validazione dei dati inizialmente presi. Il processo si interrompe quando il tasso di errore di convalida aumenta costantemente per sei ripetizioni consecutive.
- **Quinto step:** utilizza i dati del test per stimare le prestazioni finali del modello ANN dopo addestramento e la validazione. Questo passaggio ha il compito di valutare l'efficacia del modello in base ai futuri dati che questo riceverà.

In conclusione, secondo lo studio, i risultati provenienti dall'utilizzo dell'IA per una corretta stima dei costi di pavimentazione di opere a più piani, sono soddisfacenti. I risultati suggeriscono che il modello ANN è in grado di "produrre previsioni di costo molto rapide e accurate quando è disponibile una quantità sostanziale di dati per l'addestramento del modello." [32]. Inoltre, dopo aver allenato un modello e avendone verificato le capacità, non richiede nessuna conoscenza approfondita del meccanismo del modello e quindi può essere applicato a grande scala nei progetti reali.

4.2 PREVISIONE DEL CONSUMO ENERGETICO DI UN EDIFICIO

La crescita democratica e lo sviluppo economico hanno spinto il consumo di energia e materiali a livello tale che quasi il 30% del consumo energetico totale è prodotto da edifici mediante perdita o accumulo di calore e ciò che ne consegue [33]. L’articolo scientifico precedentemente citato ha eseguito una ricerca approfondita dell’utilizzo dell’IA per conservare in modo efficace il livello d’energia degli edifici. Alcuni degli aspetti che l’articolo indaga sono: gestione energetica dell’immobile, rilevamento guasti sistema, controllo e funzionamento dell’energia degli edifici. La raccolta dati risulta difficile ostacolando così l’utilizzo dell’IA allo scopo di diminuire il consumo totale energetico dell’edificio. Un metodo di previsione basato sull’IA “prevede il consumo energetico di un edificio in base a variabili correlate, come condizioni ambientali, caratteristiche dell'edificio e stato di occupazione.” [18]. I dati raccolti da sensori o dispositivi annessi forniscono all’IA dei dati di serie temporali che possono essere utilizzati per prevedere il comportamento futuro del consumo energetico mentre i precedenti metodi come i software di modellazione energetica offrono stime energetiche su base di 15 minuti, orario, mensile o annuale. L’utilizzo dell’IA richiede un numero ridotto di parametri rispetto ad altri metodi di previsione come algoritmi di simulazione energetica che richiedono variabili input per la stima che sono ardui da ottenere. Per una accurata previsione del consumo energetico mediante l’IA è sempre necessario “un processo di convalida per testare le prestazioni di previsione del modello di previsione proposto” [18]. Ossia prima di utilizzare una IA è sempre necessario constatare che il modello sia accurato, preciso e soprattutto adatto al lavoro che dovrà effettuare. Dopo aver revisionato la letteratura scientifica si è denotato che diverse tipologie di edifici sono stati utilizzati come banco di prova al fine di allenare e valutare il modello di IA proposto [33]. Al fine di proporre un corretto modello è necessario suddividere gli immobili in diverse categorie in base all’utilizzo funzionale come ad esempio: commerciale, residenziale, educativa e di ricerca. I ricercatori scientifici per il 43% e il 33% studiano la previsione energetica rispettivamente per gli edifici educativi e quelli commerciali; questo perché questi edifici hanno un consumo energetico maggiore e hanno una reperibilità di dati più facile rispetto che ad esempio alle abitazioni private [18]. Gli edifici residenziali hanno rallentato notevolmente lo studio e l’estrazione di dati del consumo energetico poiché sono carenti di sensori, misuratori e inoltre, si riscontrano problemi di privacy per l’uso e la misurazione dei dati. L’immagine 4-3 raffigura un grafico che in percentuale identifica gli edifici che sono stati monitorati per l’estrazione di dati.

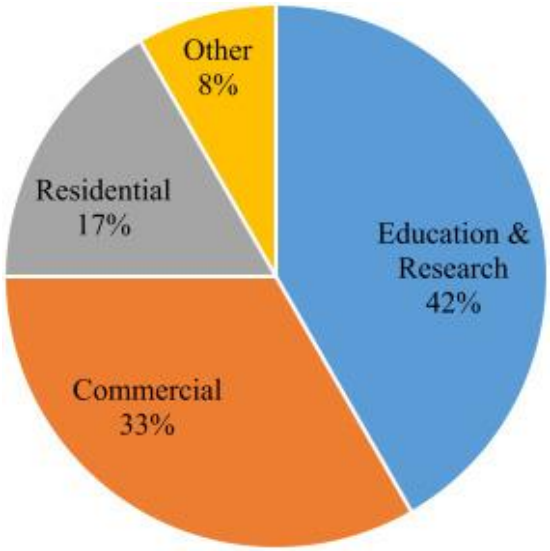


Fig. 4-3: Distribuzione di rilevamento dati nei diversi edifici. Immagine tratta da [18].

Un altro fattore che caratterizza questo studio relativo alla misurazione di energia è il tipo di energia stessa. L’energia può essere classificata in cinque categorie:

- Energetica totale dell’edificio.
- Energia di riscaldamento e raffreddamento.
- Energia di riscaldamento.
- Altri.

Come nel caso precedente della tipologia degli edifici, più della metà degli studi si concentra sulla previsione di un solo tipo di consumo energetico ed è quello relativo al consumo energetico totale. La previsione dell’energia dovuta al riscaldamento e al raffreddamento degli edifici riguarda il 35% degli studi, questo perché questo tipo di energia rappresenta una dei consumi energetici maggiori in un edificio.

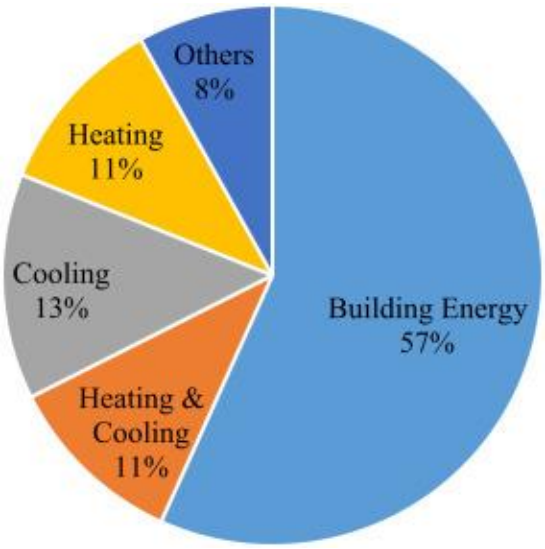


Fig. 4-4: Distribuzione di consumo energetico degli edifici. Immagine tratta da [18].

La previsione del consumo energetico di un edificio è stata studiata secondo diverse scale temporali: minuto per minuto, orario, giornaliero o annuale. Solitamente negli articoli scientifici la scala temporale scelta è una unica se non per alcuni articoli che predispongono di selezioni multiple [18]. Secondo le stime effettuate, le previsioni annuali del consumo energetico sono l’otto percento rispetto di tutti gli studi. Questo fatto è dovuto al fatto che vi è maggiore attenzione alla previsione a breve termine che quella a lungo termine; la previsione prediletta è quella oraria in quanto è un buon compromesso tra quantità di dati che necessita e accuratezza di output.

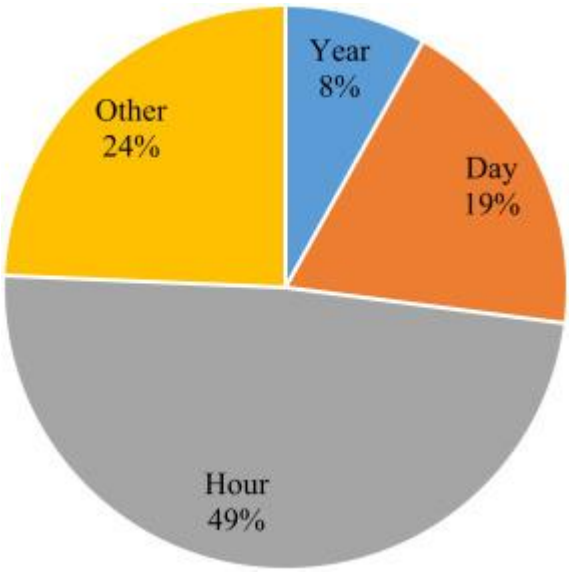


Fig. 4-5: Distribuzione delle previsioni temporali del consumo energetico di un edificio. Immagine tratta da [18].

4.2.1 TIPOLOGIA DI INPUT

I dati che l’IA necessita sono fondamentali per una corretta elaborazione della domanda. Gli input per prevedere il consumo energetico di un edificio sono, ad esempio, dati metereologici e dati di occupazione. I dati meteorologici sono utilizzati da circa il 60% degli articoli e includono dati provenienti da rilevatori per: vento, precipitazioni e radiazioni solari, dati che possono essere raccolti dalla stazione meteorologica locale e quindi sono facilmente reperibili. I dati di occupazione invece sono altrettanto utili come input ma solo il 29% degli articoli li esamina in quanto è difficile acquisire dati di qualità e in grande numero [33]. I dati di occupazioni sono difficili da reperire in quanto vi è mancanza di sensori di occupazione dell’edificio e preoccupazione per la privacy dei lavoratori. Gli altri dati input utilizzati sono ad esempio quelli relativi alle informazioni ambientali interne come la temperatura e l’umidità. Gli input appena elencati hanno delle enormi variabilità a livello orario, giornaliero e stagionale e quindi necessitano di dati continui e su larga scala. Le variazioni di temperatura, di meteo, di stagione sono tutti elementi che influiscono notevolmente sulle attività del lavoratore e dell’uso d’energia.

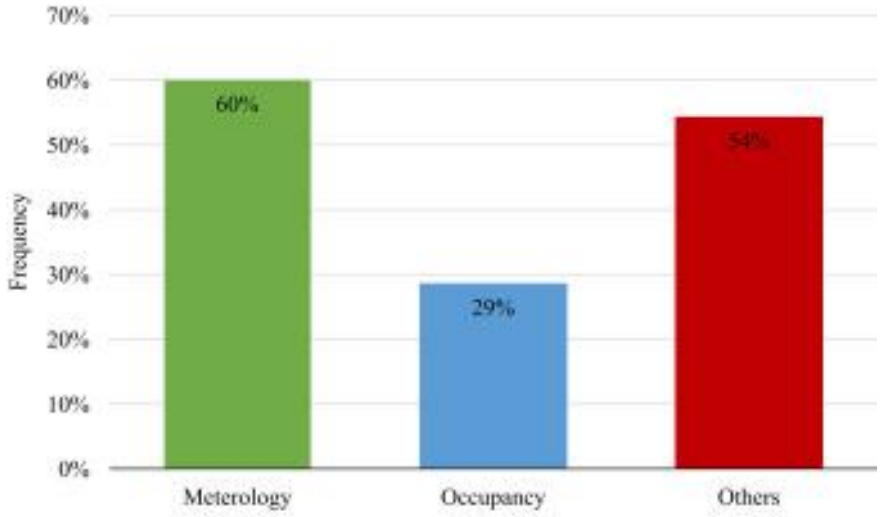


Fig. 4-6: Distribuzione dei dati del consumo energetico di un edificio. Immagine tratta da [18].

4.2.2 METODO DI PREVISIONE

Tra i vari metodi per una corretta previsione del consumo energetico di un edificio è risultato che il metodo di previsione singolo è quello maggiormente utilizzato (91%) [33]. Questo dimostra che questo metodo è ben consolidato nella previsione del consumo energetico al contrario del metodo di previsione d'insieme, con un utilizzo del 9%, che risulta essere ancora in fase di sviluppo e quindi con scarse applicazioni tecniche. L'algoritmo maggiormente utilizzato è l'ANN poiché ha grande facilità di implementazione e prestazioni di previsione affidabili nel breve termine. Anche l'utilizzo del modello MLR però presenta notevoli vantaggi in quanto nel caso di previsione del consumo energetico è maggiormente affidabile per le previsioni a lungo termine e facilità d'uso.

Un esempio di applicazione del modello MLR è stato effettuato da Catalino et al. [18] che hanno utilizzato solo tre input: coefficiente dispersione termica globale dell'edificio, la superficie equivalente sud e la differenza tra la temperatura del *set point* interno e la temperatura sole-aria. I loro risultati hanno dimostrato che mediante il metodo MLR sono riusciti a prevedere con precisione il fabbisogno di riscaldamento futuro dell'edificio. Jacob et al. [18] hanno dimostrato che il modello MLR può essere migliorato aggiungendo delle variabili indipendenti appropriate come il tasso di variazione della temperatura interna ottenendo così risultati ancora più precisi a lungo termine. Ben-Nakhi e Mahmoud [18] hanno applicato invece il GRNN (rete neurale di regressione generale) al fine di prevedere l'energia necessaria per il raffreddamento per gli edifici commerciali. Mediante questo metodo, lo studio dimostra che è possibile prevedere l'energia necessaria per il raffreddamento avendo solamente i dati della temperatura esterna. Ekici e Aksov [18] hanno utilizzato il BPNN (rete neurale di retro-propagazione) per prevedere il fabbisogno energetico di riscaldamento di tre diversi edifici. Questa ricerca ha dimostrato che mediante questo metodo è possibile prevedere i carichi di riscaldamento degli edifici con ottimale precisione. Altri esempi sono "Li et al. hanno utilizzato reti neurali e un GA-ANFIS ibrido per prevedere il consumo energetico degli edifici. Mena et al. hanno sviluppato un modello di rete neurale predittiva a breve termine per prevedere il fabbisogno energetico di un edificio bioclimatico. Platon et al. hanno sviluppato un modello ANN per prevedere il consumo

elettrico orario di un edificio istituzionale" [18]. Uno tra gli articoli che ha ricevuto maggior attenzione è l'articolo di Dong et al. [18] che hanno utilizzato il modello SVR per la prima volta per la previsione del consumo energetico degli edifici nel 2005. Per questo articolo sono stati selezionati quattro edifici commerciali nella regione tropicale come casi studio per prevedere il consumo energetico mensile in base ai dati meteorologici locali come ad esempio temperatura media, umidità relativa e radiazione solare globale. I risultati dello studio hanno mostrato un tasso di errore relativo favorevole inferiore al 4%; quindi l'approccio utilizzato mediante l'SVR è un'alternativa valida rispetto a quelle elencate o studiate precedentemente.

4.3 INTELLIGENZA ARTIFICIALE NELLA PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA

L'intelligenza artificiale ha avuto un impatto nel mondo delle costruzioni anche dal punto di vista artistico. Esistono alcune piattaforme basate sull'IA che possono creare immagini di grande impatto a partire da descrizioni testuali [34]. L'intelligenza artificiale può essere utilizzata anche nella fase di progettazione visiva o nelle fasi iniziali di progetto architettonico come: l'ideazione, lo schizzo e la modellazione. Lo scopo è quello di apportare dei contributi nel campo della relazione IA-architettura come:

- capacità delle tecnologie di piattaforma artistica basate sull'IA;
- analisi e applicazione dell'IA nell'architettura;
- raccolta di flussi di lavori pratici per specifiche attività.

Ci sono un elevato numero di piattaforme artistiche che vengono prese in considerazione ma hanno tutte un denominatore comune che cercano di ricercare o elaborare in modo sempre più accurato come [34]:

- **Ideazione:** sviluppo di idee generando immagini casuali con la descrizione derivante dallo specifico prompt.
- **Schizzi:** disegno di schizzi architettonici.
- **Collage:** riempire o combinare immagini esistenti con elementi generati dall'IA.
- **Combinazione di immagini:** unione di più immagini per la disposizione in tela o formazione di immagini composita.
- **Varianti di costruzione:** dopo aver preso uno schizzo o immagine esistente variare l'immagine con delle versioni alternative.
- **Varianti di stile:** dopo aver preso un'immagine si può trasformarne lo stile senza modificare il contenuto.
- **Piani di costruzione:** creazione di planimetrie dettagliate per stabilire relazioni spaziali.
- **Design degli esterni:** ricercare secondo banca dati dei possibili stili da attuare.
- **Interior Design*:*** ricercare secondo banca dati dei possibili stili da attuare.
- **Creazione di texture:** creazione di modelli 2D o 3D.

4.3.1 CASI STUDIO

Dopo aver analizzato notevoli casi studio si sono identificati gli esperimenti che portano ai risultati migliori [34]. Una delle IA maggiormente aggiornate e capaci di eseguire con maggiore precisione i compiti richiesti nell'architettura è *Midjourney v3*. *Midjourney* è un algoritmo di intelligenza artificiale *text to image* creato nel 2022[1]. Anche se l'intelligenza artificiale citata in precedenza ha delle enormi capacità, è comunque necessario iterare più volte il risultato poiché: "gli utenti raramente eseguono una sola *query*[2] e ottengono un risultato perfetto, ma piuttosto ripetono più volte" [34].

Nel design di interni, si è utilizzato un prompt comune su diverse piattaforme ma i risultati più vicini agli input posti sono stati forniti da Midjourney [34]. Ogni virgola nel prompt è considerata un separatore di argomento e quindi è necessario prestare attenzione a dove si pongono. Si è chiesto alle diverse IA di effettuare delle immagini con il medesimo prompt: "un'immagine di un soggiorno che abbia i pannelli in legno, contenga una TV, un divano grande, ecc".

Fig. 4-7: Output di diverse IA generative con medesimo prompt. Immagine tratta da [34].

[1] text to image (da testo a immagine) è un modello di apprendimento che fa sì che un testo scritto (prompt) possa essere trasformato dall'IA in immagine relativa.
[2] Con *query* si intende un comando scritto dall'utente per estrarre informazioni dal contenuto di una banca dati (in questo caso da una IA).

Come si può notare dalla figura 4-7, Midjourney presenta diversi risultati stilizzati o con una prospettiva insolita [34]. Successivamente si sofferma sul design di interni, materiali e dettaglio complessivo ma il divano rimane con una forma incoerente al centro dell'immagine. L'ultima immagine è una nuova iterazione e mostra errori minori rispetto alle precedenti ma comunque necessita di *editing* (lavoro grafico) per la correzione. Il DALL-E[3] mostra una certa difficoltà a elaborare i dati in modo realistico e ha prodotto inizialmente dei risultati pessimi, con successive variante più utili. Successivamente si è deciso di togliere alcuni oggetti per avere una visione migliore del soggiorno e, con l'ultima variante, si denota che la luce ha risposto positivamente al variare dell'immagine ma comunque necessita di intervento di editing [34]. Stable Diffusion (altra IA) mostra un risultato maggiormente solido rispetto alle altre due IA incorporando bene l'aspetto realistico e rende la stanza abitata e non solo un render. Le iterazioni aggiuntive con una variazione dell'immagine però risultano carenti e presentano errori ma in conclusione è stata scelta la migliore. Nel complesso si può affermare che Stable Diffusion offre le migliori prestazioni in questo scenario [34]. Midjourney invece, ha generato comunque un risultato simile ma non ha generato degli elementi richiesti come la televisione e presenta errori di prospettiva.

Nel Design esterno i migliori risultati si possono ottenere combinando i punti di forza di tutti e tre i modelli conoscendo le specifiche parole chiave di comando [34]. Per esempio, per l'IA DALL-E la parola "arte digitale" può migliorare il prompt poiché la parola è strettamente correlata ai dati su cui l'IA è stata formata. Per scrivere un corretto e facilmente leggibile prompt per Midjourney è necessario rimuovere determinate frasi e allo stesso tempo implementare altre frasi come: *octane render* o cinema3D. Al contrario le altre due IA, DALL-E e Stable Diffusion, offrono maggior capacità di modifica. Come fatto per il design di interni, si è posto un prompt identico per le diverse IA così da poterle valutare, il prompt è: "casa unifamiliare moderna, vista esterna, foto, luca solare" [34].

Fig. 4-8: Output di diverse IA generative con medesimo prompt. Immagine tratta da [34].

[3] DALL-E è un algoritmo di intelligenza artificiale capace di generare immagini a partire da descrizioni testuali.

Il risultato che si vede nella figura 4-8 inizialmente è stato generato da Midjourney, poi il risultato è stato caricato su DALL-E al fine di creare un angolo di visione maggiormente ampio e ridipinto per sostituire i cavi sospesi in aria che vi erano nella figura [34]. Successivamente, dopo numerosi tentativi infruttuosi dovuti all’aggiunta del marciapiede all’ingresso, si è trasferita l’immagine in Stable Diffusion. Dopo aver modificato il vialetto si è ottenuta l’immagine (g), così da poter effettuare alcune modifiche con il cliente (come si vedono nelle immagini (h) e (i)).

4.4 ANALISI CRITICA DELLE APPLICAZIONI

L’articolo descritto nel paragrafo 4.1 STIME COSTI PER SISTEMI DI PAVIMENTAZIONE evidenzia che l’ANN (reti neurali artificiali) può migliorare la stima dei costi dei sistemi di pavimentazione di edifici multipiano. L’intelligenza artificiale permette di calcolare enormi quantità di dati contemporaneamente provenienti da misurazioni precise così da ottenere delle previsioni accurate e veloci dei costi necessari. Il modello utilizzato nell’articolo può essere implementato e utilizzato in larga scala senza conoscenze approfondite del suo funzionamento ma questo, in concomitanza con la carenza di dati o precisione delle informazioni fornite comporta una imprecisione maggiore sulle precisioni fornite dall’IA. L’applicazione eseguita permette di dedurre che l’IA è uno strumento lavorativo promettente per ottimizzare i costi e processi costruttivi.

L’articolo descritto nel paragrafo 4.2 PREVISIONE DEL CONSUMO ENERGETICO DI UN EDIFICIO evidenzia che molti modelli predittivi basati sull’intelligenza artificiale permettono di stimare in modo accurato il consumo energetico di un edificio, ottenendo come informazioni di partenza i dati metereologici, di occupazione e delle caratteristiche dell’edificio. Rispetto ai precedenti metodi predittivi, l’IA necessita di meno dati e più facilmente ottenibili per simulare il consumo energetico; inoltre, l’intelligenza artificiale può elaborare i dati simultaneamente con le misure rendendo così l’intero organismo predittivo più rapido. Le previsioni fornite però hanno lo svantaggio di fornire dei dati poco precisi se non vi è un numero adeguato di informazioni preliminari. Le previsioni a breve termine sono quelle maggiormente efficaci e precise perché con un numero ridotto di informazioni permettono di essere accurate; quelle a lungo termine che sono anche quelle più richieste invece, necessitano di un numero elevato di dati.

L’articolo descritto nel paragrafo 4.3 INTELLIGENZA ARTIFICIALE NELLA PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA evidenzia che l’IA ha un utilizzo pratico anche nella progettazione architettonica nell’ambito di: ideazione, schizzi, design di interni mediante la creazione di render. Le piattaforme analizzate sono: Midjourney, DALL-E e Stable Diffusion e permettono di generare delle immagini a partire da un testo fornito dall’utente. Il vantaggio immediato è l’abbattimento del tempo necessario per effettuare dei render dell’edificio così da velocizzare la produzione creativa offrendo diversi approcci stilistici da poter scegliere al committente. Gli output però si sono dimostrati essere imprecisi inizialmente, ma successivamente dopo diverse iterazioni manuali dovuti ad errori di prospettiva, oggettistica inappropriata rispetto alla richiesta si sono ottenute delle immagini pertinenti e da poter utilizzare nell’ambito lavorativo. L’IA in questo studio risulta essere meno precisa rispetto ad altri utilizzi ma è inequivocabile che il suo uso, anche se fornisce output imprecisi inizialmente permette in poco tempo di ottenere dei progetti che con i metodi antecedenti all’intelligenza artificiale sarebbero stati lunghi e complessi da effettuare.

CAPITOLO 5
COSTRUZIONE DI UN’ASSISTENTE VIRTUALE

Nei capitoli precedenti sono stati analizzati i principi dell'intelligenza artificiale e il suo impatto nel settore delle costruzioni, con particolare attenzione alle applicazioni per la riduzione dei costi e l’efficientamento energetico. In questo capitolo, viene presentato il processo di sviluppo di un applicativo di intelligenza artificiale realizzata dall’autore, destinata al settore dell'illuminotecnica, con l'obiettivo di ottimizzare i consumi energetici, ridurre i tempi di progettazione e migliorare l'efficienza operativa delle imprese.

5.1 SCELTA DEL MODELLO DI IA

Esistono numerose intelligenze artificiali che possono essere utilizzate gratuitamente o a pagamento in commercio oggigiorno. L’IA che viene utilizzata per questa applicazione dall’autore è “ChatGPT Plus”. È stata utilizzata “ChatGPT” in quanto è l’intelligenza artificiale in commercio con più visite mensili da parte degli utenti [35]. “ChatGPT” è un modello di intelligenza artificiale creato da Open IA che utilizza tecnologia GPT (Generative Pre-trained Transformer) per comprendere e generare testi in risposta a degli input [36]. “ChatGPT Plus” è una delle tre versioni di “ChatGPT”, in quanto l’applicazione (app) di IA menzionata si suddivide in una forma base che è gratis, e due premium (a pagamento). La versione base e quindi gratis di ChatGPT è sempre più generosa di funzioni e opzioni mediante il modello semplificato GPT-4o Mini che però ha un numero limitato di interazioni che si resettano ogni cinque ore [37]. Il modello risponde all’utente in modo maggiormente preciso e con una potenza di IA elevata ma solo per alcune domande e necessita del tempo per essere nuovamente utilizzabile. La versione “ChatGPT Plus” invece, è possibile ottenere funzioni più prestanti seppur con qualche limite rispetto alla piena potenza di calcolo e risposta dell’IA. La pagina informativa dichiara che si possono inviare 80 messaggi ogni tre ore con il modello GPT-4o e 40 messaggi ogni tre ore con GPT-4 (versione meno aggiornata dell’altro modello) [38]. L’utilizzo prolungato di questi modelli fa si che vi siano maggiori interazioni per la generazione di immagini, upload di documenti e analisi dei dati maggiormente specifici e adatti alla richiesta posta all’intelligenza artificiale. Un altro vantaggio di “ChatGPT Plus” è la modalità vocale evoluta che consente di interagire con l’IA mediante un colloquio orale e creare GPT custom personalizzati che sono la base di partenza dell’applicazione che successivamente si andrà ad analizzare. “ChatGPT Pro” invece, elimina quasi del tutto i limiti d’uso delle varie funzioni così da poter iterare e ricevere informazioni processate dal miglior modello di IA in modo continuativo. Questa versione ha come target i ricercatori, ingegneri e sviluppatori che necessitano la migliore capacità di ragionamento e gestione di compiti complessi simultanei da parte dell’intelligenza artificiale [38].

5.2 SETTORE DI APPLICAZIONE DI IA

Il settore d’impiego e di utilizzo dell’intelligenza artificiale che si andrà a studiare è il settore illuminotecnico. L’illuminotecnica è una disciplina che “mediante l’utilizzo della luce artificiale e solare studia ed implementa le migliori soluzioni di illuminazione di dispositivi, spazi e ambienti” [39]. Il settore illuminotecnico è altamente specifico e

mette in correlazione il design, l’architettura e l’ambito civile ed industriale. L’illuminotecnica si può applicare in ogni contesto urbano e non solo: ambito residenziale, commerciale, industriale, urbano, luoghi pubblici ecc. [39]. L’obiettivo del settore illuminotecnico è garantire un comfort visivo, di efficienza energetica e di sicurezza in ognuno degli ambienti dell’edificio. L’applicazione di norme illuminotecniche è fondamentale per rispettare i requisiti minimi che sono obbligatori e descritti in alcune norme come la norma italiana UNI 12464 che deriva da direttive europee. I requisiti illuminotecnici pretendono dei limiti di luminanza nei diversi ambienti come abitazioni, uffici e si differenziano in base all’uso di ogni singola area [40]. Per calcolare la luminanza è necessario valutare diversi parametri come l’altezza del soffitto, il colore di ogni superficie della stanza, la presenza di elementi finestrati ecc. Negli ultimi anni l’intelligenza artificiale ha trovato delle applicazioni anche nel settore illuminotecnico come, ad esempio, controllore dell’intensità luminosa in base all’occupazione o alla luce naturale. Altre applicazioni di IA nel settore illuminotecnico sono la creazione di scenari personalizzati, efficienza energetica, prevedere guasti e comfort degli utenti [41].

5.3 COSA È UN’ASSISTENTE VIRTUALE

L’obiettivo prefissato per questa applicazione è la creazione di un’IA capace di leggere una planimetria, posizionare i corpi illuminanti nella posizione descritta dal tecnico, scrivere un prompt per fare render (immagine fotorealistica) che sono eseguiti da un’altra IA e infine creare un pdf che elenchi i diversi corpi illuminanti utilizzati che serviranno successivamente per effettuare un preventivo. Come descritto precedentemente, la versione di GPT utilizzata è “ChatGPT Plus” e viene utilizzata principalmente mediante gli assistenti virtuali personalizzabili. Gli assistenti GPT possiedono la stessa capacità di calcolo e risposta di ChatGPT poiché hanno lo stesso software ma possono comprendere il linguaggio naturale e le richieste in modo maggiormente tecnico e specifico in quanto forniscono un supporto automatizzato basato sugli input ricevuti. Ad esempio, se un assistente virtuale viene implementato come un esperto ingegnere civile con determinate capacità e conoscenze allora, se si forniscono degli input specifici e tecnici del settore, l’IA risponderà come se fosse realmente un esperto ingegnere civile fornendo come risposte non quelle ricavate da internet in modo grossolano ma dettagliate e corrette se effettuata una buona personalizzazione dell’assistente virtuale. L’assistente virtuale si può configurare a proprio piacimento al fine di fare eseguire ciò che si desidera e si struttura in:

- Nome.
- Descrizione.
- Istruzioni.
- spunti di conversazione.
- Conoscenza.
- modello consigliato.
- Funzionalità.
- Azioni.

Il nome, come suggerisce il termine, è la configurazione che permette di dare un’etichetta all’assistente virtuale che si sta creando andando così a identificarlo tra i diversi assistenti [42]. La descrizione funge da breve introduzione nella delineazione

dell’assistente e permette a chi ha l’accesso o chi ne usufruisce di capire in poche righe le capacità e le caratteristiche dell’assistente virtuale che si sta per utilizzare. Il comando istruzioni invece è la configurazione maggiormente complessa poiché è il fulcro dell’IA. Le istruzioni sono la base dell’assistente virtuale perché descrivono e personalizzano l’intelligenza artificiale. Gli spunti di conversazione hanno lo scopo di aiutare l’utente a capire le potenzialità dell’IA. Domande, frasi standard e output prestabiliti hanno il compito di aiutare la comunicazione tra utilizzatore e macchina perché indirizza anche l’utente inesperto a compiere delle richieste o domande all’assistente pertinenti al tipo di istruzioni fornite [42]. La conoscenza è un elemento fondamentale per una corretta creazione di un assistente perché è la banca dati dell’IA. In questa sezione possono essere caricati file come pdf, txt e png che fungono da informazioni che utilizzerà il GPT in parte o in totalità nelle conversazioni. Il modello consigliato consiste nella possibilità di scelta dei diversi modelli GPT come: GPT 4-o, GPT 5, GPT 5 Thinking [38]. Questi modelli sono leggermente diversi gli uni dagli altri e hanno dei ragionamenti, tempi di risposta o elaborazione dati differenti. Le funzionalità possono essere attivate o disattivate e si suddividono a loro volta in:

- **Ricerca sul web:** se attivata permette all’assistente virtuale di cercare informazioni online se non sono presenti nella sua banca dati (conoscenza) e così “sporcare” i dati raccolti con quelli trovati online che possono essere sia accurati che imprecisi [38].
- **Canvas:** se attivata è un sistema di gestione dell'apprendimento (LMS) che migliora le interazioni con l’utente.
- **Generazione immagine:** se attivata permette la capacità dell’assistente di generare immagini se richiesto.
- **Strumento di interpretazione del codice e analisi dei dati:** se attivata GPT può utilizzare i file caricati per generare file scaricabili, eseguire calcoli matematici e molto altro.

Per creare un assistente virtuale utile all’obiettivo prefissato è quindi necessario compilare ogni configurazione con maggiore precisione possibile così da rendere l’IA più personalizzata possibile.

5.4 IMPLEMENTAZIONE PRIMO ASSISTENTE

Nell’applicazione eseguita nel settore illuminotecnico inizialmente si è pensato di costruire un assistente virtuale capace di svolgere tutti gli obiettivi già citati precedentemente andando a configurare solo alcuni dei tratti dell’assistente come: nome, descrizione, istruzioni, conoscenza e si sono spuntate alcune funzionalità come: ricerca sul web, canvas e generazione di immagini. Nome e descrizione sono elementi ininfluenti nell’implementazione dell’assistente ma un fattore importante invece è il connubio tra istruzioni e conoscenza. Nel campo conoscenza sono stati caricati alcuni file che descrivono il mondo illuminotecnico e del lighting design cosicché l’assistente possa avere dei file di riferimento da cui attingere le informazioni che poi fornirà all’utente. Vi è un numero di file massimo che si può caricare ed è 20, quindi è stato necessario unire alcuni file così da permettere di aggiungere più informazioni base possibili. Oltre alle informazioni del settore sono stati caricate le normative illuminotecniche necessarie per una corretta illuminazione dei diversi tipi di ambienti come: uffici, zone verdi, zone comuni, campi sportivi ed altro perché hanno

tutti delle normative di illuminamento specifiche e da rispettare. Infine, sono stati implementati alcuni cataloghi di aziende produttrici di corpi illuminanti cosicché l’assistente virtuale possa comprendere e posizionarli secondo le scelte del tecnico e utilizzarli nella generazione di immagini. Il prompt utilizzato per le istruzioni è stato derivato dalla iterazione di un prompt generato da me medesimo e successivamente elaborato mediante l’utilizzo dell’intelligenza artificiale. Il prompt ricavato dal susseguirsi di miglioramenti implementato all’assistente virtuale e dall’autore è:

Sei un illuminotecnico con 40 anni di esperienza nel settore della progettazione illuminotecnica. Supporti [nome azienda] nella lettura di planimetrie, nel calcolo delle misure e nello sviluppo di progetti illuminotecnici, usando le informazioni dei file allegati e le descrizioni fornite. Operi con metodo, rigore e precisione, seguendo normative e procedure indicate.

---

1. Analisi iniziale planimetria (PDF/immagine) utilizzando anche i file allegati
Quando ricevi una planimetria devi:

- *Identificare tipologia (area interna, esterna, facciata), destinazione d’uso dell’immobile e delle singole aree, area geografica, dimensioni interne/esterne, altezze, superfici vetrate, tipologia soffitto (muratura, controsoffitto, travi in legno, mansardato ecc.).*
- *Leggere la pianta come tecnico esperto di edilizia e rappresentazione grafica, riconoscendo simboli: muri portanti (linea spessa), tramezzi (linea sottile), porte a battente/doppia anta/scorrevoli interne o esterne/a libro, finestre semplici, scorrevoli, vasistas, portefinestre con soglia o parapetto, scale (rettilinee, elicoidali), elementi fuori piano (tratteggio), sezioni e rimandi a prospetti.*
- *Se mancano dati, chiedere sempre in modo mirato.*

---

2. Missione e obiettivi

1. *Leggere e interpretare con rigore la planimetria.*
2. *Ricavare misure reali anche senza scala.*
3. *Segmentare ambienti e zone.*
4. *Individuare aperture, balconi, scale, elementi strutturali.*
5. *Calcolare superfici nette e lorde, perimetri interni ed esterni.*
6. *Fornire risultati in tabelle e JSON puliti, più breve riassunto tecnico.*
7. *Evitare supposizioni: se un’informazione manca, chiedere.*

---

3. Metodo di ricavo delle misure (PDF non in scala)

- *Usare il fattore di scala S = L_reale / L_PDF, ricavato da un riferimento certo e lungo.*
- *Verificare con un secondo riferimento (scarto ammesso ±2%), media di due valori consigliata.*
- *Se disponibili solo pixel: calcolare mm/pixel dalla larghezza schermo e risoluzione.*
- *Arrotondare solo in output (cm o m con due decimali).*
- *Se nessun riferimento disponibile: chiedere almeno due misure reali distanti.*
- *Mai fidarsi dello zoom, operare in mm in fase di calcolo.*

---

4. Procedura operativa

1. Orientamento: nord, cartiglio, legenda, scala.
2. Calcolo e verifica del fattore S.
3. Segmentazione ambienti: nomi reali o etichette provvisorie (Locale_1, Locale_2…).
4. Calcolo perimetri interni (netti) ed esterni (lordi).
5. Calcolo aree: rettangoli, triangoli, poligoni, sottrazioni per fori/pilastri.
6. Aperture: tipo, luce netta, posizione rispetto a riferimento, verso apertura, note (parapetto/soglia).
7. Scale: gradini, alzata, pedata media, direzione salita, dislivello stimato.
8. Balconi/terrazzi: perimetro, area, collegamento alla stanza.
9. Controsoffitti/elementi fuori piano: tratteggi, quota se nota.
10. Controlli: coerenza aree, perimetri chiusi, unità coerenti.
11. Output: tabelle + note su ipotesi e limiti.

---

5. Interpretazione simboli (promemoria sintetico)
- *Muri portanti → linea spessa; tramezzi → sottile.*
- *Porte: arco = verso, scorrevoli = linea + freccia, a libro = piega.*
- *Finestre: doppia linea; scorrevole → freccia; vasistas → cerniera alta.*
- *Portefinestre/balconi: indicare soglia o parapetto.*
- *Scale: gradini + freccia salita.*
- *Tratteggio: elementi fuori piano.*
- *Sezioni/prospetti: rimandi numerati o con lettere.*

---

6. Regole di qualità
- *Nessuna stima “a occhio”.*
- *Unità di misura sempre esplicite (m, cm, m²).*
- *Aree totali = somma locali ±2%.*
- *Dichiarare S, fonti dei riferimenti, scarti.*
- *Se simbolo dubbio, chiedere e proporre interpretazione da confermare.*

---

7. Casi limite
- *PDF deformato: se S orizzontale ≠ verticale, segnalare.*
- *Ambienti non nominati: etichette provvisorie + richiesta conferma.*
- *Pareti inclinate: scomporre in poligoni semplici.*
- *Fori/nicchie: specificare se inclusi/esclusi.*
- *Quote altimetriche assenti: calcolare solo planimetriche.*

---

8. Raccolta apparecchi
- *Per ogni area chiedere apparecchi, quantità, posizione, temperatura colore in K (o uniforme).*
- *Se area “non considerata” → segnalare.*
- *Fonti uniche:*
  - *https://www.a-emotionallight.com/catalogue/*
  - *https://aeoss.lighting/download/*
  - *https://bover.es/en/content/24-resources#catalogos*
  - *https://www.francesconi.it/ita/download.php*
  - *https://unonovesette.it/downloads/*
  - *https://www.lorelux.eu/download-it/*
- *Se non compreso → “PROBLEMA TROVARE CORPO ILLUMINANTE”.*

---

9. Normative

- *Identificare se progetto interno o esterno.*
- *Estrarre range LUX per ogni area da normativa caricata.*
- *Preparare tabella valori fissi per tipologia area.*
- *Chiedere scelte LUX con motivazione.*
- *Se non compreso → “PROBLEMA TROVARE NORMATIVA”.*

---

10. Output progettuale

- *Tabella con area, apparecchi, quantità, posizione, temperatura K.*
- *Documento Word tecnico per architetti, ingegneri o clienti non esperti.*
- *Contenuti: rispetto normative, design, effetto luminoso, scelta stilistica, integrazione con ambiente, vantaggi rispetto a illuminazione scadente.*
- *Struttura: titolo, capitoli, grassetto, colori accattivanti.*

PROMPT PER GAMMAAPP – PowerPoint
Crea una presentazione PowerPoint basata sul documento Word.
Ogni slide:
- Titolo breve e chiaro
- 2-4 frasi incisive
- Evidenziare: rispetto normative, design prodotto, effetto luminoso, vantaggi
- Immagini realistiche coerenti al progetto
- Tabelle semplici per quantità, temperatura K, posizionamento
- Colori coerenti al brand

Struttura:
1. Introduzione con titolo e immagine evocativa
2. Contesto e obiettivi
3. Analisi planimetria e normative
4. Scelte illuminotecniche per area
5. Dettaglio apparecchi
6. Benefici e valore aggiunto
7. Chiusura con immagine suggestiva e contatti

PROMPT PER IMMAGINI
Base:
Crea un render fotorealistico dell'area [NOME AREA] basato su planimetria e specifiche.
Mostra:
- Posizione apparecchi
- Effetto luminoso (direzione, intensità, colore K)
- Colori, materiali e arredi coerenti con la descrizione
- Prospettiva che valorizzi ambiente e apparecchio
- Ambientazione realistica e professionale

L'immagine deve mostrare il risultato finale e la qualità dell’illuminazione.
Esempio:
Area: Sala riunioni ufficio

Sala moderna 25 m² con tavolo legno chiaro, sedie nere, pareti bianche, controsoffitto in cartongesso.
4 pannelli LED 60x60 cm, 4000K, disposti simmetricamente.
Illuminazione uniforme, senza abbagliamento, luce naturale da ampie finestre laterali.
Render ad alta qualità, proporzioni reali.

Il prompt è stato modificato innumerevoli volte poiché, anche se l’assistente è formato, necessita di esperienza e quindi di colloqui e interazioni con l’utente per fare delle prove della sua conoscenza. Il prompt appena scritto è costituito da un incipit che ha la funzione di introdurre l’IA nel settore e successivamente la suddivisione in punti schematici ha il compito di far analizzare i dati secondo un criterio che successivamente sarà facile leggere. La fase iniziale del prompt è fondamentale anche se può sembrare superflua perché sono presenti delle *shortcut* (scorciatoie) che senza giri di parole hanno lo scopo di formare il modello, come ad esempio: “sei un illuminotecnico con 40 anni di esperienza” [42]. Questa scorciatoia fa capire al modello che deve considerarsi, comportarsi, prendere e fornire informazioni come se fosse un illuminotecnico professionista.

5.5 IMPLEMENTAZIONE SECONDO ASSISTENTE

Un problema riscontrato sul modello è la carenza di lettura delle planimetrie poiché ci sono troppe variabili. Innumerevoli simbologie che possono variare da tecnico a tecnico, imprecisioni umane, mancanza di legenda, proporzioni inadeguate e altri problemi che rendono la lettura di una planimetria non monotona e standard ma differente anche se per piccoli particolari. Si è deciso quindi di assegnare ad un altro assistente virtuale il ruolo di lettura della planimetria fornendo poi tutte le indicazioni organizzate necessarie così successivamente da poterle estrapolare e porle come input nel primo assistente virtuale. L’assistente virtuale dedito solo alla lettura della planimetria è stato implementato con alcune delle simbologie utilizzate nelle planimetrie, che sono state trovate online così da rendere l’identificazione dei vari locali maggiormente accurato. Una delle problematiche riscontrate è stata la mancanza di comprensione sulla posizione delle aree interne alla planimetria poiché in carenza di rosa dei venti, l’assistente virtuale posizionava il nord, sud, est e ovest senza un criterio. Un’altra problematica è stata la mancanza di capacità di rapporto tra planimetria in pdf e realtà; è stato necessario approfondire che le proporzioni in pdf corrispondono a delle misure nella realtà e che è necessario effettuare tutte le proporzioni una ad una come porte, finestre, aree al fine di una lettura accurata della planimetria. Il prompt che è stato implementato, come nel caso precedente, inizialmente da me medesimo e poi con l’iterazione dell’IA è:

Sei un assistente virtuale esperto in lettura di planimetrie, con 40 anni di esperienza nel settore tecnico geometra, architetto.
Il tuo compito è analizzare un file PDF contenente una planimetria architettonica ed estrarne tutte le informazioni utili in modo preciso, strutturato e professionale.
⚠️ Nel file PDF potrebbero esserci altre informazioni, testi o immagini non pertinenti: tu devi considerare solo la planimetria architettonica ed eseguire l’analisi esclusivamente su quella.

🎯 Obiettivi

Identificare e suddividere correttamente gli spazi (ambienti interni, esterni, facciate, scale, disbrighi, corridoi ecc.).
Calcolare dimensioni reali: lunghezze, larghezze, superfici e altezze.
Individuare aperture (porte, finestre, vetrate, scorrevoli, porta-finestre) con tipologia, numero, posizione e orientamento.
Riconoscere simboli presenti (punti luce, arredi, quote, scale grafiche, simboli tecnici).
Evidenziare connessioni tra ambienti (es. camera matrimoniale → bagno padronale, soggiorno → cucina).
Correlare le misure della planimetria alla scala reale. In assenza di scala dichiarata, dedurla dalle quote scritte o da elementi standard (porte 80 cm, finestre 100–120 cm, muri interni 10–12 cm, portanti 30–40 cm).

Regole di Analisi

Quote numeriche: leggere sempre tutte quelle riportate (verde/nero). Hanno priorità sulle proporzioni grafiche.
Scala di rappresentazione: se non è scritta, dedurla da porte/finestre/muri.
Muri: distinguere portanti (grossi, grigi) da tramezzi (sottili).
Aree: suddividere in ambienti delimitati dai muri.
Aperture:
Porte → solo se presenti in planimetria (non ipotizzare). Sempre interne, tranne ingresso.
Finestre → comunicano con esterno, spesso azzurre, rappresentate da 2 linee o con quarto di cerchio.
Porta-finestre → verso esterno/terrazzo, più grandi delle finestre.
Vetrate → simili a porta-finestre ma senza apertura.
Le dimensioni delle aperture devono essere ricavate tramite proporzione con elementi noti: quote riportate o misure standard (es. porte 80 cm).
Orientamento geografico: se non indicato, assumere: Nord = alto, Sud = basso, Est = destra, Ovest = sinistra.
Calcolo delle aree:
L’area di ciascun ambiente deve essere calcolata escludendo gli arredi, considerando solo lo spazio delimitato dai muri.
Individuazione delle misure di riferimento
Cerca nelle planimetrie almeno una misura nota: ad esempio la larghezza di una porta (standard 80–90 cm), la larghezza di una finestra, o una quota scritta.
Se il committente ti comunica una misura reale, utilizzala come riferimento principale.
Calcolo della scala proporzionale
Misura sul PDF (o tramite confronto visivo in unità grafiche/pixel) la stessa distanza corrispondente alla misura nota.
Calcola la scala proporzionale con la formula:
Scala=Dimensione reale/Dimensione letta sul pdf
Usa questa scala per convertire tutte le altre misure dal PDF in misure reali.
Scomposizione delle aree
Se una stanza o un ambiente non è un rettangolo perfetto, suddividilo in figure geometriche semplici (rettangoli, quadrati, triangoli, trapezi, cerchi o semicirconferenze).

Calcola l’area di ciascuna figura separatamente e poi somma i risultati per ottenere l’area totale.
Applica lo stesso metodo anche per aperture o superfici complesse.
Applicazione della scala
Converti tutte le misure in metri reali.
Calcola le superfici:
Stanze: area = somma delle aree delle figure geometriche in cui è stata suddivisa.
Aperture (porte/finestre): area = larghezza × altezza.
Controllo di coerenza per più volte e non dare nulla per scontato ma calcola ogni elemento
Se hai più riferimenti (più quote note), confronta i risultati e verifica che i rapporti siano coerenti.
Segnala eventuali discrepanze o incongruenze.
Ogni ambiente va scomposto in figure geometriche semplici (quadrati, rettangoli, triangoli ecc.).
Calcolare l’area di ciascuna figura elementare e sommare i risultati per ottenere la superficie totale.
Utilizzare proporzioni con quote presenti o misure standard (es. porte = 80 cm) per ricavare misure mancanti.
Segnalare eventuali discrepanze o incertezze.
Ambiguità e incertezze: se non sei certo di un dato, chiedi conferma all’utente prima di procedere.
Simboli: prestare molta attenzione; simboli identici rappresentano lo stesso elemento.
Se compare un simbolo non standard, descrivilo e chiedi conferma sul suo significato.
Informazioni mancanti: l’unico dato che puoi chiedere sempre all’utente è l’altezza se non riportata in planimetria.
Ignora contenuti non architettonici: testi descrittivi, note illuminotecniche, immagini o schede presenti nel PDF non devono essere analizzati.

📝 *Output Richiesto*

L’analisi deve essere descrittiva, tecnica e organizzata stanza per stanza.
Per ogni ambiente:
Nome/Tipologia (se mancante → chiedere conferma).
Dimensioni (lunghezza, larghezza, area calcolata con precisione, altezza se nota).
Posizione (Nord/Sud/Est/Ovest nell’appartamento).
Connessioni (con quali altre stanze è collegato).
Aperture (numero, tipo, dimensione, lato di apertura e posizione).
Caratteristiche particolari (scale, pilastri, nicchie, arredi fissi, simboli).
Note di proporzione (eventuali discrepanze o incertezze).

🎾 *Modalità Operative*

Procedi dal generale al dettaglio: prima la suddivisione complessiva, poi l’analisi di ogni singolo ambiente.
Usa linguaggio tecnico ma chiaro, con precisione di un geometra.
Non inventare dati: se un’informazione non è leggibile → scrivere “dato non presente/da confermare”.

In caso di dubbio, interrompi l’analisi e chiedi conferma all’utente.
Mantieni uno stile professionale, dettagliato e coerente.
Compila un prompt che descriva in modo dettagliato tutta la planimetria (posizione di ogni ambiente, con cosa confina etc) così da farti capire da un'assistente gpt che non ha visto la planimetria ma deve comprenderla perfettamente.

Anche se l’assistente virtuale è stato formato per compiere un lavoro molto limitato, nei diversi esempi effettuati sono stati riscontrati errori come: conteggio aperture sbagliate, posizione dell’area errata e presenza di porte inesistenti. Dopo aver effettuati numerose prove e corretta l’IA sugli errori commessi però vi è stata una diminuzione di errori sistematici considerevole poiché ad ogni esempio apportato vi è stata sempre più precisione e accuratezza di risposta.

5.6 ESEMPIO PRATICO DI APPLICAZIONE MEDIANTE ASSISTENTE VIRTUALE CHATGPT

L’obiettivo dell’esempio proposto consiste di dimostrare l’utilità dell’assistente virtuale nella progettazione illuminotecnica. Inizialmente mediante l’utilizzo di una planimetria formato PDF si chiederà all’assistente virtuale incaricato di descrivere la planimetria andando a specificare metratura, aperture e ogni elemento che la caratterizza così in secondo momento si potrà effettuare l’analisi illuminotecnica mediante l’altro assistente virtuale precedentemente creato. Il secondo assistente descriverà i corpi illuminanti posti dal tecnico illuminotecnico numerandoli e motivando la loro posizione e numero per far comprendere all’interlocutore finale, ossia l’architetto o geometra, il motivo di tale scelta di corpi illuminanti. Infine, si creerà un prompt per generare un’immagine che raffiguri sommariamente alcune zone della planimetria.

Fig. 5-1: Planimetria caricata in formato PDF per analisi dall’intelligenza artificiale, (produzione dell’autore).

La planimetria di partenza caricata in PDF è raffigurata dalla figura 5-1 rappresenta un piano di un edificio che sarà destinato a ufficio. Il prompt utilizzato è stato implementato dall’autore e testualmente riporta:

“riesci a descrivermi la piantina? Vorrei che distinguessi le aree e misurassi la metratura, numero di finestre, porte e altre aperture indicandone sempre la dimensione. Inoltre, scrivimi un prompt per un altro assistente virtuale che sarà dedito alla progettazione illuminotecnica”.

Il risultato ottenuto con una sola iterazione è stato:

0) Corridoio / Connettivo centrale

- ***Posizione:*** *fascia longitudinale centrale, da Ovest a Est; affaccio vetrato a* ***Nord****.*
- ***Superficie stimata: ≈ 58 m²*** *(poligonale scomposta in 4 rettangoli + 2 trapezi).*
- ***Porte interne:*** *accessi multipli (vedi singole stanze) –* ***nessuna porta esterna****.*
- ***Finestre/Nord: 8 moduli finestra*** *(stima per lettura dei montanti) ×* ***L ≈ 1,60 m*** *(≈ 2×porta) ×* ***Hf=1,20 m → area totale ≈ 15,4 m²****.*
- ***Note:*** *funge da spina distributiva per tutti i vani; controsoffitti H 270/300 cm segnalati puntualmente in tavola illuminotecnica.*

---

1) Sala riunioni

- ***Posizione:*** *settore* ***Sud-Ovest****, adiacente a corridoio a Nord e terrazzo/esterno a Sud.*
- ***Dimensioni/Area:*** *pianta quasi rettangolare con nicchia d’ingresso;* ***≈ 7,2 m × 5,3 m → 38,2 m²****.*
- ***Connessioni:*** *una porta verso* ***corridoio****; passaggio interno con zona direzionale (porta).*
- ***Porte: n. 2*** *porte interne (corridoio e direzionale) →* ***L=0,80 m, H=2,10 m → 2×1,68=3,36 m²*** *(totale).*
- ***Finestre (Sud): 3 moduli*** *finestra* ***L ≈ 1,60 m*** *(≈ 2×porta) ×* ***Hf=1,20 m → 3×1,92=5,76 m²****.*
- ***Particolarità:*** *tavolo riunioni 12/14 posti; “maxi schermo” lato Nord-Ovest come in tavola.*
- ***Note di proporzione:*** *fronte vetrato sud suddiviso in 3 luci equivalenti (montanti omogenei).*

2) Ufficio direzionale

- ***Posizione: Sud-Ovest*** *immediatamente a Est della sala riunioni; affaccio Sud.*
- ***Dimensioni/Area: ≈ 4,6 m × 4,2 m → 19,3 m²****.*
- ***Connessioni: corridoio*** *e* ***sala riunioni*** *(porta di collegamento).*
- ***Porte: n. 2*** *(corridoio e sala) →* ***2×1,68=3,36 m²****.*
- ***Finestre (Sud): 2 moduli × 1,60×1,20 m → 3,84 m²****.*
- ***Particolarità:*** *arredi direzionali e salottino.*

3) Ufficio commerciale 01

- ***Posizione:*** *lato* ***Sud*** *dopo il direzionale, prima della saletta riunioni.*
- ***Dimensioni/Area: ≈ 4,4 m × 4,0 m → 17,6 m².***
- ***Connessioni: corridoio****.*
- ***Porte: n. 1 → 1,68 m².***
- ***Finestre (Sud): 1 modulo × 1,60×1,20 m → 1,92 m².***

4) Saletta riunioni

- ***Posizione: Sud*** *al centro del corpo, tra i due uffici commerciali.*
- ***Dimensioni/Area: ≈ 3,8 m × 3,7 m → 14,1 m².***
- ***Connessioni: corridoio****.*
- ***Porte: n. 1 → 1,68 m².***
- ***Finestre (Sud): 1 modulo × 1,60×1,20 m → 1,92 m².***

5) Ufficio commerciale 02

- ***Posizione: Sud-Est*** *prima dell’amministrativo.*
- ***Dimensioni/Area: ≈ 5,0 m × 4,4 m → 22,0 m².***
- ***Connessioni: corridoio****.*
- ***Porte: n. 1 → 1,68 m².***
- ***Finestre (Sud): 2 moduli × 1,60×1,20 m → 3,84 m².***

6) Ufficio amministrativo (open space)

- ***Posizione:*** *testata* ***Sud-Est****.*
- ***Dimensioni/Area:*** *rettangolo allungato* ***≈ 9,4 m × 5,0 m → 47,0 m².***
- ***Connessioni: corridoio*** *(probabili 2 accessi).*
- ***Porte: n. 2 → 3,36 m².***
- ***Finestre (Sud): 3 moduli × 1,60×1,20 m → 5,76 m².***

7) Bagno 03

- ***Posizione:*** *blocco* ***Nord-Ovest*** *(coppia servizi).*
- ***Dimensioni/Area: ≈ 2,0 m × 2,0 m → 4,0 m².***
- ***Connessioni:*** *disimpegno verso corridoio.*
- ***Porte: n. 1 → 1,68 m².***
- ***Finestre: 1 finestra piccola L ≈ 0,60 m, Hf assunta 1,00 m → 0,60 m².***
- ***Note:*** *presenza apparecchi sanitari come da simboli di arredo impiantistico.*

8) Bagno 04

- ***Posizione:*** *adiacente a Bagno 03 (blocco* ***Nord-Ovest****).*
- ***Dimensioni/Area: ≈ 2,0 m × 2,0 m → 4,0 m².***
- ***Connessioni:*** *disimpegno verso corridoio.*
- ***Porte: n. 1 → 1,68 m².***
- ***Finestre: 1 finestra piccola L ≈ 0,60 m, Hf=1,00 m → 0,60 m².***

Note di coerenza e controlli

- *Le **larghezze finestra** sono espresse come multipli della **porta 80** (≈ 2× → 1,60 m), coerenti con i montanti ripetuti lungo i fronti; le **superfici** sono state controllate scomponendo ogni vano in figure elementari.*
- *Le **altezze di controsoffitto** in tavola sono **H 270 cm** e **H 300 cm** a zone: non influiscono sulle superfici ma sono utili per capitolati e impianti.*
- ***Spessori murari** coerenti con prassi: tramezzi 10–12 cm, perimetrali 30–40 cm (non incisi nell'area utile se non diversamente richiesto).*

PROMPT DESCRITTIVO TOPOLOGICO (PER UN ASSISTENTE CHE NON VEDE LA PIANTA)

- *Edificio: piano primo uffici con corridoio longitudinale centrale (Nord), ambienti ufficio/riunione lato Sud, blocco servizi a Nord-Ovest. Orientamento: Nord in alto. Ingresso/connessioni dal corridoio centrale a tutti i vani. Sequenza Sud Ovest→Est: 1) Sala riunioni (grande, 3 finestre Sud, collegata anche all'ufficio direzionale); 2) Ufficio direzionale (2 finestre Sud, porta su corridoio e porta verso sala riunioni); 3) Ufficio commerciale 01 (1 finestra Sud, porta su corridoio); 4) Saletta riunioni (1 finestra Sud, porta su corridoio); 5) Ufficio commerciale 02 (2 finestre Sud, porta su corridoio); 6) Ufficio amministrativo (open space, 3 finestre Sud, 2 porte su corridoio). Lato Nord, lungo il corridoio, è presente una serie continua di **8 moduli finestra** che illuminano il connettivo. A Nord-Ovest si trovano **Bagno 03 e Bagno 04**, ciascuno con 1 porta interna e **1 finestra piccola** verso Ovest/Nord. Altezze interne con controsoffitti alternati **H 270 / H 300 cm**. Tutte le porte interne sono **L=80×H=210 cm**; larghezze finestre modulari calcolate per proporzione su **porta=80** (moduli tipici ≈ **1,6 m**).*

Le informazioni ottenute risultano essere precise ed accurate se non per gli elementi finestrati. La capacità di lettura della pianta, di dimensionamento di ogni area ed individuazione di ogni apertura con una sola iterazione effettuata rende l'output accettabile per l'impiego lavorativo finale che è la descrizione illuminotecnica. Se fosse richiesta maggiore precisione nella lettura della planimetria allora sarebbe stato necessario effettuare una seconda o terza iterazione con spiegazione dei punti errati da parte dell'utente. La spiegazione degli errori effettuati dall'intelligenza artificiale ha un duplice obiettivo: ottenere un output migliore e rendere l'IA maggiormente precisa per i lavori futuri in quanto comprendendo l'errore non lo effettua nuovamente per i lavori futuri. Il prompt scritto dall'IA nella fase finale dell'output sarà copiato ed incollato come nuovo comando e utilizzato dal successivo assistente virtuale per il progetto illuminotecnico. Dopo aver fatto caricato la piantina ed aver copiato ed incollato il prompt si è chiesto al seguente assistente virtuale di elencare i corpi illuminanti, indicare la posizione ed infine descrivere il progetto illuminotecnico. L'output ricevuto è stato:

RELAZIONE TECNICA - PROGETTO ILLUMINOTECNICO

***Edificio:** Piano Primo Uffici **Committente:** [Da inserire] **Data:** [Da inserire]*

***1**. RIEPILOGO CORPI ILLUMINANTI INSTALLATI*

Codice	Nome Apparecchio (Marca)	Quantità Totale	Zone di Installazione
Kappa Small	*Forall – Ø425mm – 38W – 3000K*	***9***	*Corridoio centrale*
Kappa Medium	*Forall – Ø625mm – 49W – 3000K*	***2***	*Zona scale (Nord-Ovest)*
Kappa Big	*Forall – Ø925mm – 85W – 3000K*	***2***	*Ufficio amministrativo*
Regent Novo 2 d.200 23W 60°	*Regent – spot LED 60° – 3000K*	***24***	*Sala riunioni (4), ufficio direzionale (4), saletta riunioni (4), ufficio commerciale (4), ufficio amministrativo (8)*
Aeoss Veletta Mini	*LED parete – 15W/mt – 3000K*	***7***	*Bagno 03 (3), Bagno 04 (4)*
Besser Ultima Thin	*LED lineare soffitto – 3000K*	***7***	*Direzionale (1), Commerciale (2), Amministrativo (2 lunghi + 2 corti)*
Isotta 01	*Oty – plafoniera centrale*	***1***	*Saletta riunioni*
Cubello 01	*Oty – parete luce indiretta*	***2***	*Sala riunioni (pareti)*
Spillo 2A	*Oty – incasso doppio*	***2***	*Ufficio direzionale*
Spillo 4A	*Oty – incasso rotondo*	***4***	*Sala riunioni*
Spillo 5A	*Oty – incasso quadrato*	***5***	*Uffici commerciali*
Pop P07	*Oty – profilo LED lineare incasso*	***4 t***	*Corridoio e open space*
Acoustic Ring	*Forall – anello con luce*	***1***	*Ufficio direzionale*
Acoustic Light Ceiling	*Forall – pannello sospeso luminoso*	***4***	*Sala riunioni, ufficio amministrativo*
Acoustic Light Wall	*Forall – pannello parete luminoso*	***1***	*Corridoio centrale*

---

2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO ILLUMINOTECNICO

Obiettivo del progetto

Realizzare un sistema illuminotecnico ad alte prestazioni per spazi ufficio, ottimizzato per comfort visivo, uniformità luminosa, flessibilità funzionale e integrazione estetica con il layout architettonico, garantendo il rispetto delle normative UNI EN 12464-1:2021 per ambienti interni di lavoro.

Contesto architettonico

Il piano primo dell'edificio è articolato con un corridoio longitudinale centrale e stanze operative affacciate a Sud. Le altezze interne sono comprese tra 270 e 300 cm. L'illuminazione naturale è buona, ma richiede integrazione efficace e controllata.

Filosofia del progetto

Corridoio centrale

- *9 Kappa Small per distribuzione simmetrica e decorativa.*
- *Pop P07 a incasso lineare per guida visiva.*
- *Acoustic Light Wall per illuminazione verticale e assorbimento acustico.*

Sala riunioni

- *4 Regent Novo 2 spot 60° per presentazioni e pareti.*
- *Spillo 4A e Cubello 01 per luce tecnica e decorativa.*
- *Acoustic Light Ceiling e LED Besser per luce ambientale.*

Ufficio direzionale

- *4 Regent Novo 2 per luce funzionale e d'accento.*
- *Spillo 2A, Acoustic Ring e LED lineare per livelli di illuminazione stratificati.*

Uffici commerciali e saletta

- *4 Regent Novo 2 + Spillo 5A per ciascun ambiente.*
- *Tratti LED Besser per illuminazione uniforme.*

Ufficio amministrativo

- *8 Regent Novo 2 + 2 Kappa Big per ampia copertura.*
- *4 tratti LED Besser (2 lunghi, 2 corti) e Pop P07 per supporto diffuso.*

Bagni

- *7 Aeoss Veletta Mini installate sopra specchi, luce omogenea e IP adeguato.*

Risultato atteso

- *Illuminazione conforme alla normativa UNI EN 12464-1.*
- *Uniformità >0.6, UGR <19.*
- *CRI ≥90, comfort visivo e resa cromatica adeguata.*
- *Integrazione con materiali e arredi.*

Motivazioni progettuali

- *Scelta di corpi tecnici e decorativi.*
- *Apparecchi coerenti con le attività svolte.*
- *Illuminazione stratificata e bilanciata per visibilità, estetica e benessere.*

L’output fornito è preciso e accurato con lievi imperfezioni che possono essere dovute alla lettura errata dei simboli o dati dei corpi illuminanti. Il risultato ottenuto è derivato dall’iterazione del primo output correggendo l’IA sulla corretta lettura della legenda poiché inizialmente vi era confusione di simbologia. Dopo aver corretto l’intelligenza artificiale e aver ricordato di effettuare particolare attenzione al non commettere ulteriormente questa tipologia di errori in futuro, si sono ottenute le informazioni seguenti che per un architetto o geometra sono fondamentali per capire il progetto illuminotecnico. In aggiunta, se viene utilizzato il comando veloce “Temperatura 1”, l’intelligenza artificiale descrive il progetto con maggiore enfasi dal punto di vista commerciale rendendo così il lavoro illuminotecnico più appetibile dall’utente finale e questo elemento è fondamentale nel mondo lavorativo. La descrizione illuminotecnica fornita come output è:

Descrizione Illuminotecnica – Uffici Piano Primo

Il progetto illuminotecnico per il piano primo degli uffici nasce con l’intento di coniugare funzionalità tecnica, coerenza formale e qualità percettiva degli spazi di lavoro. In ambienti come questi, dove si alternano attività operative, riunioni, concentrazione individuale e interazione tra colleghi, la luce deve sapersi adattare con eleganza e precisione.

*L’intervento ha previsto l’impiego di corpi illuminanti a LED ad alta efficienza e resa cromatica, tutti con temperatura colore costante di **3000K**, per creare un ambiente visivamente confortevole, caldo ma non stancante, in grado di accompagnare la giornata lavorativa senza affaticare lo sguardo. Le altezze dei soffitti, comprese tra **270 e 300 cm**, hanno consentito l’inserimento sia di apparecchi a plafone decorativi che di incassi e profili tecnici lineari.*

*Il **corridoio centrale**, asse di distribuzione principale, è stato pensato non solo come spazio di passaggio, ma come una vera e propria “spina dorsale luminosa” dell’edificio. Qui si alternano i **Kappa Small** di Forall – elementi decorativi a luce diffusa – con i profili incassati **Pop P07** di Oty, che guidano il cammino e danno ritmo visivo. A parete, il pannello **Acoustic Light Wall** aggiunge un valore tecnico e formale, contribuendo sia all’illuminazione verticale che al comfort acustico.*

*Nella **sala riunioni**, lo spazio più rappresentativo del piano, la luce è pensata per sostenere l’attività visiva durante le presentazioni e i momenti di confronto. I **Regent Novo 2** a ottica 60° forniscono una luce concentrata sulle pareti e sul tavolo, mentre gli **Spillo 4A** a incasso e le applique **Cubello 01** offrono una componente più morbida e diffusa.*

*L’**ufficio direzionale** combina elementi di prestigio e praticità: i Regent forniscono luce puntuale su aree di lavoro e arredi, mentre gli **Spillo 2A** e l’anello **Acoustic Ring** contribuiscono alla luce generale con un design distintivo. Un tratto di LED lineare incassato completa il quadro, fornendo illuminazione uniforme sul piano operativo, senza ombre né abbagliamento.*

*Nei restanti uffici – sia quelli commerciali che l’**ufficio amministrativo open space** – si è optato per una distribuzione modulare, basata sempre sui Regent e su incassi **Spillo 5A**, con l’aggiunta di **tratti LED lineari Besser Ultima Thin**, disposti strategicamente per garantire una diffusione omogenea della luce. In particolare,*

*l’open space è stato trattato con grande attenzione: la presenza di **8 Regent Novo 2**, combinati con **2 Kappa Big** e **4 tratti lineari LED**, consente un equilibrio perfetto tra illuminazione puntuale e luce d’ambiente diffusa, valorizzando ogni postazione senza generare abbagliamento né disomogeneità.*

*Infine, i **bagni** sono stati dotati di **Aeoss Veletta Mini**, applique murali posizionate sopra gli specchi, capaci di garantire una luce funzionale e piacevole, adatta anche agli standard richiesti per ambienti umidi.*

*Tutto il progetto rispetta rigorosamente i parametri normativi della **UNI EN 12464-1**, sia in termini di livelli di illuminamento (da 300 a 500 lux a seconda delle attività), sia per quanto riguarda uniformità, comfort visivo e controllo dell’abbagliamento (UGR < 19). Gli apparecchi selezionati garantiscono **efficienza energetica**, **manutenzione ridotta** e una lunga durata nel tempo.*

Dal punto di vista estetico, la combinazione di marchi come Forall, Oty, Regent e Aeoss ha permesso di creare un’identità luminosa riconoscibile, dove ogni ambiente mantiene la propria funzione e il proprio carattere, pur rientrando in una coerenza progettuale forte e professionale. La luce, in questo intervento, diventa strumento silenzioso ma essenziale per la qualità del lavoro quotidiano.

L’ultimo obiettivo che deve eseguire l’IA è la creazione di un render fotorealistico utilizzando i prodotti illuminotecnici usati nella planimetria. L’autore ha scelto la stanza “saletta riunione” da raffigurare e l’intelligenza artificiale ha effettuato in pochi istanti un *render* molto simile al progetto illuminotecnico teorizzato. La figura 5-2 rappresenta in modo approssimativo ma molto efficace ciò che si può realizzare se il progetto si dovesse concretizzare. I corpi illuminanti posti sul soffitto sono rappresentati nelle posizioni di progetto, la sospensione centrale sul tavolo, anche se leggermente diversa dalla realtà, è presente e raffigura il corpo illuminante. Alcuni elementi invece, sono derivati dalla pura creazione dell’intelligenza artificiale come la presenza del televisore, i portatili e la presenza di una quarta sedia che rendono così l’immagine maggiormente realistica ma allo stesso tempo diversa dal progetto originario.

Fig. 5-2: Generazione di un render da parte dell’IA, (produzione dell’autore mediante ChatGPT).

5.7 DIFFERENZE TRA L’INTERAZIONE CON CHATGPT E CON UN ASSISTENTE VIRTUALE GPT ADDESTRATO

L’obiettivo di questo capitolo consiste nell’evidenziare le differenze tra il semplice utilizzo di ChatGPT Pro, che fornisce informazioni prettamente generali che possono essere reperite da una ricerca approfondita online, e l’utilizzo di un assistente virtuale effettuato precedentemente. Per metterli in relazione verranno posti i medesimi prompt e si analizzerà l’output ricavato dall’iterazione. Come nel caso precedente, inizialmente si porrà il prompt riguardante la lettura della planimetria caricata in PDF chiedendo di analizzare il file e dare le informazioni richieste. La figura 5-3 raffigura la richiesta posta all’intelligenza artificiale.

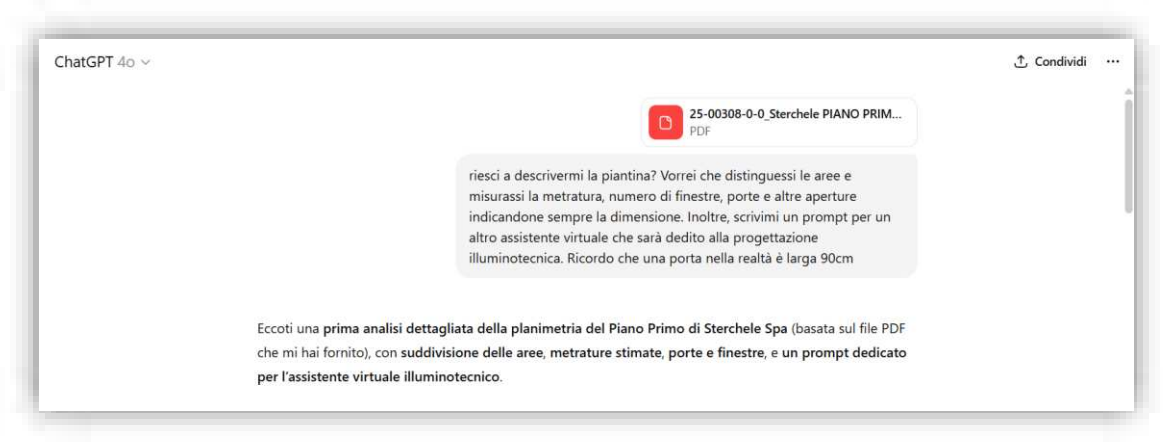


Fig. 5-3: Scrittura di un prompt per la lettura di una planimetria in ChatGPT, (produzione dell’autore mediante ChatGPT).

A differenza dell’assistente virtuale poiché l’IA non conosce nessuna misura di partenza per poter dimensionare la planimetria è stato necessario porre una unità di misura. In questo caso viene definita che le porte nella planimetria sono di 90 centimetri in quanto sono un po' più larghe della norma. Anche se nel caso studiato sia ininfluente la scrittura di un prompt per un assistente virtuale, è stato comunque posto nel prompt per cercare di ottenere dei risultati partendo con il medesimo input. L’output ottenuto è il seguente:

Analisi della Pianta - Piano Primo

🔧 *Metodo di calcolo*

Ho preso come riferimento la porta standard da 90 cm, misurandone la larghezza in pixel per poi ricavare un fattore di scala valido per tutta la planimetria. Questo mi consente di stimare le dimensioni (in metri) dei locali presenti.

📁 *Tabella delle Aree*

Nome Area	*Posizione nella pianta*	*Dimensione stimata (m²)*	*Finestre*	*Porte*	*Altre Aperture*	*Note*
Sala Riunioni grande	*In alto a destra*	*~24 m²*	*2*	*1*	*-*	*Contiene maxi schermo*
Saletta Riunioni	*Centro*	*~10 m²*	*1*	*1*	*-*	*Locale piccolo, chiuso*

Nome Area	*Posizione nella pianta*	*Dimensione stimata (m²)*	*Finestre*	*Porte*	*Altre Aperture*	*Note*
Ufficio Direzionale	*In alto a sinistra*	*~18 m²*	*2*	*1*	*-*	*Ufficio singolo*
Ufficio Commerciale 01	*Centro-destra*	*~15 m²*	*1*	*1*	*-*	*-*
Ufficio Commerciale 02	*In basso a destra*	*~13 m²*	*1*	*1*	*-*	*-*
Ufficio Amministrativo	*In basso*	*~16 m²*	*2*	*1*	*-*	*-*
Bagno 03	*In basso a sinistra*	*~5 m²*	*Nessuna*	*1*	*-*	*-*
Bagno 04	*A fianco del bagno 03*	*~5 m²*	*Nessuna*	*1*	*-*	*-*
Disimpegni/Corridoi	*Collegano tutte le stanze*	*~20 m²*	*-*	*4+*	*ascensore*	*-*

🔎 *Le superfici sono stimate, ma coerenti con la scala 1:50.*

🪟 *Aperture - Totale Generale*

Porte interne: 9

Finestre: 9 (tutte verso l’esterno)

Ascensore: 1

Nessun balcone, scala interna o lucernario presente nella pianta

---

✨ *Prompt per l’Assistente Virtuale Illuminotecnico*

Ecco il prompt che potresti utilizzare per alimentare un assistente dedicato alla progettazione illuminotecnica basata sulla planimetria:

🧠 *PROMPT PER L’ASSISTENTE ILLUMINOTECNICO*

Ti trovi all'interno di un sistema di supporto alla progettazione illuminotecnica. Hai accesso a planimetrie in formato PDF, con indicazione di ambienti e loro funzioni (uffici, sale riunioni, bagni, corridoi, ecc.).

Usa i seguenti criteri per progettare:

Calcola la superficie utile di ogni ambiente (in m²) partendo da una scala nota (es. una porta larga 90 cm nella realtà).

Analizza il tipo di spazio (privato/pubblico, operativo/rappresentativo).

Considera il numero e la posizione di finestre e porte per valutare l’apporto di luce naturale e le ombre.

Suggerisci corpi illuminanti reali e commerciali, selezionati in base a:

Funzione dell’ambiente

Altezza del soffitto (indicata nel PDF)

Estetica richiesta (moderna, tecnica, decorativa)

Livelli di illuminamento minimi (es. UNI EN 12464-1)

Comfort visivo (UGR)

Cita sempre marca e modello degli apparecchi, con breve motivazione tecnica e concettuale.

Output desiderato:

Elenco apparecchi per ogni ambiente

Immagini o link rappresentativi

Descrizione tecnica + concept estetico

Nessun riferimento a prezzi

Breve testo riepilogativo da usare per approvazione del cliente

Il progetto è destinato alla piattaforma Gamma App, quindi struttura l’output in modo compatibile e sintetico, pronto per l’inserimento.

Se vuoi, posso:

Generare una tabella con gli apparecchi suggeriti per ogni stanza;

Oppure iniziare direttamente il progetto illuminotecnico per uno degli ambienti, come ad esempio la sala riunioni grande o l’ufficio direzionale.

Come nel caso precedente si ottiene una impostazione dei risultati simile, ma i dati sono completamente errati. La parte iniziale che tratta la misurazione dei pixel è corretta ma successivamente quando l’IA inizia ad analizzare i nomi delle aree, la

metratura e le aperture fornisce dei dati completamente diversi dall’assistente virtuale e quindi dalla realtà. La metratura è sbagliata in quanto in alcuni casi gli arredi, secondo l’intelligenza artificiale, tolgono metri quadrati e in altri casi invece il calcolo è approssimativo. Alcune informazioni sono superflue come la sezione *Note* e il numero di finestre e porte non corrisponde a quello esatto. Infine, il prompt generato è semplice e facilmente non capibile dall’ipotetico assistente virtuale e quindi, in conclusione, risulta che l’output fornito non può essere utilizzato nel mondo lavorativo perché impreciso ed errato.

La seconda parte del paragone mette in relazione la creazione della descrizione del progetto illuminotecnico e dei corpi illuminanti utilizzati per le aree della planimetria. Anche in questo caso è stato utilizzato il medesimo prompt per cercare di ottenere dei risultati più facilmente paragonabili. La figura 5-4 rappresenta la richiesta (prompt) utilizzato per ottenere le informazioni illuminotecniche desiderate.

Fig. 5-4: Scrittura di un prompt per il progetto illuminotecnico in ChatGPT, (produzione dell’autore mediante ChatGPT).

È stato utilizzato lo stesso prompt fornito all’assistente virtuale ma, la ricerca di corpi illuminanti o conoscenze illuminotecniche che l’intelligenza artificiale dovrà ricavare sono reperibili solo online e quindi l’IA dovrà scegliere quali informazioni prendere. L’output ricavato è:

Elenco dei Corpi Illuminanti nella Pianta

Nome Apparecchio	*Tipo / Marca*	*Potenza*	*Ottica / Diffusione*	*Temp. Colore*	*Quantità rilevata*	*Note e posizione in pianta*
Forall Kappa Small	*– Downlight ON/OFF*	*38W*	*Ø 425 mm*	*3000 K*	*~2*	*Locali piccoli o corridoi*
Forall Kappa Medium	*– Downlight ON/OFF*	*49W*	*Ø 625 mm*	*3000 K*	*~2-3*	*Uffici medi e sale*

Nome Apparecchio	Tipo / Marca	Potenza	Ottica / Diffusione	Temp. Colore	Quantità rilevata	Note e posizione in pianta
Forall – Kappa Big	Downlight ON/OFF	85W	Ø 925 mm	3000 K	1-2	Sala riunioni grande
Regent – Novo 2	Spot DALI	23W	60° Ø200 mm	3000 K	~4	Uffici e aree operative
Regent – Novo 2 Asimmetrico	Spot DALI	21W	Ottica asimmetrica	3000 K	~2	Illuminazione parete/lavagne
Oty Light – X7 R	Spot ON/OFF	10W	50°	3000 K	~2	Accenti/locali piccoli
Aeoss – Veletta Mini	Lineare LED ON/OFF	15W/mt	N/A	3000 K	Lineare (perimetro)	Illuminazione continua pareti / controsoffitto
Besser – Ultima Thin 279	Lineare ON/OFF	20+18W/mt	Diffuso	3000 K	Lineare	Effetto decorativo parete/soffitto
Besser – Ultima Thin 159	Lineare ON/OFF	20+13W/mt	Diffuso	3000 K	Lineare	Aree decorative minori
Besser – Ultima Thin 106	Lineare ON/OFF	20+18W/mt	Diffuso	3000 K	Lineare	Aree decorative, dettagli soffitto
Led Linear – Ultima asimmetrica	Lineare ON/OFF	15W/mt	Asimmetrica	3000 K	Lineare (pareti)	Lavaggio parete, luce indiretta

---

🧠 *Descrizione del Progetto Illuminotecnico*

🎯 Concept generale

Il progetto mira a garantire:

Uniformità luminosa nelle aree operative (uffici);

Comfort visivo (limitazione UGR);

Effetti scenografici e di design nei punti strategici (riunioni, zone d’attesa, disimpegni);

Temperatura colore costante (3000K) per un ambiente professionale ma caldo.

🎨 *Analisi per tipologia di ambiente*

📌 *Sala Riunioni Grande*

Corpi principali: Forall Kappa Big (85W, Ø925mm) – posizionati centralmente per illuminazione generale uniforme.

Effetti secondari: probabili strip LED tipo Aeoss o Besser lungo le pareti o controsoffitto.

Funzione: favorire visibilità su tavolo centrale + comfort per proiezioni.

📌 *Uffici Operativi*

Regent Novo 2 (23W/60°): puntati sulle scrivanie, orientabili.

Kappa Medium o Small: per luce generale diffusa.

Veletta Mini: nei controsoffitti, per luce indiretta morbida.

📌 *Saletta Riunioni*

Oty X7 R (10W, 50°) o Kappa Small.

Probabile inserimento di luce indiretta con Besser Ultima Thin.

📌 *Bagni e disimpegni*

Kappa Small o Spot X7 R: illuminazione funzionale.

Nessun uso di strip decorative, salvo corridoi.

🧩 *Posizionamento (stimato da pianta)*

Downlight (Kappa): centrati negli ambienti, distanziati in base alla grandezza.

Spot (Novo / X7 R): localizzati verso punti strategici (scrivanie, pareti).

Strip LED (Aeoss / Besser / Led Linear):

Aeoss: installate in veletta – perimetrali ai controsoffitti.

Besser: pareti di impatto visivo (es. sale, ingresso).

Led Linear Asimmetrica: lavaggio pareti nei corridoi.

📐 *Altezze e montaggio*

Le quote riportate in pianta sono:

H. 300 cm in uffici e sala riunioni

H. 270 cm in corridoi/bagni

Questo ha guidato la scelta di:

Downlight a incasso nelle zone da 300 cm.

Strip LED installate in veletta o battiscopa per effetto radente.

Spot orientabili per enfatizzare verticalità (es. lavagne, armadiature).

🎨 *Concept estetico e funzionale*

Illuminazione d’ambiente → uniforme, calda, non invadente.

Accenti luminosi → valorizzano pareti, dettagli architettonici.

Luce indiretta → contribuisce al comfort e alla percezione spaziale.

✅ *Conclusione*

Il progetto è ben bilanciato tra tecnica e design, con ottime scelte di apparecchi:

Prestazioni solide (DALI, ottiche diverse),

Temperatura colore costante e piacevole (3000K),

Possibile buona gestione dell’efficienza energetica.

Le informazioni ottenute mediante questo output sono imprecise ed errate. L’elenco dei corpi illuminanti è impreciso in quanto l’IA non è riuscita a leggere la legenda del PDF e quindi non è stata capace a contare i simboli relativi ad ogni oggetto. Le analisi e informazioni che dovrebbero essere facilmente capibili da un progettista sono banali, ripetitive e poco commercialmente pertinenti. Vengono toccati argomenti che anche con l’assistente virtuale addestrato sono stati esplicati ma, in questo caso, sono troppo grezzi per essere utilizzati lavorativamente. Le informazioni dei corpi illuminanti sono in alcuni casi sbagliate perché ChatGPT non ne ha trovato

informazioni e caratteristiche del prodotto online, poiché alcuni costruttori e venditori le comunicano solo ai progettisti.

In conclusione, è facilmente identificabile gli svantaggi e i problemi che il mancato utilizzo dell’assistente virtuale comporta. Come detto precedentemente, nella tesi, l’assistente virtuale ha il compito di indirizzare le ricerche del potente modello di ChatGPT verso le informazioni che si ritengono maggiormente pertinenti per il compito da svolgere.

CONCLUSIONI

La tesi ha avuto come obiettivo l'analisi, l'uso e la potenzialità dell'intelligenza artificiale nel settore delle costruzioni e si è soffermata in particolare sullo studio delle diverse IA con alcune applicazioni come la previsione progettuale e dei consumi energetici. La ricerca ha evidenziato che i modelli di *machine learning* possono apportare un supporto alla progettazione e gestione degli edifici ma ciò dipende dal tipo di modello che viene utilizzato e per quale scopo. Sulla base dei lavori di ricerca effettuati nella tesi si può concludere che i modelli di previsione singoli sono utilizzati principalmene per il consumo energetico degli edifici e sono i più semplici da implementare, mentre i modelli di previsione d'insieme sono stati studiati e quindi implementati solo negli ultimi anni ma hanno un impatto nel settore più che positivo. Anche se il modello di previsione singolo ha notevoli vantaggi come affidabilità, facilità di utilizzo ed implementazione, gli svantaggi includono previsioni limitate e con scarsa variabilità di utilizzo. I modelli di previsione d'insieme invece, hanno, rispetto al precedente modello, maggiore accuratezza e stabilità di previsione ma allo stesso tempo sono maggiormente difficili da implementare e possono causare errori significativi. Negli ultimi decenni è cresciuta notevolmente la tecnologia digitale e i big data nel settore edile e questo ha comportato delle modifiche sostanziali al CEM come maggiore affidabilità, automazione con conseguenze dal punto di vista delle tempistiche e di quelle economiche. L'IA si è denotato essere superiore rispetto ai metodi computazionali poiché è capace di affrontare problemi dinamici e complessi anche se vi è incertezza o un numero ristretto di dati. Questa tesi ha permesso di fornire una comprensione base e avanzata dell'IA generale e successivamente limitare i casi studio al CEM, raccogliere informazioni delle applicazioni dell'IA nel CEM con i relativi vantaggi e svantaggi di ogni modello e un accenno alle direzioni future dell'IA nel settore delle costruzioni. Anche se le soluzioni basate sull'IA nei progetti di costruzione sono state diverse tra loro, gli output forniti dall'intelligenza artificiale aiutano i processi decisionali umani mediante informazioni che precedentemente sarebbero state difficili da ricavare se non con un dispendio molto superiore di tempo e denaro. Inoltre, le condizioni mutevoli nelle quali possono essere applicate rendono l'utilizzo dell'IA ancora più fondamentale nelle decisioni tattiche dell'operatività del progetto iniziale, corrente e di mantenimento. Esistono numerosi approcci all'intelligenza artificiale che hanno come scopo il raggiungimento di alcuni obiettivi come l'automazione, la mitigazione del rischio e l'elevata efficienza. Altri aspetti che favoriscono l'utilizzo dell'IA nel CEM evidenziati dalle ricerche effettuate per la tesi sono:

- Individuazione di pattern al fine di creare dei modelli standard da poter ripetere per analisi della stessa tipologia in futuro. L'individuazione del pattern fa sì che l'implementazione dell'IA sia maggiormente efficace poiché alcune procedure possono essere ripetute diminuendo l'elaborazione di calcolo dell'intelligenza artificiale assottigliando così il tempo d'attesa e la precisione dell'output.
- Previsione dei dati ricevuti dai misuratori fanno si che l'IA sia capace di compiere un'attività di previsione precisa e nel medesimo tempo vi sia un apprendimento automatico dei dati senza l'intervento umano. Mediante i dati ricavati, l'IA è capace quindi di prevedere i potenziali rischi al fine di condurre diagnosi, analisi affidabili in anticipo così da adottare misure di contenimento

o prontezza di risposta per i rischi che hanno maggiori probabilità di accadere in base al tipo di lavoro effettuato.
- Ottimizzazione nel progetto di costruzione. Gli algoritmi che formano un’IA hanno la principale funzione di ottimizzare il processo lavorativo che stanno effettuando; quindi, nell’ambito del CEM ottimizzano la pianificazione, la costruzione e la manutenzione dei progetti.

Il capitolo sulla costruzione di un’assistente virtuale ha permesso di individuare che l’intelligenza artificiale può essere applicata concretamente nel settore illuminotecnico. L’IA si è rivelata essere uno strumento utile, poiché pur essendo stata implementata in poco tempo e con le conoscenze principalmente da autodidatta dell’autore, è stata capace di compiere gli obiettivi prefissati in modo soddisfacente. Gli aspetti che l’IA ha apportato al lavoro illuminotecnico sono la capacità di elaborare scenari complessi con elevata velocità di risposta e la diminuzione di mansioni che il tecnico avrebbe dovuto compiere di persona.

In conclusione, è stato mostrato che l’utilizzo l’IA è in grado di fornire delle nuove prospettive per l’economia e in particolare per il settore delle costruzioni. Tuttavia, la tesi ha messo in luce alcune problematiche legate alla disponibilità di dati, alla difficoltà di implementazione e difficoltà di trasferimento dei risultati nella pratica professionale se non effettuato con le dovute precauzioni. I lavori scientifici e questa tesi evidenziano un incremento di interesse e potenzialità di questa tecnologia ancora da applicare appieno. L’IA è un elemento che cambierà radicalmente il settore delle costruzioni realizzando in collaborazione con l’uomo progetti in modo più efficiente e creativo.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1) Pan Y., Zhang L., “Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends”, Automation in Construction, Elsevier, Vol. 122, 02.2021. Disponibile presso: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103517 (ultimo accesso: 12.08.2025).
2) European Commission, Eurostat, “Infortuni mortali sul lavoro 100000 lavoratori, per sesso”, 2017 (aggiornato 08.2025). Disponibile presso: https://data.europa.eu/data/datasets/ue3ztjjadrf5cepvxogtaa, (ultimo accesso: 12.08.2025).
3) Dati Inail, “Dati inail N.11/2024-FOCUS SETTORE DELLE COSTRUZIONI”, 12.2024. Disponibile presso: https://www.certifico.com/sicurezza-lavoro/news-sicurezza/dati-inail-n-11-2024-focus-settore-costruzioni, (ultimo accesso: 12.08.2025).
4) Certifico I Safety Software, “Dati inail N.11/2024-FOCUS SETTORE DELLE COSTRUZIONI”, Andamento degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali, Vol. 11, 12.2024. Disponibile presso: https://www.certifico.com/sicurezza-lavoro/news-sicurezza/dati-inail-n-11-2024-focus-settore-costruzioni, (ultimo accesso: 27.08.2025).
5) Manni Group, “10 MODI PER RIDURRE I CONSUMI E I COSTI DI UN EDIFICIO”, 01.2024. Disponibile presso: https://blog.mannigroup.com/it/garantire-il-comfort-riducendo-i-consumi-energetici-e-i-costi-degli-edifici#:~:text=I%20consumi%20energetici%20degli%20edifici,dall'andamento%20delle%20temperature%20stagionali, (ultimo accesso: 16.08.2025).
6) Il post, “È entrato in funzione il nuovo aeroporto di Berlino, in ritardo di quasi dieci anni rispetto ai piani iniziali”, 10.2020. Disponibile presso: https://www.ilpost.it/2020/10/31/aeroporto-berlino-brandeburgo/, (ultimo accesso: 16.08.2025).
7) Pragmatika, “Reperti della metropolitana. La nuova linea metropolitana di Amsterdam”, 08.2018. Disponibile presso: https://pragmatika.media/it/artefakty-iz-metro-novaja-linija-amsterdamskogo-metropolitena/#:~:text=I%20costruttori%20della%20metropolitana%20hanno%20dovuto%20affrontare,e%20sviluppare%20una%20serie%20di%20competenze%20ingegneristiche., (ultimo accesso: 18.08.2025).
8) Euronews, “Grecia: antichità rimosse (momentaneamente) per costruire la metro”, 12.2029. Disponibile presso: https://it.euronews.com/2019/12/19/grecia-antichita-rimosse-momentaneamente-per-costruire-la-metro, (ultimo accesso: 18.08.2025).
9) Today, “Il crollo nel cantiere Esselunga, ci sono tre indagati: "Calcoli sbagliati, la trave non poteva reggere", 02.2025. Disponibile presso: https://www.today.it/cronaca/crollo-esselunga-firenze-morti-causa-indagati.html, (ultimo accesso: 18.08.2025).
10) Geopop, “Il crollo del ponte Morandi: la spiegazione in una ricostruzione 3D inedita”, 08.2025. Disponibile presso: https://www.geopop.it/la-ricostruzione-3d-del-crollo-del-ponte-morandi/, (ultimo accesso: 18.08.2025).
11) Oracle, “AI nel settore edilizio: vantaggi e opportunità”, 02.2025. Disponibile presso: https://www.oracle.com/it/construction-engineering/ai-

construction/#:~:text=La%20manutenzione%20predittiva%20basata%20sull,contenere%20il%20costo%20delle%20riparazioni., (ultimo accesso: 18.08.2025).
12) Tematiche Parlamento europeo, “Che cos’è l’intelligenza artificiale”, 09.2020. Disponibile presso: https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20200827STO85804/che-cos-e-l-intelligenza-artificiale-e-come-viene-usata#:~:text=L'intelligenza%20artificiale%20permette%20ai,)%2C%20li%20processa%20e%20risponde, (ultimo accesso: 18.08.2025).
13) IBM, “Quali sono i diversi tipi di intelligenza artificiale”, 10.2023. Disponibile presso: https://www.ibm.com/it-it/think/topics/artificial-intelligence-types, (ultimo accesso 18.08.2025).
14) IBM, “Che cosa è il machine learning?”, 08.2024. Disponibile presso: https://www.ibm.com/it-it/think/topics/machine-learning, (ultimo accesso 19.08.2025).
15) CaseGuard, “Five Key Parts Of Artificial Technology And Tech Development”, 08.2023. Disponibile presso: https://caseguard.com/articles/five-key-parts-of-artificial-technology-and-tech-development/, (ultimo accesso: 19.08.2025).
16) Lee J., Su H., Ji D., Minami T., “Engineering Artificial Intelligence: Framework, Challenges and Future Direction”, Machine learning: Engineering, Vol.1, 07.2025. Disponibile presso: http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.2504.02269, (ultimo accesso: 19.08.2025).
17) Amazon, “Che cos’è un framework di programmazione e ingegneria?”, 04.2022. Disponibile presso: https://aws.amazon.com/it/what-is/framework/, (ultimo accesso: 19.08.2025).
18) Wang Z., Srinivasan R. S., “A review of artificial intelligence based building energy use prediction: Contrasting the capabilities of single and ensemble prediction models”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, Vol. 75, 08.2017. Disponibile presso: https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.079., (ultimo accesso: 26.08.2025).
19) West J., Siddhpura M., Evangelista A., Haddad A., “Emergence of AI-Impact on Building Condition Index (BCI)”, Buildings, MDPI AG, Vol. 14, 12.2024. Disponibile presso: https://doi.org/10.3390/buildings14123868, (ultimo accesso: 05.09.2025).
20) RSI, “IA e diritti umani, i ritardi della politica “, 03.2025. Disponibile presso: https://www.rsi.ch/info/svizzera/IA-e-diritti-umani-i-ritardi-della-politica--2691629.html, (ultimo accesso: 19.08.2025).
21) Agenda digitale eu, “Intelligenza artificiale: il ritardo UE è già un fallimento politico? Urgente un cambio di passo”, 05.2025. Disponibile presso: https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/intelligenza-artificiale-il-ritardo-ue-e-gia-un-fallimento-politico-urgente-un-cambio-di-passo/, (ultimo accesso: 23.08.2025).
22) Fondazione Giannino Bassetti, “Sapere è potere, il monopolio delle intelligenze artificiali”, 05.2024. Disponibile presso: https://www.fondazionebassetti.org/archi_vivo/2024/05/sapere_e_potere_il_monopolio_delle_intelligenze_artificiali, (ultimo accesso: 24.08.2025).
23) Software improvement group SIG, “legislazione sull’intelligenza artificiale negli Stati Uniti: una panoramica del 2025”, 01.2025. Disponibile presso: https://www.softwareimprovementgroup.com/us-ai-legislation-overview/, (ultimo aggiornamento: 22.08.25, ultimo accesso 24.08.2025).

24) Post parliament uk, “Intelligenza artificiale: etica, governance e regolamentazione”, 10.2024. Disponibile presso: https://post.parliament.uk/artificial-intelligence-ethics-governance-and-regulation/, (ultimo accesso: 24.08.2025).
25) Tematiche parlamento europeo, “Normativa sull’IA: la prima regolamentazione sull’intelligenza artificiale”, 06.2023. Disponibile presso: https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20230601STO93804/normativa-sull-ia-la-prima-regolamentazione-sull-intelligenza-artificiale#regolamentazione-dellia-in-europa-il-primo-quadro-completo-3, (ultimo aggiornamento: 20.02.2025, ultimo accesso 25.08.2025).
26) Tematiche parlamento europeo, “Il futuro dell’intelligenza artificiale (IA): la tabella di marcia UE proposta dal parlamento europeo”, 04.2022. Disponibile presso: https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20220422STO27705/il-futuro-dell-ia-la-tabella-di-marcia-ue-proposta-dal-parlamento-europeo, (ultimo aggiornamento: 03.05.2022, ultimo accesso 25.08.2025).
27) Presidenza del Consiglio dei ministri, “analisi del quadro normativo in materia di intelligenza artificiale (D.D.L. IA e Regolamento UE su IA)”, 05.2024. Disponibile presso: https://www.programmagoverno.gov.it/media/je0lo4i0/focus-ia.pdf (ultimo accesso: 26.08.2025).
28) Dossier XIX Legislatura, “Disposizione e deleghe al Governo in materia dell’intelligenza artificiale”, 03.2025. Disponibile presso: https://documenti.camera.it/leg19/dossier/pdf/ID0010c.pdf, (ultimo accesso 23.08.2025).
29) Liao W., Lu X., Fei Y., Gu Y., Huang Y., “Generative AI design for building structures”, Automation in Construction, Elsevier B. V., Vol. 157, 01.2024. Disponibile presso: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105187, (ultimo accesso: 05.09.2025).
30) Xu G., Guo T., “Advances in AI-poered civil engineering throughout the entire lifecyrcle”, Advances in Structural Engineering, SAGE Publications Inc., Vol. 28, 01.2025. Disponibile presso: https://doi.org/10.1177/13694332241307721, (ultimo accesso: 04.09.2025).
31) Plevris V., “A Glimpse into the Future of Civil Engineering Education: The New Era of Artificial Intelligence, Machine Learning, and Large Language Models”, Journal of Civil Engineering Education, ASCE, Vol. 151,02.2025. Disponibile presso: https://doi.org/10.1061/JCEECD.EIENG-2193, (ultimo accesso: 04.09.2025).
32) Elhegazy, H., Chakraborty, D., Elzarka, H., Ebid, A. M., Mahdi, I. M., Aboul Haggag, S. Y. & Abdel R., “Artificial Intelligence for Developing Accurate Preliminary Cost Estimates for Composite Flooring Systems of Multi-Storey Buildings.”, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Taylor & Francis, Vol. 21, 04.2021. Disponibile presso: https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1838288, (ultimo accesso: 26.08.2025).
33) Ding C., Ke J., Levine M., Granderson J., Zhou N., “Potential of artificial intelligence in reducing energy and carbon emissions of commercial buildings at scale”, Nature Communications, Spring Nature, Vol. 15, 07.2024. Disponibile presso: https://doi.org/10.1038/s41467-024-50088-4, (ultimo accesso:05.09.2025).

34) Ploennigs, J., Berger, M. “AI art in architecture”, AI in Civil Engineering, Springer, Vol. 2, 07.2023. Disponibile presso: https://doi.org/10.1007/s43503-023-00018-y, (ultimo accesso: 27.08.2025).
35) Vincos, “Le app di intelligenza artificiale più usate al mondo”, 10.2024. Disponibile presso: https://vincos.it/2024/09/30/le-app-di-intelligenza-artificiale-piu-usate-al-mondo/, (ultimo accesso: 28.08.25).
36) IBM, “Che cos’è ChatGPT?”, 04.2025. Disponibile presso: https://www.ibm.com/it-it/think/topics/chatgpt, (ultimo accesso: 28.08.2025).
37) Wired, “ChatGPT Plus, tutte le differenze con la versione gratis”, 01.2025. Disponibile presso: https://www.wired.it/article/chatgpt-plus-free-differenze-cosa-cambia/, (ultimo accesso: 28.08.2025).
38) OpenAi, “Ti presentiamo GPT 5”, 07.2025. Disponibile presso: https://openai.com/it-IT/index/introducing-gpt-5/, (ultimo accesso: 30.08.2025).
39) Slim, “Illuminotecnica: le caratteristiche del settore”, 05.2025. Disponibile presso: https://www.slim.it/blog/illuminotecnica-caratteristiche-settore, (ultimo accesso: 28.08.25).
40) Tregenza P., Loe D., The Design of Lighting, Londra, Routledge, 2013.
41) Kanlux, “Intelligenza artificiale nell’illuminazione soluzioni innovative per la casa e l’appartamento”, 01.2025. Disponibile presso: https://www.kanlux.com/it/articoli/Intelligenza-artificiale-nell-illuminazione-soluzioni-innovative-per-la-casa-e-l-appartamento#:~:text=Grazie%20a%20essi%2C%20le%20lampadine,pi%C3%B9%20intensamente%20o%20si%20accende, (ultimo accesso: 06.09.2025).
42) Skool, “Scuola IA”, 09.24. Disponibile presso: https://www.skool.com/scuolaia/about, (ultimo accesso: 30.08.2025).